

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**NITROGÊNIO EM SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR
CULTIVADA EM SISTEMA CONSERVACIONISTA**

Marcus André Ribeiro Correia

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**NITROGÊNIO EM SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR
CULTIVADA EM SISTEMA CONSERVACIONISTA**

Marcus André Ribeiro Correia
Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Janeiro de 2012

Correia, Marcus André Ribeiro
C824n Nitrogênio em soqueiras de cana-de-açúcar cultivada em sistema
conservacionista/ Marcus André Ribeiro Correia. – – Jaboticabal, 2012
x, 85 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012

Orientador: Renato de Mello Prado

Banca examinadora: Takashi Muraoka, Danilo Eduardo Rozane,
Rogério Falleiros Carvalho, José Frederico Centurion

Bibliografia

1. *Saccharum* spp L. 2. Adubação nitrogenada. 3. Nitrato
4. Amônio 5. Nutrição de plantas. I. Título. II. Jaboticabal-SP
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.84:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Marcus André Ribeiro Correia - nascido em Porto Nacional-TO, em 22 de setembro de 1983, filho de Zilmar Ribeiro de Souza e Deuzina Correia Ribeiro. Em março de 2002, ingressou na Universidade Federal do Tocantins, Câmpus de Gurupi, e concluiu em setembro de 2006 o curso de Agronomia. Durante o curso, foi bolsista de iniciação científica pelo CNPq durante dois anos. Em março de 2007, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Câmpus de Jaboticabal FCAV/Unesp, como bolsista da CAPES, e posteriormente FAPESP, com conclusão do curso em fevereiro de 2009. Em março de 2009, iniciou o curso de doutorado pelo Programa de Pós - Graduação em Agronomia "Produção Vegetal", nesta mesma universidade. Foi bolsista da CAPES, realizando trabalhos nas linhas de pesquisa: Fertilidade do solo e nutrição de plantas, adubação e nutrição da cana-de-açúcar, frutíferas e hortaliças. Participou como membro em diferentes órgãos do colegiado da FCAV/UNESP como representante discente junto à Congregação; Conselho do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), ano de 2009; Membro da Diretoria da Associação de Pós-Graduandos (APG) no período de 2008 a 2010. Organizou cinco eventos científicos, além da participação em diversos cursos e congressos, quatro bancas de defesa de TCC. É autor/coautor de mais de 65 publicações, incluindo 19 artigos em periódicos (nacionais e internacionais), dois livros, dois capítulos de livros. Coorientou dois alunos de graduação do curso de Agronomia da FCAV/Unesp.

*Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.
 Há tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de arrancar o que se plantou;
 Tempo de matar, e tempo de curar; tempo de derrubar, e tempo de edificar;
 Tempo de chorar, e tempo de rir; tempo de prantear, e tempo de dançar;
 Tempo de espalhar pedras, e tempo de juntar pedras; tempo de abraçar, e tempo de afastar-se de abraçar;
 Tempo de buscar, e tempo de perder; tempo de guardar, e tempo de lançar fora;
 Tempo de rasgar, e tempo de coser; tempo de estar calado, e tempo de falar;
 Tempo de amar, e tempo de odiar; tempo de guerra, e tempo de paz.
 Que proveito tem o trabalhador naquilo em que trabalha?
 Tenho visto o trabalho que Deus deu aos filhos dos homens, para com ele os exercitar.
 Tudo fez formoso em seu tempo; também pôs o mundo no coração do homem, sem que este possa descobrir a obra que Deus fez desde o princípio até ao fim.
 Já tenho entendido que não há coisa melhor para eles do que alegrar-se e fazer bem na sua vida:
 E também que todo o homem coma e beba, e goze do bem de todo o seu trabalho; isto é um dom de Deus.
 Eu sei que tudo quanto Deus faz durará eternamente; nada se lhe deve acrescentar, e nada se lhe deve tirar; e isto faz Deus para que haja temor diante dele.
 O que é, já foi; e o que há de ser, também já foi; e Deus pede conta do que passou.
 Não há mais debaixo do sol que no lugar do juízo havia impiedade, e no lugar da justiça havia iniquidade.
 Eu disse no meu coração: Deus julgará o justo e o ímpio; porque há um tempo para todo o propósito e para toda a obra.
 Disse eu no meu coração, quanto a condição dos filhos dos homens, que Deus os provaria, para que assim pudessem ver que são em si mesmos como os animais.
 Porque o que sucede aos filhos dos homens, isso mesmo também sucede aos animais, e lhes sucede a mesma coisa: como morre um, assim morre o outro; e todos têm o mesmo flego, e a vantagem dos homens sobre os animais não é nenhuma, porque todos são vaidade.
 Todos vão para um lugar; todos foram feitos do pó, e todos voltarão ao pó.*

Eclesiastes 3: 1-20

A minha mãe, Deuzina Correia Ribeiro, por todo apoio, compreensão, dedicação e amor, que durante toda minha vida sempre esteve ao meu lado. Aos meus irmãos, Erico Ricardo Ribeiro Correia, Hermany Ribeiro Correia e Eliana Ribeiro Correia, pela amizade, companheirismo, apoio e conselhos. Aos meus sobrinhos, Marta Daniely, Zilmar Gabriel e Pedro Henrique, por serem fontes de alegria e inspiração para mim e toda nossa família. Aos meus afilhados, Letícia e Pedro Henrique, que a cada dia alegram minha vida. Às minhas cunhadas, Francisca e Gilciane, pelo incentivo e amizade. A todos OS meus familiares, que sempre me apoiaram em minhas decisões pessoais e profissionais, o meu muito obrigado.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por iluminar meu caminho onde quer que eu esteja.

À Capes, pela bolsa concebida, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio ao projeto.

À Usina São Martinho, pela área e estrutura cedidas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato de Mello Prado, que durante cinco anos, com muita dedicação e profissionalismo, orientou-me.

À FCAV/Unesp e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade concebida.

Ao professor Arthur Bernardes Cecílio, pela amizade, orientação e conselhos.

Ao professor Itamar Andrioli, pela amizade, companheirismo e conselhos.

Ao grande amigo Diego Wyllyam do Vale, pelo companheirismo na vida acadêmica e em todos os momentos.

Aos grandes amigos Thiago Batista Firmato de Almeida (Baiano), Edney Pereira da Silva (o Fêi), Leandro Rossato (Boga), Ronaldo Rosa Simões (Bicudo), Rilner Alves Flores (Magro), Carlos Leandro (Lambari), Sonson, Anchieta e a todos que conquistei a amizade e o companheirismo, obrigado por tudo e pelos bons momentos de risadas e confraternizações.

Ao grande amigo, cuja pessoa simples de coração humilde e solidário conheci, Hélio Lima dos Santos (o Véi), obrigado pela amizade e companheirismo.

Aos meus amigos pós-graduandos Ancélio, Danilo e Henrique, pela amizade e colaboração nos momentos de dificuldades.

Às minhas amigas pós-graduandas Aline, Adriana, Cíntia, Amanda, Fabiana, Ivana, Anarlete, Liliane e Anelisa, pela amizade e apoio prestado.

À Claudinha e ao Dejair, funcionários do departamento de solos e adubos, pela ajuda e apoio na condução dos nossos experimentos.

