

FELIZARDA VIANA BEBÉ

**ATRIBUTOS AGROINDUSTRIAIS, NUTRICIONAIS E DE FERTILIDADE DO
SOLO EM CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM VINHAÇA**

RECIFE-PE

2011

FELIZARDA VIANA BEBÉ

**ATRIBUTOS AGROINDUSTRIAIS, NUTRICIONAIS E DE FERTILIDADE DO
SOLO EM CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM VINHAÇA**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

RECIFE

2011

FELIZARDA VIANA BEBÉ

Tese intitulada “**ATRIBUTOS AGROINDUSTRIAIS, NUTRICIONAIS E DE FERTILIDADE DO SOLO EM CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM VINHAÇA**”, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como exigência para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA EM 28 de fevereiro de 2011.

D.Sc. Roberto Wagner Cavalcanti

Raposo

Examinador

D.Sc. Fernando José Freire

Examinador

D.Sc. Djalma Euzébio

Simões Neto

Examinador

D.Sc. Carolina Etienne Rosália

Silva e Santos

Examinador

D.Sc. Maria de Fatima Cavalcanti Barros

Presidente da Banca Examinadora

(Orientador)

Aos meus amados pais Noélio S. Bebé, Maria L. T. V. Bebé e queridos irmãos

João L. T. Bebé, Fabiana V. B. Reis e Noélio de S. Bebé Júnior;

Ao meu noivo George Brito Silva

pelo amor incondicional,

Com amor e carinho

Ofereço este trabalho

A minha querida avó materna, Felizarda Batista Bebé (*in memoriam*), pelo

apoio em minha carreira acadêmica, pelo exemplo de vida na fé e na

humildade

Com todo amor,

DEDICO ESTE TRABALHO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de realizar o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa;

A Professora Maria de Fatima Cavalcanti Barros, por todo apoio na realização deste trabalho, contribuição para meu crescimento profissional durante estes anos de convivência;

A minha família, principalmente meus pais e meu irmão Dr. João Lucas pelo incentivo para acelerar o término deste trabalho;

Aos professores do Programa de pós-graduação em Ciência do Solo: Carolina Etienne, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire e Fernando José Freire, pela ajuda maciça na condução deste trabalho;

Ao professor Carlos Henrique Farias Amorin e a professora Célia Pontes da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) pelo apoio nas análises de Ca e Mg no absorção atômica;

Aos professores Sylvana Naomi Matsumoto e Anselmo Eloy Viana da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), pela amizade, idéias e análise estatística;

Ao Professor Gilson Moura Filho da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) pelas observações na qualificação e ideias para melhoria deste estudo. Ao Engenheiro Agrônomo José Fernando Wanderley Fernandes de Lima, pelo apoio nas coletas das plantas, das amostras de solo e sugestões na condução de toda tese;

À Maria do Socorro Santana, pela dedicação na marcação das viagens;

Ao Engenheiro Agrônomo Gledson Correia (Usina Santa Tereza) pelo imenso apoio na instalação e condução do experimento;

Aos colegas da Pós-Graduação, Marise, Maria, Fátima, Vânia, Rossana, Tâmara, Welka Preston, Thais Emanuelle, Carolina Malala, Guilherme Pessoa, Carla, Laerte, Rômulo, Rosemberg, principalmente Edivan Rodrigues de Souza

pelo apoio em Laboratório, Leila Silva pela bibliografia de cana-de-açúcar e todos os amigos pelos momentos e conhecimentos compartilhados;

Á amiga Patrícia Ribeiro dos Santos;

Aos bolsistas do Laboratório de Química dos solos pela convivência (UFRPE);

Aos meus orientados e orientadas Luane, Gabriele, Igor, Pedro, Ricardo, Rudson e Anderson pelo apoio durante a execução das análises;

A professora Adriana Guim por ter cedido a forrageira de Zootecnia;

Ao amigo Rodrigo da Zootecnia pelo apoio na desintegração do material vegetal;

Ao discente Hernandez (Madruga) pelo apoio nas análises;

A Wagner, bolsista de Química, pelo apoio na embalagem das amostras;

Ao amigo e colega professor Sérgio Luiz Rodrigues Donato do IFBAIANO/*Campus* Guanambi pelo apoio nas análises realizadas na UESB e sugestões no enriquecimento deste trabalho;

Aos demais amigos e colegas não menos importantes do IFBAIANO/*Campus* Guanambi: prof. Alessandro Arantes, prof. Marcelo Moura, prof. Rosimira Amaral, prof^a. Elaine, prof. Marcelo Rocha, Prof. Alexsandro Brito pelo otimismo nos momentos que antecederam a defesa.

A Débora e Marceonila, técnicas do Lab. de solos do IFBAIANO/*Campus* Guanambi pela ajuda nas diluições;

E a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para obtenção deste trabalho.

SUMÁRIO

| | Pág |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS E TABELAS..... | ix |
| RESUMO..... | xiii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| 1.0 INTRODUÇÃO..... | 01 |
| 2.0 REVISÃO DE LITERATURA..... | 04 |
| 2.1 Importância da cana-de-açúcar | 04 |
| 2.2 Composição da vinhaça e alterações nos atributos químicos de solos fertirrigados | 04 |
| 2.3 Exigências nutricionais da cana-de-açúcar e as interações entre os nutrientes..... | 07 |
| 2.4 Efeito da aplicação de vinhaça nas características agroindustriais | 9 |
| 3.0 MATERIAL E MÉTODOS..... | 11 |
| 3.1. Descrição da área de estudo | 11 |
| 3.2 Amostragem e caracterização do solo..... | 11 |
| 3.3 Caracterização da vinhaça..... | 13 |
| 3.4. Descrição dos tratamentos e delineamento experimental..... | 13 |
| 3.5. Condução do experimento | 14 |
| 3.6. Análise na planta..... | 15 |
| 3.6.1 Variáveis de crescimento | 15 |
| 3.6.2 Análise química da planta | 15 |
| 3.6.3. Extração e exportação de nutrientes da parte aérea..... | 16 |
| 3.7. Variáveis industriais | 166 |
| 3.8 Análise química do solo | 16 |
| 3.9 Análise estatística | 17 |
| 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 18 |
| 4.1 Brotação e perfilhamento | 18 |
| 4.2 Altura, diâmetro e área foliar da cana-planta..... | 19 |
| 4.2.1 Altura | 19 |
| 4.2.2 Diâmetro..... | 21 |
| 4.2.4. Índice de área foliar..... | 22 |
| 4.3 Massa seca da parte aérea (folhas+colmos+ponteiros)..... | 23 |

| | |
|---|----|
| 4.3 Produtividade | 27 |
| 4.5 Concentração e extração de nutrientes pela cana-planta | 29 |
| 4.5.1 Nitrogênio | 29 |
| 4.5.2 Fósforo | 34 |
| 4.5.3 Potássio | 39 |
| 4.5.4 Cálcio | 45 |
| 4.5.5 Magnésio..... | 48 |
| 4.5.6 Interações entre os nutrientes N, P, K, Ca e Mg na planta. | 50 |
| 4.6 Características químicas do solo | 51 |
| 4.6.1 pH..... | 51 |
| 4.6.2 Fósforo disponível no solo | 52 |
| 4.6.3 Potássio trocável..... | 53 |
| 4.6.4 Cálcio trocável..... | 54 |
| 4.6.5 Magnésio trocável | 55 |
| 4.6.6 Interação entre cátions no solo..... | 56 |
| 4.6.7 Matéria orgânica | 58 |
| 4.7 Variáveis tecnológicas da cana | 59 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 63 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 64 |

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Precipitação registrada durante o período de condução do experimento..... | 11 |
| Tabela 1 Características físicas do solo. | 12 |
| Tabela 2 Características químicas do solo..... | 12 |
| Tabela 3 Características químicas para fins de fertilidade do solo | 13 |
| Tabela 4 Características químicas da vinhaça..... | 13 |
| Figura 2. Tanque de armazenamento e aplicação da vinhaça..... | 14 |
| Figura 3. Número de plantas por metro linear em função das doses de vinhaça aos 30, 60 e 360 dias após o plantio (DAP) | 18 |
| Figura 4. Altura da cana-planta (cm) em função da época de coleta 60, 120, 180, 240, 300 e 360 DAP para as doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ | 20 |
| Figura 5. Altura da cana-planta (cm) em função das doses de vinhaça aos 120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio (DAP)..... | 21 |
| Figura 6. Diâmetro do colmo (cm) em função das doses de vinhaça, aos 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio (DAP)..... | 21 |
| Figura 7. Índice de área foliar da cana-planta em função das doses de vinhaça aos 120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio..... | 23 |
| Figura 8. Acúmulo de massa seca da parte aérea (MSPA, colmo + folhas + ponteiro) em função das doses de vinhaça, aos 120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio (DAP)..... | 24 |
| Figura 9. Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 120 dias após o plantio (DAP)..... | 25 |
| Figura 10 Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 180 dias após o plantio (DAP)..... | |
| Figura 11 Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 240 dias após o plantio (DAP)..... | 26 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 12 | Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 300 dias após o plantio (DAP)..... | 27 |
| Figura 13 | Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 360 dias após o plantio (DAP)..... | 27 |
| Figura 14 | Valores das médias de produtividade ($t\ ha^{-1}$) da cana-planta, em função das doses de vinhaça..... | 28 |
| Figura 15 | Teor de nitrogênio (N) em folhas, colmo e ponteiro em função das épocas de avaliação para as doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e $640\ m^3\ ha^{-1}$ | 30 |
| Tabela 5 | Teor de nitrogênio em folha, folha+3, colmo e ponteiro em função de doses de vinhaça aos 120, 180, 240, 300 e 360 DAP..... | 31 |
| Figura 16 | Nitrogênio acumulado na folha, colmo e ponteiro na em função de doses de vinhaça, aos 120 dias após o plantio... | 32 |
| Figura 17 | Nitrogênio acumulado na folha, colmo e ponteiro na cana-planta em função de doses de vinhaça, aos 180 dias após o plantio..... | 32 |
| Figura 18 | Nitrogênio acumulado na folha, colmo e ponteiro em função de doses de vinhaça, aos 240 dias após o plantio. | 33 |
| Figura 19 | Nitrogênio acumulado na folha, colmo e ponteiro em função de doses de vinhaça, aos 300 dias após o plantio | 33 |
| Figura 20 | Teor de nitrogênio (N) em folhas, colmo e ponteiro em função das épocas de avaliação para as doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e $640\ m^3\ ha^{-1}$ aos 360 dias após o plantio..... | 33 |
| Figura 21 | Teor de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, em função das épocas de avaliação para as doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e $640\ m^3\ ha^{-1}$ | 35 |
| Tabela 6 | Teor de fósforo em folha, folha+3, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, em função de doses de vinhaça aos 120, 180, 240, 300 e 360 DAP..... | 36 |
| Figura 22 | Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e $640\ m^3\ ha^{-1}$ aos 120 DAP. | 37 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 23 | Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 180 DAP. | 37 |
| Figura 24 | Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 240 DAP. | 38 |
| Figura 25 | Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 300 DAP. | 38 |
| Figura 26 | Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 360 DAP. | 39 |
| Figura 27 | Teor de potássio em folhas, colmos e ponteiros de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das épocas de avaliação para as doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ | 40 |
| Figura 28 | Extração de potássio (K) em folhas de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 120 DAP..... | 42 |
| Figura 29 | Extração de potássio (K) em colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 120 DAP..... | 42 |
| Figura 30 | Extração de potássio (K) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 180 DAP. | 42 |
| Figura 31 | Extração de potássio (K ⁺) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 240 DAP | 43 |
| Figura 32 | Extração de potássio (K ⁺) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 300 DAP | 44 |
| Figura 33 | Extração de potássio (K ⁺) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ aos 360 DAP | 44 |
| Figura 34 | Teor de Ca ²⁺ em folha +3 de cana-planta em função das épocas avaliadas para as doses 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ | 45 |
| Figura 35 | Extração de cálcio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 120 DAP..... | 46 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 36 | Extração de cálcio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 180 DAP..... | 47 |
| Figura 37 | Extração de cálcio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 360 DAP..... | 47 |
| Figura 38 | Teor de Mg em folha +3 de cana-planta em função das épocas avaliadas para as doses 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ | 48 |
| Figura 39 | Extração de magnésio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 120 DAP..... | 49 |
| Tabela 7 | Relação entre o nutrientes N, P, K, Ca e Mg na cana-planta em função das doses de vinhaça..... | 51 |
| Figura 40 | Extração de magnésio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 180 DAP..... | 49 |
| Figura 41 | Extração de magnésio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 360 DAP..... | 50 |
| Figura 42 | Valores de pH em função das doses de vinhaça nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm..... | 52 |
| Figura 43 | Fósforo disponível no solo na camada de 0-20, 20-40 e 40-60 cm em função das doses de vinhaça aos 30 dias após a aplicação de vinhaça..... | 52 |
| Figura 44 | Teor de potássio trocável em função das doses de vinhaça para as camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm..... | 54 |
| Figura 45 | Teor de cálcio trocável em função das doses de vinhaça nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm..... | 55 |
| Figura 46 | Teor de magnésio trocável em função das doses de vinhaça nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm..... | 56 |
| Figura 47 | Relação entre cálcio e potássio trocáveis em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ | 56 |
| Figura 48 | Relação entre potássio (cálcio+magnésio) trocáveis em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m ³ ha ⁻¹ na camada 0-20 cm..... | 57 |
| Figura 49 | Teor de matéria orgânica em função das doses de vinhaça nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm..... | 58 |
| Tabela 8 | Valores das variáveis industriais da cana-planta com aplicação de doses de vinhaça, aos 300 dias após o plantio..... | 59 |
| Tabela 9 | Valores das variáveis industriais da cana-planta com aplicação de doses de vinhaça, aos 360 dias após o plantio..... | 60 |

RESUMO

BEBÉ, Felizarda Viana. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fevereiro de 2011. **ATRIBUTOS AGROINDUSTRIAIS, NUTRICIONAIS E DE FERTILIDADE DO SOLO EM CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM VINHAÇA.** Orientador: D.Sc. Maria de Fatima Cavalcanti Barros.

O aumento na produção de álcool levou a geração de grandes volumes de vinhaça. Desde 1980, utiliza-se vinhaça na fertirrigação canavieira obtendo resultados positivos quanto ao aumento na produtividade. Entretanto, a aplicação excessiva pode acarretar o desbalanceamento de cátions no solo e consequentemente interferir na absorção de cálcio, magnésio, potássio e nitrogênio podendo afetar o desenvolvimento e a qualidade industrial da cana-de-açúcar. Neste contexto, objetivou-se avaliar o desenvolvimento e a dinâmica do Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P e as relações entre Ca:K, Mg:K e N:K no solo e na planta bem como suas implicações no desenvolvimento, produção e qualidade da cana-de-açúcar para o processo industrial. Para isto foi conduzido experimento em campo com seis doses de vinhaça aplicadas no solo. Uma semana após a aplicação do resíduo, foi realizado o plantio da cultivar RB92579 (maturação média a tardia). O delineamento utilizado foi com seis tratamentos distribuídos em quatro blocos casualizados, totalizando 24 unidades experimentais. As doses de vinhaça foram: 0, 40, 80, 160, 320 e 640 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$. As doses de vinhaça aplicadas promoveram aumento da massa seca do colmo, folhas e ponteiro, na área foliar, no índice de área foliar, no acúmulo de extração de K^+ das folhas, colmo e ponteiro devido a elevação da disponibilidade de K^+ no solo. Para a extração dos nutrientes N, P, Ca^{2+} e Mg^{2+} também observou-se aumento da quantidade extraída com as doses do resíduo. Os valores das relações entre os nutrientes na planta foram considerados suficientes para alta produtividade em cana-de-açúcar.

Palavras-chave: água residuária, cálcio, magnésio, potássio, *Saccharum sp.*

ABSTRACT

BEBÉ, Felizarda Viana. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fevereiro de 2011. ATTRIBUTES AGRIBUSINESS, NUTRITION AND SOIL FERTILITY IN SUGAR CANE FERTILIZED WITH VINASSE. Adviser: D.Sc. Maria de Fatima Cavalcanti Barros.

The increase in ethanol production led to generation of large volumes of stillage. Since 1980, uses stillage fertigation in sugarcane obtaining positive results in increasing productivity. However, excessive application can cause the imbalance of cations in the soil and thus interfere with the absorption of calcium, magnesium, potassium and nitrogen can affect industrial development and quality of cane sugar. In this context, the objective was to evaluate the development and dynamics of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P and the relationship between Ca: K, Mg, K and N: K in soil and plant as well as its implications in the development, production and quality cane sugar for the industrial process. For this field experiment was conducted with six doses of vinasse applied to the soil. A week after residue application, been planted cultivar RB92579 (middle and late maturation). The experiment was conducted with six treatments arranged in four randomized blocks, totaling 24 experimental units. The vinasse doses of 0, 40, 80, 160, 320 and 640 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$. The vinasse doses applied caused an increase of the dry mass of stem, leaves and pointer in leaf area, leaf area index, the accumulation of extraction of K from leaves, stems and hand due to high availability of K^+ in the soil. For extraction of N, P, Ca and Mg also showed an increase in the quantity extracted with the levels of waste. The values of the relationships between nutrients in the plant were considered sufficient for high productivity in cane sugar..

Keywords: wastewater, calcium, magnesium, potassium, *Saccharum sp*

1.0 INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é realizado desde o século XVI e está associado aos setores econômico, social e cultural. Na década de 80, esta cultura teve grande incremento no país devido à criação do Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), o que levou o Brasil ao ranking de maior produtor do mundo. Além do incentivo deste programa, houve aumento da demanda de etanol no Brasil e no mundo devido à fabricação de automóveis com a tecnologia bicombustível (gasolina ou álcool).

O crescimento da produção de álcool pelas agroindústrias de cana-de-açúcar promoveu, conseqüentemente, a elevação na geração de resíduos, principalmente a vinhaça. Este resíduo é produzido em grandes quantidades e é considerado altamente poluente de corpos hídricos, pois apresenta elevados teores de matéria orgânica, podendo consumir de 12.000 a 20.000 mg de oxigênio por cada litro de água (Silva & Silva, 1986). De forma geral, apresenta alto teor de matéria orgânica, potássio e água e teores médios de nitrogênio, cálcio, fósforo e magnésio (Penatti et al., 1988). Por apresentar tais características, a disposição no solo constitui uma alternativa viável, sendo largamente utilizada em canaviais desde a década de 80, na forma de fertirrigação, chegando a substituir parcial ou totalmente a adubação potássica (Orlando Filho et al., 1983). Por outro lado, algumas empresas agroindustriais vem aplicando este resíduo em elevado volume e nas mesmas áreas, devido ao alto custo para expandir as áreas de aplicação, e também às características químicas da vinhaça, sendo necessária a utilização de canalização ou equipamentos resistentes a corrosão e/ou construção de canais revestidos com material impermeabilizante.

A aplicação de doses elevadas pode promover desbalanceamento de cátions, principalmente cálcio+magnésio e potássio no solo o que vem a interferir no desenvolvimento da planta e afetar negativamente o teor de açúcar e o rendimento de álcool. Normalmente é visto em canaviais onde se utiliza aplicação frequente e doses elevadas de vinhaça maior período vegetativo, menor teor de açúcar que pode afetar negativamente o período de maturação da cana-de-açúcar.

Estes fatores podem estar relacionados à dinâmica das reações de troca iônica nos solos, sendo importante considerar as interrelações entre K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , pois o excesso de um elemento poderá prejudicar a adsorção dos outros e, conseqüentemente, influir diretamente nos processos de absorção pelas plantas (Orlando Filho et al., 1996). Com isso, Reis Júnior (2001) encontrou a probabilidade de resposta da produção de cana-de-açúcar à adubação potássica em razão da relação $K^+(Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo destacando que quanto maior esta relação menor resposta da planta a adubação potássica. Partindo deste princípio, é importante avaliar estas relações também em canaviais fertirrigados com vinhaça para obtenção de volumes adequados que eleve a produtividade e não interfira na qualidade industrial da cana-de-açúcar. Além disso, estudos da concentração e do acúmulo de nutrientes em cultivo de cana-planta sob aplicação de vinhaça é fundamental para o manejo adequado deste resíduo, aumento da produtividade, redução dos custos de produção, economia de adubos potássicos e principalmente para minimizar os riscos ambientais.

Quando a vinhaça aplicada em quantidades excessivas no solo, promove poluição ambiental (Cheesman, 2004) podendo ocasionar saturação por potássio, lixiviação outros cátions, contaminação do lençol freático e das águas superficiais através de escoamento. De acordo com Silva et al., (2007), os impactos ambientais negativos podem ocorrer se a adição de vinhaça ao solo for inadequada, ou seja, com aplicação de doses além da capacidade de retenção do solo e da absorção pela cana-de-açúcar. A utilização contínua da vinhaça nos solos, mesmo que em dosagens baixas, ano após ano, pode gerar a saturação de cátions, principalmente de potássio no complexo de troca dos solos, ocasionando problemas de lixiviação dos elementos para as águas subterrâneas.

A lixiviação de K^+ para a subsuperfície não é um problema ambiental, uma vez que o K^+ não é poluente de águas. O problema é que a alta concentração de K^+ favorece a formação de complexos químicos, que com carga neutra, são facilmente lixiviados. O complexo formado entre o K^+ e o NO_3^- é especialmente preocupante do ponto de vista ambiental porque o nitrato é grande poluente de águas.

Neste contexto, informações na literatura relacionadas com a dinâmica de cátions, características fisiológicas e variáveis tecnológicas da cana-de-

açúcar fertirrigada com vinhaça são escassas. Com o aumento da produção da cana-de-açúcar destinada a produção de álcool, há conseqüente aumento da produção deste resíduo, sendo necessário a realização de estudos que analisem os fatores citados. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o crescimento e o acúmulo dos nutrientes cálcio, magnésio, potássio, fósforo e nitrogênio na planta e as relações entre K:Ca+Mg, Ca:K, Mg:K, N:K e P:K, bem como suas implicações na produção e na qualidade para o processo industrial em cana-planta cv. RB92579 fertirrigada com vinhaça.

2.0 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) é uma das culturas mais importantes para economia do Brasil. O estado de Pernambuco tem como principal atividade agrícola a cana-de-açúcar, gerando com isto 120 mil empregos diretos e indiretos (Simões Neto, 2008).

A área colhida estimada atualmente com a cultura da cana-de-açúcar no Brasil é de 8,2 milhões de hectares, superior em 9,2% (681 mil hectares) à safra 2009/2010. Na região Nordeste o aumento estimado da área foi de 4,3% (46,3 mil hectares) maior do que a safra 2009/2010 (Conab, 2010).

Segundo dados da Conab (2010), a estimativa da produção nacional de cana-de-açúcar para a safra 2010/2011 destinada à indústria sucroalcooleira é de 664,30 milhões de toneladas, das quais 301,5 milhões de toneladas (45,4%) são para a fabricação de açúcar e 362,8 milhões de toneladas (54,6%) são para a produção de álcool. Estes resultados mostram um crescimento da produção nacional de 9,9% quando comparada à safra 2009/2010. No Nordeste, para a safra 2010/2011, o aumento na produção foi de 7,9% (4,77 milhões de toneladas) e para o estado de Pernambuco foi de 5,6% (aproximadamente 1,0 milhão de tonelada).

Quanto à produção de álcool nacional está sendo previsto 28.500 milhões de litros, aumento de 2737,0 milhões de litros em relação à da safra anterior.

2.2 Composição da vinhaça e alterações nos atributos químicos de solos fertirrigados

Este resíduo é um líquido proveniente do processo de destilação do álcool, de cor marron escuro. É produzida em muitos países do mundo, onde a obtenção do álcool é realizada por diferentes matérias-primas (cana-de-açúcar na América do Sul, beterraba na Europa e em outros continentes).

A quantidade produzida depende do rendimento da fermentação, ou seja, do teor alcoólico do mosto. Para cada litro de álcool são produzidos de 10 a 13 litros de vinhaça, cuja composição é bastante variável dependendo principalmente da composição do mosto, da variedade da cana-de-açúcar, do tipo de solo, das condições climáticas e espécie de levedura. O mosto de melaço é o mais rico e apresenta em média 0,57; 0,10; 3,95 kg m⁻³ de N, fósforo e potássio respectivamente. O mosto misto, que é produzido nas usinas com destilaria anexa, apresenta níveis com cerca de 0,48 de N, 0,09 de P, 3,34 de K⁺ e o mosto de caldo, produzido em destilarias autônoma, apresenta os níveis de NPK em kg m⁻³ de vinhaça, 0,28; 0,09; 1,29 respectivamente (Freire & Cortez, 2000). De modo geral, apresenta alto teor de matéria orgânica, potássio, água e teores médios de nitrogênio, cálcio, fósforo e magnésio (Penatti et al., 1988).

Atualmente, na visão de preservação ambiental vem sendo enfatizada e, em alguns casos, a aplicação de vinhaça tem sido contestada pelos seus impactos negativos no solo e nas águas subterrâneas (Silva et al., 2007). Entretanto, vários trabalhos na literatura destacam os efeitos positivos da aplicação de vinhaça sobre as características químicas do solo. Os resultados das pesquisas realizadas evidenciam o aumento nos valores de pH, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e principalmente potássio.

Em estudos desenvolvidos por Leal et al. (1983), os valores de pH aumentaram proporcionalmente as doses de vinhaça aplicadas, com variação de 6,4 para a testemunha até 8,5 para doses de 200 e 400 m³ ha⁻¹. Este incremento do pH do solo pode está relacionado ao processo de redução induzido pela vinhaça que promove o consumo de íons de H⁺ (Fontes, 1989).

Em relação ao potássio trocável do solo, vários estudos comprovaram que o aumento nos seus teores são proporcionais às doses de vinhaça aplicadas (Paula et al., 1999; Paulino et al., 2002). Resultados semelhantes foram constatados por Brito et al. (2005) para solos do estado de Pernambuco. Estudos desenvolvidos por Bébé (2007) mostraram que áreas fertirrigadas com vinhaça apresentaram teor de potássio trocável bastante superior a área que não foi aplicada vinhaça.

Em relação aos teores de cálcio e magnésio trocáveis em solos fertirrigados com vinhaça, Paula et al. (1999) verificaram que o aumento nos teores destes nutrientes, também foram proporcionais as doses de vinhaça

aplicadas, mas com valores bastante inferiores aos de potássio trocável, entretanto, Lo Monaco (2005) em estudos com fertirrigação em cafeeiro, com água residuária (água da lavagem e despolpa de café) com composição semelhante a vinhaça, evidenciou redução de cálcio e magnésio no solo em função das doses aplicadas.