À Célinha e Maria Inês, secretárias do departamento de solos e adubos, pela atenção e colaboração durante minha passagem pela pós-graduação.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, Cherin, Luiz, Gomes, Anderson, Mauro, pelo auxílio e contribuição. A todos aqueles que, embora não mencionados, contribuíram direta ou indiretamente para minha formação.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	2
1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVO	4
3 REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 Aspectos gerais da cultura da cana-de-açúcar	5
3.2 Importância da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo	6
3.3 Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio	7
4 MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1 Local e caracterização da área experimental.....	11
4.2 Tratamentos, estatística e condução do experimento.....	13
4.3 Avaliações realizadas na planta e no solo.....	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5.1 Efeito dos tratamentos nas concentrações de amônio e nitrato aos seis e doze meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.....	23
5.2 Efeito dos tratamentos na fertilidade do solo.....	32
5.3 Efeito dos tratamentos na concentração de carbono do solo.....	37
5.4 Efeito dos tratamentos no estado nutricional da cana-de-açúcar	38
5.5 Efeito dos tratamentos no crescimento e na medida indireta da clorofila da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.....	43
5.6 Efeito dos tratamentos na produção de fitomassa pela cana-de-açúcar.....	47

5.7 Efeito dos tratamentos no teor e no acúmulo de nitrogênio nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos da cana-de-açúcar.....	49
5.8 Efeito dos tratamentos na produção e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar	52
5.9 Efeito dos tratamentos no fator econômico da segunda soqueira de cana-de-açúcar	57
6 CONCLUSÕES.....	59
7 REFERÊNCIAS.....	59
APÊNDICE..	72

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento.....	12
Tabela 2. Granulometria do solo da área experimental.....	12
Tabela 3. Resultado médio da concentração de amônio e nitrato no solo e o resumo da análise de variância em função da adubação nitrogenada, aos seis e aos doze meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar.....	23
Tabela 4. Resumo da análise de variância dos atributos químicos do solo em função das doses de nitrogênio e épocas de coleta, aos 6 e 12 meses da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.....	33
Tabela 5. Carbono no solo em função da adubação nitrogenada na camada de 0-10 cm de profundidade, aos 12 meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar, respectivamente.....	37
Tabela 6. Resumo da análise de variância do estado nutricional de macro e micronutrientes em função das doses de nitrogênio e tipos de folhas coletadas aos 4 e 9 meses da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.....	39
Tabela 7. Altura, número e diâmetro de perfilhos, índice SPAD em função da adubação nitrogenada, aos quatro e aos nove meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.....	44
Tabela 8. Resultados médios da produção da massa da matéria seca das folhas secas, folhas verdes e dos colmos da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio.....	47
Tabela 9. Teor e acúmulo de nitrogênio nas folhas secas, folhas verdes e nos colmos da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio.....	50
Tabela 10. Efeito dos tratamentos na produtividade, na leitura dos açúcares redutores (AR), no brix, no teor de sacarose (Pol% cana), na fibra, na pureza, na pureza do caldo (PC), no açúcar total recuperável (ATR), no açúcar redutor total (ART) e no peso do bolo úmido (PBU), em função da adubação nitrogenada, na segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.....	54

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Vista geral da área experimental referente ao momento de demarcação das parcelas experimentais da cultura da cana-de-açúcar.....	13
Figura 2. Croqui da área experimental com os tratamentos e detalhe da parcela dispostos em delineamento, em blocos casualizados, em quatro repetições.....	14
Figura 3. Detalhe da aplicação dos fertilizantes ao lado da linha da segunda soqueira da cana-de-açúcar.....	15
Figura 4. Vista da área experimental referente ao desbaste de plantas entre os blocos na cana-de-açúcar, aos 92 (a) e 100 (b) dias após a brotação da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar, respectivamente.....	16
Figura 5. Detalhe da avaliação do número de perfilhos (a), diâmetro do colmo (b), e da altura dos colmos (c), após a brotação das soqueiras da cana-de-açúcar.....	17
Figura 6. Detalhe da inserção da folha +1 (a), da folha +3 (b), da leitura do índice SPAD realizada na folha (c) da cana-de-açúcar.....	18
Figura 7. Detalhe da amostragem de solo (a e b) com uso de trado holandês realizado a 10 cm de distância da linha das soqueiras da cana-de-açúcar.....	19
Figura 8. Detalhe das parcelas colhidas (a), pesagem dos colmos na unidade experimental, utilizando célula de carga acoplada em trator (b) e a área após colheita com a palha espalhada, nas unidades experimentais (c).....	20
Figura 9. Detalhe das folhas verde (a) e seca (b), e amostragem do material vegetal acondicionado em sacos plásticos (c) para posterior análises química.....	21
Figura 10. Detalhe dos colmos da cana-de-açúcar coletados na ocasião das colheitas, para avaliações tecnológicas do colmo.....	22
Figura 11. Concentrações de amônio nas camadas de 0-10 cm (a) e 80-100 cm (b) de profundidade do solo, aos seis e aos 12 meses (c) após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....	24
Figura 12. Concentrações de nitrato no solo, nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-40 (c), 40-60 (d), 60-80 (e) e 80-100 (f) cm de profundidade do solo, aos seis e aos doze meses após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar, em função da	

aplicação de nitrogênio. ** - significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F.....26

Figura 13. Concentrações de amônio no solo, em função da aplicação de nitrogênio nas camadas: 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-40 cm (c) e 60-80 cm (e), aos seis e doze meses, respectivamente, 40-60 cm (d) aos seis e 80-100 cm (f) de profundidade no solo, aos doze meses após a brotação da terceira soqueira de cana-de-açúcar. **, * - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F.....29

Figura 14. Concentrações de nitrato no solo, em função da aplicação de nitrogênio nas camadas: 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-40 cm (c), aos seis e doze meses, e 40-60 cm (d), 60-80 cm (e) e 80-100 cm (f) de profundidade no solo, respectivamente, aos doze meses após a brotação da terceira soqueira de cana-de-açúcar. **, * - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F.....31

Figura 15. Efeito das doses de nitrogênio nas concentrações de fósforo (a) e cálcio (b) nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidades, em amostragem realizada aos 6 meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar. **, * - Significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2009.....34

Figura 16. Efeito das doses de nitrogênio nas concentrações de cálcio (a), magnésio (b), soma de bases (c) e T (d) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidades, em amostragem realizada aos 6 meses após a brotação da terceira soqueira da cana-de-açúcar. **, * - Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....35

Figura 17. Efeito das doses de nitrogênio nas concentrações de potássio (a), cálcio (b), magnésio (c), soma de bases (d), T (e) e saturação por bases (f) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidades, em amostragem realizada aos 12 meses após a brotação da terceira soqueira da cana-de-açúcar. ** - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....36

Figura 18. Teor de fósforo (a), boro (b), cobre (c), ferro (d) e zinco (f) na folha +1 e manganês (e), na folha +1 e +3, em função da aplicação de nitrogênio aos 4 meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar. **, * - significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.....41

Figura 19. Efeito da adubação nitrogenada no número de perfilhos por metro da linha da cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio aos quatro meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar. ** - significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.....45

- Figura 20. Leitura do índice SPAD da folha +1 e folha +3, aos nove meses após a brotação da terceira soqueira da cana-de-açúcar. ** - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....46
- Figura 21. Efeito das doses de nitrogênio na massa da matéria seca das folhas verdes MSFV e na massa da matéria seca dos colmos MSC da terceira soqueira de cana-de-açúcar, aos doze meses após a brotação da cultura. **, * - Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....48
- Figura 22. Efeito das doses de nitrogênio no teor de N nas folhas secas da segunda e terceira soqueiras (a) e acúmulo de nitrogênio das folhas secas (b), folhas verdes (c) e nos colmos (d) da terceira soqueira da cana-de-açúcar. **, * - Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....51
- Figura 23. Produção de colmos da segunda soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio (médias de quatro repetições). ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....55
- Figura 24. Açúcares redutores da cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio. ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....55
- Figura 25. Incremento líquido (I.L.) (a), valor líquido de produção (V.L.P.) (b) e receita líquida (R.L.) (c), na segunda soqueira de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio. ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....57

NITROGÊNIO EM SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA EM SISTEMA CONSERVACIONISTA

RESUMO - A colheita sem o uso da despalha a fogo da cana-de-açúcar deixa na superfície do solo resíduo vegetal que pode provocar mudanças na dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta. Objetivou-se avaliar o efeito da adubação nitrogenada na segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar em sistema de colheita mecanizada, através de análises químicas do solo, da diagnose foliar, de avaliações biológicas e tecnológicas e da produção de colmos. Para isso, instalou-se experimento no município de Matão-SP, Brasil, em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, após o corte da primeira soqueira da cana-de-açúcar (variedade SP 83-2847). As doses de N foram 0; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹, dispostas em blocos casualizados, em quatro repetições. O nitrogênio foi aplicado na forma de nitrato de amônio, um mês após o corte da primeira e segunda soqueiras (dezembro de 2007 e 2008). Avaliaram-se os atributos químicos do solo, o teor de amônio e nitrato no solo, aos seis e doze meses após a aplicação do nitrogênio; o estado nutricional e o crescimento aos quatro e nove meses após o início da brotação das soqueiras da cana-de-açúcar; a produção e as análises tecnológicas dos colmos da cana-de-açúcar, aos doze meses após o corte da segunda e terceira soqueiras. A adubação nitrogenada aumentou o teor de nitrogênio no solo, o acúmulo de nitrogênio na planta e o crescimento da cultura; entretanto, não alterou o teor foliar de nitrogênio. A dose de 130 kg ha⁻¹ de N proporcionou a máxima produção de colmos da segunda soqueira (158 t ha⁻¹) e esteve associada aos teores de amônio de 14 mg kg⁻¹ e de nitrato de 12 mg kg⁻¹ no solo (camada de 0-10 cm).

Palavras-chave: *Saccharum* spp L., adubação nitrogenada, nitrato, amônio, nutrição de plantas.

NITROGEN IN THE RATOON SUGARCANE GROWN IN A COSERVATIONIST SYSTEM

SUMMARY- The harvest of sugarcane without burning straw leaves residues on the soil surface that may change the nitrogen dynamics in the soil-plant system. The aim of this work was evaluate the mechanized harvest of sugarcane nitrogen fertilization effect in the second and third ratoon through soil chemical analysis, foliar diagnosis, biologic and technological evaluations, and also through the stem production. For that, an experiment was carried out at São Martinho sugar mill, Matão, São Paulo in a clay Red-Yellow Latosol, after the first ratoon cut (variety SP 83-2847). The N rates were 0, 60, 120, 180, and 240 kg ha⁻¹, arranged in randomized blocks with four replications. The nitrogen was applied as ammonium nitrate, one month after the first ratoon cut (December 2007 and 2008). We evaluated the chemical attributes of the soil, the soil ammonium and nitrate at four and six nine months after the ratoon sprouting, the production and the stem technologic analysis at twelve months after the second and third ratoon cut. The fertilization with nitrogen increased the content of nitrogen in the soil, the nitrogen content in the plant as well the plant growth, however, it did not alter the foliar content. The level of 130 kg ha⁻¹ of N provided the maximum production of stems (158 t ha⁻¹) and it was associated with the N-ammonium content of 14 mg kg⁻¹ and the N-nitrate of 12 mg kg⁻¹ (0-10 cm layer).

Keywords: *Saccharum* spp, nitrogen fertilization, nitrate, ammonium, plant nutrition.

1 INTRODUÇÃO

O uso de fontes de energia renovável e com baixo teor de carbono é uma das estratégias para reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa que têm provocado o aquecimento do planeta. A cana-de-açúcar é uma das melhores opções de fonte de energia renovável do mundo. De acordo com a Aneel e o Ministério de Minas e Energia (2011), 18% da matriz energética brasileira é proveniente de derivados da cana-de-açúcar, colocando-a entre as mais limpas do mundo.

Devido aos aspectos ambientais e econômicos, a colheita da cana-de-açúcar passou da manual, com o uso da despalha a fogo, para a mecanizada, sem a queima dos restos culturais.

Nesse novo sistema de colheita da cana-de-açúcar, as folhas secas, os ponteiros e as folhas verdes são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta denominada palhada. No Estado de São Paulo, estima-se que a massa de palhada de cana que permanece sobre o solo após o corte da cana, varia de 10 a 20 t ha⁻¹ de matéria seca com relação C:N próxima de 100 e conteúdo de nitrogênio entre 40 e 80 kg ha⁻¹ (TRIVELIN et al., 1995; CANTARELLA, 1998, citado por VITTI et al., 2008).

A presença de resíduo vegetal sobre o solo provoca mudanças no agroecossistema, exigindo reformulação das práticas até então empregadas no manejo da cana colhida depois de queimada (COSTA et al., 2003). Estes mesmos autores acrescentam que, com relação ao manejo da adubação, o maior problema é quanto ao uso do nitrogênio nas soqueiras.

É sabido que o N é um constituinte indispensável para a adequada nutrição das plantas. Na biosfera, encontra-se disponível para as plantas em diferentes formas, incluindo o N molecular (N₂), amônia (NH₃), N mineral nitrato e amônio (NO₃⁻ e NH₄⁺) e N orgânico como aminoácidos e peptídeos (WIRÉN et al., 1997). Na agricultura, o N é determinante na produção das culturas, além de ser um dos fertilizantes que mais participam do sistema agrícola (MAE, 1997). Sua assimilação está diretamente relacionada com o metabolismo do carbono, que fornece energia na forma de

esqueletos de C, necessários para converter o N-inorgânico em compostos orgânicos (PEUKE; JESCHKE, 1993).

O nitrogênio é constituinte obrigatório de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, participa direta e indiretamente de diversos processos bioquímicos das plantas, e pode ser encontrado também na forma inorgânica (NO_3^- e NH_4^+) (GOMES et al., 2005). É um dos nutrientes mais extraídos do solo pela planta da cana-de-açúcar, considerada de elevada eficiência fisiológica na utilização de nitrogênio (SILVEIRA, 1985).

Orlando Filho et al. (1999) constataram a importância da adubação nitrogenada no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subsequentes, entre a cana-de-açúcar com adubação e sem adubação nitrogenada. O manejo inadequado de um canavial, especialmente da adubação nitrogenada, pode resultar tanto em redução da produtividade da cultura quanto em sua longevidade, reduzindo, por conseguinte, o número de colheitas ou cortes entre as reformas (VITTI et al., 2007).

Apesar da importância do nitrogênio para a soqueira da cana-de-açúcar, devido à baixa disponibilidade de N em solos tropicais, os resultados de pesquisa que avaliaram as respostas desta cultura à aplicação de nitrogênio durante os ciclos de cultivos das soqueiras, ainda são incipientes, e não suportam uma recomendação específica do nutriente neste novo sistema de produção da cana-de-açúcar, necessitando de experimentação de média e longa durações.

2 OBJETIVOS

Objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada na segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar em sistema de colheita mecanizada, através de análises químicas do solo, da diagnose foliar, de avaliações biológicas e tecnológicas, e da produção de colmos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais da cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é originalmente uma planta perene, pertencente à família Poaceae, tribo Andropogoneae, e ao gênero *Saccharum*, que abrange várias espécies, sendo as cultivares utilizadas atualmente. Os centros de origem das espécies da cana-de-açúcar são relatados por diferentes autores de diferentes locais, como: Nova Guiné, Índia, China, Japão e África (MATSUOKA et al., 2005; FIGUEIREDO, 2008).

Essa cultura tem um bom desenvolvimento entre as temperaturas de 21 a 34°C; precipitação pluvial no intervalo de 1.000 a 3.500 mm anuais; altitude variando desde o nível do mar até 1.000 m e período de luz entre 10 e 14 horas diárias.

O metabolismo fotossintético dessa gramínea é do tipo C4, possuindo alta eficiência na conversão de energia radiante em energia química, e quanto maior for a intensidade luminosa, maior seu desenvolvimento e acúmulo de açúcar (BARBIERI, 1981). A radiação solar favorece todos os estágios de seu desenvolvimento (LUCCHESI, 2001). Essa eficiência também pode ser devida às condições edafoclimáticas do local de cultivo, estado nutricional da planta e da variedade cultivada (HUNSIGI, 1993).

A cana-de-açúcar possui uma estrutura tipo rizoma e brota sempre que a parte aérea é cortada. A soqueira desenvolve-se a partir das brotações das gemas da base dos colmos colhidos na safra anterior. A primeira vegetação após o plantio é denominada cana-planta, enquanto as soqueiras são denominadas de primeira soca, segunda soca, etc., conforme as colheitas vão sucedendo-se. As soqueiras têm importância econômica muito grande, pois delas é que se retira o maior retorno econômico nessa cultura (MATSUOKA, 1996)

A cana-de-açúcar é cultivada desde épocas remotas, e a exploração canavieira assentou-se, no início, sobre a espécie *S. officinarum*. O surgimento de doenças e de uma tecnologia mais avançada exigiu a criação de novas cultivares, as quais foram obtidas pelo cruzamento da *S. officinarum* com as outras quatro espécies do gênero *Saccharum* e, posteriormente, através de recruzamentos com as ascendentes.