Devido à dinâmica das reações de troca iônica nos solos, é importante considerar as interrelações entre K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , pois o excesso de um poderá prejudicar a adsorção dos outros e, conseqüentemente, influir diretamente nos processos de absorção pelas plantas (Orlando Filho et al., 1996). A interação entre potássio, cálcio e magnésio ocorre tanto nas plantas quanto no solo, sendo objeto de vários estudos. Dentre estes, o de Reis Júnior (2001) que avaliou a probabilidade de resposta da produção de cana-de-açúcar à adubação potássica em razão da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo. Segundo este autor, a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo pode ser classificada em baixa (<0,2547), média (0,2547 a 0,3349) e alta (>0,3349).

Estas relações foram obtidas a partir de trabalhos com adubação potássica mineral, portanto, para cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça, estudos que relacionam a interação com a probabilidade de resposta (produtividade) são escassos com a aplicação deste resíduo.

Sengik et al. (1988) trabalhando com doses de vinhaça em colunas de solo, encontraram acentuado desbalanceamento entre os cátions cálcio, magnésio e potássio no solo, com a aplicação de $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Os mesmos autores verificaram relação de 1,13:0,47:1 (Ca:Mg:K) para a camada superficial de Latossolo Vermelho amarelo distrófico e 1,15:0,67:1 para Podzólico vermelho amarelo câmbico distrófico. Entretanto, este estudo limitou-se ao efeito do desbalanceamento de Ca:Mg:K no solo sem contudo avaliar o efeito destas relações sobre o desenvolvimento, produção e qualidade industrial da cana-de-açúcar.

A vinhaça em sua composição além de nutrientes apresenta elevado teor de matéria orgânica resultando em incremento dos teores de carbono orgânico do solo. Segundo Cerri et al. (1988), os teores de ácidos fúlvicos da vinhaça é 10 vezes maior que os encontrados para ácidos húmicos. Os mesmos autores acrescentaram que 57,7% do C e 6,0% do N contido na vinhaça é proveniente de ácidos húmicos, resultando em uma C:N de 9,5.

2.3 Exigências nutricionais da cana-de-açúcar e as interações entre os nutrientes

A análise de acúmulo dos nutrientes pode ser uma ferramenta para medir a capacidade produtiva dos cultivares de cana-de-açúcar e suas adaptações a diferentes ambientes agrícolas. Aspectos como análise do solo, exigências nutricionais da cultura, assim como as quantidades de nutrientes extraídas pela cultura, são fundamentais para o estudo da adubação e principalmente para indicar as quantidades adequadas de nutrientes a serem fornecidas (Silva, 2007a). Estudos da concentração e do acúmulo de nutrientes em cultivo de cana-planta sob aplicação de vinhaça é fundamental para manejo adequado deste resíduo, aumento da produtividade, reduzir os custos de produção com economia de adubos potássicos e minimizar os riscos ambientais.

A cultura da cana-de-açúcar é muito exigente em nitrogênio e potássio. De acordo com Orlando Filho et al., (1983), para produzir 100 toneladas de cana, são necessários 143,0 kg de nitrogênio (N), 174,0 kg de potássio (K^+), 87,0 kg de cálcio (Ca^{2+}), 49,0 kg de magnésio (Mg^{2+}), 44,0 kg de enxofre (S) e 19,0 kg de fósforo (P).

Oliveira et al., (2010), em estudo com avaliação da dinâmica de nutrientes em 11,0 variedades de cana-planta, sob irrigação plena, verificaram extração média de 179,0; 25,0; 325,0; 226,0 e 87,0 kg ha⁻¹ de N, P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , respectivamente. Os mesmos autores acrescentaram que a exportação média de N, P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} pelo colmo das variedades irrigadas foi de 92,0; 15,0; 188,0; 187,0 e 66,0 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 51,0; 60,0; 58,0; 83,0 e 76,0% de todo o nutriente extraído na parte aérea da cana-planta. Dentre as cultivares mais exigentes em nutrientes, a RB92579 extraiu mais N, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} e menos K^+ .

A vinhaça, por apresentar elevado teor de K^+ , pode ser aplicada na fertirrigação, substituindo parcialmente ou totalmente os fertilizantes potássicos (Orlando Filho et al., 1983). A importância da adubação potássica é proveniente das funções do potássio na planta como participação de forma direta e indireta na fotossíntese, síntese protéica, manutenção do potencial osmótico de células e tecidos, translocação de carboidratos assimilados e aumento da resistência da planta ao frio e a doenças (Taiz & Zeiger, 2004). Neste contexto pode inferir

que é de fundamental importância o estudo da dinâmica dos nutrientes, principalmente K, Ca, Mg e N em cana-planta fertirrigada com vinhaça, devido a escassez de resultados de pesquisas que evidencie a extração e exportação destes nutrientes em cana-planta cultivada com aplicação deste resíduo.

Sengik et al. (1996), trabalhando com doses de vinhaça equivalentes a 50, 100, 200 e 400 m³ ha⁻¹ aplicadas em sorgo granífero cultivado em dois solos diferentes verificaram incrementos da área foliar, da matéria seca das raízes e da parte aérea, sendo os maiores valores verificados com a aplicação de 100 m³ ha⁻¹. Os mesmos autores acrescentaram que doses elevadas de vinhaça podem ocasionar salinização do solo e promover desbalanceamento catiônico e afetar a produção das plantas. Além disso, pode causar estresse osmótico e conseqüentemente estresse hídrico. Este se manifesta por um engrossamento e escurecimento dos tecidos verdes, redução na taxa de crescimento, murchamento temporário ou permanente (Freire, 1991).

Para o desenvolvimento adequado das culturas é necessário equilíbrio entre os nutrientes no solo. Dessa forma, doses elevadas de vinhaça, ou seja, alta quantidade de potássio pode acarretar o desequilíbrio catiônico no solo e afetar a absorção de outros nutrientes como cálcio, magnésio e nitrogênio pelas plantas (Zambelo Júnior, 1979; Gomes, 2003).

O nitrogênio e o potássio estão relacionados pela função do potássio na ativação da enzima redutase do nitrato. Viana (2007) avaliando a interação entre potássio e nitrogênio em trigo, verificou maior produção de matéria seca e de espigas devido ao maior aproveitamento do nitrogênio em presença do potássio.

Por ser o nutriente responsável pelo crescimento vegetativo, o suprimento de nitrogênio afeta o índice de área foliar, a produção de gemas, o perfilhamento e o teor de proteínas dos grãos. De acordo com Marschner (1995) o nitrogênio promove alterações na morfologia das plantas e em condições de alto suprimento deste nutriente, ocorre aumento na área foliar.

A interação entre os nutrientes K e N são bastante conhecidas. A maior absorção de potássio possibilita maior absorção de NH⁺₄, mantendo seu baixo teor na planta e evitando a toxidez. Silveira (2005) trabalhando com capim-Tanzânia em solução nutritiva verificou que o aumento de N promoveu uma redução no teor de K foliar. Ferragine (1998) e Batista (2002) observaram comportamento semelhante em *Brachiaria brizantha* (capim Marandu). Por

outro lado, Andrade et al., (1996) constataram que a aplicação de N na presença de potássio promoveu incremento na massa seca de *Panicum maximum* (capim Colonião), enquanto na ausência do K a resposta do N é limitada, evidenciando a forte relação existente entre os dois elementos. De modo geral, as pesquisas com adubação potássica e seus respectivos resultados estão associadas a adubação nitrogenada (Pereira, 2001).

Segundo Malavolta et al., (1997) a relação adequada de K:Mg na planta varia de 7 a 10. Assim, Pereira (2001) cita que relações superiores a esta pode induzir a sintomas de deficiência de Magnésio em gramíneas.

O magnésio é o elemento central da molécula de clorofila. Segundo Mengel & Kirkby (2001) apenas 15 a 20% do total de magnésio presente na planta está relacionado com esta função. Este nutriente também é responsável pela ativação de várias enzimas. A absorção deste elemento é fortemente afetada pela elevada concentração de potássio no solo ou quando o teor de magnésio é bastante baixo. O aumento de potássio no solo além de interferir na absorção poderá diminuir a disponibilidade fisiológica do magnésio (Consolmagno Neto, 2006).

Várias pesquisas evidenciaram que a elevação nos teores de K^+ no solo promovem decréscimo de Mg foliar. Paula et al. (1999) em estudos com aplicação de vinhaça em abacaxizeiro, observaram aumento no teor de K foliar e diminuição da concentração de Mg foliar. Entretanto, há escassez de estudos quanto a interferência do K contido na vinhaça sob a absorção de Mg pela cana-de-açúcar.

2.4 Efeito da aplicação de vinhaça nas características agroindustriais

A qualidade do caldo da cana-de-açúcar varia em função das variedades, do sistema de manejo (Souza et al., 2005) e também da nutrição mineral das plantas (Prado & Pancelli, 2006).

A aplicação de doses elevadas de vinhaça aumenta o teor de cinzas do caldo, prejudicando a cristalização do açúcar, reduzindo a pureza do caldo e dessa forma promove efeito negativo sobre a maturação da cana (Freire & Cortez, 2000). Os autores acrescentaram que ocorrem modificações na fisiologia da cana-de-açúcar tais como: redução nos teores de lignina, aumento do acamamento, aumento de cinzas e redução dos teores de sacarose.

Vários estudos destacam o aumento da produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça aplicadas. Paulino et al. (2002), em experimentos com doses de vinhaça, observaram as maiores produções agrícola e industrial com as doses de 300 e 400m³. Entretanto, Gómez & Rodriguez (2000) em trabalho com doses crescente de vinhaça, na Venezuela, verificou incremento na produtividade com a aplicação de 50 m³ em cana planta e 100 m³ em cana soca. Se por um lado aumenta a produtividade, por outro, pode afetar a maturação e reduzir os teores de açúcar do caldo diminuindo a produção de álcool.

Resultados de pesquisas sobre a influência da aplicação de vinhaça sobre a cultura da cana-de-açúcar no Nordeste e principalmente no estado de Pernambuco são escassos. Portanto, torna-se urgente, a execução de estudos que subsidiem os produtores de informações sobre o manejo eficiente da fertirrigação com vinhaça nessa cultura, uma vez que os dados existentes referem-se em sua grande maioria a trabalhos desenvolvidos no estado de São Paulo.

3.0 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O experimento foi conduzido em campo na Usina Santa Tereza, Engenho Terra Rica, Zona da Mata Norte do estado de Pernambuco, situada no município de Goiana-PE, com latitude de 7°33'38'' S, longitude de 35°00'09'' W.

O clima é classificado, segundo Koppen como Ams; tropical chuvoso de monção com verão seco, tendo uma precipitação anual média de 2.290 mm (Koffler et al., 1986). Na Figura 1 encontra-se a precipitação registrada durante o período de condução do experimento.

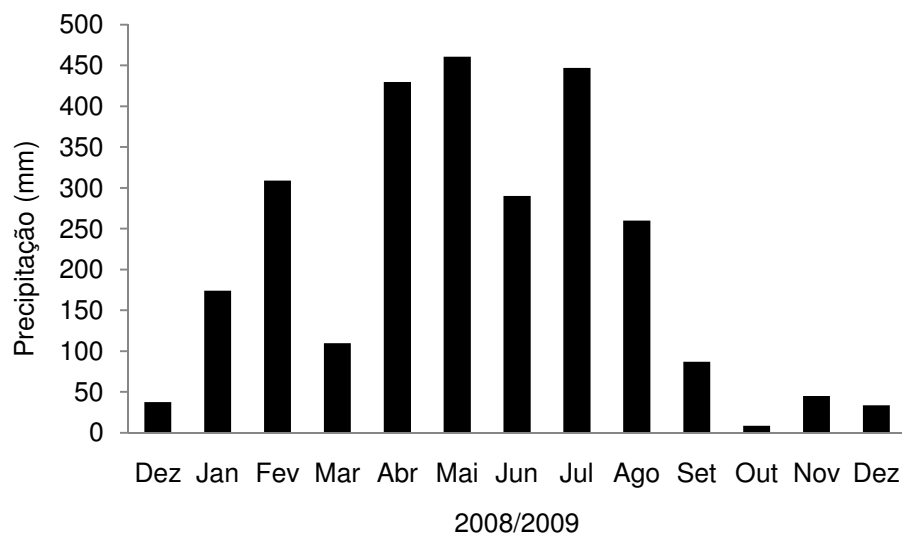


Figura 1. Precipitação registrada durante o período de condução do experimento.

3.2 Amostragem e caracterização do solo

A unidade experimental foi constituída de cinco linhas com 10 m de comprimento, espaçadas uma da outra por 1,00 m, com área útil de três linhas centrais retirando 1,0 m de cada lado, totalizando 24 m². Antes da instalação

do experimento, foram coletadas em cada unidade experimental amostras de Argissolo Amarelo distrófico (Embrapa, 2006) nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm para caracterização física e química (Tabela 1 e 2). Depois de coletadas, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha. Seguindo a metodologia descrita pela Embrapa (1997) foram determinados nas três profundidades: a composição granulométrica, a densidade de partícula pelo método do balão volumétrico, a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (Tabela 1).

Tabela 1. Características físicas do solo.

| Prof. cm | Ds ⁽¹⁾ kg dm ⁻³ | Dp | Areia | Silte | Argila | θ_{CC} ⁽²⁾ m ³ m ⁻³ | θ_{PMP} ⁽³⁾ m ³ m ⁻³ | Classe textural |
|-------------|--|------|--------|-------|--------|--|---|-----------------------|
| 0-20 | 1,39 | 2,65 | 693,90 | 65,00 | 241,10 | 0,19 | 0,11 | Franco argilo-arenosa |
| 20-40 | 1,38 | 2,61 | 668,10 | 51,00 | 281,90 | 0,19 | 0,11 | Franco argilo-arenosa |
| 40-60 | 1,37 | 2,67 | 564,00 | 49,00 | 387,00 | 0,20 | 0,13 | Argila arenosa |

(1) Densidade do solo. (2) Umidade do solo na capacidade de campo a 0,1 MPa. (3) Umidade do solo no ponto de murcha permanente a 1,5 MPa.

Aplicando a metodologia sugerida por Richards (1954), foram determinados os cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ extraídos com uma solução de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ a pH 7,0; H+Al extraído em solução de acetato de cálcio à pH 7,0 e Al^{3+} trocável extraído com uma solução de KCL 1 mol L⁻¹. Com estes valores foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V) das amostras de solo pelas equações: $CTC = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + Al^{3+} + H^+$ e $V = (Sb/CTC) * 100$ (Tabela 2).

Tabela 2. Características químicas do solo.

| Profundidade cm | Ca^{2+} | Mg^{2+} | K^+ | Na^+ | Al^{3+} | H^+ | CTC |
|--------------------|-----------|-----------|-------|--------|-----------|-------|------|
| 0-20 | 2,03 | 0,45 | 0,12 | 0,05 | 0,05 | 3,95 | 6,65 |
| 20-40 | 1,56 | 0,33 | 0,08 | 0,04 | 0,10 | 4,40 | 6,51 |
| 40-60 | 1,36 | 0,35 | 0,04 | 0,04 | 0,10 | 4,40 | 6,29 |

A caracterização química das amostras do solo para fins de fertilidade foi realizada segundo a Embrapa (1997): o pH das amostras de solo na relação solo:água (1:2,5), cálcio, magnésio e alumínio extraídos com a solução de KCl

1 mol L⁻¹; potássio, sódio e fósforo extraídos com a solução de duplo ácido (HCl a 0,05 mol L⁻¹+ H₂SO₄ a 0,0125 mol L⁻¹) (Tabela 3).

Tabela 3. Características químicas para fins de fertilidade do solo.

| Prof ⁽¹⁾ cm | pH | P mg dm ⁻³ | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ |
|---------------------------|------|--------------------------|---|------------------|------------------|----------------|-----------------|
| | - | | -----cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | |
| 0-20 | 6,20 | 18,00 | 0,05 | 1,89 | 0,56 | 0,13 | 0,05 |
| 20-40 | 5,70 | 4,90 | 0,10 | 1,65 | 0,47 | 0,08 | 0,04 |
| 40-60 | 5,30 | 1,80 | 0,10 | 1,50 | 0,26 | 0,05 | 0,04 |

3.3 Caracterização da vinhaça

A vinhaça utilizada foi coletada em um tanque de armazenamento contendo a vinhaça diluída com água de lavagem da cana da mesma Usina onde foi conduzido o experimento. A caracterização química da vinhaça (Tabela 4) foi realizada conforme metodologia descrita por Rodella (1983), utilizando digestão nitroperclórica e posteriormente a determinação de fósforo, cálcio, magnésio, sódio e potássio e para determinação de nitrogênio total foi utilizada a digestão sulfúrica.

Tabela 4. Características químicas da vinhaça.

| Amostra | pH | CE dS m ⁻¹ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | Ntotal |
|---------|-----|--------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|--------|
| | | | -----mg L ⁻¹ ----- | | | | |
| Vinhaça | 4,3 | 3,5 | 1297 | 634 | 426 | 77 | 380 |

3.4. Descrição dos tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados com seis doses de vinhaça (0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹) com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi a RB92579, maturação média, descrita por Simões Neto & Melo (2005) e cinco épocas de amostragem da cana-planta (120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio (DAP) para quantificar o teor e extração de nutrientes.

Esta cultivar, RB92579, foi utilizada neste estudo porque é um dos materiais que vem sendo introduzido em substituição as variedades existentes como por exemplo a SP79-1011 devido a sua maior produtividade e atualmente

é a mais plantada no Nordeste, ocupando 30% da área cultivada (Almeida et al., 2008).

Para avaliação do solo, a amostragem foi realizada aos 30 dias nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm após a aplicação de vinhaça.

3.5. Condução do experimento

Na correção da acidez do solo foi utilizado o calcário dolomítico na quantidade de 2 t ha⁻¹ baseada na recomendação para a cultura de cana-de-açúcar de acordo com a empresa Agroindustrial Santa Tereza. O calcário foi aplicado a lanço e em área total. O solo foi preparado com subsolagem e duas gradagens e em seguida realizada a abertura de sulcos com 30 cm de profundidade. Trinta dias após a aplicação do calcário foram aplicadas as doses de vinhaça no sulco de plantio, utilizando regador com volume de 10 L (Figura 2) (Silveira & Crocomo, 1990).



Figura 2. Tanque de armazenamento e aplicação da vinhaça.

Decorridos 7 dias da aplicação de vinhaça foi efetuada a adubação com 20 kg de N, 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ de acordo com o recomendação utilizada pela empresa Agroindustrial, e sem adição de potássio. Os adubos, superfosfato simples e uréia, foram adicionados no fundo do sulco de plantio colocando uma camada de solo para os sais provenientes do fertilizante nitrogenado não afetar a brotação das gemas e em seguida foi realizado o plantio (29 de dezembro de 2008) com toletes-semente contendo 3 gemas, totalizando 12 gemas por metro linear.

3.6. Análise na planta

3.6.1 Variáveis de crescimento

A avaliação da altura, diâmetro do colmo, número de folhas, comprimento e largura da folha +3 da cana-de-açúcar foi realizada a cada dois meses identificando 10 plantas aleatoriamente em cada unidade experimental. A altura do colmo foi mensurada com auxílio de fita métrica, partindo do solo até última região auricular visível da folha +1, segundo a numeração sugerida por Kuijper (Dillewijn, 1952).

As gemas brotadas e os perfilhos foram quantificados nas três linhas centrais, aos 30; 60 e 360 dias após o plantio (DAP), respectivamente.

A área foliar foi determinada pelo método Hermann & Câmara (1999) modificado por Morais (2004), multiplicando-se o valor de maior largura pelo maior comprimento e este pelo coeficiente de 0,75. A área foliar da folha + 3 de cada planta multiplicada pelo número de folhas representa a área foliar de cada planta.

As 10 plantas coletadas aleatoriamente na unidade experimental (aos 120, 180, 240, 300 e 360 DAP) foram separadas em folhas, folha +3, colmo e ponteiro e pesadas para obtenção da massa fresca e em seguida colocadas em sacos de papel e levadas para estufa a 65 °C para obtenção da massa seca após peso constante.

A partir da segunda coleta (180 DAP) os ponteiros e os colmos foram passados em forrageira retirando-se uma subamostra de aproximadamente 400 gramas para obtenção da massa fresca e seca.

3.6.2 Análise química da planta

A concentração dos nutrientes foi determinada na folha +3 (Gallo et al., 1962) coletada em 5 plantas da primeira linha e 5 plantas da quinta linha aleatoriamente, nas épocas de amostragem 120, 180, 240, 300. Aos 360 DAP as 10 plantas foram coletadas aleatoriamente na parcela útil e separadas em folhas, colmos e ponteiros. Após o preparo das amostras (secagem e moagem), foram determinados os teores de potássio, cálcio, magnésio, fósforo e nitrogênio segundo metodologia recomendada por Malavolta et al., (1997).

Para o Ca e o Mg nas folhas, colmo e ponteiro foram quantificados, os teores somente para as épocas 120, 180 e 360 DAP.

3.6.3. Extração e exportação de nutrientes da parte aérea

Com os dados de produção de massa seca e dos teores dos elementos na folhas, colmo e ponteiro foram quantificados os conteúdos extraídos pela planta. A exportação de Ca, Mg, K, P e N foi encontrada a partir da matéria seca e da concentração destes nutrientes no colmo. Para Ca e Mg das folhas, colmos e ponteiros foram calculadas as extrações somente para as épocas 120, 180 e 360 DAP.

3.7. Variáveis industriais

Para avaliação das características tecnológicas da cana-de-açúcar, durante a colheita foram retirados, aleatoriamente, 10 colmos seguidos na parcela útil, eliminando-se o ponteiro e a palha. Após identificação, os colmos foram aglomerados, e enviados para o Laboratório da Usina Santa Tereza, em Goiana, Pernambuco, para determinação de: Brix, percentagem de sacarose no caldo (Pol, % no caldo) e Fibra (%) segundo as normas preconizadas pelo Consecana (2006). De posse dos resultados, procederam-se os cálculos da pureza aparente, percentagem de sacarose na cana (Pol, % na cana), percentagem de açúcares redutores na cana (AR, % na cana), e açúcar total recuperável (ATR) expresso em kg t^{-1} .

A produtividade foi avaliada por pesagem em campo com o auxílio de um dinamômetro durante a colheita da cana-de-açúcar na parcela útil e posteriormente calculada para um hectare.

3.8 Análise química do solo

Foram coletadas amostras de solo aos 30 dias após a aplicação de vinhaça nas profundidades 0-20; 20-40; 40-60 cm e próximo aos 20 cm da planta. As determinações foram: pH (1:2,5), cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) extraídos em acetato de amônio 1 mol L^{-1} a pH 7,0 (Richards, 1954), e fósforo disponível utilizando metodologia da Embrapa (1997).

3.9 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância e ajustados modelos de regressão que melhor descreveram o comportamento das variáveis em função das doses de vinhaça em cada tempo e algumas variáveis em função do tempo para cada dose, considerando coeficientes significativos a 5% de probabilidade a partir do programa SAEG (2009).

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Brotação e perfilhamento

O plantio foi realizado com aproximadamente 12,0 gemas por metro linear, no entanto, o número de gemas brotadas por metro linear variou de 7,0 (sem vinhaça) a 10,0 (com a aplicação da dose 320 m³ ha⁻¹) aos 30 DAP. Aos 60 DAP houve aumento no número de perfilhos e aos 360 DAP os valores mantiveram próximos dos encontrados aos 30 DAP com 7,0 a 11,0 plantas por metro linear. A brotação de gemas e perfilhamento foi influenciada pela maior umidade proporcionada pela precipitação de aproximadamente 150 mm. Almeida et al. (2008) avaliando cultivares de cana-de-açúcar, em Alagoas, encontrou que a cultivar RB92579, cana-planta apresentou o maior número de plantas variando entre 13,2 e 27,6 plantas por metro quadrado aos 30 e 360 DAP, respectivamente.

Na Figura 3 pode-se observar ajuste quadrático do número de gemas brotadas em função das doses de vinhaça aos 30 DAP e linear para 60 e 360 DAP. Verifica-se também que a vinhaça promoveu aumento do número de plantas até a dose de 320 m³ ha⁻¹ e tendência de decréscimo a partir desta dose.

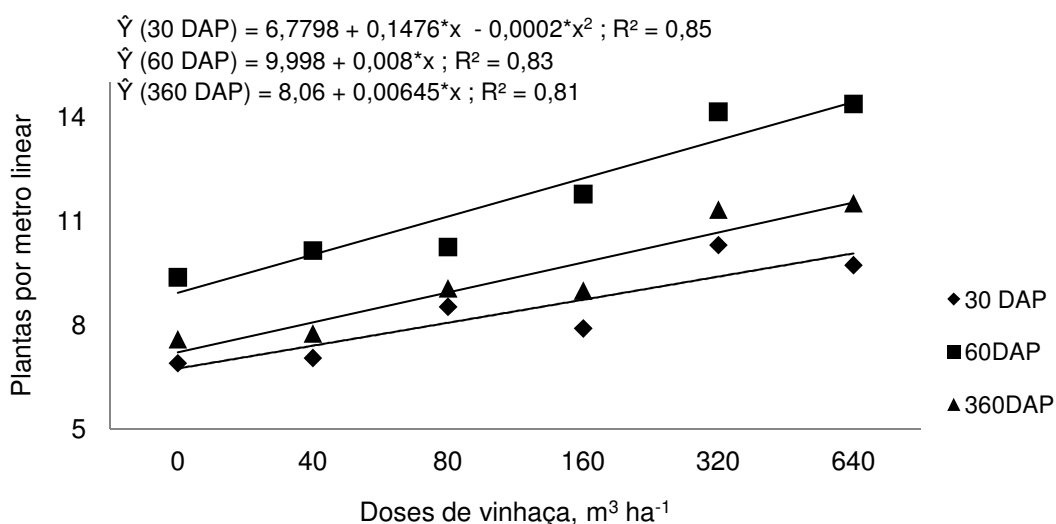


Figura 3. Número de plantas por metro linear em função das doses de vinhaça aos 30, 60 e 360 dias após o plantio (DAP).

A vinhaça pode ter favorecido a manutenção da umidade no solo promovendo possivelmente maior perfilhamento em relação ao tratamento sem

aplicação do resíduo (testemunha). Resultados semelhantes foram verificados por Silva (2007a) constatando que entre os cultivares de cana avaliados, a RB92579, a RB867515 e a SP79-1011 tiveram máximo perfilhamento aos 60 DAP, enquanto nos cultivares RB72454, RB855113, RB93509 e Co997 esse pico ocorreu aos 120 DAP. Trabalhando com cana-planta cultivar RB75126, no Estado de Alagoas, Santos et al. (2006) verificaram maior perfilhamento aos 120 DAP.