A importância da cana-de-açúcar pode ser atribuída à sua múltipla utilização, podendo ser empregada *in natura*, sob a forma de forragem, para alimentação animal, e até mesmo o caldo ser vendido em feiras para consumo humano, ou como matéria-prima para a fabricação de rapadura, melado, aguardente, açúcar, álcool, além de excelente geradora de energia por meio do bagaço.

A cana-de-açúcar possui grande importância socioeconômica no Brasil, é responsável por gerar milhares de empregos tanto no campo como na indústria, além de ser uma excelente fonte de energia renovável, contribuindo com a substituição dos combustíveis fósseis geradores de gases poluentes, responsáveis pelo aquecimento global.

3.2 Importância da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo

A crescente preocupação da sociedade mundial com o ambiente vem gerando pressão sobre o uso de combustíveis fósseis, os quais são os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera. Vários países estão buscando reduzir ao máximo o uso desses combustíveis, seja pela substituição do produto, seja pela adição de outros combustíveis para diminuir a carga poluidora.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e, na safra de 2010/2011, a produção brasileira foi de 651,5 milhões toneladas em uma área de 8,8 milhões de hectares, dos quais 7 milhões se destinam à produção de açúcar e álcool. O Estado de São Paulo responde por 63% da produção nacional e apresentou produção de 400 milhões de toneladas na safra de 2010/2011, numa área colhida de 4,6 milhões de hectares (AGRIANUAL, 2011).

A agroindústria sucroalcooleira constitui um dos setores do agronegócio mais importantes para a economia primária brasileira, sendo o Estado de São Paulo responsável pelo maior volume de produção. O setor movimenta anualmente 7 bilhões de dólares, correspondendo acerca de 2,4% do PIB, gera em torno de 1,28 milhão de empregos diretos e o sequestro de 20% das emissões de carbono que o setor de combustíveis fósseis emite no País (BRASIL, 2009).

Um dos aspectos conhecidos e responsáveis pela alta produção da cana-de-açúcar é a adequada nutrição da cultura, tendo em vista a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros. A cultura canavieira, instalada em uma vasta área (8,9 milhões de hectares), consome cerca de 15,3 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo a cultura que mais consome adubo por unidade de área (ANDA, 2009). Considerando o papel preponderante do N na agricultura, o adequado suprimento e o uso dos fertilizantes nitrogenados na cultura da cana-de-açúcar tornam-se primordiais para que os polos produtores do País, em especial o Estado de São Paulo, mantenham suas elevadas produções com perspectivas de aumento de produção.

3.3 Respostas da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio

A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para as culturas de maneira geral, para a cultura da cana-de-açúcar, merecendo atenção especial, pois os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e muitas vezes até contraditórios (KORNDÖRFER et al., 2002a).

Segundo Trivelin et al. (2002), as maiores limitações do meio à produção da cana-de-açúcar no Brasil não se relacionam à radiação solar, temperatura nem mesmo à água, mas à disponibilidade de quantidades adequadas de nutrientes minerais nos solos, com destaque ao nitrogênio e ao enxofre. Apesar de o nitrogênio contribuir com 1%, em média, na matéria seca da cana-de-açúcar (exige anualmente de 100 a 300 kg ha⁻¹), seu papel é tão importante quanto o do carbono, hidrogênio e oxigênio, que, juntos, constituem mais de 90% da matéria seca.

Carnaúba (1990) fez uma revisão de literatura em mais de 20 trabalhos e observou que as doses de nitrogênio responsáveis pela maior produtividade da cana-de-açúcar variaram de 25 até 400 kg ha⁻¹, indicando a importância de pesquisas científicas para obter a dose adequada de fertilizantes nitrogenados para a cultura. Srivastava e Suarez (1992) acrescentam que, no mundo, as doses de nitrogênio para cana-de-açúcar variam de 45 a 300 kg ha⁻¹.

Orlando Filho et al. (1999) constataram que a resposta da cana-planta ao N se refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes

subsequentes, entre a cana-de-açúcar com e sem adubação nitrogenada. Franco et al. (2010) avaliaram a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada de plantio em dois ensaios experimentais localizados em Pirassununga e Jaboticabal, ambos no Estado de São Paulo. Os autores constataram que a adubação nitrogenada aumentou os teores foliares de nitrogênio na folha diagnóstica (folha +1) e na produção de colmos da cultura.

O manejo inadequado de um canavial, especialmente da adubação nitrogenada, pode resultar tanto em redução da produtividade da cultura quanto em sua longevidade, reduzindo, por conseguinte, o número de colheitas ou cortes entre as reformas. Neste sentido, o manejo inadequado da adubação nitrogenada em canavial pode resultar na redução da produtividade da cultura, nos tratamentos com as doses mais baixas de N, sendo esse efeito propagado para a safra seguinte, mesmo aumentando-se a dose de N (VITTI et al., 2007). Neste sentido, Vieira et al. (2010), avaliando o efeito residual de fertilizantes nitrogenados observaram que o N-residual das doses de NH_4Cl resultou em significativa redução na produção de colmos (TCH) e açúcar (TPH) em soqueiras de cana-de-açúcar.

Segundo Spironello (1989), a adubação nitrogenada elimina sintomas de deficiência de nitrogênio, melhora o perfilhamento e o desenvolvimento das plantas (folhas mais longas e largas de coloração verde intensa e menos ásperas). Alvarez et al. (1963) constataram que a adubação nitrogenada em cobertura de cana-soca queimada teve 10% de aumento na produção da cana-de-açúcar com a aplicação de 75 kg ha^{-1} de N comparado à testemunha.

Vitti et al. (2007), em experimento com soqueira de cana-de-açúcar, colhida sem queima, avaliando o efeito da aplicação de cinco doses de N (35 até 175 kg ha^{-1}), contendo na superfície 14 t ha^{-1} de matéria seca de palha (62 kg de N), constataram diferença de 100% na produção de colmos, na 2ª soca, entre a maior dose e a testemunha. Na safra seguinte, esse diferencial na produção foi de 50%, mantendo incremento com ajuste linear na produção de cana-de-açúcar em função das doses de N; no entanto, estes autores constataram que o nitrogênio não afetou a qualidade tecnológica dos colmos. Esses autores levantam a hipótese de questionamento se não

seria necessário aplicar maior dose de N na implantação da colheita sem queima, para garantir bom vigor das socas, com reduzida dose de N nos ciclos agrícolas futuros. Neste sentido, Vitti (2003) avaliou a resposta da cana-de-açúcar (cana-soca colhida sem queima) à aplicação de nitrogênio com doses variando de 0 a 175 kg ha⁻¹, observando incremento com ajuste linear na produção de colmos, em função da aplicação de nitrogênio, e que a produção na maior dose foi o dobro em relação à testemunha.

Vieira et al. (2010) avaliaram três doses de N (60; 120 e 180 kg ha⁻¹ N) na forma de NH₄Cl, além do tratamento-testemunha sem adição de N-fertilizante, em cana-soca de segundo corte, e constataram que, apesar de os tratamentos não terem influenciado os teores foliares na folha diagnóstica da cultura, o aumento nas doses de N-NH₄Cl promoveu efeito positivo na produtividade de colmos por hectare (TCH) e açúcar (TPH), com resposta linear ao incremento das doses de nitrogênio.

Otto (2007), avaliando o efeito de doses de sulfato de amônio na produtividade de colmos, em uma primeira rebrota de cana-de-açúcar, verificou resposta linear na produtividade de colmos e açúcar, em função das doses de nitrogênio em soqueira, não havendo, porém, efeito das doses de N na massa de raízes. O autor relacionou as baixas repostas neste estudo ao fato de ser uma primeira soca, que ainda pode ter a disposição quantidade satisfatória de N mineralizado após a reforma dos canaviais; ao estoque de resíduos que foi incorporado ao solo na reforma do canavial e que, provavelmente, forneceu N à cultura até mesmo no ciclo de primeira soca.

Wiedenfeld (2000) não constatou aumento na produtividade da cana-planta em função de doses de N de plantio; porém, do segundo ao quarto corte, as doses de N promoveram efeito quadrático na produtividade de colmos e açúcar. Segundo esse autor, as doses de N para máxima produtividade de colmos foi 141; 162 e 176 kg ha⁻¹ N para o segundo, terceiro e quarto cortes.