Com a aplicação da dose $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça que equivale a aproximadamente 768 kg ha^{-1} de potássio não foi verificado nenhum dano a brotação da cana-planta em relação ao tratamento sem vinhaça devido a diluição da vinhaça com a elevada precipitação ocorrida nos meses de janeiro e fevereiro. Por outro lado, Otto et al. (2010) avaliando doses de potássio (fonte: KCl) de 0 a 200 kg ha^{-1} , verificaram aumento do perfilhamento com as doses de KCl até 130 kg ha^{-1} e redução com doses superiores a esta, atribuindo esta redução ao excesso de sais no sulco de plantio.

4.2 Altura, diâmetro e área foliar da cana-planta

4.2.1 Altura

A relação entre a altura da cana-planta em função das épocas para todas as doses estudadas foi testada e os resultados estão apresentados na Figura 4. Aos 60 DAP a altura das plantas foi de 16,0 a 28,0 cm para as doses 0 e $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça, respectivamente, evidenciando que a maior dose de vinhaça promoveu aumento de 42% na altura da cana-planta quando comparado com o tratamento que não recebeu vinhaça. O período compreendido dos 60 aos 180 DAP foi caracterizado como a fase de crescimento mais acelerado da cana-planta, pois houve aumento dos valores da altura de aproximadamente cinco vezes, aos 180 DAP, em relação a altura dos 60 DAP para todas as doses. Este resultado, provavelmente está associado a elevada disponibilidade hídrica ocorrida na área experimental com registro de precipitação maior do que 1.300 mm. Valores inferiores ao encontrado no presente estudo foram verificados por Silva (2007a). O autor comenta que os resultados encontrados foram devido a baixa precipitação ocorrida na fase inicial de crescimento da cana-planta, destacando a importância da disponibilidade hídrica como fator primordial ao crescimento das cultivares. Barbieri (1981) cita que além da disponibilidade hídrica, o

crescimento da cana-de-açúcar está relacionado com a temperatura ambiente, sendo que a brotação ótima ocorre na temperatura de 32°C, e paralisa quando a temperatura é inferior a 20°C.

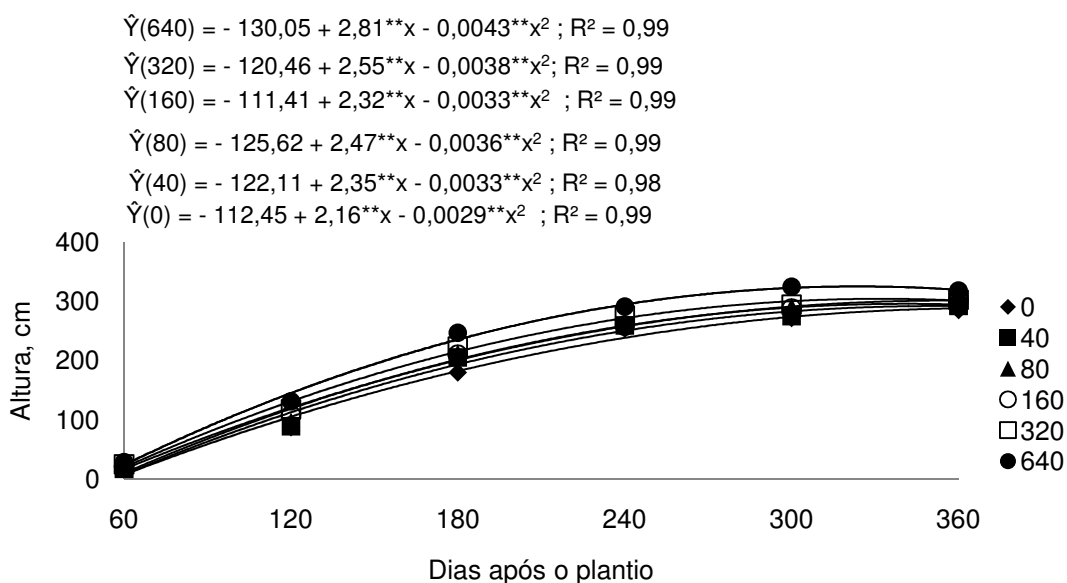


Figura 4. Altura da cana-planta (cm) em função da época de coleta 60, 120, 180, 240, 300 e 360 DAP para as doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹.

Analisando a altura das plantas em função das doses para cada época separadamente (Figura 5) pode-se observar que as doses de vinhaça aplicadas promoveram aumento na altura das plantas com ajuste da variável a modelos de regressão linear para todas as épocas: 60, 120, 180, 240, 300 e 360 DAP. Este aumento pode ter sido promovido pelo K presente na vinhaça e pela precipitação registrada durante o período experimental. O K é responsável pela ativação enzimática no processo de transporte do nitrogênio e que conseqüentemente, promove o crescimento e desenvolvimento celular, conferindo aumento dos tecidos das plantas (Stromberger et al., 1994).

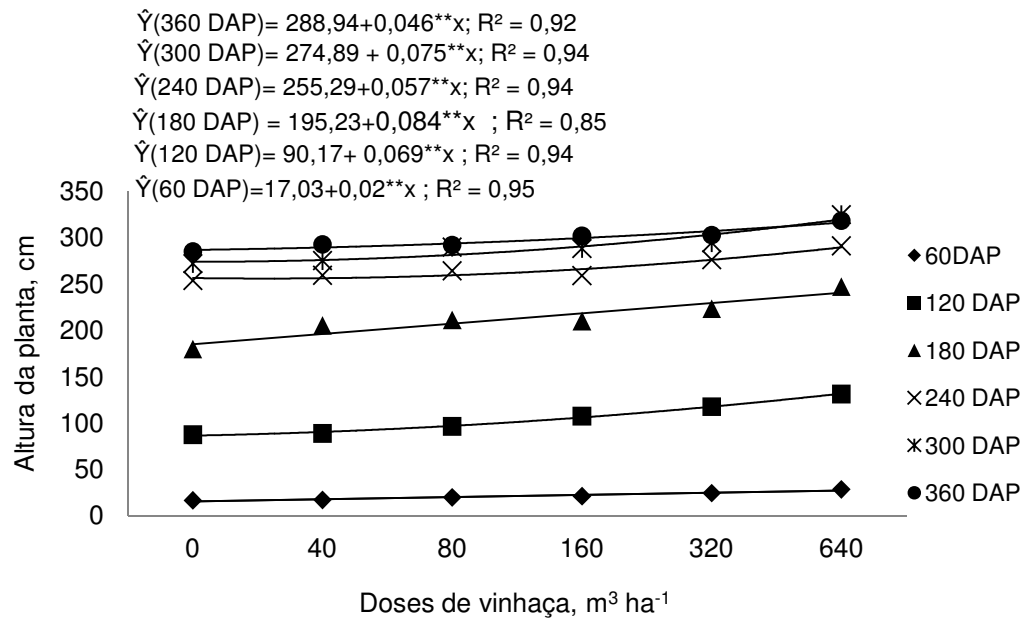


Figura 5. Altura da cana-planta (cm) em função das doses de vinhaça aos 120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio (DAP).

4.2.2 Diâmetro

Para o diâmetro do colmo observou-se ajuste dos valores ao modelo quadrático somente para 60 DAP, constatando aumento desta variável com as doses até 320 m³ ha⁻¹ e tendência de manter-se constante com a dose de 640 m³ ha⁻¹ (Figura 6).

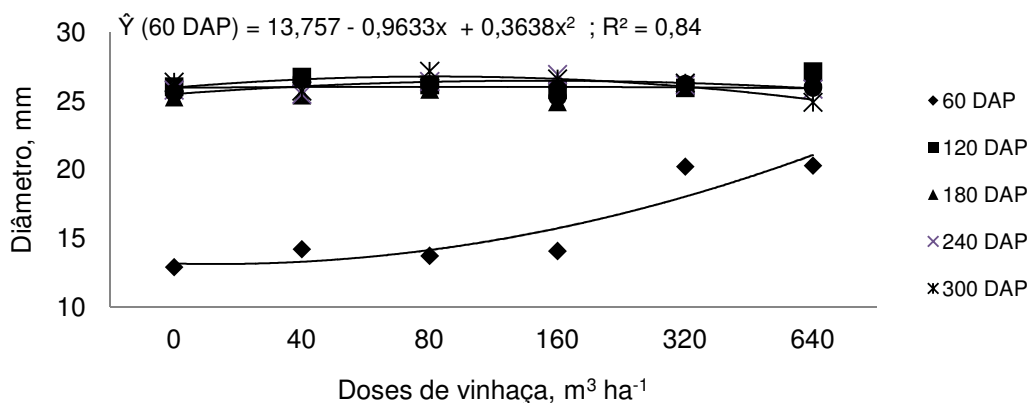


Figura 6. Diâmetro do colmo (mm) em função das doses de vinhaça, aos 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio (DAP).

Entretanto, para as demais épocas avaliadas não houve modelos de regressão significativos. O diâmetro variou de 13 a 20 mm aos 60 DAP e dos 180 DAP em diante, os valores foram de 25 a 27 mm. Este comportamento

indica que a partir dos 120 DAP houve alongamento do colmo da cana-planta sem necessariamente aumentar o diâmetro devido a elevada umidade e disponibilidade de nutrientes no solo. O que pode ter influenciado nestes resultados foi a metodologia empregada para medir o diâmetro, que foi realizado no entrenó do meio do colmo da cana-planta. Avaliando diferentes cultivares, Silva (2007a) relatou que houve aumento no diâmetro dos colmos, independente da cultivar estudada, para todas as épocas analisadas (30, 60, 120, 180, 240, 300 e 360 DAP). Este mesmo autor encontrou valores do diâmetro do colmo de 12,6; 16,7; 19,5; 22,8; 23 e 24,1 mm aos 60, 120, 180, 240, 300 e 360 DAP, respectivamente. Ainda acrescentou que as cultivares RB92579, Co997 e SP 79-1011 apresentaram os menores diâmetros aos 360 DAP (24,1 a 25,7 mm) atribuindo este resultado ao maior número de perfilhos na fase final do cultivo. Por outro lado, Oliveira (2008) em pesquisa com cana-planta irrigada verificou diâmetro do colmo, para a cultivar RB92579, valores inferiores a 24 mm ao final de 360 DAP. Felipe (2008) avaliando a influência da adubação com NPK e a época de plantio da cana-planta SP79-1011, observou que não houve efeito significativo da adubação para o diâmetro do colmo, cujos valores situaram na faixa de 23,6 a 24,8 mm.

4.2.3. Índice de área foliar

Observou-se aumento do índice de área foliar (IAF) com as doses de vinhaça com ajuste dos valores ao modelo linear (180 DAP) e quadrático para as demais épocas (Figura 7). Pode-se verificar que a vinhaça, por conter nutrientes em sua composição, promoveu aumento no IAF que está intimamente relacionado ao número de plantas por hectare e a área foliar de cada planta. O valor máximo de IAF encontrado de 9,75 com a dose de 640 m³ ha⁻¹ de vinhaça foi verificado aos 180 DAP. Por outro lado, Farias et al. (2008), em estudo com a cultivar RB79-1011 na Paraíba, verificaram valor máximo de IAF de 6,82, observado em torno dos 152 DAP sob irrigação e para a condição de sequeiro de 6,80 aos 157 dias após o plantio.

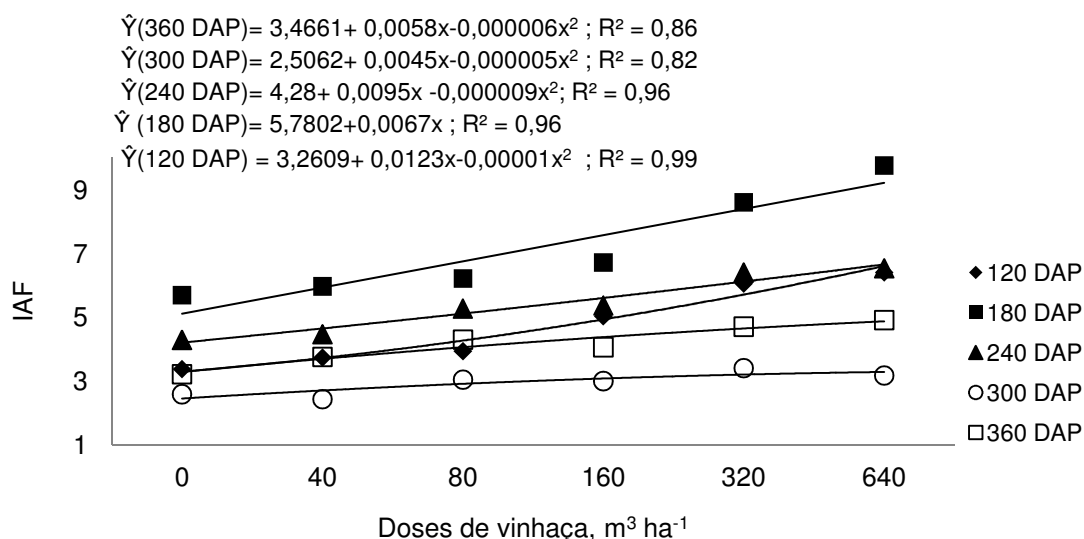


Figura 7. Índice de área foliar da cana-planta em função das doses de vinhaça aos 120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio.

4.3 Massa seca da parte aérea (folhas+colmos+ponteiros)

Na Figura 8, pode-se observar ajuste ao modelo quadrático, com aumento da massa seca da parte aérea (colmo, folhas e ponteiro) em função das doses de vinhaça aplicadas em todas as épocas avaliadas.

A massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas, sob aplicação das doses 0, 40, 80, 160 e 320 m³ ha⁻¹ de vinhaça, aos 120 DAP, representou 37; 42; 50; 62; 91% da MSPA da cana sob aplicação da dose de 640 m³ ha⁻¹, respectivamente. Apesar de 640 m³ ha⁻¹ ser o dobro da dose de 320 m³ ha⁻¹, o aumento na MSPA foi de apenas 9%, aos 120 DAP. De modo geral, observou-se incremento de MSF até os 300 DAP e manteve-se constante aos 360 DAP. Para a MSP, o aumento foi crescente até os 240 DAP e a partir deste período houve diminuição nos valores (Figuras 9, 10, 11, 12 e 13). Enquanto os resultados para a MSC foram diferentes, houve aumento até o momento da colheita. Estes valores indicam que na cana-de-açúcar ocorre o alongamento do colmo em condições de elevada disponibilidade de água e nutrientes, principalmente do K presente na vinhaça.

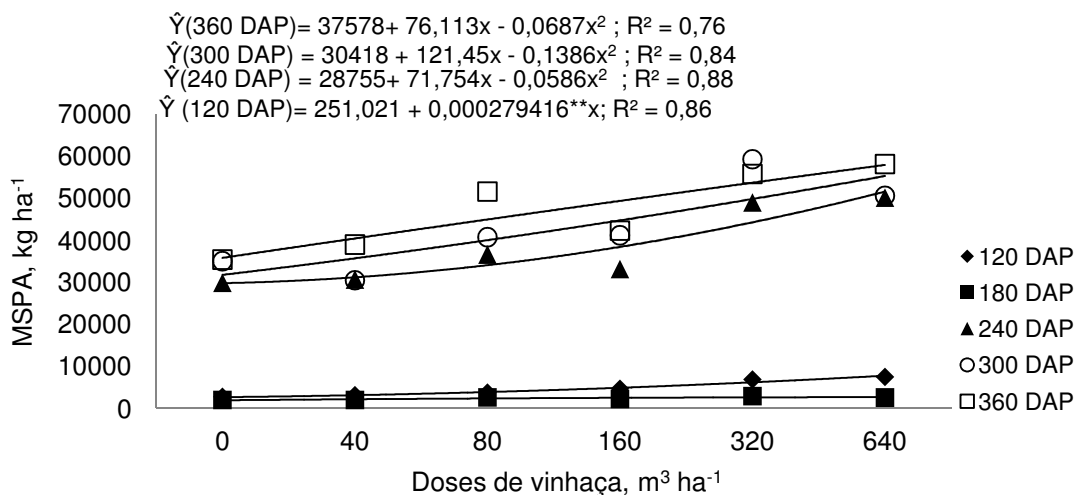


Figura 8. Acúmulo de massa seca da parte aérea (MSPA, colmo + folhas + ponteiro) em função das doses de vinhaça, aos 120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio (DAP).

Mendes (2006) em experimento com avaliação das cultivares de cana-de-açúcar RB72454, RB835486, RB867515, RB855536, RB928064, SP80-1816, SP80-1842 e SP80-3280, verificou que o acúmulo de massa seca ao final do cultivo oscilou de 22.500 a 33.300 kg ha⁻¹. Para a cultivar RB92579, Silva (2007) verificou acúmulo de massa seca total de 29.970 kg ha⁻¹. No presente estudo, com a cultivar RB92579 verificou-se valores da MSPA de 2.760 a 7.500; 14.130 a 31.850; 29.910 a 50.150; 35.050 a 50.650 e 35.420 a 58.170 kg ha⁻¹ aos 120, 180, 240, 300 e 360 DAP, respectivamente. O aumento no acúmulo de massa seca em função das doses de vinhaça pode estar relacionado à maior quantidade de potássio aplicada via resíduo e de outros nutrientes disponíveis como N, P e Ca, além da precipitação suficiente para o desenvolvimento vegetativo e da cultivar RB92579, considerada por vários estudiosos como uma das variedades com maior acúmulo de massa seca (Silva, 2007a; Moura Filho et al., 2008; Oliveira, 2008). Almeida et al. (2008) avaliando cultivares de cana planta e soca encontraram massa seca de colmo de 53.000 e 35.000 kg ha⁻¹ para a cv. RB92579, respectivamente. Aumento de massa seca em cana-de-açúcar também foi observado por Shukla et al. (2009) com fertirrigação de 66 kg ha⁻¹ de potássio em cana soca em relação a cana não fertirrigada. Estes resultados indicam que o acúmulo de massa seca

depende de vários fatores, principalmente da cultivar, da época de colheita e da disponibilidade de nutrientes.

Relacionando a MSC e MSF em função das doses de vinhaça nota-se ajuste ao modelo de regressão quadrático aos 120 DAP (Figura 9). Foi constatado aumento de massa seca destas partes da cana de acordo com o volume de vinhaça aplicado, com valores de 2410 a 6860 para MSC; 230 a 400 kg ha⁻¹ para MSF e 120 a 240 kg ha⁻¹ para MSP aos 120 DAP. Para as demais épocas de amostragem, o comportamento da MSC, MSF e MSP foram aproximadamente semelhantes, com maior acúmulo de massa seca no colmo, folhas e ponteiro, respectivamente (Figuras 10, 11, 12 e 13).

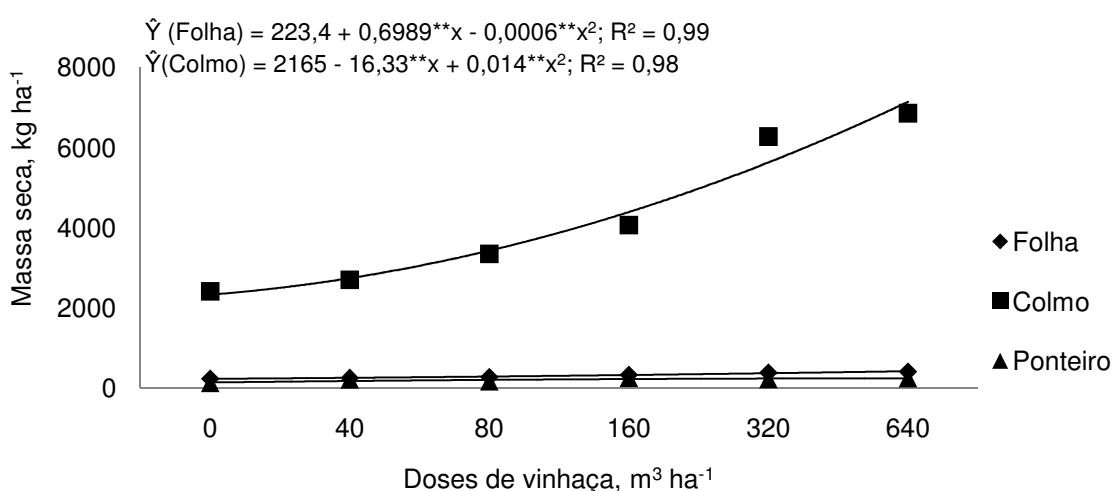


Figura 9. Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 120 dias após o plantio (DAP).

Era de se esperar maior massa seca das folhas e ponteiro e menor no colmo aos 120 e 180 DAP. Provavelmente, a precipitação ocorrida desde o plantio até 180 DAP favoreceu o desenvolvimento vegetativo da cana e repercutiu nos resultados, sendo alguns diferentes da literatura.

Resultados diferentes foram obtidos por Silva (2007a) em cultivares estudadas na região do Estado de Alagoas, que verificou maior acúmulo de massa seca no ponteiro (1.130 kg ha⁻¹) e menor na folha (330 kg ha⁻¹), atribuindo este fator ao lento desenvolvimento da cana-de-açúcar dos 60 aos 180 DAP. De acordo com Oliveira et al. (2007), a variação no acúmulo de massa seca da cana-de-açúcar depende da fisiologia da planta e principalmente da cultivar utilizada. Além disso, a não ocorrência de estresse

hídrico favorece uma taxa de crescimento foliar constante e promove o alongamento do colmo (Oliveira, 2008).

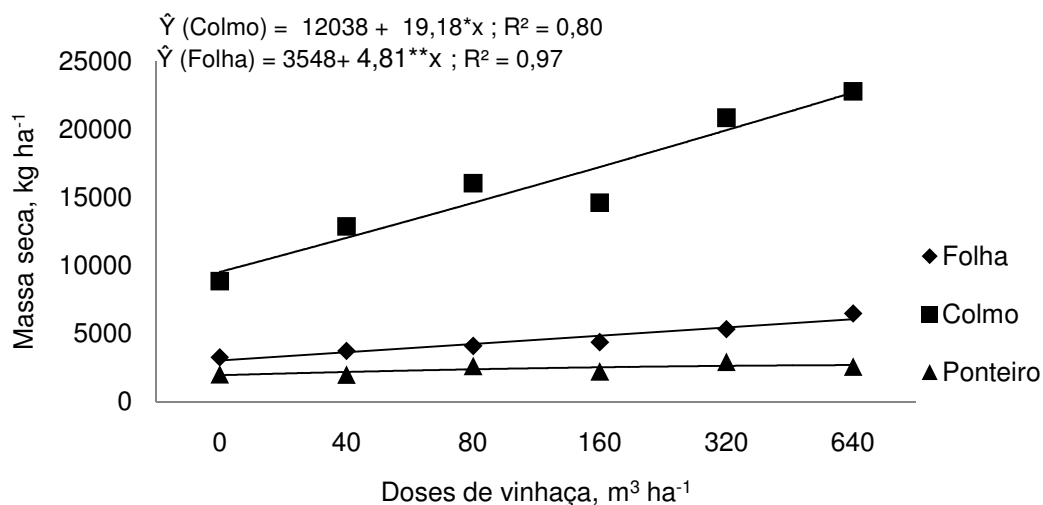


Figura 10. Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 180 dias após o plantio (DAP).

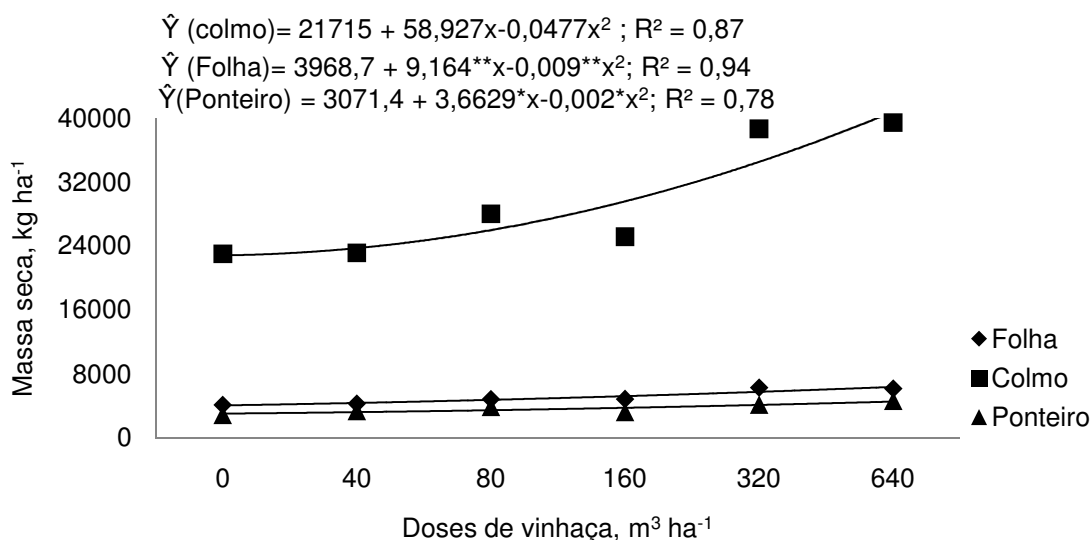


Figura 11. Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 240 dias após o plantio (DAP).

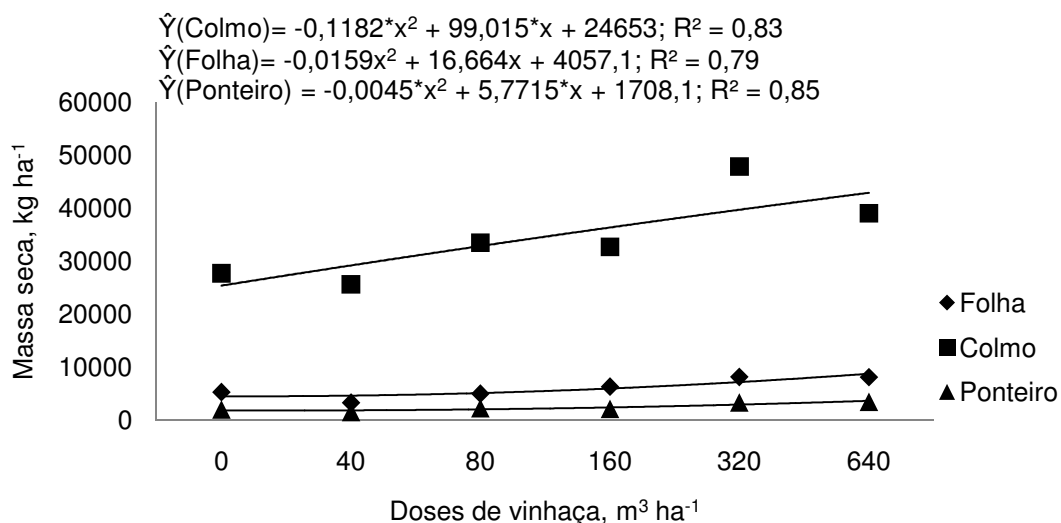


Figura 12. Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 300 dias após o plantio (DAP).