Já Orlando Filho et al. (1999) obtiveram para cana-planta, na primeira e terceira socas, resposta linear às doses de N, independentemente das fontes e dos modos de aplicação. Estudos com a aplicação de N em cana-de-açúcar apontam sinergismo entre o N e os micronutrientes, e a aplicação desse macronutriente provoca aumento na

disponibilidade de Zn, Fe, Mn e Cu no solo (YADAV et al., 1987).

Cardoso (2002) observou que a redução da adubação nitrogenada em cana-planta (sem despalha a fogo), de 100 para 30 kg ha⁻¹ de N, causou diminuição importante na produção de colmos, com restabelecimento da adubação de 100 kg ha⁻¹ de N, na safra seguinte, e a produtividade aumentou, porém com ganhos não tão expressivos em comparação às que antecederam o período da redução da aplicação de N.

Chapman et al. (1983) constataram que as soqueiras requerem maior quantidade de N para produzirem, se comparadas com a cana-planta, provavelmente devido à diminuição das reservas de N no solo ao longo do ciclo.

Entretanto, outros trabalhos não indicaram efeitos expressivos do nitrogênio na produção da soqueira de cana-de-açúcar (ANJOS et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1998).

Em uma ampla revisão de literatura realizada por Cantarella e Raij (1986), observaram que, na maioria dos experimentos, não houve respostas das soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio. Os autores acrescentaram que os experimentos com a cana-de-açúcar sem respostas à aplicação do nitrogênio não devem ser interpretados como se em todos esses casos as plantas pudessem prescindir do nutriente, devendo-se levar em consideração que, muitas vezes, o erro experimental é elevado em ensaios de campo, não permitindo a detecção de respostas moderadas do N, resultando em conclusão pela não significância dos aumentos de produção observados em função da adição deste elemento.

Neste sentido, visualiza-se a relevância do tema “adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar”, onde os resultados observados em ensaios experimentais ainda demandam a atenção dos pesquisadores em decorrência das respostas diferenciadas das adubações nitrogenadas, em sistema de colheita mecanizada, com resultados contraditórios, tendo efeito positivo (COSTA et al., 2003; VITTI et al., 2007; PRADO; PANCELLI, 2008; VIEIRA et al., 2010) e também ausência de resposta, como o de Oiticica et al. (1999).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em condições de campo, na Fazenda Estrela, em Matão, pertencente à Usina São Martinho, no município de Matão-SP, localizada geograficamente a 21°33'S de latitude e 48°18'W de longitude, cujo clima se caracteriza como clima tropical com estação seca (Aw), segundo Koeppen. Realizou-se a coleta de dados da precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas do local próximo da área experimental, aproximadamente a 40 km de distância, na Estação Agroclimatológica da FCAV/Unesp, município de Jaboticabal-SP, no período de 2008 a 2009 (**Figuras 26 e 27**).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa (EMBRAPA, 2006). Antes da implantação do experimento (1°-11-2007), foram coletadas 15 subamostras de terra em área total, para compor a amostra composta, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade do solo. Em seguida, as amostras foram destorroadas, passadas por peneira de 2 mm de abertura de malha, homogeneizadas e realizou-se análise química para fins de fertilidade, conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001) (**Tabela 1**), e também as análises granulométricas, seguindo metodologia descrita por Camargo et al. (1986) (**Tabela 2**).

Nessa mesma ocasião, realizou-se a coleta da palhada da superfície do solo em três pontos aleatórios, com auxílio de um gabarito de 1x1m, totalizando 1 m² de área. Em seguida, o material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada a 65 °C até atingir massa constante, e posteriormente determinou-se a massa da matéria seca da palhada (12 t ha⁻¹), e o material foi moído. Realizou-se a análise química do material vegetal conforme a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983), para a obtenção dos seguintes teores de macro e micronutrientes na palhada (N = 8,1; P = 0,4; K = 0,3; Ca = 3,4; Mg = 0,5 e S = 1 g kg⁻¹; B = 9; Cu = 3; Fe = 1613; Mn = 87 e Zn = 11 mg kg⁻¹).

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

Profundidade	pH CaCl ₂	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	m	V
cm		g dm ⁻³	mg dm ⁻³								%
0-10	5,4	28	15	1,1	36	8	20	0,1	65,7	0,2	69
10-20	5,1	24	15	0,6	30	7	22	0,1	60,8	0,3	63
20-40	4,7	15	5	0,5	11	3	31	0,4	45,4	21,6	32
40-60	4,4	13	4	0,3	6	2	34	0,6	42,0	45,0	18
60-80	4,1	11	4	0,3	4	1	28	0,6	32,7	55,1	15
80-100	3,9	10	4	0,0	3	1	31	0,7	34,6	66,1	11

Tabela 2- Granulometria do solo da área experimental.

Profundidade	-----Areia-----				Classe
	Argila	Silte	Fina	Grossa	Textural
cm	-----g kg ⁻¹ -----				
0-20	400	68	228	304	Argilosa
20-40	360	73	230	337	Argilosa

Na área experimental, realizou-se a aplicação prévia superficial da escória de siderurgia, na dose de 800 kg ha⁻¹ de silicato, apenas para elevar o teor de Si do solo, conforme indicação de Korndörfer et al. (2002b), e não como material corretivo, pois o solo da área apresentava valor de saturação por bases adequado para o cultivo da cana-de-açúcar (V= 69% - camada 0-10 cm) (**Tabela 1**). Nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, o teor de Si no solo foi de 5,9 e 4,6 mg kg⁻¹, respectivamente.

Posteriormente, realizou-se a demarcação da área experimental (**Figura 1**), com a instalação do experimento após o corte da primeira soqueira da cana-de-açúcar, variedade SP 83-2847, que possui características agrônômicas de rusticidade, com alta tolerância a solos de baixa fertilidade, característica de ambientes de produção D e E, ou seja, médio a baixo potencial de produtividade, com época de colheita variando de agosto a novembro.

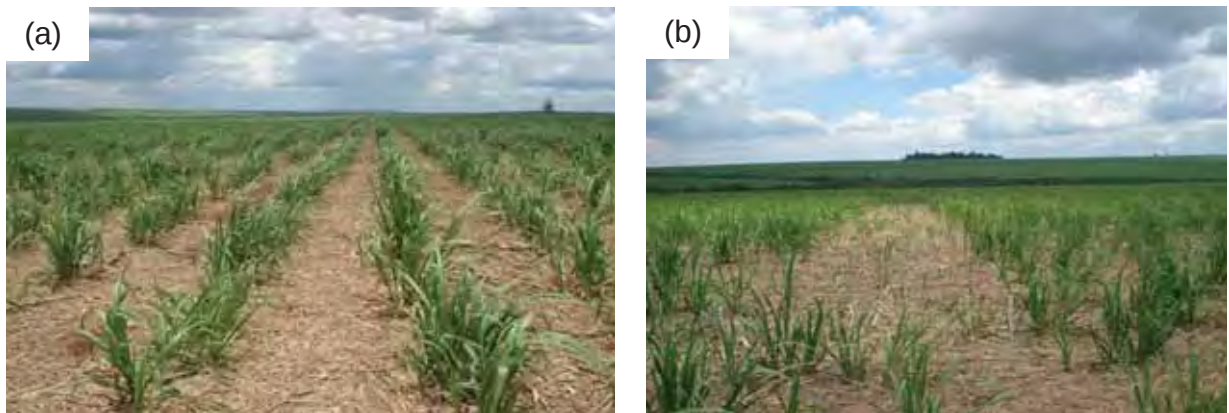


Figura 1- Vista geral da área experimental (a e b) referente ao momento de demarcação das parcelas experimentais da cultura da cana-de-açúcar.

4.2 Tratamentos, estatística e condução do experimento

Os tratamentos foram compostos por cinco doses de nitrogênio, disposto em um delineamento experimental em blocos casualizados, em quatro repetições. Assim, as doses de nitrogênio (tratamentos) foram as seguintes: D1 = 0 ; D2 = 60; D3 = 120; D4 = 180 e D5 = 240 kg de N ha⁻¹, correspondendo a zero, metade, uma vez, uma vez e meia e duas vezes a dose-padrão, respectivamente. Empregou-se a dose-padrão igual a 120 kg ha⁻¹ indicada para a cana-soca, com meta de alta produtividade no Estado de São Paulo (SPIRONELLO et al., 1997).