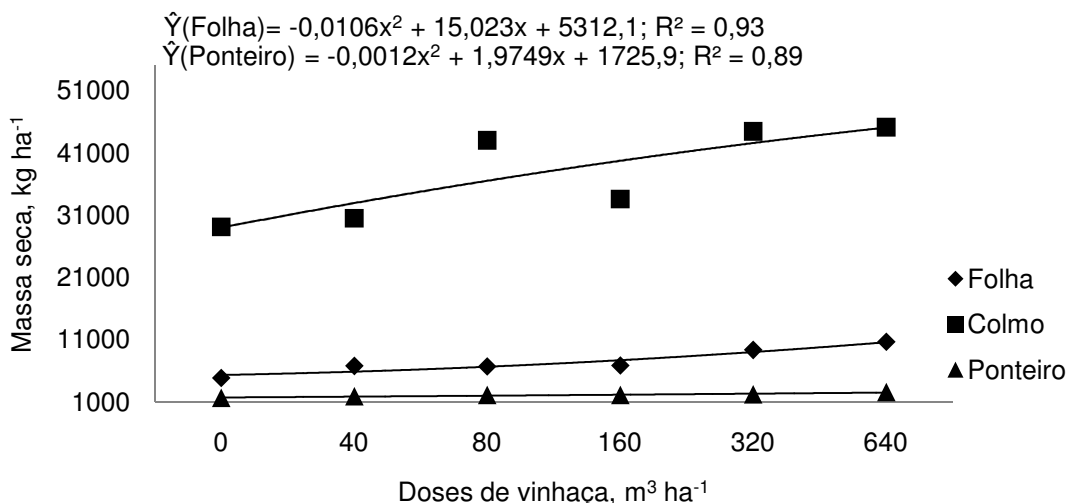


Figura 13. Acúmulo de massa seca do colmo (MSC), folhas (MSF) e ponteiro (MSP) em função das doses de vinhaça, aos 360 dias após o plantio (DAP).

4.3 Produtividade

A produtividade da cana-planta em função das doses de vinhaça ajustou-se ao modelo linear de regressão (Figura 14). O incremento real de produtividade foi de 36; 28; 23; 13 e 8 t ha⁻¹ de cana com aplicação das doses de 640, 320, 160, 80 e 40 m³ ha⁻¹ em relação a dose 0, respectivamente. Vários fatores podem ter contribuído para o incremento da produtividade. Dentre estes, o aporte de potássio pode ser um dos mais importantes, pois a cana-de-açúcar responde intensamente à sua aplicação (Rossetto et al., 2008). As

doses crescentes de vinhaça aumentaram o teor de K^+ no solo. Este fato é provavelmente explicado pelo baixo teor de potássio no complexo de troca quando comparado com o do cálcio e magnésio (Tabela 2).

Paulino et al. (2002), com aplicação de doses de vinhaça na cultivar RB78-5148, obtiveram maiores produtividades com a aplicação de 300 e 400 $m^3 ha^{-1}$ com 110 $t ha^{-1}$ enquanto doses superiores a estas diminuíram a produtividade. Bono & Almeida (2010) em estudo com doses de vinhaça aplicadas na cultivar RB85-5536 observaram incremento de até 20 $t ha^{-1}$ de colmo com a dose de 619 $m^3 ha^{-1}$ de vinhaça.

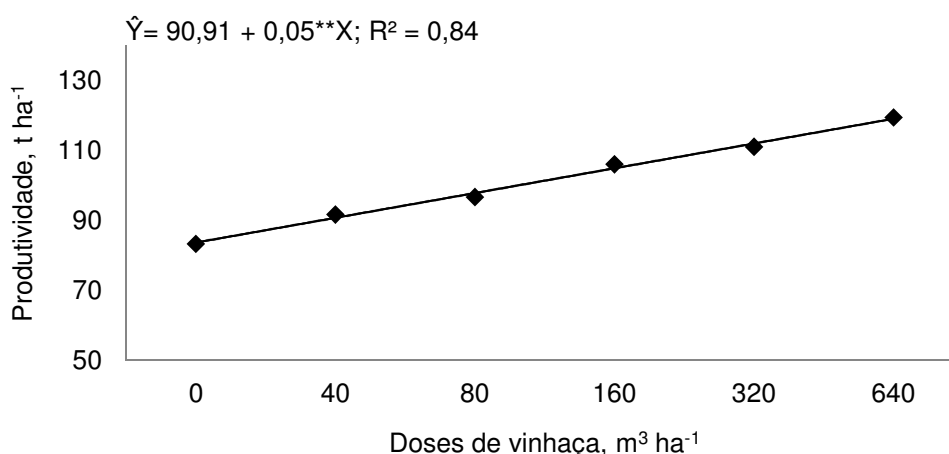


Figura 14. Valores das médias de produtividade ($t ha^{-1}$) da cana-planta, em função das doses de vinhaça.

Pesquisas recentes com doses de vinhaça em solos cultivados com cana-de-açúcar cultivar RB92579 são escassas. Silva (2007a) avaliando cultivares de cana-de-açúcar em Alagoas, verificou uma produtividade de 84,13 $t ha^{-1}$ para a cultivar RB92579. Entretanto, Oliveira et al. (2010) em experimento com variedades de cana-planta sob irrigação plena observaram para a RB92579 produtividade de 256 $t ha^{-1}$ de colmos.

Rossetto et al. (2008) relatou que em 15 experimentos com utilização de doses de K em cana-de-açúcar foi evidenciado produtividade máxima com 177 $kg ha^{-1}$ de K, embora a partir de 70 $kg ha^{-1}$ o incremento não ultrapassou 1 $t ha^{-1}$ de cana. Enquanto Silva et al. (2009) com aplicação de 222 $kg ha^{-1}$ verificaram maior produtividade (111,11 $t ha^{-1}$) do que com a aplicação de 41 $kg ha^{-1}$ de K_2O . Adicionalmente, Otto et al. (2010) destacaram o efeito favorável do K^+ na produtividade de colmos da cana-de-açúcar com doses de até 150 kg

ha⁻¹ de K₂O aplicado de uma única vez, ocorrendo decréscimo com a dose de 200 kg ha⁻¹.

4.5 Concentração e extração de nutrientes pela cana-planta

4.5.1 Nitrogênio

Observou-se ajuste de modelo de regressão linear e quadrática dos teores de N na folha, colmo e ponteiro em função da época de coleta, 120, 180, 240, 300 e 360 DAP para cada dose separadamente (Figura 15).

O teor de N na folha, no colmo e no ponteiro apresentou comportamento semelhante, com tendência de decréscimo dos teores ao longo do tempo (Figura 15). Acredita-se que este resultado ocorreu devido ao efeito conhecido por diluição, uma vez que a produção de massa seca é mais intensa que a absorção e acúmulo do nutriente (Oliveira, 2008). No período compreendido do plantio até 240 DAP houve condições de umidade e temperatura favoráveis ao desenvolvimento vegetativo da cana, que levou a diluição dos nutrientes nas folhas, colmo e ponteiro, principalmente nos tratamentos com utilização da vinhaça.

As médias dos teores de N aos 120 DAP, independente das doses de vinhaça, foram: 1,26 a 1,42; 1,76 a 2,03; 0,37 a 0,55; 0,73 a 0,81 dag kg⁻¹ para folha, folha+3, colmo e ponteiro, respectivamente (Tabela 5). De acordo com Malavolta et al., (1997) o teor ideal de N na folha +3 em cana-planta aos 120 DAP é de 1,9 a 2,1 dag kg⁻¹. Entretanto, Reis Júnior (1999) avaliando a mesma folha e na mesma época de amostragem, propôs que o valor ideal de N foliar é 1,34 dag kg⁻¹. Dessa forma, os valores encontrados no presente estudo estão todos dentro da faixa considerada adequada para este autor, tornando evidente que a aplicação de vinhaça, mesmo em doses acima de 300 m³ha⁻¹ não afetou a concentração de nitrogênio na folha+3. Apesar do decréscimo da concentração de N com o ciclo da planta, houve aumento no acúmulo de N no colmo com as doses de vinhaça e na folha até a dose de 320 m³ ha⁻¹ e tendência de redução com a dose de 640 m³ ha⁻¹ aos 120 DAP e 360 DAP (Figura 16 e 20). Aos 180 e 300 DAP, a quantidade de N acumulada pela folha foi próxima a do colmo (Figura 17, 18 e 19). Este resultado ocorreu porque a concentração de N da folha é maior do que a do colmo.

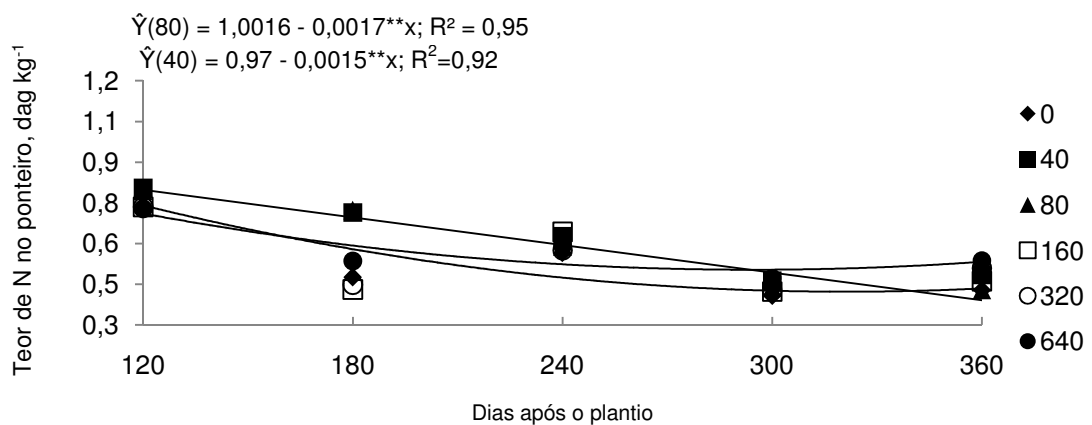
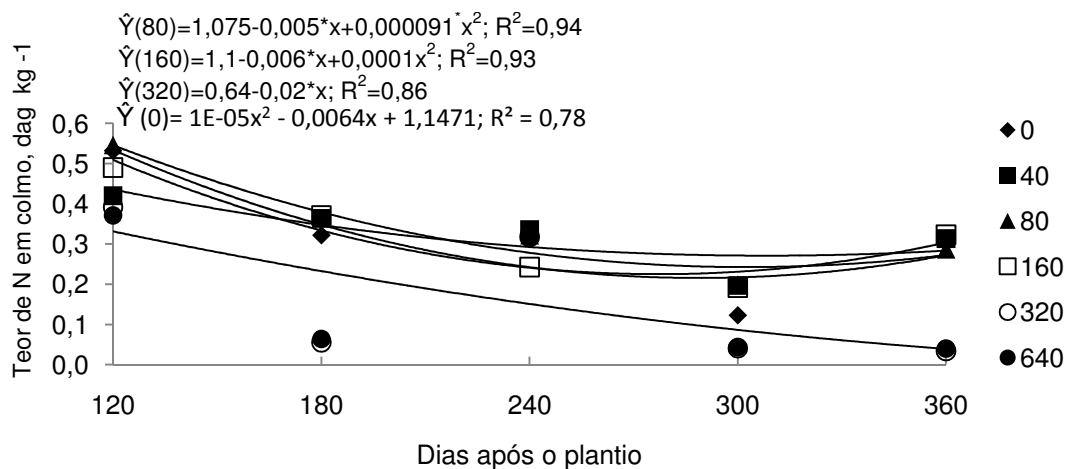
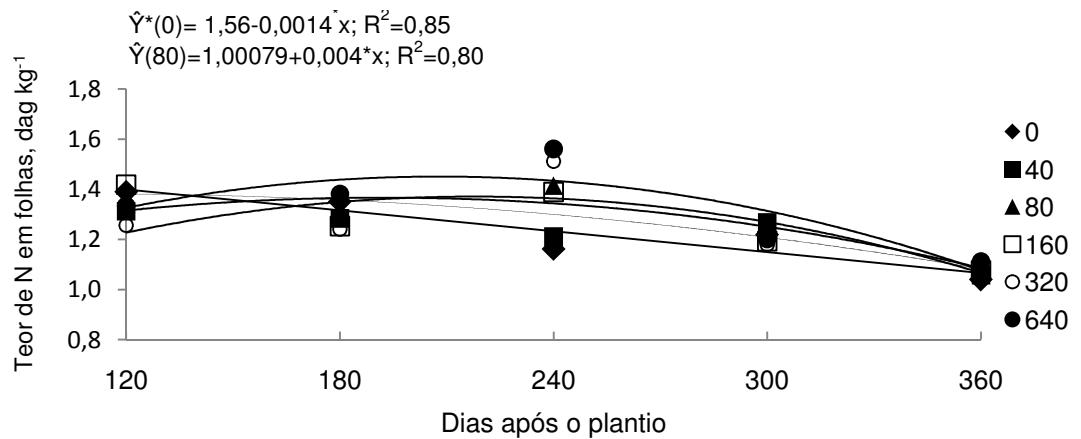


Figura 15. Teor de nitrogênio (N) em folhas, colmo e ponteiro em função das épocas de avaliação para as doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹.

Apesar do decréscimo da concentração de N com o ciclo da planta, houve aumento no acúmulo de N no colmo com as doses de vinhaça e na folha até a dose de 320 m³ ha⁻¹ e tendência de redução com a dose de 640 m³ ha⁻¹.

aos 120 DAP e 360 DAP (Figura 16 e 20). Aos 180 e 300 DAP, a quantidade de N acumulada pela folha foi próxima a do colmo (Figura 17, 18 e 19). Este resultado ocorreu porque a concentração de N da folha é maior do que a do colmo.

Tabela 5. Teor de nitrogênio em folha, folha+3, colmo e ponteiro em função de doses de vinhaça aos 120, 180, 240, 300 e 360 DAP.

| Doses de vinhaça m ³ ha ⁻¹ | Nitrogênio | | | |
|---|---------------------------------|------|-------|----------|
| | Folha | F+3 | Colmo | Ponteiro |
| 120 DAP | | | | |
| | -----dag kg ⁻¹ ----- | | | |
| 0 | 1,39 | 1,76 | 0,53 | 0,78 |
| 40 | 1,31 | 1,81 | 0,42 | 0,81 |
| 80 | 1,34 | 2,03 | 0,55 | 0,79 |
| 160 | 1,42 | 1,90 | 0,49 | 0,74 |
| 320 | 1,26 | 1,89 | 0,39 | 0,74 |
| 640 | 1,33 | 1,94 | 0,37 | 0,73 |
| 180 DAP | | | | |
| 0 | 1,35 | 2,18 | 0,32 | 0,48 |
| 40 | 1,28 | 2,18 | 0,36 | 0,71 |
| 80 | 1,28 | 2,14 | 0,36 | 0,72 |
| 160 | 1,25 | 2,11 | 0,37 | 0,43 |
| 320 | 1,24 | 2,06 | 0,40 | 0,45 |
| 640 | 1,38 | 2,23 | 0,44 | 0,54 |
| 240 DAP | | | | |
| 0 | 1,16 | 1,73 | 0,33 | 0,57 |
| 40 | 1,21 | 1,97 | 0,34 | 0,63 |
| 80 | 1,41 | 1,95 | 0,32 | 0,59 |
| 160 | 1,39 | 2,17 | 0,24 | 0,64 |
| 320 | 1,51 | 1,95 | 0,19 | 0,58 |
| 640 | 1,56 | 2,11 | 0,22 | 0,59 |
| 300 DAP | | | | |
| 0 | 1,22 | 1,44 | 0,12 | 0,41 |
| 40 | 1,27 | 1,51 | 0,20 | 0,46 |
| 80 | 1,24 | 1,48 | 0,20 | 0,44 |
| 160 | 1,19 | 1,52 | 0,19 | 0,42 |
| 320 | 1,18 | 1,58 | 0,20 | 0,43 |
| 640 | 1,20 | 1,61 | 0,30 | 0,47 |
| 360 DAP | | | | |
| 0 | 1,04 | 1,69 | 0,30 | 0,43 |
| 40 | 1,06 | 1,65 | 0,31 | 0,48 |
| 80 | 1,08 | 1,51 | 0,29 | 0,43 |
| 160 | 1,08 | 1,62 | 0,32 | 0,46 |
| 320 | 1,09 | 1,36 | 0,30 | 0,51 |
| 640 | 1,11 | 1,71 | 0,26 | 0,54 |

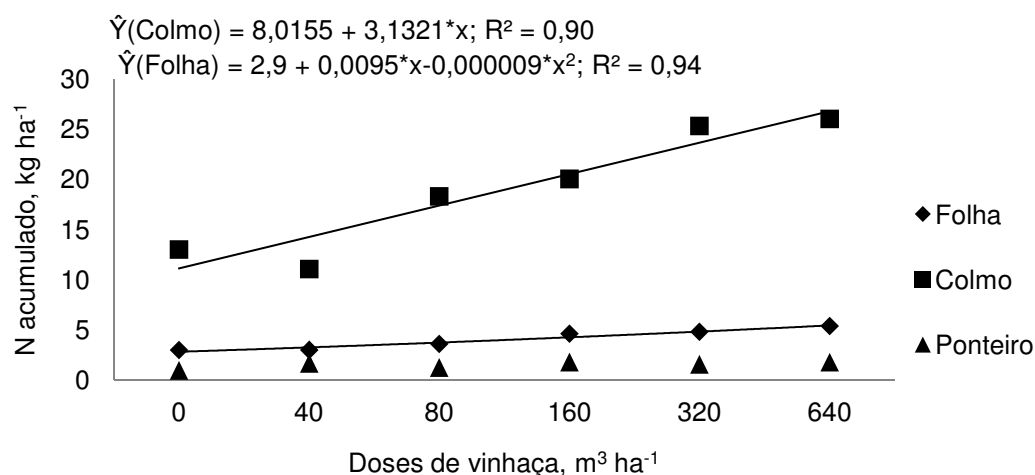


Figura 16. Nitrogênio acumulado na folha, colmo e ponteiro na em função de doses de vinhaça, aos 120 dias após o plantio.

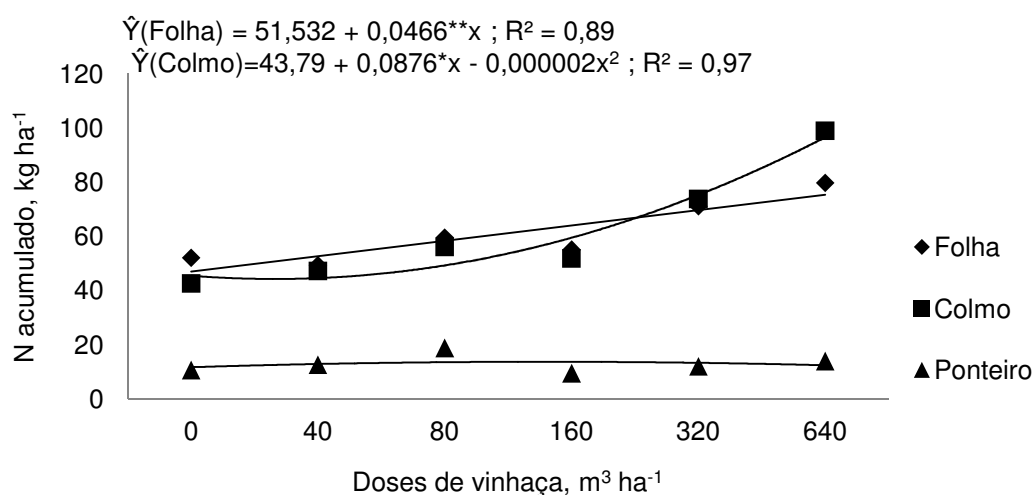


Figura 17. Nitrogênio acumulado na folha, colmo e ponteiro na cana-planta em função de doses de vinhaça, aos 180 dias após o plantio.

Para N aos 240 DAP, observa-se na Figura 22 que houve aumento do acúmulo de N das folhas e ponteiro com as doses de vinhaça com ajuste a modelo de regressão quadrático e linear, respectivamente. Apesar dos valores de N acumulado no colmo não apresentar significância, observa-se menor acúmulo com as doses 320 e 640 m³ ha⁻¹. Isto pode estar associado ao pequeno aumento no teor de N foliar aos 240 DAP quando utilizou estas doses (Tabela 5)

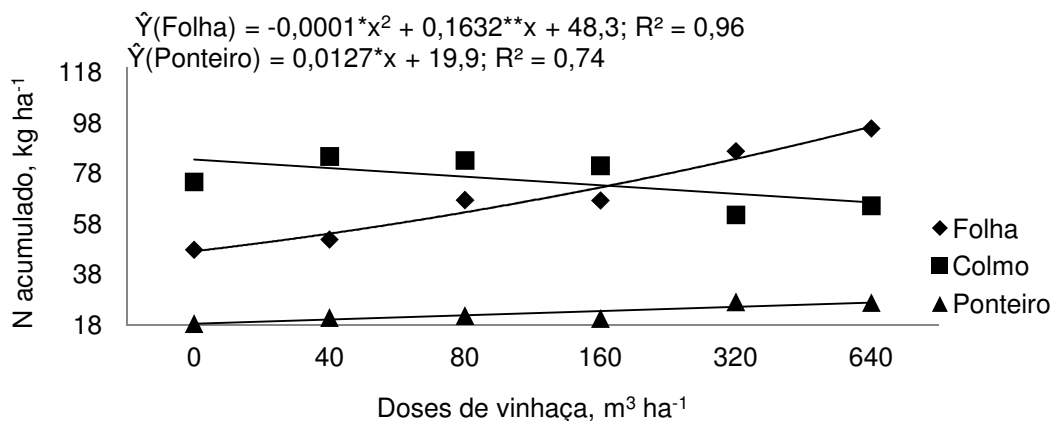


Figura 18. Nitrogênio acumulado na folha, colmo e ponteiro em função de doses de vinhaça, aos 240 dias após o plantio.

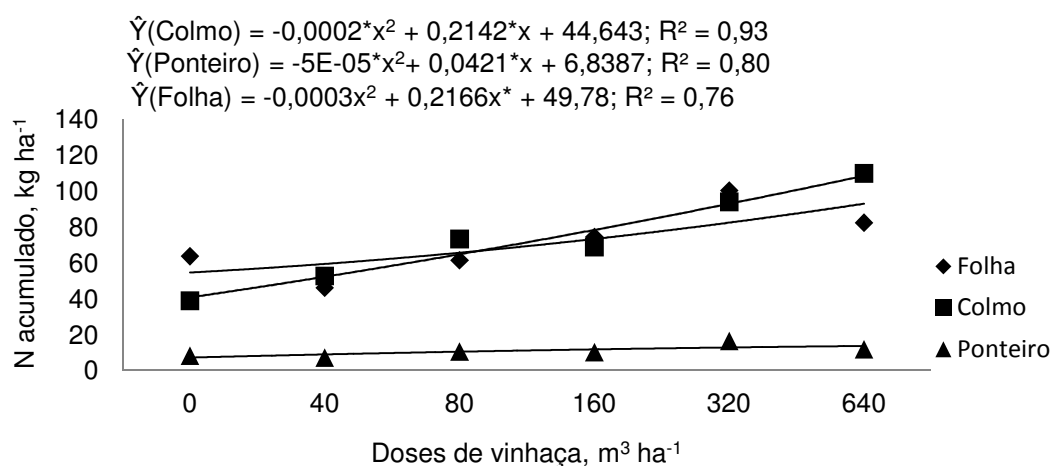


Figura 19. Nitrogênio acumulado na folha, colmo e ponteiro em função de doses de vinhaça, aos 300 dias após o plantio.

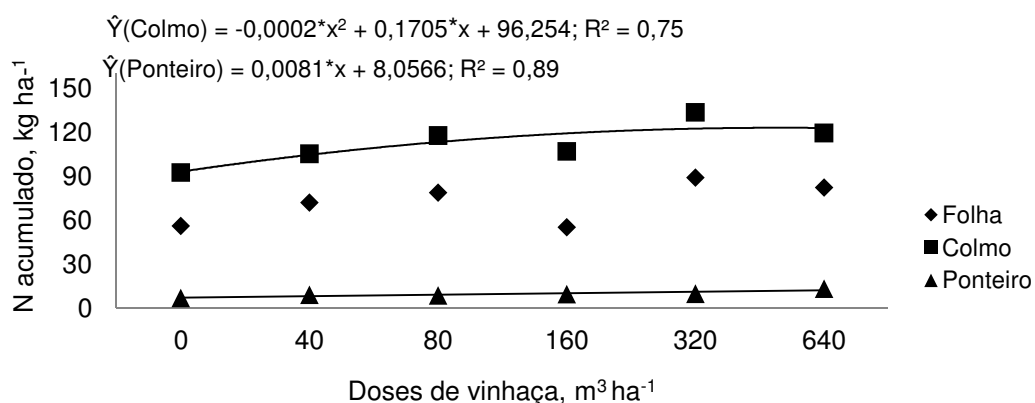


Figura 20. Nitrogênio acumulado na folha, colmo e ponteiro em função de doses de vinhaça, aos 360 dias após o plantio.

Para o total de N acumulado na cana-planta, independente das doses aplicadas, ao final de 360 DAP (colheita), 35 a 46% foi alocado nas folhas; 55 a

62% no colmo e 4 a 6% no ponteiro. Este resultado significa que a exportação de N foi de 55 a 62%, valor próximo ao encontrado por Oliveira et al. (2010) que do total de N extraído pela RB92579, 64% foi exportado pelo colmo.

Em relação a quantidade extraída de N para cada tonelada de colmo produzido, Raij et al. (1996) relatou que a cana exporta em média $0,9 \text{ kg t}^{-1}$ para cultivos com produtividade de 60 a 120 t ha^{-1} . No presente estudo, para cada tonelada de colmo foram exportados de $1,0$ a $1,2 \text{ kg t}^{-1}$ de nitrogênio, independente das doses aplicadas. Moura Filho et al. (2008) encontrou valor próximo para a mesma cultivar com extração de N na proporção de $1,05 \text{ kg t}^{-1}$ de cana, enquanto para outras cultivares os valores oscilaram de $1,06$ a $1,40 \text{ kg t}^{-1}$ evidenciando a diferença de utilização do N de cada cultivar.

A maior exportação de N pode ter ocorrido pela maior disponibilidade deste nutriente no solo, relacionado com a contribuição da fixação biológica de nitrogênio, por microrganismos endofíticos (Moreira et al., 2010). Além disso, Moura Filho et al. (2008) observando o acúmulo de nutrientes em cultivares de cana-de-açúcar, verificaram que a RB92579 se destacou, entre as demais cultivares, com maior acúmulo de N.