Para os dados obtidos, foram realizadas análises de variância, com a aplicação do teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias das doses de nitrogênio, seguido de análises de regressão polinomial para estudo das doses de nitrogênio sobre as variáveis estudadas, utilizando o software AGROESTAT (BARBOSA; MALDONADO JR., 2009). Realizou-se análise estatística em parcelas subdivididas, para as variáveis de solo, e os tratamentos principais (parcela) foram compostos por cinco doses de nitrogênio, e os tratamentos secundários (subparcelas), formados pelas seis profundidades do solo avaliadas. Já para as avaliações do estado nutricional das plantas, os tratamentos principais (parcela) foram compostos por cinco

doses de nitrogênio, e os tratamentos secundários (subparcelas), formados por dois tipos de folhas coletadas.

A unidade experimental foi composta por parcelas de cinco linhas de cana-de-açúcar com 15 m de comprimento, espaçadas em 1,5 m entre si, totalizando uma área de 112,5 m² por parcela. Em todas as avaliações realizadas no experimento, consideraram-se as três linhas centrais de cada parcela, com área útil de 67,5 m², sendo as demais consideradas como bordadura. As parcelas foram separadas com um corredor de 2 m (parte frontal) e 4,5 m (parte lateral), totalizando o experimento 4.132,5 m² (**Figura 2**).

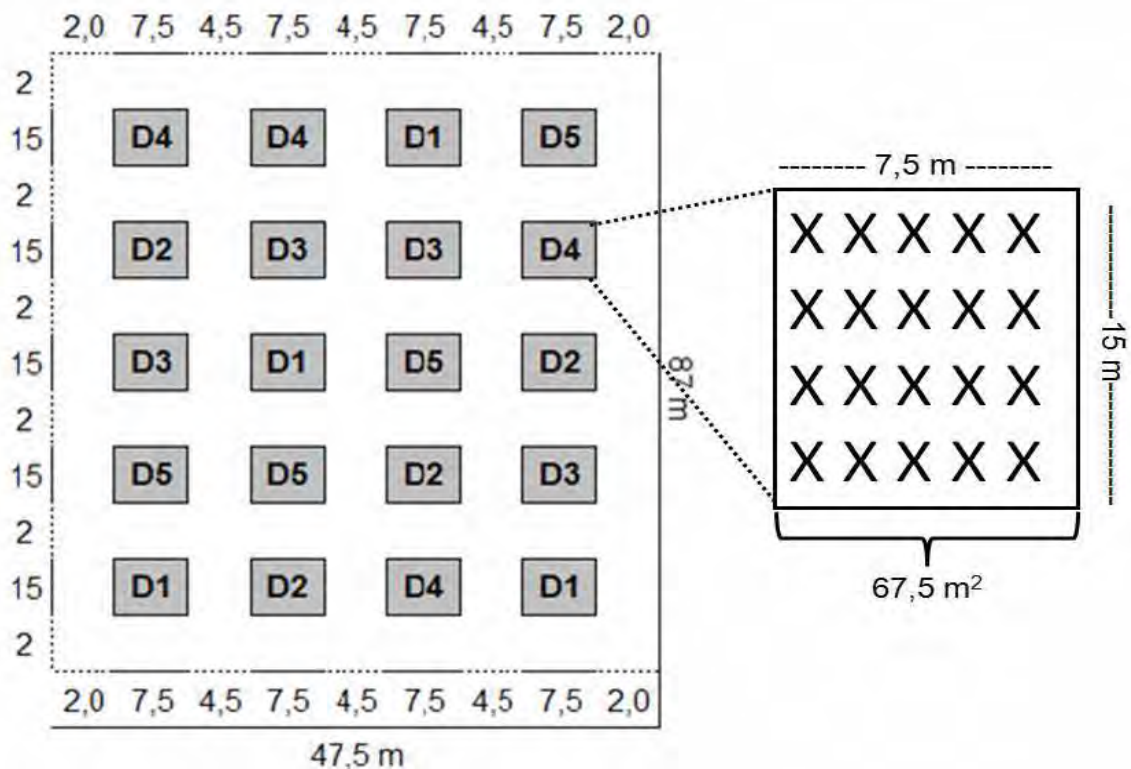


Figura 2- Croqui da área experimental com os tratamentos e detalhe da parcela dispostos em delineamento, em blocos casualizados, em quatro repetições.

Como fonte de nitrogênio, foi utilizado o nitrato de amônio (35% de N). O fertilizante foi aplicado superficialmente, aproximadamente a 10 cm de distância das linhas da segunda e terceira soqueiras em plena brotação, em 06-12-07 e 11-12-2008, respectivamente (**Figura 3**).



Figura 3- Detalhe da aplicação dos fertilizantes ao lado da linha da segunda soqueira da cana-de-açúcar.

Na adubação, além do nitrogênio, foram aplicados 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato triplo) e 150 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio), em todos os tratamentos, de acordo com a análise química do solo, sendo as doses dos fertilizantes nitrogenados e potássicos parceladas em três aplicações, para as respectivas épocas (segunda e terceira soqueiras), e a adubação fosfatada, aplicada em dose única, segundo recomendações de Spironello et al. (1997).

Durante a condução do ensaio experimental, houve a necessidade do controle de plantas daninhas, com aplicação em área total de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Velpar® (Diuron + Hexazinone) + $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Boral® (sulfentrazone), dois meses após o corte das soqueiras da cana-de-açúcar. O controle de formigas foi realizado com aplicação de clorpirifós (Lakree Fogging) e óleo mineral, dentro do olheiro do formigueiro.

Após a brotação da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar, realizou-se o desbaste das plantas entre os blocos, para melhor identificação das parcelas experimentais (**Figura 4**).

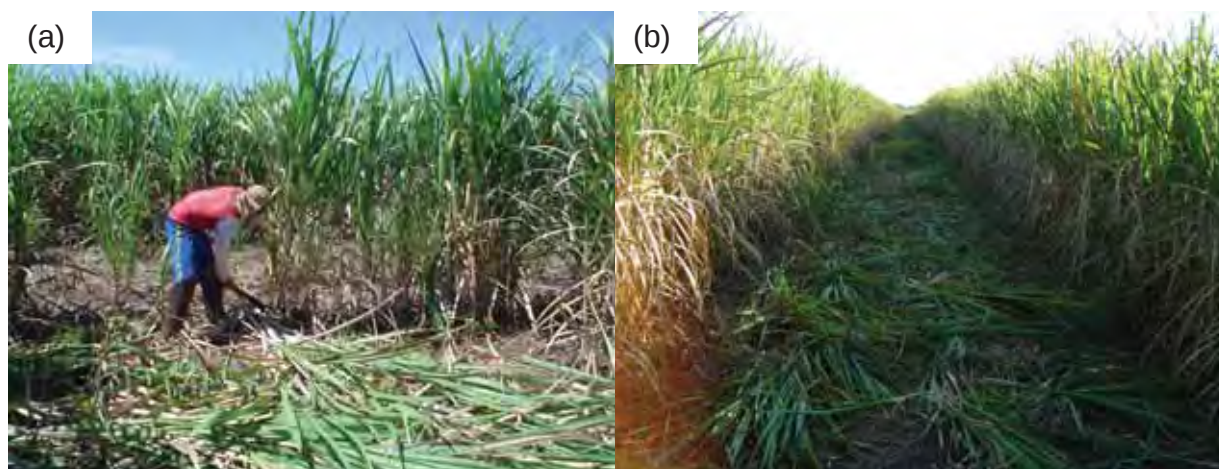


Figura 4- Vista da área experimental referente ao desbaste de plantas entre os blocos na cana-de-açúcar, aos 92 (a) e 100 (b) dias após a brotação da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar, respectivamente.

4.3 Avaliações realizadas na planta e no solo

Durante o cultivo da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar, foram realizadas avaliações indicativas de crescimento e/ou desenvolvimento da cultura, sendo avaliado o número de perfilhos, a altura dos colmos e o diâmetro do colmo, aos quatro (06-04-2008 e 10-04-2009) e aos nove (06-09-2008 e 17-09-2009) meses após a brotação de cada soqueira (**Figura 5**).