4.5.2 Fósforo

Na Figura 21 pode-se observar que o teor de P na folha, colmo e ponteiro decresceu com as épocas de amostragem. Isto pode indicar diluição do nutriente na biomassa das partes da cana-planta. O teor de P do ponteiro aos 120 DAP foi maior que o do colmo e da folha, com valores de $0,73$ a $0,81 \text{ dag kg}^{-1}$, independente das doses aplicadas (Tabela 6). O teor de P na folha e no colmo decresceu bruscamente a partir dos 240 DAP, enquanto no ponteiro aos 300 DAP.

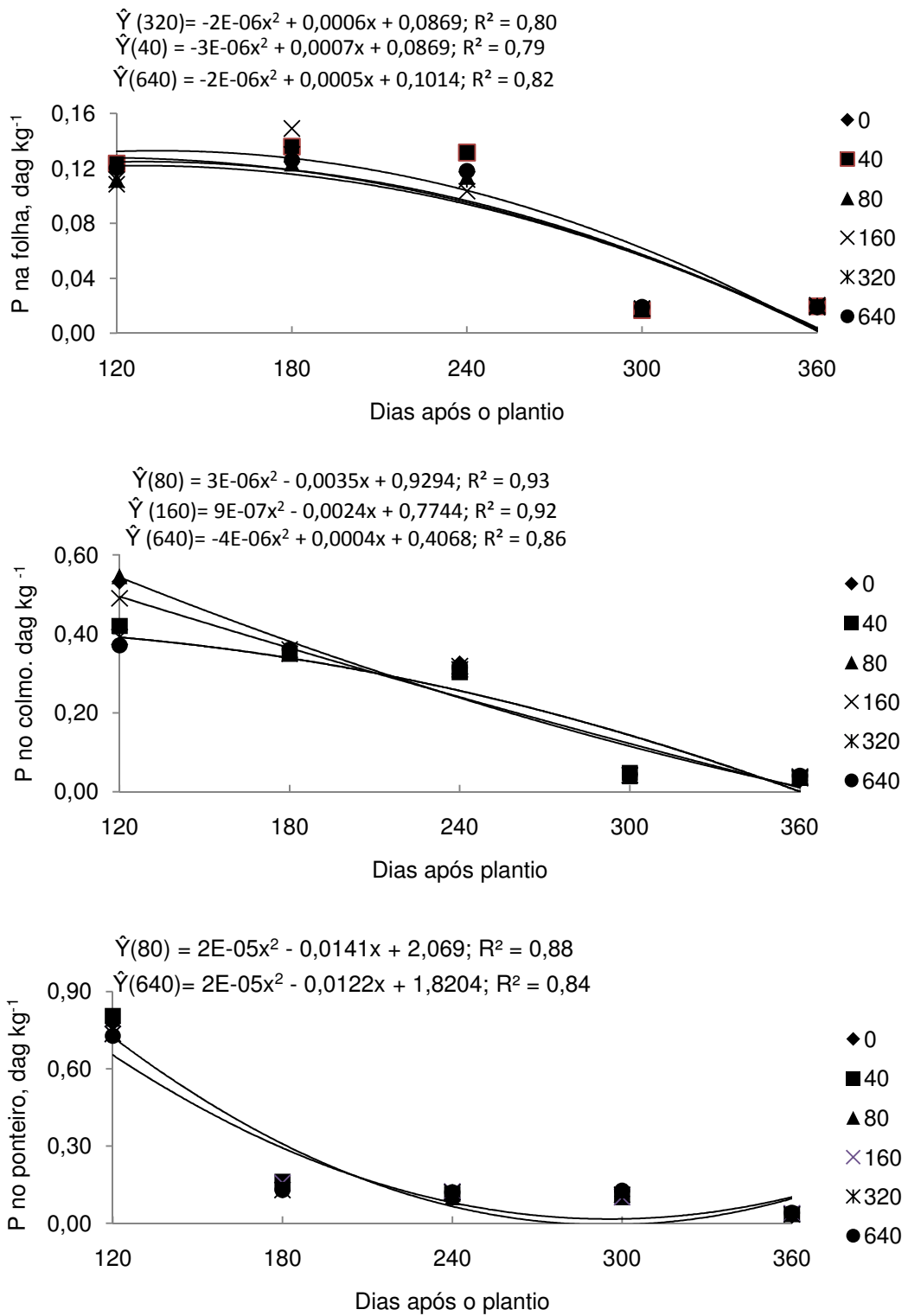


Figura 21. Teor de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, em função das épocas de avaliação para as doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹.

Tabela 6. Teor de fósforo em folha, folha+3, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, em função de doses de vinhaça aos 120, 180, 240, 300 e 360 DAP.

| Doses de vinhaça m ³ ha ⁻¹ | Folha | F+3 | Colmo | Ponteiro |
|---|-------|------|-------|----------|
| -----120 DAP----- | | | | |
| -----dag kg ⁻¹ ----- | | | | |
| 0 | 0,12 | 1,76 | 0,50 | 0,78 |
| 40 | 0,12 | 1,81 | 0,40 | 0,81 |
| 80 | 0,11 | 1,98 | 0,50 | 0,79 |
| 160 | 0,11 | 1,99 | 0,50 | 0,74 |
| 320 | 0,11 | 1,90 | 0,40 | 0,74 |
| 640 | 0,12 | 1,89 | 0,40 | 0,73 |
| -----180 DAP----- | | | | |
| 0 | 0,13 | 0,16 | 0,06 | 0,16 |
| 40 | 0,14 | 0,18 | 0,05 | 0,16 |
| 80 | 0,12 | 0,18 | 0,05 | 0,15 |
| 160 | 0,15 | 0,18 | 0,05 | 0,16 |
| 320 | 0,13 | 0,18 | 0,06 | 0,13 |
| 640 | 0,13 | 0,19 | 0,06 | 0,13 |
| -----240 DAP----- | | | | |
| 0 | 0,13 | 0,11 | 0,03 | 0,10 |
| 40 | 0,13 | 0,11 | 0,03 | 0,11 |
| 80 | 0,11 | 0,12 | 0,03 | 0,10 |
| 160 | 0,10 | 0,12 | 0,03 | 0,12 |
| 320 | 0,11 | 0,12 | 0,03 | 0,12 |
| 640 | 0,12 | 0,13 | 0,03 | 0,12 |
| -----300 DAP----- | | | | |
| 0 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,10 |
| 40 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,11 |
| 80 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,10 |
| 160 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,10 |
| 320 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,11 |
| 640 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,13 |
| -----360 DAP----- | | | | |
| 0 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| 40 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,04 |
| 80 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,04 |
| 160 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 0,04 |
| 320 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| 640 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,04 |

Quanto a extração de P em função das doses de vinhaça, constata-se maior quantidade extraída pelo colmo para todas as épocas avaliadas (Figuras 22, 23, 24, 25 e 26).

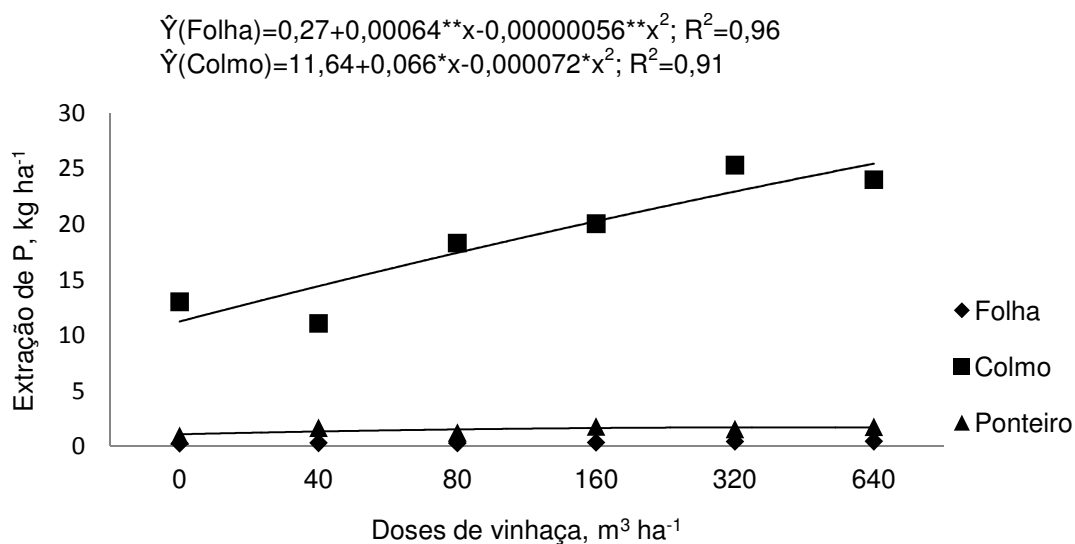


Figura 22. Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ aos 120 DAP.

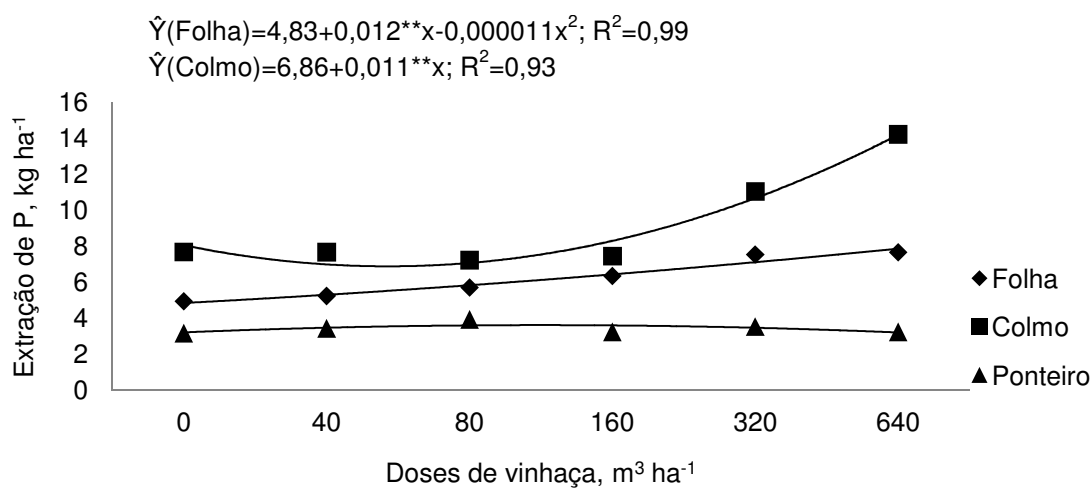


Figura 23. Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ aos 180 DAP.

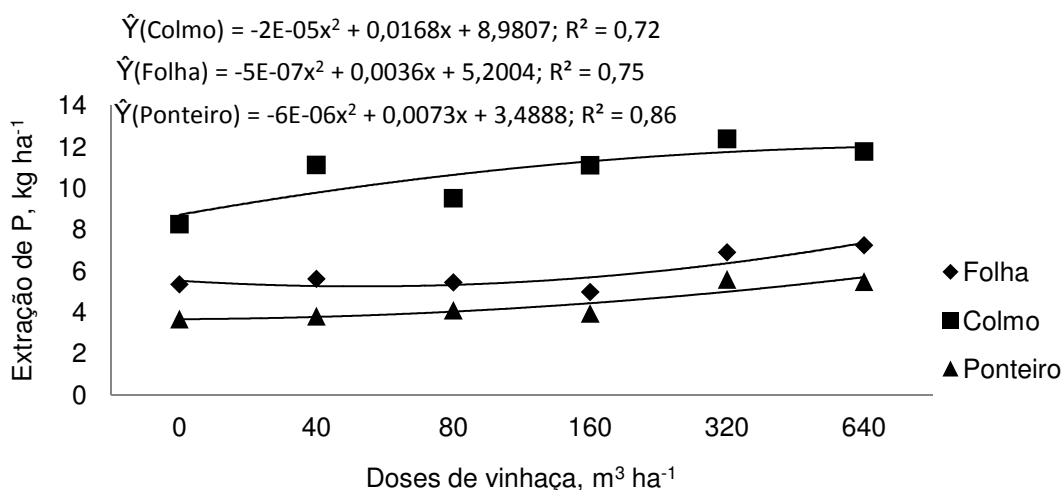


Figura 24. Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ aos 240 DAP.

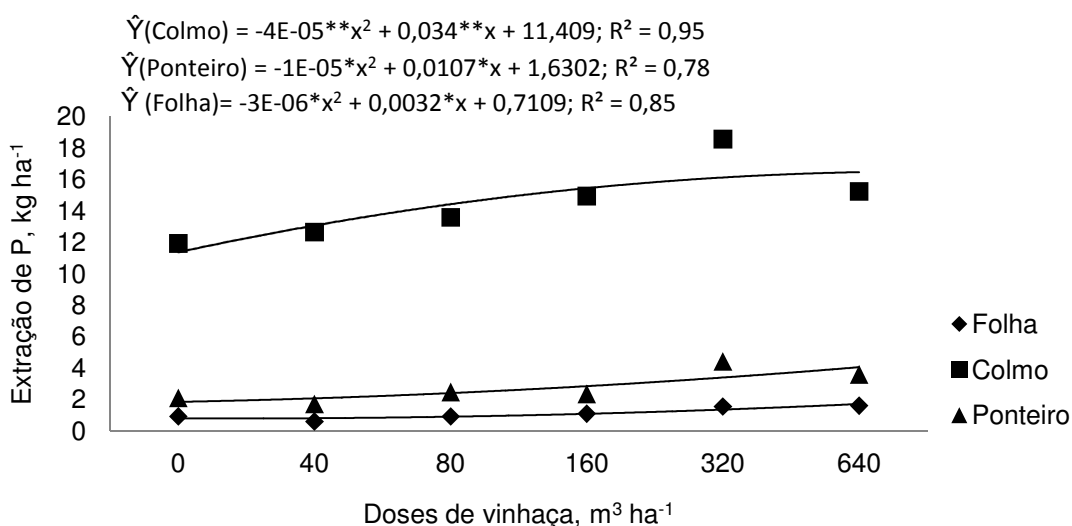


Figura 25. Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ aos 300 DAP.

De forma geral, a maior demanda de P pela cana-planta ocorreu aos 120 e 180 DAP, época de maior desenvolvimento da cana-planta. O colmo extraiu a maior quantidade de P, em seguida a folha e ponteiro. Dessa forma, verificou-se exportação (colmo) de P (360 DAP) de 8,73; 12,31; 15,11; 12,35; 15,45 e 17,92 kg ha⁻¹ para as doses 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ de vinhaça, respectivamente (Figura 26). Estes valores representam mais de 80% de todo

P extraído pela cana-planta e foram inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2010) que verificou para as cultivares RB92579, SP81-3250, RB763710 e RB872552 acúmulo de P no colmo, com médias variando entre 19 a 22 kg ha⁻¹, enquanto as variedades SP79-1011 e RB94-3365 foram as que menos acumularam, com valores de 13 e 15 kg ha⁻¹. Moura Filho et al. (2008) observando o acúmulo de nutrientes em cultivares de cana-de-açúcar, verificaram que a RB92579, acumulou menos P no colmo do que as demais, indicando maior eficiência na absorção e exportação deste nutriente.

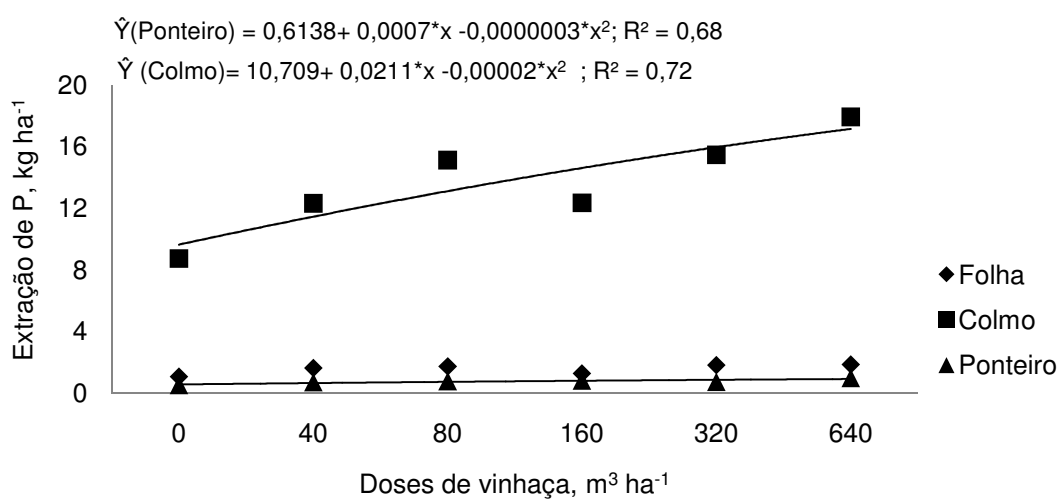


Figura 26. Extração de fósforo (P) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ aos 360 DAP.

4.5.3 Potássio

O modelo quadrático ajustado para o teor de K na folha, colmo e ponteiro em função da época de amostragem foi significativo com redução dos teores com a idade da cana-planta para todas as doses aplicadas (Figura 27). Aos 120 DAP os teores K nas folhas, colmo e ponteiro foram superiores aos verificados nas demais épocas, sugerindo que esta fase possivelmente é a de maior demanda por este nutriente. De modo geral, independente das doses e das épocas de amostragem, os teores de K na folha oscilaram de 1,26 (dose 0, 360 DAP) a 2,14 dag kg⁻¹ (dose 320 m³ ha⁻¹, 120 DAP). Segundo Spironello et al. (1997), a faixa de K considerada adequada na folha é de 1,0 a 1,6 dag kg⁻¹.

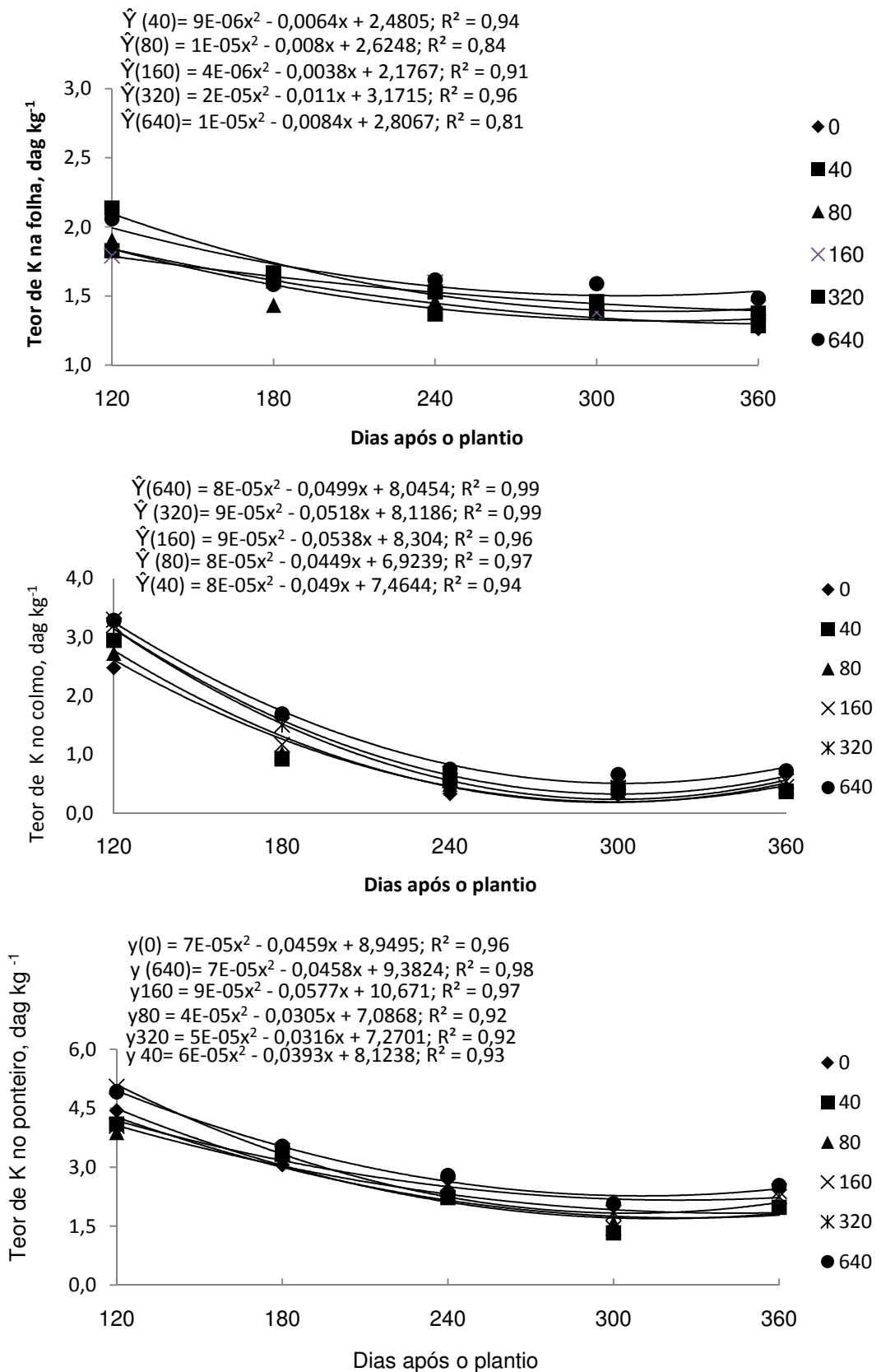


Figura 27. Teor de potássio em folhas, colmos e ponteiros de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das épocas de avaliação para as doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹.

Otto et al. (2010) em estudo com doses de K, utilizando como fonte o cloreto de potássio (KCl), aplicado no solo de uma única vez e parcelado, observaram teores menores do que os encontrados neste trabalho, com valores foliares entre 1,1 a 1,2 dag kg⁻¹ aos 180 DAP com a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de K₂O (única vez). Esta dose de K (KCl) utilizada por este autor promoveu a maior produtividade com 160 t ha⁻¹ de colmo e corresponde a uma aplicação de aproximadamente 100 m³ ha⁻¹ de vinhaça com concentração de K de 1,2 kg m⁻³.

O teor de K no colmo decresceu com a época de amostragem até os 240 DAP e até os 360 DAP manteve estável, enquanto no ponteiro o decréscimo foi acentuado até os 300 DAP e tendência de aumento aos 360 DAP. Dentre as partes da cana-planta, o ponteiro apresentou maior teor de potássio (Figura 28). Este resultado está relacionado ao fato do K ser um nutriente altamente móvel na planta (Malavolta et al., 1997; Chen & Gabelman, 2000). Além disso, é a parte mais jovem da planta, com elevada demanda deste nutriente.

A variação nos teores de K depende de vários fatores como: cultivar, condições meteorológicas e disponibilidade de K⁺ no solo. Além disso, pode estar ocorrendo “efeito diluição”, apesar da elevada absorção de K pela cana-de-açúcar em solos com alta disponibilidade deste nutriente. Outro fator que pode explicar a diminuição na concentração de K com o ciclo da cultura é que a medida que a planta amadurece ocorre redução na absorção de K, mesmo com aumento deste elemento na solução do solo (Dionísio et al., 1985).

Quanto a extração de K pelas folhas e colmos, foi crescente aos 120 DAP com as doses de vinhaça ajustando-se ao modelo linear (Figura 28 e 29). Observa-se que o colmo, mesmo nesta fase, acumulou mais K⁺ em relação às folhas e ponteiros.

Aos 180 DAP, a extração de K pelo colmo, ponteiro, folha foi crescente com as doses de vinhaça e ajustou-se ao modelo linear e quadrático (Figura 30). O colmo também extraiu maior quantidade de K em relação ao ponteiro e folha e estes extraíram quantidades relativamente próximas em todas as amostragens (Figuras 29, 30, 31, 32 e 33).

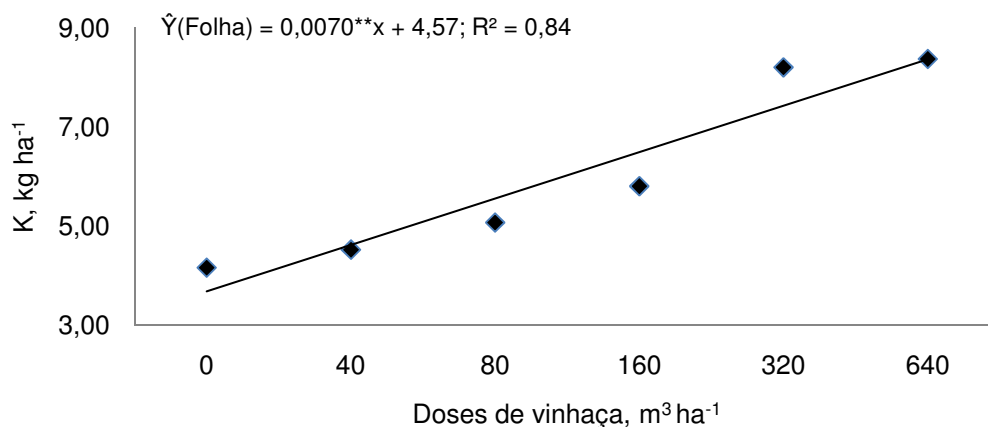


Figura 28. Extração de potássio (K) em folhas de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ aos 120 DAP.

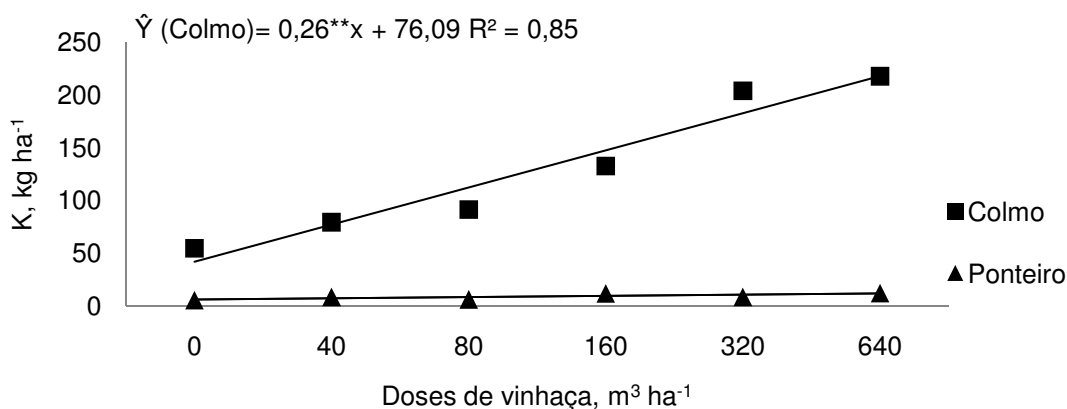


Figura 29. Extração de potássio (K) em colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ aos 120 DAP.

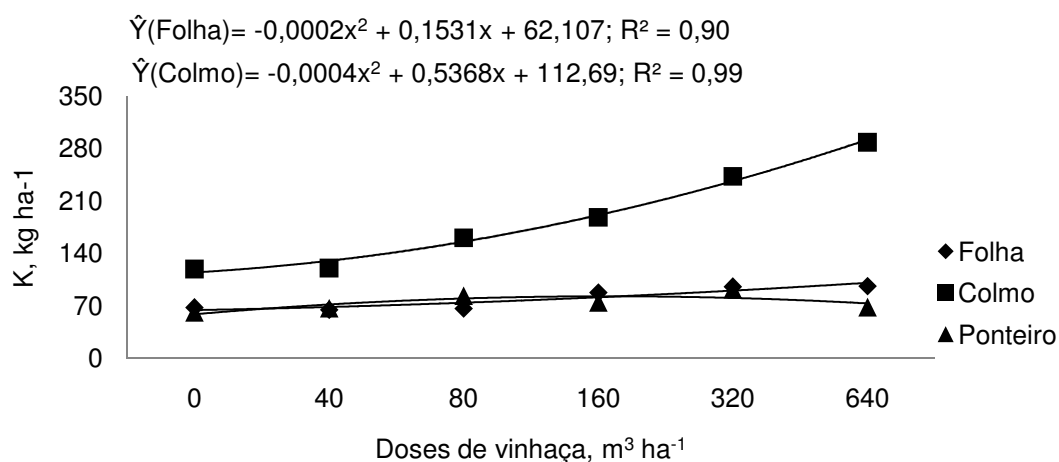


Figura 30. Extração de potássio (K) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ aos 180 DAP.

Isto sugere que a época mais próxima de maior extração de K é antes dos 180 DAP e deve ser adequada para amostragem de folhas para avaliação do estado nutricional e conseqüentemente ainda poder efetuar a adubação potássica.

A quantidade de K aplicada via vinhaça foi de 52 kg ha⁻¹ para a dose de 40 m³ ha⁻¹ e 830 kg ha⁻¹ referente a dose 640 m³ ha⁻¹. Esta quantidade de K proveniente da vinhaça utilizada no experimento indica elevada disponibilidade deste nutriente para as plantas e pode ser recomendada como fonte exclusiva de K, principalmente em solos intemperizados, com baixa concentração deste nutriente como os Argissolos distróficos. Além dos aspectos abordados, Moura Filho et al. (2008) verificaram menor acúmulo de K em colmo da cultivar RB92579 do que em outras cultivares testadas, evidenciando que esta cultivar apresentou maior eficiência de utilização de K. Estes mesmos autores verificaram acúmulo de K⁺ no colmo, de 79,5 a 105,4 kg ha⁻¹ aos 14 meses após o plantio.

Entretanto, quando ocorre elevada disponibilidade de potássio no solo como verificado no presente estudo, ocorre maiores exportações devido ao consumo de luxo que ocorre com a cana-de-açúcar (Dillewijn, 1952). Neste aspecto, foi verificado por Beauclair (1994) em solos tratados com vinhaça, exportações de até 3,8 kg t⁻¹ de K pelos colmos.

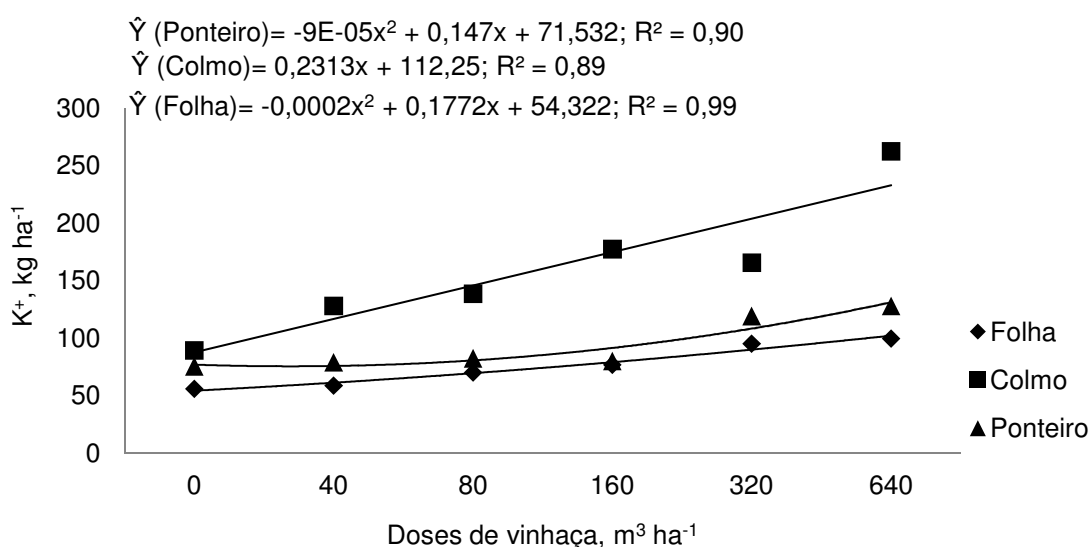


Figura 31. Extração de potássio (K⁺) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ aos 240 DAP.

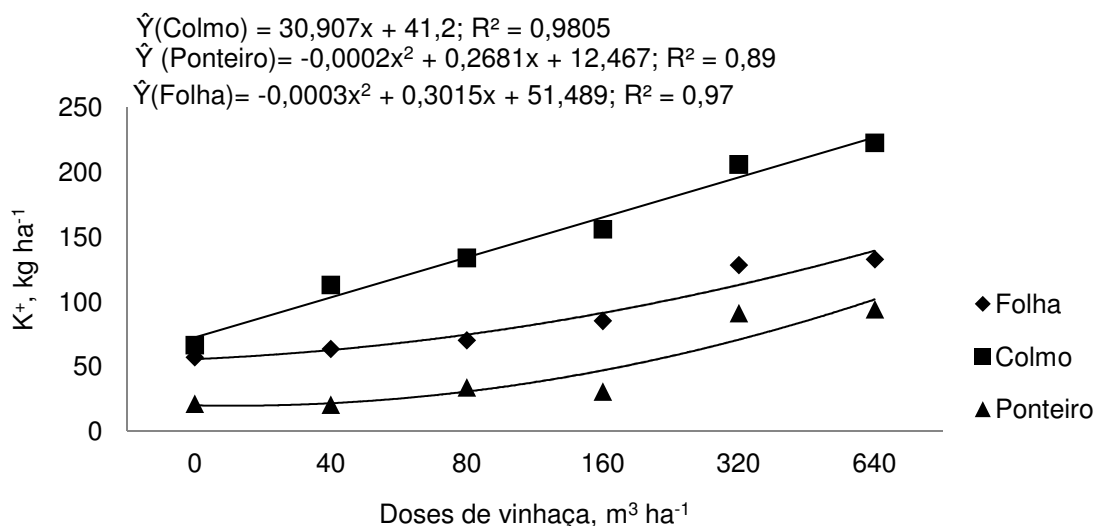


Figura 32. Extração de potássio (K^+) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 $m^3 ha^{-1}$ aos 300 DAP.

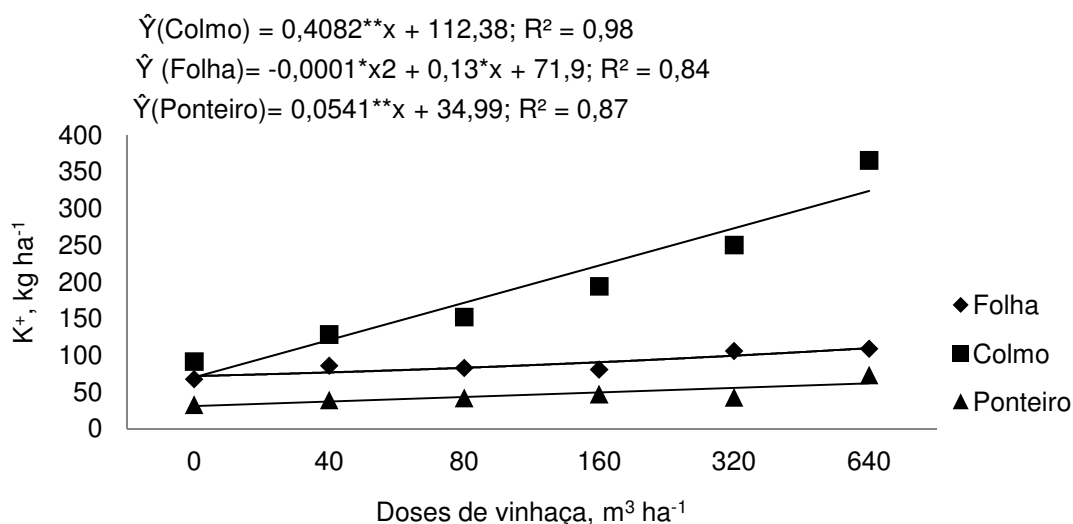


Figura 33. Extração de potássio (K^+) em folhas, colmo e ponteiro de cana-de-açúcar, cultivar RB92579, em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 $m^3 ha^{-1}$ aos 360 DAP.

De qualquer forma, as exigências nutricionais da cana-de-açúcar, assim como as quantidades extraídas pela cultura, são fundamentais para o estudo da adubação, indicando as quantidades de nutrientes a serem fornecidas (Coleti et al., 2006).

4.5.4 Cálcio

Para os teores de Ca obtidos na folha+3, observa-se ajuste dos dados ao modelo de regressão cúbico para todas as doses com exceção para a de $640 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (Figura 34). Pode-se identificar que para as doses 0, 40, 80, 160 e $320 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, houve aumento do teor de Ca dos 120 para os 180 DAP, decréscimo a partir desta até 300 e novamente elevação no teor aos 360 DAP. Esta diferença de comportamento do Ca^{2+} em função das épocas, provavelmente está associado ao mecanismo de transporte deste nutriente no solo. Pode ser verificado que aos 300 DAP (mês de outubro) houve redução da precipitação que pode ter interferido no fluxo de massa do Ca^{2+} no solo. Barber (1982) afirma que dentre os macronutrientes catiônicos, o cálcio e o magnésio são transportados por fluxo de massa, enquanto o potássio, fundamentalmente, por difusão.

Outro aspecto importante foi que o teor de Ca foliar encontrado aos 360 DAP, quando aplicou a dose de $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, foi menor do que os das demais doses, em consequência, provavelmente, da competição com K nos sítios de absorção das raízes das plantas.

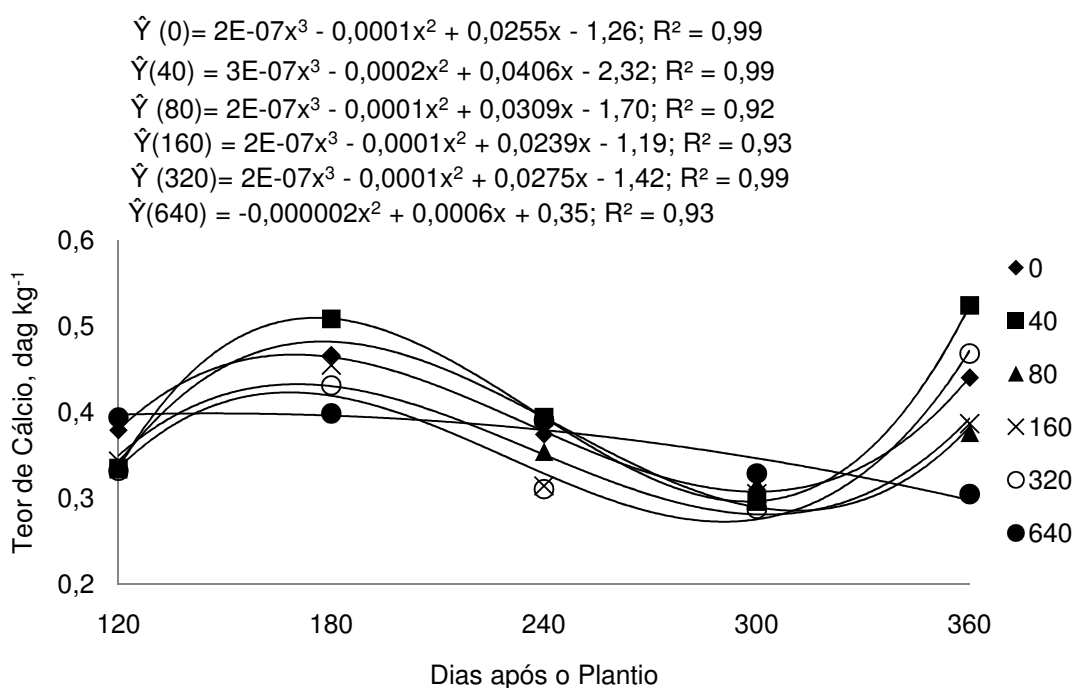


Figura 34. Teor de Ca^{2+} em folha +3 de cana-planta em função das épocas avaliadas para as doses 0, 40, 80, 160, 320 e $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Os resultados de extração de Ca pela folha, colmo e ponteiro foram ajustados aos modelos de regressão quadrático e linear para os 120, 180 e 360 dias após o plantio (Figura 35, 36 e 37). A quantidade de Ca extraída pelo colmo foi de 9,34; 8,68; 9,76; 12,53; 15,94 e 17,94 kg ha⁻¹ representando 89; 83; 87; 85; 88 e 87 % do total de Ca absorvido pela cana-planta aos 120 DAP para as doses, 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹, respectivamente. Resultados diferentes foram encontrados por Silva (2007a) que verificou acúmulo de cálcio no colmo de 0,9 kg ha⁻¹ aos 120 DAP para a cultivar RB92579, enquanto para folha e ponteiro foi de 1,3 e 2,0 kg ha⁻¹, respectivamente, evidenciando que nesta fase, houve maior acúmulo deste nutriente no ponteiro e menor no colmo. Esta variação entre os resultados pode estar relacionada às diferenças nos fatores edafoclimáticos. No presente estudo, por exemplo, houve elevada disponibilidade de nutrientes para a cana-planta devido a composição da vinhaça aplicada e do uso de corretivo que apresenta Ca em sua composição, além da umidade adequada no solo para absorção dos nutrientes.

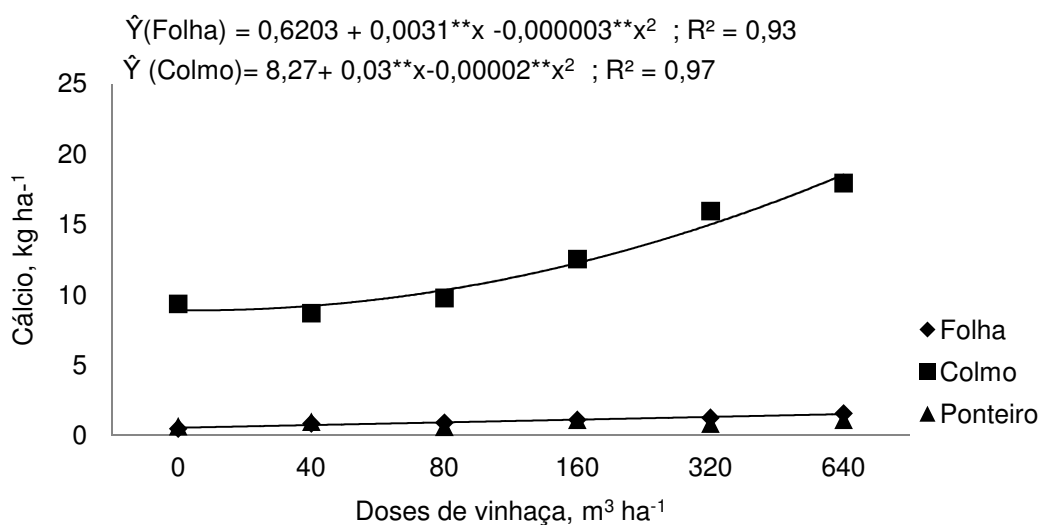


Figura 35. Extração de cálcio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 120 DAP.

Aos 180 DAP o acúmulo de Ca foi semelhante ao dos 120 DAP, com aumento em função das doses até 320 m³ ha⁻¹ e tendência de decréscimo com a dose de 640 m³ ha⁻¹ com ajuste quadrático para colmo e folha (Figura 36). Entretanto, o acúmulo na folha foi superior ao do ponteiro. Provavelmente, além do ponteiro apresentar menor massa seca, o Ca por ser um nutriente responsável pela sustentação, ou seja, componente da parede celular e ser pouco móvel na planta acumulou mais no colmo da cana-planta. Por outro lado,

maior acúmulo de Ca foi verificado no ponteiro em estudo desenvolvido por Silva (2007a) na mesma cultivar utilizada no presente estudo.

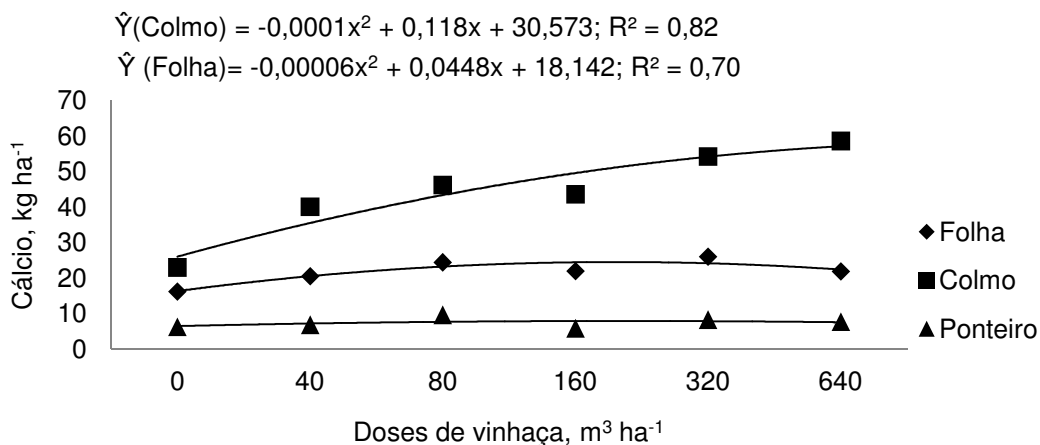


Figura 36. Extração de cálcio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 180 DAP.

Em relação ao acúmulo de Ca avaliado aos 360 DAP, pode-se observar que houve ajuste quadrático e cúbico dos valores somente para o colmo e ponteiro, respectivamente. Observa-se que o maior acúmulo de Ca no colmo foi verificado com as doses de 320 e 640 m³ ha⁻¹ (Figura 37).

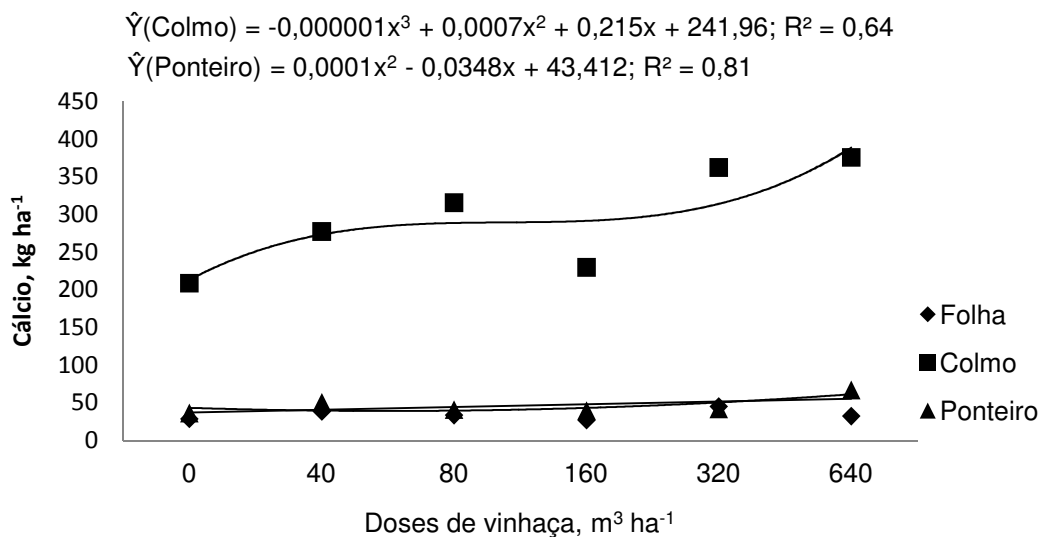


Figura 37. Extração de cálcio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 360 DAP.

4.5.5 Magnésio

Os resultados dos teores de Mg em função das épocas avaliadas, ilustrados na Figura 38, sugerem comportamento semelhante aos observados para o Ca. O mecanismo de transporte no solo deste nutriente é o mesmo do Ca, ou seja, por fluxo de massa. A medida que ocorre o fluxo transpiracional na planta ocorre uma diferença de potencial hídrico desta em relação ao solo ocorrendo entrada de água conjuntamente com os nutrientes.

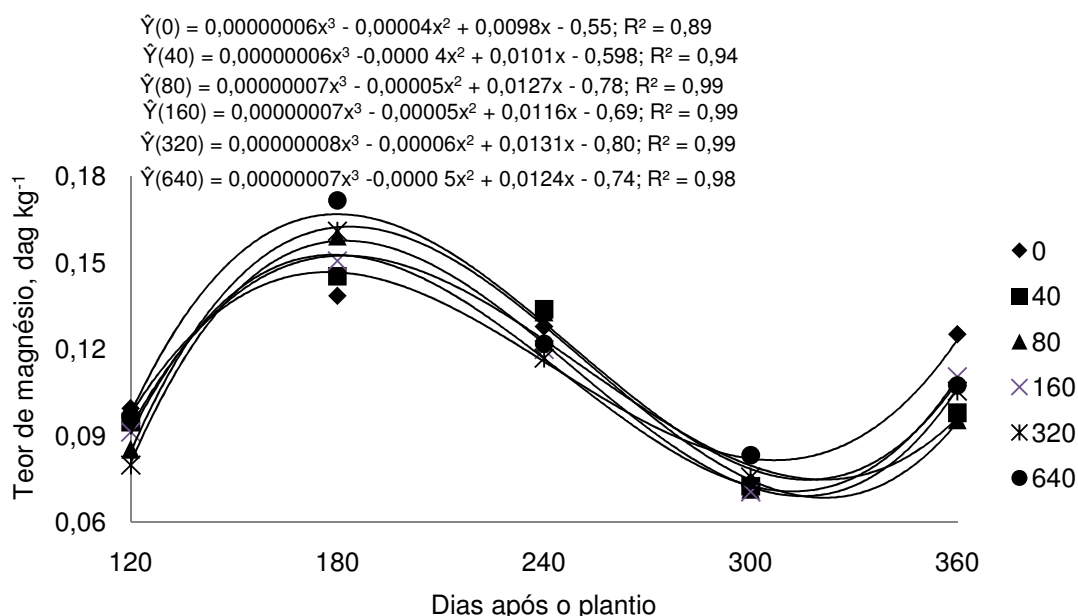


Figura 38. Teor de Mg em folha +3 de cana-planta em função das épocas avaliadas para as doses 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹.

Na Figura 39, pode-se verificar o acúmulo de Mg nas folhas, colmos e ponteiros em função das doses de vinhaça aos 120 DAP. Houve aumento da extração de Mg pelo colmo até a dose de 320 e tendência de decréscimo com a dose de 640 m³ ha⁻¹. Evidentemente, o K adicionado pela aplicação do resíduo pode ter interferido sensivelmente no acúmulo de Mg no colmo.

Aos 180 DAP, nota-se ajuste dos valores de Mg no colmo ao modelo linear, com aumento da extração deste nutriente com o crescimento das doses (Figura 40). Ainda nesta mesma época observa-se que houve maior acúmulo de Mg nas folhas do que nos ponteiros. O Mg na folha faz parte da molécula de clorofila, influenciando diretamente no processo de fotossíntese da planta e desta forma, a demanda por este nutriente pelas folhas nesta fase (180 DAP)

pode ser maior do que a do ponteiro, devido a maior área foliar fotossinteticamente ativa.

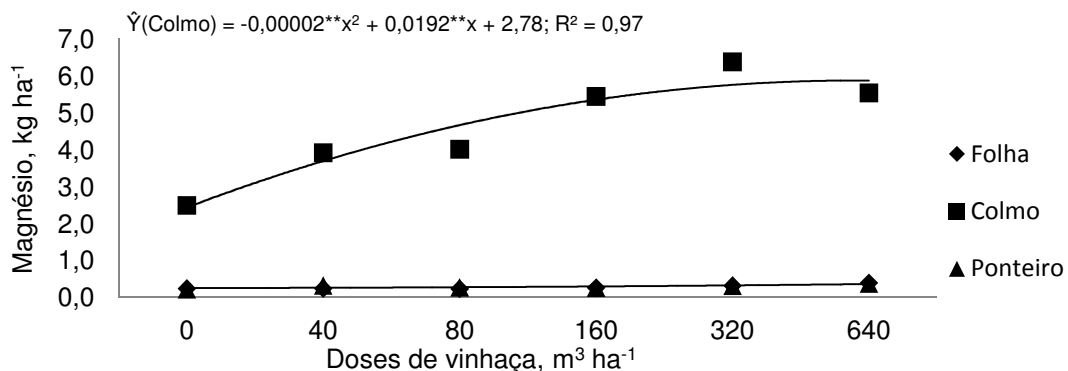


Figura 39. Extração de magnésio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 120 DAP.

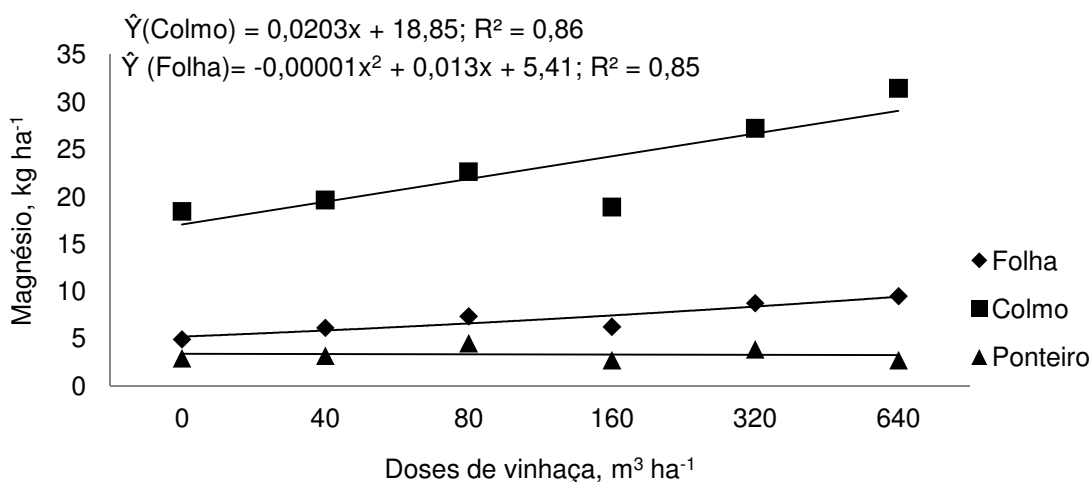


Figura 40. Extração de magnésio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 180 DAP.