Foram determinados o número de perfilhos pela contagem de perfilhos amostrados em 1,5 metro em cada unidade experimental. A altura foi medida da superfície do solo até a bainha da primeira folha totalmente desenvolvida (folha +1), e o diâmetro dos colmos foi determinado com o uso de um paquímetro digital (Starrett 727-2001®) na metade do primeiro colmo, logo após a superfície do solo, em dez plantas por unidade experimental.

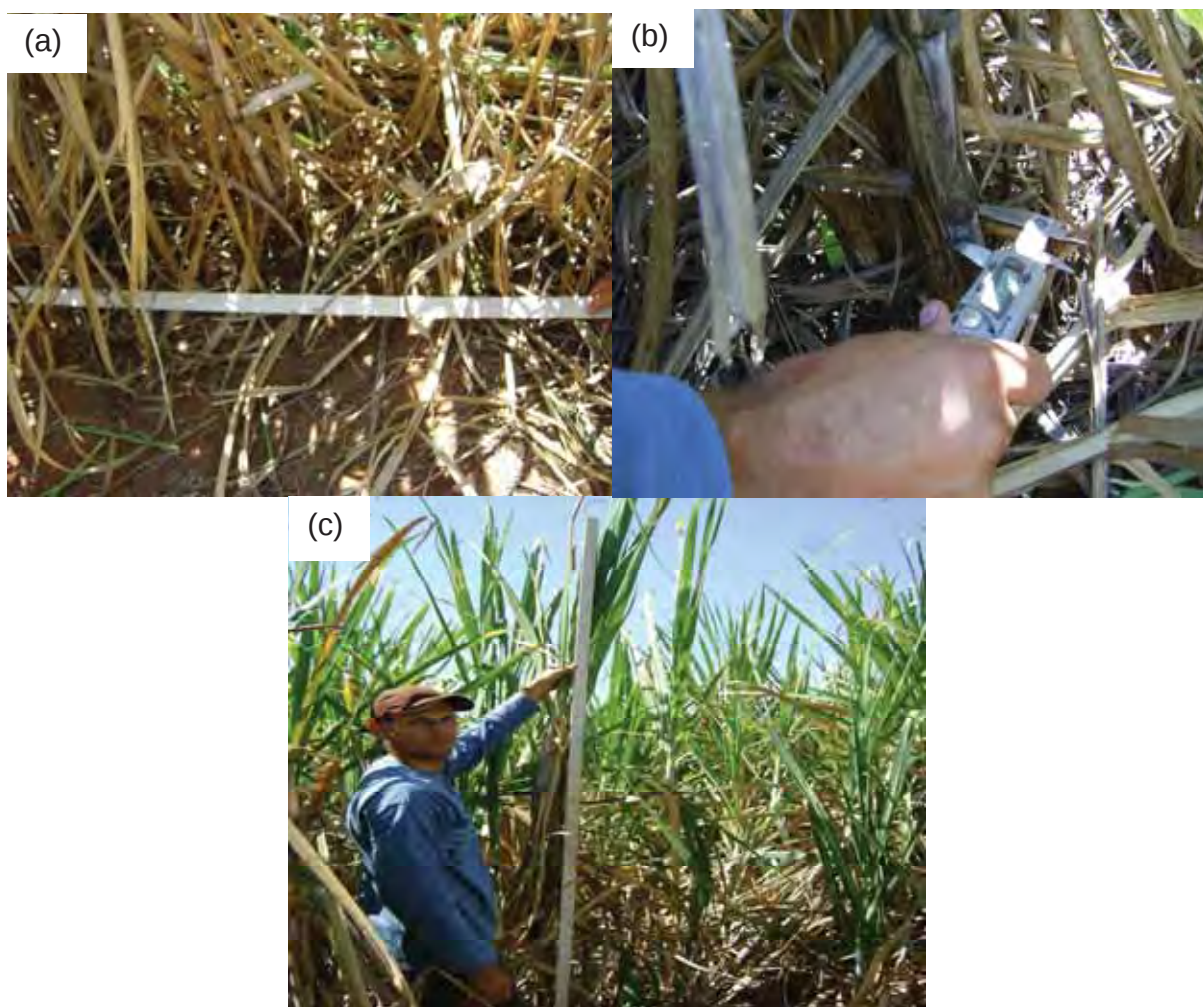


Figura 5- Detalhe da avaliação do número de perfilhos (a); diâmetro do colmo (b), e da altura dos colmos (c), após a brotação das soqueiras da cana-de-açúcar.

Como existe divergência na literatura, o estado nutricional das plantas foi determinado através de amostragens de oito folhas por unidade experimental, para as folhas +1, aos quatro e aos nove meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras (RAIJ; CANTARELLA, 1997) e, também, de oito folhas por unidade experimental, para as folhas +3 (MALAVOLTA, 1992). Assim, foram coletadas nas duas soqueiras as folhas +1 (folha mais alta com colarinho visível “TVD”), os 20 cm centrais e excluída a nervura central (RAIJ; CANTARELLA, 1997) (**Figura 6 a**) e, também, as folhas +3 (duas folhas abaixo da folha +1), a qual também teve os 20 cm centrais

excluídos (**Figura 6 b**), aos quatro e aos nove meses após a brotação das soqueiras, como recomendado por Malavolta (1992); posteriormente, estas foram lavadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada de ar, a uma temperatura entre 65 a 70°C, até atingir massa constante.

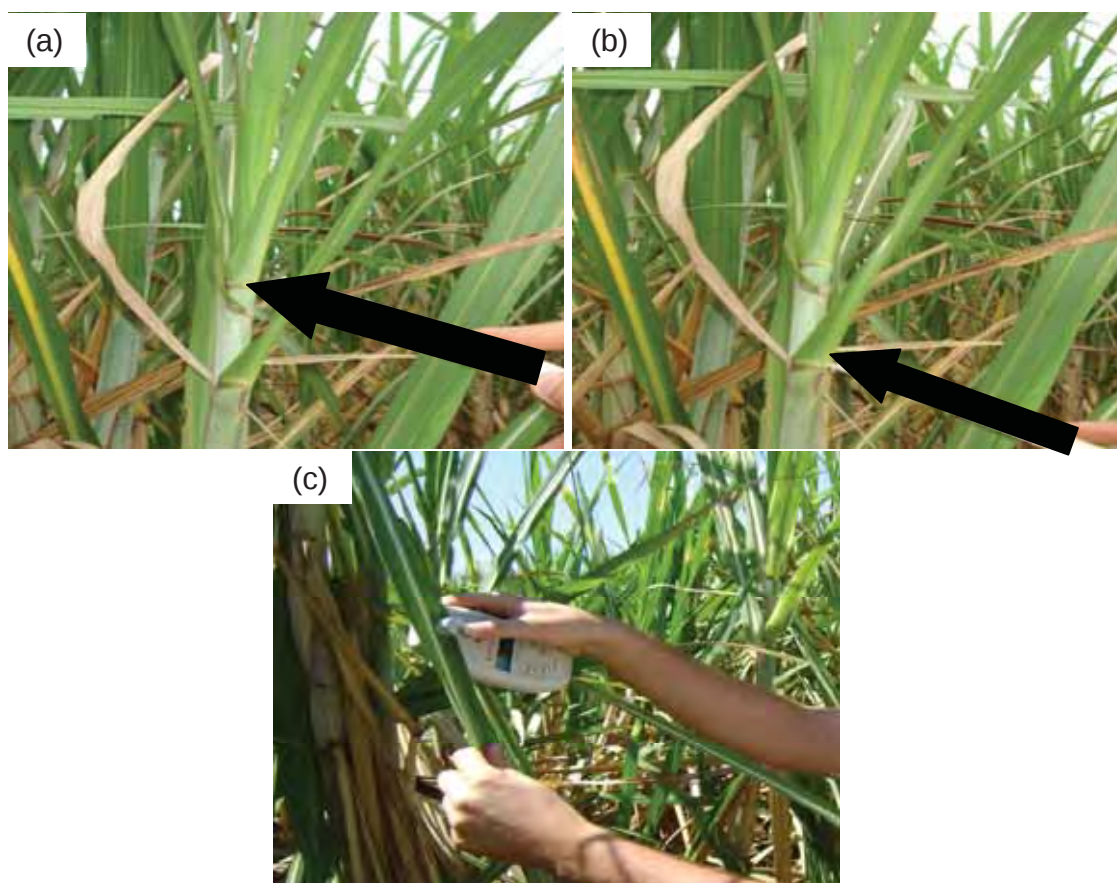


Figura 6- Detalhe da inserção da folha +1 (a), da folha +3 (b), da leitura do índice SPAD realizada na folha (c) da cana-de-açúcar.