Quando se observa o comportamento do Mg ao final do ciclo da cana-planta (360 DAP) em função das doses, é bastante evidente a maior extração deste nutriente pelo ponteiro com ajuste da quantidade extraída ao modelo de regressão cúbico (Figura 41).

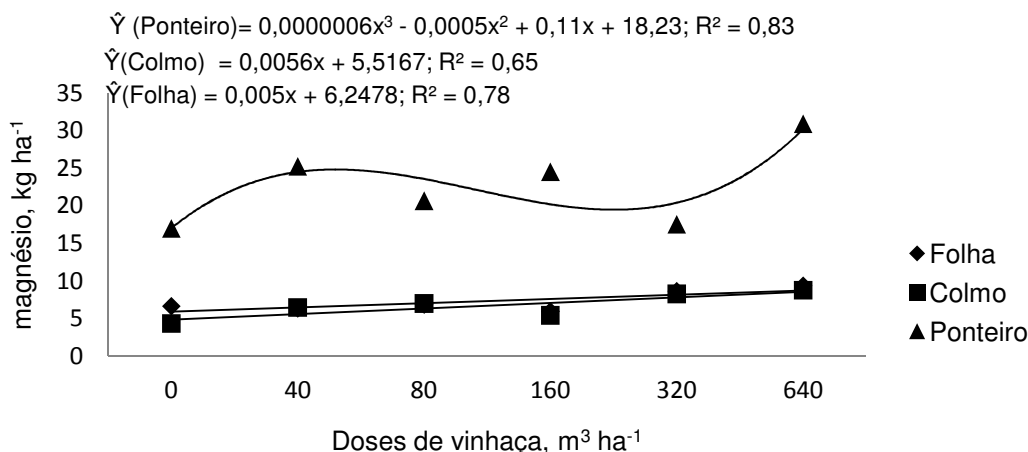


Figura 41. Extração de magnésio em folha, colmo e ponteiro em função das doses de vinhaça aos 360 DAP.

De forma geral, houve maior extração dos nutrientes em ordem decrescente de K>Ca>N>Mg>P. Esta sequência foi semelhante a observada por Oliveira (2010) em cana-planta RB92579 sob irrigação plena no Estado de Pernambuco.

4.5.6 Interações entre os nutrientes N, P, K, Ca e Mg na planta.

Na Tabela 7 observa-se que os valores da relação Ca+Mg:K; Ca:K; Mg:K e P:K para o tratamento testemunha os 120 DAP, foi superior aos sob aplicação de vinhaça, que indica o aumento da concentração de K na planta com o uso deste resíduo. Provavelmente houve um equilíbrio entre a quantidade de K e Mg absorvida, pois aos 180 DAP a cana-planta estava em pleno crescimento. Segundo Malavolta et al. (1997) a relação adequada de K:Mg na planta varia de 7 a 10. De acordo com Pereira (2001) relações superiores a esta pode induzir a sintomas de deficiência de Magnésio em gramíneas.

No trabalho de Orlando Filho et al. (1996) foram estudadas as relações entre Ca, Mg e K e a produtividade da cana. As relações relacionadas com alta produtividade da cana indicaram Ca:K<6 e K:(Ca+Mg)^{1/2} >0,19. Com base nestas relações pode-se sugerir que a relação Ca:K no presente estudo está dentro dos valores considerados com os de canaviais de alta produtividade.

Tabela 7. Relação entre os nutrientes N, P, K, Ca e Mg na cana-planta em função das doses de vinhaça.

| Doses de vinhaça m ³ ha ⁻¹ | Ca+Mg:K | Ca:K | Mg:K | N:K | K:Mg | P:K |
|---|---------|--------|--------|--------|------|--------|
| 120 DAP | | | | | | |
| 0 | 0,444 | 0,352 | 0,092 | 1,624 | 11,2 | 0,115 |
| 40 | 0,364 | 0,284 | 0,080 | 1,535 | 12,7 | 0,105 |
| 80 | 0,351 | 0,279 | 0,071 | 1,698 | 14,2 | 0,093 |
| 160 | 0,290 | 0,229 | 0,061 | 1,296 | 16,8 | 0,073 |
| 320 | 0,360 | 0,290 | 0,070 | 1,664 | 14,4 | 0,097 |
| 640 | 0,380 | 0,300 | 0,084 | 1,655 | 12,0 | 0,098 |
| 180 DAP | | | | | | |
| 0 | 0,4539 | 0,3497 | 0,1042 | 1,6404 | 9,8 | 0,1181 |
| 40 | 0,4776 | 0,3716 | 0,1061 | 1,5863 | 9,6 | 0,1272 |
| 80 | 0,4801 | 0,3656 | 0,1145 | 1,5386 | 8,8 | 0,1301 |
| 160 | 0,4284 | 0,3214 | 0,1070 | 1,5076 | 9,4 | 0,1248 |
| 320 | 0,3893 | 0,2833 | 0,1060 | 1,3576 | 9,5 | 0,1215 |
| 640 | 0,3806 | 0,2664 | 0,1142 | 1,4829 | 8,8 | 0,1273 |

4.6 Características químicas do solo

4.6.1 pH

Na Figura 42 pode-se observar que não houve ajuste dos valores de pH em função das doses de vinhaça a nenhum modelo de regressão. Os valores de pH variaram de 6,03 a 6,53; de 5,3 a 5,76; de 4,75 a 5,25 para as camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente, evidenciando maior acidez nas camadas inferiores. Antes da aplicação de vinhaça o valor do pH era de 6,2 (0-20); 5,7 (20-40) e 5,3 (40-60) que indica que a vinhaça não promoveu aumento do pH aos 30 dias após a aplicação. Por outro lado, Nunes et al. (1981) relatam que o aumento do pH do solo é resultante do aumento de hidroxilas provenientes das reações de hidrólise das bases trocáveis, principalmente o K, incorporadas pela aplicação de vinhaça, que geralmente ocorrem nas camadas mais superficiais. Brito (2004) em estudo com as doses de vinhaça de 350 e 700 m³ ha⁻¹ verificou aumento do pH em todos os solos estudados. Silva (2007b) avaliou o solo sob aplicação de cinco doses de vinhaça (0, 300, 600, 1200 e 2400 m³ ha⁻¹) e verificou que houve aumento do valor de pH com as doses do resíduo, com acréscimo de até 0,8 unidades enquanto os valores de pH avaliados ao longo do tempo a 0, 60, 90 e 120 dias após a aplicação de vinhaça mantiveram constantes.

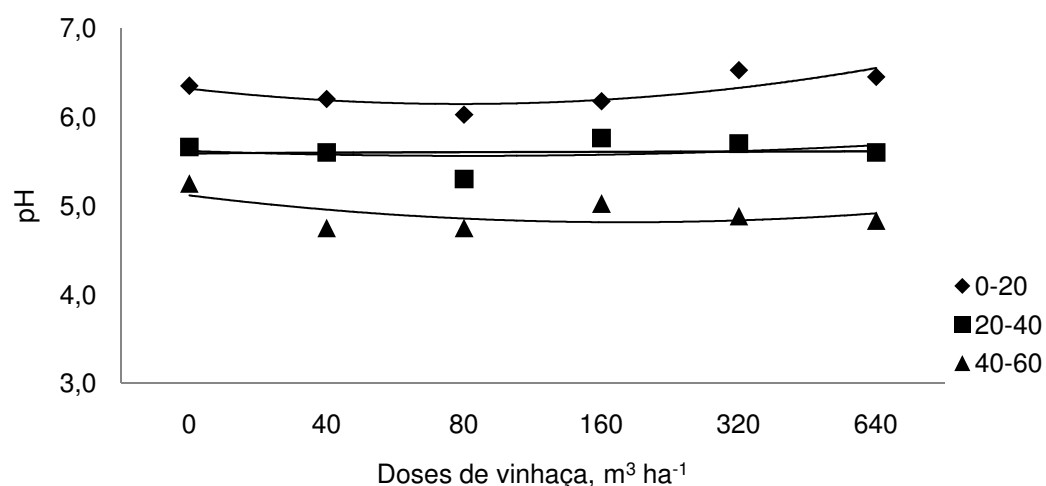


Figura 42. Valores de pH em função das doses de vinhaça nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

4.6.2 Fósforo disponível no solo

A vinhaça aumentou o teor de P disponível no solo com a dose até 320 m³ ha⁻¹ e com dose maior do que esta houve decréscimo no valor com ajuste ao modelo de regressão quadrático para a profundidade 20-40 cm (Figura 43). Provavelmente, a vinhaça favoreceu a disponibilização de P com a dose de 320 m³ ha⁻¹ para a camada 20-40 cm, enquanto maiores doses podem ter favorecido a precipitação com outros cátions como ferro. Silva (2007b) em estudo com doses de vinhaça de 300, 600, 1.200 e 2.400 m³ ha⁻¹ em colunas de solo, com cana-planta, também verificou aumento de P com as doses de vinhaça devido a maior solubilização do fósforo.

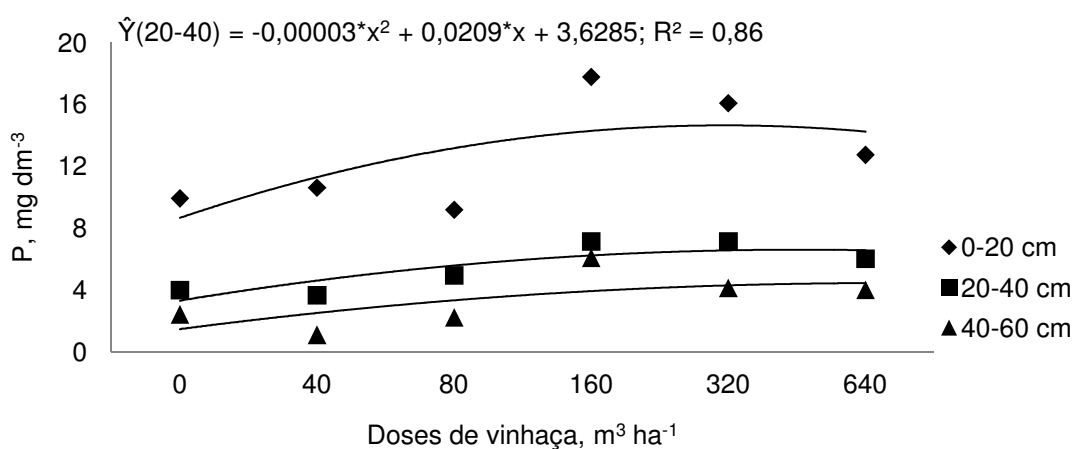


Figura 43. Fósforo disponível no solo na camada de 0-20, 20-40 e 40-60 cm em função das doses de vinhaça aos 30 dias após a aplicação de vinhaça.

4.6.3 Potássio trocável

Na Figura 44 pode-se observar que o aumento das doses de vinhaça aplicadas, promoveu incremento na concentração de K trocável em todas as profundidades do solo avaliadas. Este aumento ocorreu devido a elevada concentração de K no resíduo contribuindo para acréscimo de quatro a cinco vezes da concentração inicial de K do solo, quando foi aplicada a dose de 640 m³ ha⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por Paula et al. (1999) em experimento com doses de vinhaça de 0, 100, 200 e 400 m³ ha⁻¹ que verificaram aumento significativo de K no solo para as camadas 0-20 e 20-40 cm. Bono & Almeida (2010) em estudo com doses de vinhaça de 0, 100, 200, 400 e 800 m³ ha⁻¹ aplicada em Neossolo Quartzarênico na região de Campo Grande-MS, também verificaram aumento de potássio trocável nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm atribuindo este resultado a facilidade da lixiviação da vinhaça em solo arenoso. A lixiviação de K para a profundidade de 40-60 foi constatada por Correa et al. (2001) em estudo comparativo de Latossolo sob cultivo de cana e mata. Estes autores mencionaram que a lixiviação ocorreu devido a intensa precipitação pluvial (324,7 mm) ocorrida após a adubação e antes da amostragem do solo.

Bebé et al. (2009) avaliando as características químicas do solo em diferentes períodos de aplicação de vinhaça, verificaram maior teor de K disponível em área fertirrigada com este resíduo em relação a áreas sem aplicação.

Comparando os resultados encontrados no presente estudo com os valores propostos por Orlando Filho et al. (1981), verifica-se que a dose de 320 m³ ha⁻¹ seria suficiente para aumentar o K disponível no solo para o valor de nível crítico de 0,21 cmol_c.dm⁻³ para cana-de-açúcar.

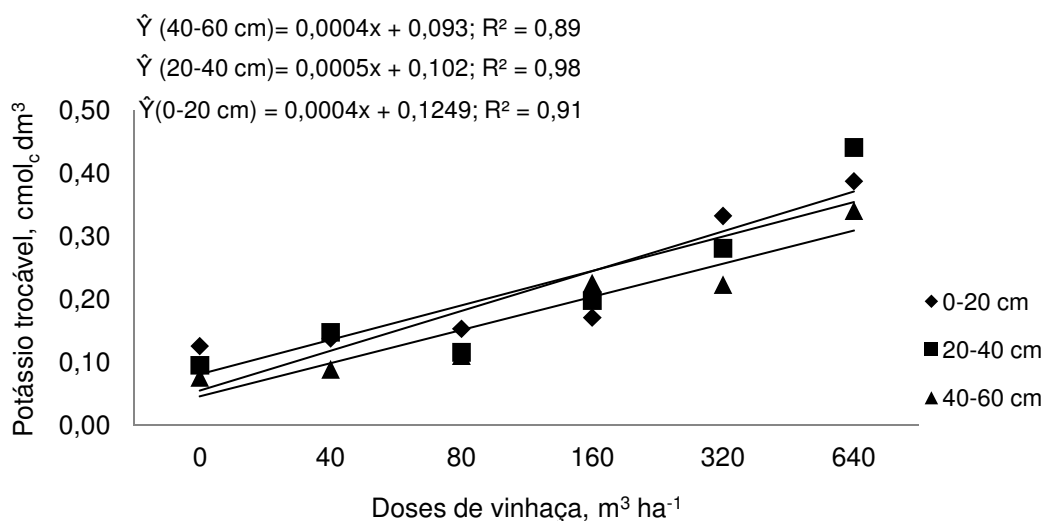


Figura 44. Teor de potássio trocável em função das doses de vinhaça para as camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

4.6.4 Cálcio trocável

A aplicação de doses de vinhaça resultou em diminuição do Ca trocável nas três profundidades do solo comparando com os valores obtidos para o tratamento sem o resíduo (Figura 45). Os valores de Ca trocável no solo com tratamento controle (dose 0) foram superiores aos observados com aplicação das doses de vinhaça. É sabido que existe equilíbrio entre elementos que se encontram na fase sólida e líquida do solo, e desta forma, a medida que aumentou a concentração de K na solução, houve deslocamento do Ca da fase sólida, ocasionando redução deste elemento do complexo sortivo do solo. Na profundidade de 40-60 constata-se um sensível aumento a partir da dose de 160 m³ ha⁻¹, devido a lixiviação do Ca da profundidade 20-40. Resultados diferentes deste foram encontrados por Paula et al. (1999) em estudo com doses de vinhaça, com aumento de Ca e Mg na camada de 0-20 cm com doses de 200 e 400 m³ha⁻¹.

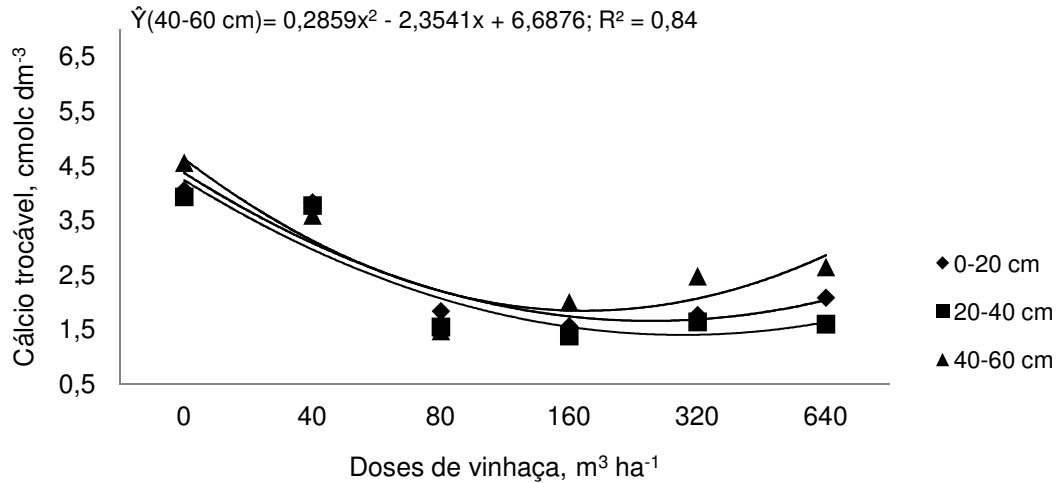


Figura 45. Teor de cálcio trocável em função das doses de vinhaça nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

4.6.5 Magnésio trocável

Os valores de Mg trocável em função das doses de vinhaça ajustou-se ao modelo de regressão quadrático para a camada 20-40 e cúbico para 0-20 cm (Figura 46). Houve diminuição do Mg com a dose até 160 m³ ha⁻¹ e crescimento com doses maiores do que esta para as camadas 0-20 e 20-40 cm, enquanto para a de 40-60 cm não houve nenhum ajuste de modelo de regressão. Este resultado foi semelhante ao observado para o Ca, que possivelmente pode ter ocorrido em função do aumento de K no complexo sortivo. Resultados diferentes foram verificados por Paula (1999) que obtiveram aumento de Ca e Mg trocável na camada de 0-20 cm com as doses de vinhaça e na camada 20-40 não houve alteração.

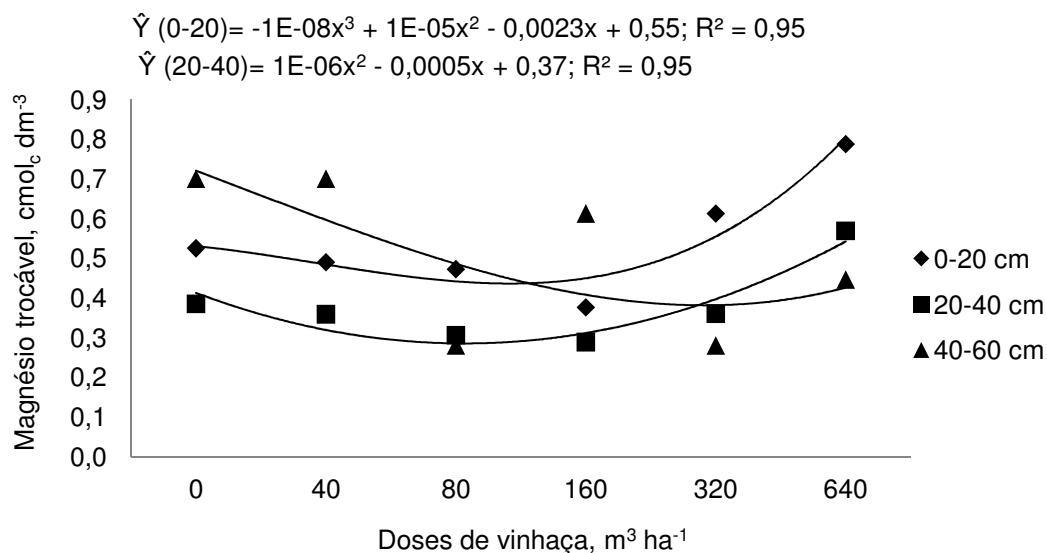


Figura 46. Teor de magnésio trocável em função das doses de vinhaça nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

4.6.6 Interação entre cátions no solo

A relação Ca:K em função das doses de vinhaça pode ser observada na Figura 47. Nota-se que o aumento das doses do resíduo resultou na redução da relação entre os cátions trocáveis Ca e K devido ao aumento de potássio proveniente da composição da vinhaça. Comportamento semelhante foi constatado por Bianchi et al. (2008) em trabalho com aplicação de doses de vinhaça 0, 300, 450, 600 e 750 m³ ha⁻¹ em Latossolo vermelho-amarelo distrófico, verificaram que a medida que aumentaram as doses de vinhaça houve desbalanço dos cátions Ca, Mg e K no complexo sortivo do solo.

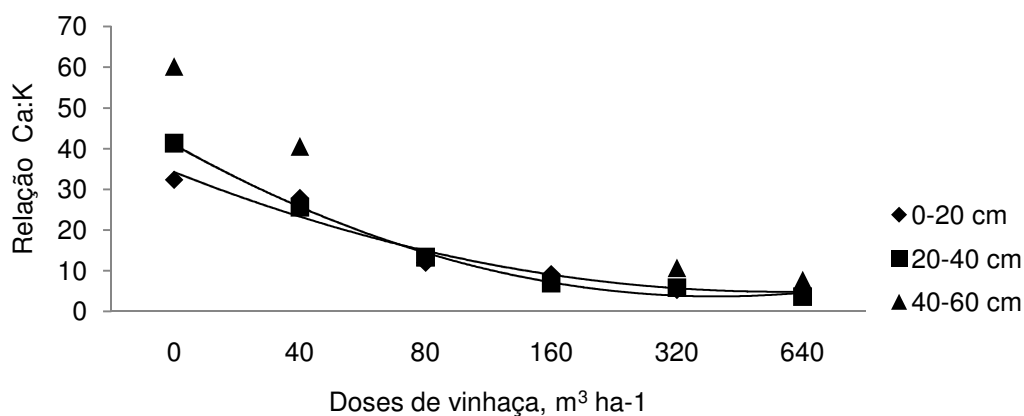


Figura 47. Relação entre cálcio e potássio trocáveis em função das doses de vinhaça 0, 40, 80, 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹.

Avaliando a relação $K^+(Ca+Mg)^{-0,5}$ em diferentes solos e relacionando com probabilidade de resposta da cana-de-açúcar a adubação potássica, Reis Júnior (2001) classificou como relação baixa valores $< 0,2547$, média de $0,2547$ a $0,3349$ e alta $> 0,3349$. Este autor acrescentou que a medida que a relação $K^+(Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ aumentou, a probabilidade de resposta da produção de cana-de-açúcar à adubação potássica diminuiu. Observa-se que o resultado da relação do presente trabalho se enquadra como baixa, com valor de $0,0945$, indicando que o solo apresenta baixo teor de potássio, antes da aplicação da vinhaça. Após a aplicação das doses de vinhaça, pode-se evidenciar aumento nesta relação para $0,1283$; $0,1423$; $0,1157$; $0,1185$; $0,2556$ e $0,3273$ para as doses 0 , 40 , 80 , 160 , 320 e 640 , respectivamente (Figura 48). A relação no solo para a dose 0 foi maior do que o solo antes da instalação do experimento devido ao aumento no teor de Ca proveniente da adição do calcário. Nota-se também que a tendência de valores constantes com doses de até $160\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ pode sugerir que houve deslocamento do K para camadas inferiores ou pode ter ocorrido diluição da vinhaça na solução do solo e o K não foi suficiente para ocupar cargas negativas do complexo sortivo. Comparando os resultados encontrados com os de Reis Júnior (2001), as relações de $K^+(Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ para as doses 320 e $640\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ podem ser classificadas como média e alta, respectivamente. Com isso, pode-se inferir que a dose de $640\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ pode ser aplicada em Argissolo sem provocar desbalanço entre os cátions K, Ca e Mg no solo.

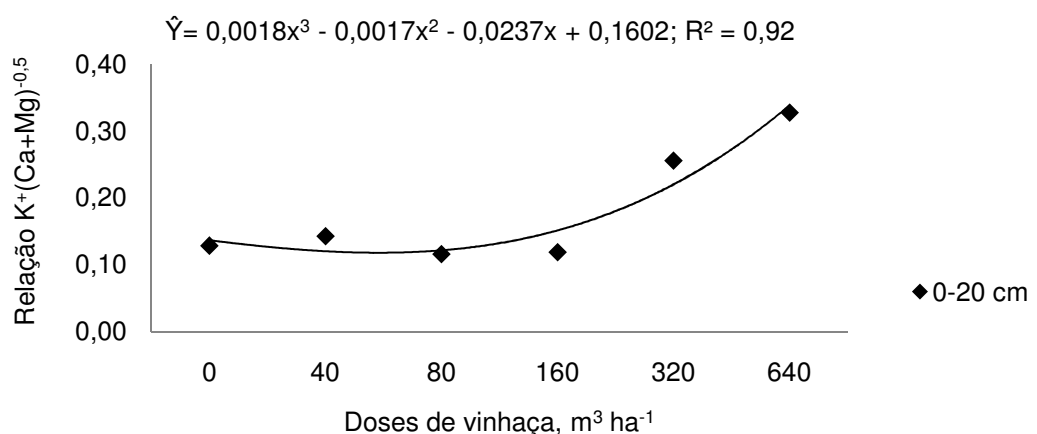


Figura 48. Relação entre potássio (cálcio+magnésio) trocáveis em função das doses de vinhaça 0 , 40 , 80 , 160 , 320 e $640\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ na camada $0-20\text{ cm}$.

4.6.7 Matéria orgânica

Para o teor de matéria orgânica do solo não houve ajuste a modelo de regressão significativo (Figura 49). Este resultado indica que a aplicação de vinhaça não alterou o teor de matéria orgânica do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Andrioli (1986), que empregou doses de vinhaça de até $1.200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em Latossolo e não encontrou diferença no teor de matéria orgânica. Gariglio (2008) também não encontrou alterações em solos com aplicação de doses de vinhaça. Este autor relata que a falta de alteração no teor de matéria orgânica nos solos sob aplicação deste resíduo está relacionado a facilidade da matéria orgânica da vinhaça em se decompor, favorecendo a atividade microbiana. No entanto, Pereira et al. (2002) aplicaram doses de vinhaça em solo cultivado com milho e observaram aumento de carbono orgânico (CO) principalmente nas amostras de solo com doses acima de $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, com 30 dias de incubação. Adicionalmente, Canellas et al. (2003) constataram aumento de carbono orgânico depois de 35 anos de aplicação de vinhaça em Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar. Resultados com aumento de carbono orgânico do solo, também foram verificados por Zolin et al. (2011) em estudo exploratório com aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça durante 1, 2, 3, 4, 12 e 20 anos em Latossolo e Argissolo no estado do Paraná.

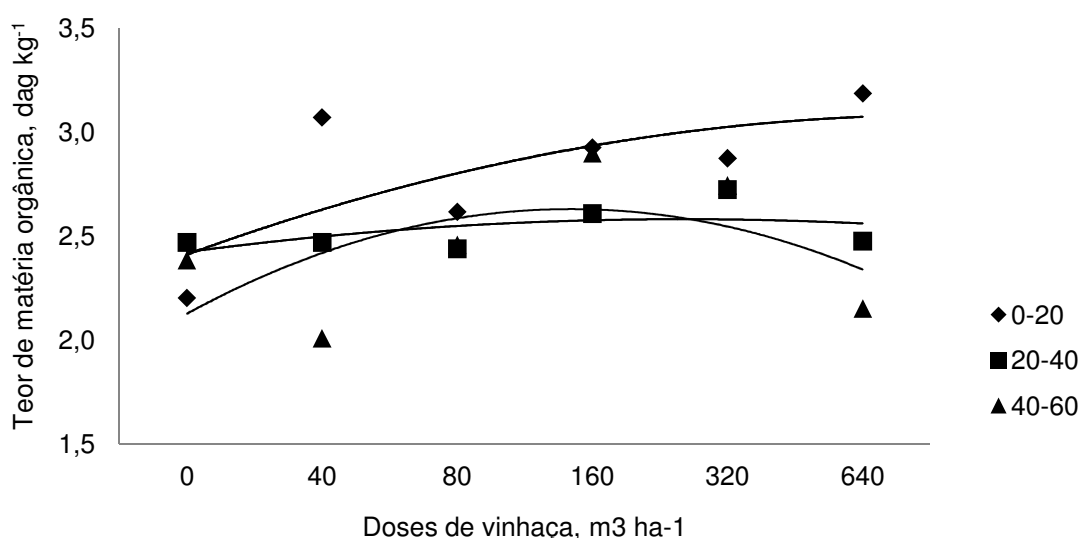


Figura 49. Teor de matéria orgânica em função das doses de vinhaça nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

4.7 Variáveis tecnológicas da cana

A interpretação dos resultados das variáveis tecnológicas, principalmente Brix, Pol e pureza são fundamentais para conhecimento do ponto de maturação para processamento dos colmos da cana-de-açúcar.

Pode-se observar na Tabela 8 e 9, que os valores das variáveis tecnológicas foram semelhantes entre as doses de vinhaça aplicadas, o que indica que o aumento da aplicação do resíduo não alterou significativamente estas variáveis aos 300 e 360 dias após o plantio. Resultados semelhantes foram encontrados por Melchor et al. (2008) que não verificaram diferenças entre as variáveis tecnológicas da terceira soca para os tratamentos com aplicação de vinhaça (150 e 250 m³ ha⁻¹) e adubação com KCl. Entretanto, Tasso Júnior et al. (2007) em estudo com aplicação de lodo de esgoto, vinhaça, KCl e ureia, enfatizaram que dos diferentes resíduos, os maiores valores de °Brix foram encontrados nas parcelas com aplicação exclusiva de vinhaça. Adicionalmente, Camilotti et al. (2006) encontraram aumento no teor de Brix quando se aplicou vinhaça + uréia com doses de 200% da recomendação de potássio para o suprimento da cana-de-açúcar e Resende et al. (2006) verificaram incremento de 13 % na produção de açúcar ao aplicar 80 m³ ha⁻¹ de vinhaça em cana. Estes resultados evidenciam que o K aumenta a síntese e acúmulo de sacarose na cana-planta.

Tabela 8. Valores das variáveis industriais da cana-planta com aplicação de doses de vinhaça, aos 300 dias após o plantio.

| Doses m ³ ha ⁻¹ | BRIX | Pol | PZA % | PC | Fibra % | AR | ATR kg t ⁻¹ |
|--|-------|-------|----------|-------|------------|------|---------------------------|
| 0 | 19,76 | 17,35 | 87,76 | 15,17 | 13,20 | 0,61 | 147,52 |
| 40 | 19,02 | 16,00 | 84,15 | 13,52 | 12,70 | 0,93 | 134,96 |
| 80 | 18,79 | 16,47 | 87,57 | 14,30 | 13,57 | 0,84 | 139,49 |
| 160 | 19,41 | 16,92 | 87,17 | 14,72 | 13,08 | 0,66 | 143,81 |
| 320 | 19,40 | 16,41 | 84,68 | 13,90 | 12,97 | 0,88 | 138,03 |
| 640 | 19,48 | 16,80 | 86,25 | 14,58 | 12,55 | 0,75 | 143,24 |

Tabela 9. Valores das variáveis industriais da cana-planta com aplicação de doses de vinhaça, aos 360 dias após o plantio.

| Doses m ³ ha ⁻¹ | BRIX | Pol | PZA % | PC | Fibra % | AR | ATR kg t ⁻¹ |
|--|-------|-------|----------|-------|------------|------|---------------------------|
| 0 | 20,30 | 18,64 | 91,88 | 16,86 | 13,89 | 0,30 | 160,17 |
| 40 | 20,87 | 18,02 | 86,34 | 15,24 | 14,40 | 0,72 | 149,17 |
| 80 | 20,55 | 18,44 | 89,75 | 16,25 | 14,02 | 0,43 | 156,03 |
| 160 | 20,76 | 18,59 | 89,53 | 16,04 | 15,07 | 0,44 | 154,16 |
| 320 | 20,50 | 18,00 | 87,83 | 15,40 | 14,63 | 0,59 | 149,44 |
| 640 | 20,57 | 18,19 | 88,43 | 15,79 | 14,11 | 0,54 | 152,73 |

Segundo Marques et al. (2001), valores inferiores a 18, 15,3 e 85% para Brix, Pol (cana) e pureza, respectivamente, e valor superior a 1% para AR, indicam que a cultura está imatura para colheita. Dessa forma, os valores de Brix, Pol, pureza e ATR foram maiores aos 360 DAP do que 300 DAP devido a cana apresentar-se mais madura. Aos 300 DAP (10 meses), a cana-planta se encontrava madura para o processamento do colmo. Este resultado ocorreu devido a redução da precipitação a partir do mês de setembro, favorecendo o acúmulo de açúcares no colmo.

Orlando Filho et al. (1990), observaram decréscimo linear da Pol % cana em função das adubações potássicas, provavelmente devido à absorção de luxo de K pela cana-de-açúcar, favorecendo o crescimento vegetativo e prejudicando a maturação da cana-de-açúcar. Lima et al. (2006) obtiveram menor valor de Brix para a cultivar SP 79-1011 quando aplicaram adubação com fósforo e potássio em relação ao tratamento controle.

Em relação a Pol % caldo, os valores aos 360 foram superiores aos 300 DAP, resultado esperado com a época de amostragem. Os valores de Pol no caldo variaram de 16,00 a 17,35% aos 300 e 18,02 a 18,64% aos 360 DAP. Apesar da cultivar RB92579 ser de ciclo médio, aos dez meses de idade os valores se encontravam dentro da faixa ideal para o corte. Por outro lado, Có Junior et al. (2008) verificaram valores superiores aos encontrados no presente estudo, em cana de quinto corte sob aplicação de vinhaça, com 20,25 e 17,10 % de Pol no caldo e cana, respectivamente. Lana et al. (2004), em estudo com adubação de KCl obtiveram aumento linear da Pol da cana em função das doses de K.

Quanto a pureza (PZA), valores de 85 a 90% são considerados pureza média. Dessa forma, os valores encontrados no presente estudo estão dentro

da faixa de pureza média a alta evidenciando alta concentração de sacarose em relação a outros açúcares. Silva (2007a) em experimento com várias cultivares, destacou que a RB92579 apresentou valor de pureza de 84,76 %. Entretanto, no presente estudo a maioria dos valores obtidos estiveram acima dos verificados por Silva (2007a), sendo de 84,15 a 91,88 %.

Os valores de açúcares redutores (AR) foram menores aos 360 do que os 300 DAP. Naturalmente, a medida que a cana amadurece, aumenta o Brix, o Pol e a pureza, diminuindo o AR. Este comportamento é vantajoso, pois o AR não cristaliza o que desfavorece a produção de açúcar. Dentre os fatores que afetam estas variáveis (Pol, AR, fibras), o desequilíbrio nutricional existente entre os cátions cálcio, magnésio e potássio, poderão acarretar acúmulo ou diminuição de sacarose, tendo como consequência o aumento de fibras e açúcares redutores.

Ao se analisar o teor de fibras, verifica-se que a aplicação de vinhaça não interferiu nesta variável, cujos resultados oscilaram de 12,55 a 15,00%. Por outro lado, Oliveira et al. (2009) avaliando a aplicação das doses de vinhaça, 0, 100, 150 e 200m³ ha⁻¹, em cana soca (SP80-1816) de terceiro e quarto corte cultivada em um Latossolo vermelho-amarelo distrófico no Estado de Minas Gerais, verificaram que o resíduo diminuiu linearmente o teor de fibras. Estes autores destacaram que é importante a redução no teor desta variável para aumentar a quantidade de caldo e conseqüentemente o rendimento nos alambiques e usinas, mas sem afetar, portanto, a quantidade de bagaço para utilização nas caldeiras da agroindústria da cana-de-açúcar. Com base nisto, Leite et al. (2009), cita que a percentagem ideal de fibra é entre 12% e 13%, e que não compromete a quantidade disponível de bagaço para queima no início da safra.

Quanto a ATR, a aplicação de vinhaça não interferiu nos resultados. Entretanto, pode-se observar que os valores de ATR aos 360 DAP foram superiores aos analisados com 300 DAP, com oscilação de 149,17 a 160,17 e 134,96 a 147,52 respectivamente. Este valor, possivelmente está associado ao estágio de maturação da cana. Quando ocorre a redução da disponibilidade hídrica, os açúcares acumulam no colmo, aumentando o Brix e reduzindo os AR e conseqüentemente favorecendo o ATR. Resultados semelhantes foram verificados por Có Júnior et al. (2008) avaliando doses de lodo de esgoto como fonte de N e vinhaça como fonte de K, aplicadas em Latossolo com 0,12 cmol_c

dm⁻³ de K, correspondentes a 100 e 200% da recomendação de N e K para a cana-de-açúcar. Estes autores encontraram valores de ATR que variaram de 158,67 a 160,94 kg t⁻¹, independente das doses e dos resíduos aplicados.

5. CONCLUSÕES

Doses de vinhaça utilizadas neste estudo aplicadas em Argissolo aumentaram o número de perfilhos, a altura, a área foliar, o índice de área foliar e a massa seca da cana-planta e a produtividade.

O teor dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nas folhas, colmo e ponteiro não foram alterados com doses de vinhaça.

O conteúdo extraído de N, P, K, Ca e Mg pela cana-planta foi maior com a aplicação de 320 e 640 m³ha⁻¹.

Os teores de nutrientes no colmo, folhas e ponteiro diminuí com o crescimento vegetativo da cana-de-açúcar.

O aumento de K no solo, proveniente da vinhaça, eleva os valores da relação $K^+(Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ e decresce os da relação Ca:K trocáveis.

As doses de vinhaça aplicadas não interferem significativamente nas variáveis tecnológicas Brix, Pol, pureza, AR e ATR.

A dose de 640 m³ ha⁻¹ de vinhaça é recomendada em canaviais, sem provocar nenhum impacto negativo na produção agrícola e na qualidade industrial da cana-planta.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V.S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

ALMEIDA, A. C. S.; MOURA FILHO, G.; SILVA, L. C.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S. **Crescimento e absorção de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar**. Rio Largo: UFAL, 21 p. 2006. (Monografia de graduação).

ANDRADE E. T , J. B.; PAULINO, V. T.; FERRARI JUNIOR, E. et al. Resposta de *Panicum maximum* à fertilização nitrogenada e potássica. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33. Fortaleza, 1996. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1996. p. 280-282.

ANDRIOLI, I. **Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um latossolo vermelho escuro textura média**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986. 85 f. (Tese de Doutorado).

ANJOS, I. A. dos; ANDRADE, L. A. de B.; GARCIA, J. C.; FIGUEIREDO, P. A. M. de; CARVALHO, G. J. de. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência e Agrotecnologia**. v.31, n.1, p.59-63, 2007.

BARBER, S. A. **Mecanismos de absorção do potássio por plantas no solo**. In: YAMADA, T. Ed. Potássio na agricultura brasileira. Instituto da potassa & fosfato, Piracicaba. Fundação IAPAR, Londrina, p. 213-226, 1982.

BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, M.W.; SILVEIRA, L.C.I.; DAMASCENO, C.M.; MENDES, L.C. Acúmulo e alocação de nutrientes pela RB72454 no ciclo de cana-planta. In: Congresso Nacional da STAB, 8., Recife, 2002. **Anais...** Recife: STAB, 2002, p.264-267.

BATISTA, K. **Respostas do capim-Marandu a ombinações de doses de nitrogênio e enxofre**. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2002. 104p. (Dissertação de Mestrado).

BEAUCLAIR, E.G.F. **Produtividade da cana-de-açúcar em função de alguns macronutrientes presentes no caldo e no solo**. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 1994. 98p. (Tese de Doutorado).

BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, M. E. R.; SILVA, G. B. & OLIVEIRA, V.S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13. n.6. p.781-787. 2009.

BIANCHI, S.R., NOGUEIRA, A.R.A.; MOREIRA, A., SOUZA, G.B.; MENEZES, E.A.; LOPES, W.V. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo vermelho amarelo distrófico com adição de vinhaça. In: FERTBIO: desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental. Londrina-PR, 2008. Anais...Londrina. 2008.

BONO, J. A. M. & ALMEIDA, A. J. C. S. Efeito da vinhaça no solo e na produção de cana-de-açúcar de Terceiro ano em um Neossolo quartzarênico órtico na região de Campo Grande – MS. In: FERTBIO 2010. Guarapari-ES, 2010. Anais...Guarapari. 2010.

BRITO, F.L.; ROLIM, M.M.; PEDROSA, E.M.R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Suplemento, p. 52-56, 2005.

BRITO, F.L. Qualidade do lixiviado e atributos químicos de três solos tratados com vinhaça. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2004. 100f. (Dissertação de Mestrado).

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M.O.; SILVA, A.R.; TASSO JÚNIOR, L.C.; NOBILE, F.O.; NOGUEIRA, G.A.; PRATI, F. Produtividade e qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.24, n.3, p.32-35, 2006.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.935-44, 2003.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 1991. 157p.

CAVALCANTI, F. J. de A. et al (Eds). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3 ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco- IPA, 2008, 212 p.

CERRI, C. C. PÓLO, A.; ANDREUX, F.; LOBO, M. D. C.; EDUARDO, B.P. Resíduos orgânicos da agroindústria canavieira: 1. Características físicas e químicas. Piracicaba, **STAB**, p.34-37, 1988.

CHEESMAN, O. D. Environmental Impacts of Sugar Production The Cultivation and Processing of Sugarcane and Sugar Beet. CABI Bioscience UK Centre Surrey UK. 269 p. 2004. Disponível em: <http://www.4shared.com>.

CHEN, J. & GABELMAN, W.H. Morphological and physiological characteristics of tomato roots associated with potassium acquisition efficiency. **Scientia Horticulturae**. v.83, p.213-225, 2000.

CÓ JÚNIOR, C.; MARQUES, M. O.; TASSO JÚNIOR, L. C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.196-203, 2008.

COLETI, J.J., CASAGRANDE, J.C., STUPIELLO, J.J., RIBEIRO, L.O.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em argissolos, variedades RB 835486 e SP 81-3250. Piracicaba, **STAB: Açúcar, Álcool e subprodutos**, v. 24, n. 5, 2006.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. D.; OLIVEIRA, G. R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB835486 e SP81-3250. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p.316-321.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. SAFRA 2010/2011. SEGUNDO LEVANTAMENTO AGOSTO 2010. Acesso em 5 de janeiro 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/ecf76fd96889c63b1368be8085214377..pdf>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. SAFRA 2009/2010. Acesso em 5 de janeiro 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>

CONSOMAGNO NETO, D. **Combinação de doses de potássio e magnésio na produção e mineral do capim-tanzânia**. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2006. 83p. (Dissertação de Mestrado).

CORREA, M. C. M.; CONSOLINI, F.; CENTURION, J. F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Maringá**, v. 23, n. 5, p. 1159-1163, 2001.

DILLEWIJN, C.Van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica,1952. 371p.

DIONÍSIO, J. A.; COSTA, N. L.; ANGHINONI, I.; MIELNICZUK, J. Efeito da idade da planta sobre a cinética de absorção do potássio na cultura do milho (*Zea mays L.*). **Agropecuária Técnica**, v.6, n.2, 1985.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FARIAS, C. H. de A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M. & DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no

Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356–362, 2008.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. Areia, Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências Agrárias, 2008. 70 f. (Dissertação de Mestrado).

FERRAGINE, M.D.C. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio na nutrição mineral de capim-Braquiária**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura, “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1998. 84 p. (Dissertação de Mestrado).

FONTES, L. E. F. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Escuro de Goianésia, GO, cultivado com cana-de-açúcar e irrigado com vinhaça**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 76p. (Dissertação de Mestrado).

FREIRE, W.J.; CORTÊZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Editora Agropecuária, 2000. 203p.

FREIRE, F. J. **Efeito do estresse hídrico e da adubação nitrogenada em parâmetros de crescimento do milho (*Zea Mays* L.), teor de nitrogênio e eficiência do uso da água**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1991. 156 f. (Dissertação de Mestrado).

GALLO, J. R.; ALVAREZ, R. & ABRAMIDES, E. Amostragem em cana-de-açúcar, para fins de análise foliar. **Bragantia**, v.21. p. 899-921, 1962.

GARIGLIO, H. A. A. **Alterações físicas e químicas e mobilidade de solutos em solos submetidos a aplicação de vinhaça proveniente da fabricação de álcool carburante**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 2008. 86f. (Dissertação de Mestrado).

GEMTOS, T. A.; CHOULIARAS, N.; MARAKIS, S. Vinasse rate, time of application and compaction effect on soil properties and durum wheat crop. **Journal of Agriculture and Engineering Research**, v.73, n.3, p.286, 1999.

GOMES, J. F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Sccharum spp*)**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2003. 65f. (Dissertação de Mestrado).

GÓMEZ, J. & RODRÍGUEZ, O. Efecto de la vinasa en la productividad de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). **Rev. Fac. Agron. (LUZ)**. v.17, p. 318-326, 2000.

HERMANN, E.R.; CÂMARA, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.17, n.5, p.32-34, 1999.

KOFFLER, N. F.; LIMA, J. F. W. F.; LACERDA, M. F.; Caracterização edafoclimática das regiões canavieiras do Brasil. 1 ed. Piracicaba:IAA-PLANALSUCAR. 1986. 78p.

LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. & ROSSIELO, R.O.P. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.257-261, 1983.

LELIS NETO, J. A. **Monitoramento de componentes químicos da vinhaça aplicados em diferente tipos de solo**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2008. 88 p. (Dissertação de Mestrado).

LI, Z.B. & L.M. Shuman. Mobility of Zn, Cd and Pb in soils as affected by poultry litter extract: I. Leaching in soil columns. **Environment Pollution**. v.95, p.219–226. 1997.

LIMA, S. A. A. de; SILVA, I. F. da; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. da; SOUZA, C. de, CAVALCANTE, F. de S. Influência da adubação mineral sobre três cultivares de Cana-de-açúcar na microrregião de Guarabira na Paraíba. Areia-PB. **Agropecuária Técnica**, v.27, n.2, p.92–99, 2006.

LO MONACO, P. A. **Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 96p. (Tese de Doutorado).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicações**. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.

MARCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

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

MELCHOR, G. I. H.; GARCÍA, S. S.; LÓPEZ, D. J. P.; ESPINOZA, L. del C. L.; ESTRADA, M. C. Y ROSADO, O. R. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. **Interciência**. v. 33, n.11, 2008.

MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. Viçosa. 2006. 46 f. (Dissertação de Mestrado).

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MORAIS, J.F.B. **Estimativa da área foliar de quatro variedades de cana-de-açúcar**. Rio Largo, Universidade Federal de Alagoas, 2004. 16p. (Monografia de Graduação).

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**. 1(2): 74-99, 2010.

MOURA FILHO, G.; SORIANO, H. L.; SILVA, L. C.; BARBOSA, G. V. S.; LYRA NETO, I. A.; SILVA, V. T. Acúmulo e eficiência de macronutrientes em cana-planta, sob condição de sequeiro. In:Fertbio. Londrina-PR, 2008. **Anais...**Londrina, 2008.

NUNES, M.R.; VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, p. 165-170, 1981.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J. ; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E. & SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por Variedades de cana-de-açúcar cultivadas Sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, E. L.; ANDRADE, L. A. B.; FARIA, M. A.; EVANGELISTA, A.W. P.; MORAIS, A. R. Uso de vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1398-1403, 2009.

OLIVEIRA, E.C.A. **Dinâmica dos nutrientes em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2008. 73f. (Dissertação de Mestrado).

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. & SILVA, D. K.T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.37, n.2, p. 71-76, 2007.

ORLANDO FILHO, J. BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.14, n.5, p.13-17, 1996.

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, L.C.F.; LAVORENTI, N.A. Adubação PK em cana-de-açúcar cultivada em dois espaçamentos de plantio. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.8, n.5/6, p.15-21, 1990.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1137-1145, 2010.

PAULA, M. B. de, HOLANDA, F. S. R.; MESQUITA, H. A. & CARVALHO, V. D. de. Uso da vinhaça no abacaxizeiro em solo de baixo potencial de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.7, p.1217-1222, 1999.

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: Ciências Agrárias**, Londrina, v.23, n.2, p.145-150, 2002.

PENATTI, C. P. et al. Efeitos da aplicação da vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico**, Copersucar, São Paulo, v.44, p.32-38, 1988.

PEREIRA, W.L.M. **Doses de potássio e de magnésio em solução nutritiva para o capim-Mombaça**. Piracicaba, "Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2001. 128p. (Tese de doutorado).

PEREIRA, J. P.; ALVARENGA, E. M.; TOSTES, J. R. P.; FONTES, L. E. F. Efeito da adição de diferentes doses de vinhaça em um latossolo vermelho-amarelo distrófico na germinação e vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v.14, n.2, p.147-150, 1992.

PRADO, R. de M. & PANCELLI, M. A. Nutrição Nitrogenada em Soqueiras e a Qualidade Tecnológica da Cana-de-Açúcar. **STAB**. v. 25, n. 2, 2006.

REIS JÚNIOR, R. dos A. Probabilidade de resposta da cana-de-açúcar à adubação potássica em razão da relação $K^+(Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1175-1183, 2001.

RESENDE, A. S. de; SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; Coelho, C. H.; GONDIM, A.; Oliveira, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.30, n.6, Viçosa, 2006.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. USA Department of Agriculture Handbook 60. USDA Government Printing Office, Washington, DC. 1954.

ROCHA, A. T. **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007. 69 f. (Tese de Doutorado).

RODELLA, A. A. **Métodos para análise de folhas e resíduos da cana-de-açúcar**. In: **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba, 1983. 369p.

ROSABAL, A.; MORILLO, E.; UNDABEYTIA, T.; MAQUEDA, C.; JUSTO, A.; Herencia, J. F. Long-term impacts of wastewater irrigation on Cuban soils. **Soil Science Society American**. v. 71, p.1292–1298, 2007.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. & VITTI, A. C. Manutenção da fertilidade e recuperação dos solos na cultura da cana-de-açúcar. IAC. Acesso em dezembro 2010. Disponível em: www.apta.sp.gov.br/.../manutencao_recuparacao_solo_raffaella.doc.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. CANTARELLA, H. LANDELL, M. G. A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações agrônomicas**, v.124, p. 8-13. 2008.

SANTOS, V.R. **Fontes de fósforo e parcelamento da adubação fosfatada na cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)** Rio Largo: Universidade Federal de Alagoas, 66p. 2005. (Dissertação de Mestrado).

SENGIK, E.; CANO, M. A. O.; SILVA, C. C.; RIBEIRO, A. C. Efeitos da vinhaça sobre o crescimento do sorgo granífero. In: Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias. Anuário CCA: 1995/1996. Maringá, p. 163-166. 1996.

SENGIK, E.; RIBEIRO, A. C.; CONDÉ, A. R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p.11-15, 1988.

SHUKLA, S.K.; YADAV, R.L.; SINGH, P.N.; ISHWAR SINGH. Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter initiated sugarcane (*Saccharum spp.* hybrid complex) ratoon yield. **European Journal of Agronomy**, v.30, p. 27–33. 2009.

SILVA, A. B. da.; NETO, J. D.; FARIAS, C. H. de A.; AZEVEDO, C. A. V. de.; AZEVEDO, H. M. de. Rendimento e qualidade da cana-de-açúcar irrigada sob adubações de nitrogênio e potássio em cobertura. **Caatinga**, v.22, n.3, p.236 – 241. 2009.

SILVA, L. C. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) na região de Coruripe-AL.** Rio Largo, Universidade Federal de Alagoas, 2007a. 74p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, M. A. S. da. **Impactos da aplicação de vinhaça sobre as propriedades químicas do solo e de seu efluente.** Goiânia, Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2007b. 92 f. (Tese de Doutorado).

SILVA, M. A. S. da; GRIEBELER, N. P. & BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108–114, 2007.

SILVA, M. A.; SILVA G. L. Utilização agrícola da vinhaça e outros efluentes líquidos. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v.5, n.23, p.26-38, 1986.

SILVEIRA, C. P. **Produção e nutrição mineral do capim-Tanzânia com variável disponibilidade de nitrogênio e cálcio.** Piracicaba, “Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2005. 87 p.

SILVEIRA, J. A. G.; CROCOMO, O. J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivado em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v. 2, n. 2. p. 7-15, 1990.

SIMÕES NETO, D. E. **Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do estado de Pernambuco.** Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco. 105 f. 2008. (Tese de Doutorado).

SIMÕES NETO, D. E.; MELO, L. J. O. T. **Lançamentos de novas variedades RB de cana-de-açúcar**. Recife:UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 28p.

SOUZA, Z. M. de; PAIXÃO, A. C. S.; PRADO, R. de M.; CESARIN, L. G.; Souza, S. R. de. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, v.35 n.5, 2005.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B.V.; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A. & ROSSETO, R. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., coords. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, **Boletim Técnico 100**, p.233-239. 1997.

STROMBERGER, J. A.; TSAI, C. Y.; HUBER, D. M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. **Journal of plant nutrition**, v. 17, n.1, p. 19-37, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. São Paulo: Artmed, 2004. 792p.

VIANA, E. M. **Interação de Nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. Piracicaba, “Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2007. 96p. (Dissertação de Mestrado).

ZAMBELLO JUNIOR, E. **Aplicação do sistema integrado de diagnose e recomendação para diferentes solos e épocas de amostragem foliar em soqueira de cana (*Saccharum spp*)**. Piracicaba, “Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1979. 95 f. (Dissertação de Mestrado).