Após seco, o material vegetal foi triturado em moinho tipo Willey (peneira com abertura de malha de 1 mm) para posterior determinação dos teores de nutrientes, pelos métodos descritos por Bataglia et al. (1983).

Salienta-se, ainda, que foi realizada a leitura SPAD em dez folhas por unidade experimental, ou seja, efetuou-se a leitura da medida indireta do teor de clorofila na parte mediana das folhas, entre a borda da folha e a nervura principal, por unidade

experimental, com uso do aparelho CCM-200 (**Figura 6 c**), considerando os dois tipos de folhas aos quatro e aos nove meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.

Realizou-se amostragem do solo a 10 cm da linha da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 cm de profundidade, coletadas em oito pontos por parcela. Nas camadas de 60-80, 80-100 cm de profundidade do solo, em quatro pontos por parcela, aos seis meses após a aplicação dos tratamentos (06-06-2008 e 08-06-2009), e a após a colheita (11-12-2008 e 26-11-2009) (**Figura 7**).



Figura 7- Detalhe da amostragem de solo (a e b) com uso de trado holandês realizado a 10 cm de distância da linha das soqueiras da cana-de-açúcar.

Posteriormente, as amostras de terra foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha e encaminhadas ao laboratório da FCAV-UNESP Jaboticabal-SP, para determinações analíticas para fins de fertilidade, conforme os métodos descritos por Raji et al. (2001). Uma parte das amostras de terra, imediatamente após a coleta, foram acondicionadas em sacos plásticos e colocadas em uma caixa térmica contendo gelo, para minimizar alterações nas concentrações de amônio e nitrato, conforme indicações de Mattos Júnior et al. (1995) para o transporte do campo para o laboratório.

A porção de terra destinada às análises de NH_4^+ e NO_3^- , ao chegar ao laboratório, foi armazenada em congelador, mantida em condições de baixa

temperatura, onde, em seguida, foi analisada, determinando as concentrações de amônio e nitrato, seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1985). Para o cálculo das concentrações de amônio e nitrato no solo, foi considerada densidade do solo igual a 1 kg dm^{-3} (PRIMAVESI et al., 2001; CANTARELLA et al., 2002).

A análise do C-orgânico foi realizada nas amostras de terra da camada de 0-10 cm de profundidade, coletadas após a colheita da segunda e terceira soqueiras (11-12-2008 e 26-11-2009), utilizando a metodologia descrita por Tedesco et al. (1985).

A colheita da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar foi realizada em 08-11-2008 e 07-11-2009, respectivamente, sem despalha a fogo. Avaliou-se a produção de colmos a partir da coleta manual das parcelas experimentais (**Figura 8 a**), sendo estes dados utilizados para expressar a produtividade da cultura (em t ha^{-1}) (**Figura 8 b**), após a pesagem dos colmos, que foram retirados das parcelas

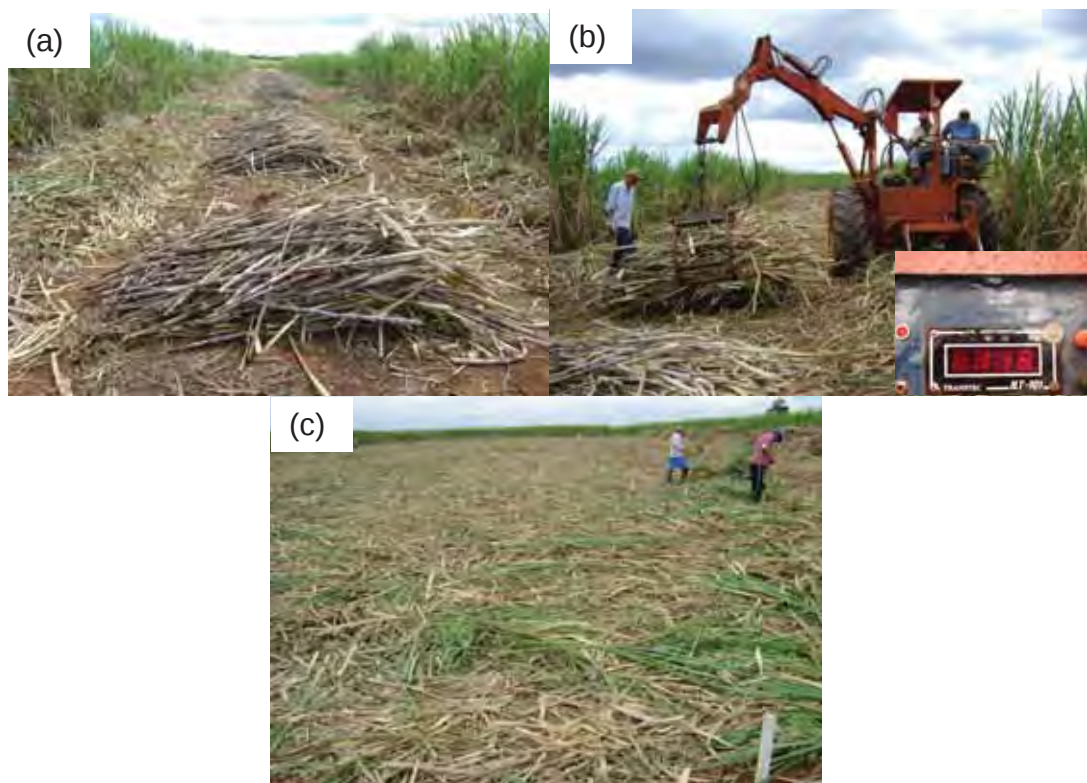


Figura 8- Detalhe das parcelas colhidas **(a)**, pesagem dos colmos na unidade experimental, utilizando célula de carga acoplada em trator **(b)** e a área após colheita com a palha espalhada, nas unidades experimentais **(c)**.

experimentais, retornando a palhada seca, verde e os ponteiros da cana-de-açúcar, representando a colheita mecanizada (**Figura 8 c**).

Antes da colheita, foram amostradas 10 plantas na área útil da parcela para a determinação da massa da matéria seca nas folhas secas e verdes, que em seguida foram retiradas dos colmos, onde foram pesadas, para a determinação da massa da matéria úmida (**Figura 9**). Posteriormente, as subamostras de folhas (secas e verdes) e dos colmos foram secas em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até atingir massa constante, e trituradas em moinho tipo Willey (peneira com abertura de malha de 1 mm).

Por ocasião da colheita, também foi realizada a amostragem para a avaliação da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, que constou da coleta de 10 colmos contíguos das três linhas centrais de cada parcela, conforme indicado por Spironello (1987).



Figura 9- Detalhe das folhas verde (a) e seca (b), e amostragem do material vegetal acondicionado em sacos plásticos (c) para posterior análises químicas.

De cada amostra, 10 colmos foram triturados, separando em subamostra (cerca de 500 g) destinada para a análise da qualidade tecnológica (**Figura 10**).



Figura 10- Detalhe dos colmos da cana-de-açúcar (a e b) coletados na ocasião das colheitas, para avaliações tecnológicas do colmo.

A análise tecnológica constou das seguintes avaliações: teor de sacarose (Pol% cana), açúcares redutores (AR%), fibra, pureza e concentração de sólidos solúveis, determinados no laboratório da Usina São Martinho, segundo o método descrito pela Consecana (2006).

Com os resultados obtidos pela análise tecnológica, foi calculado o ATR (açúcar total recuperável em kg t^{-1}), e o cálculo para ART% (açúcares redutores totais), conforme metodologia da Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (CONSECANA, 2006), a partir da seguinte fórmula:

$\text{ATR (kg t}^{-1}\text{)} = (10 \times S - 0,76 \times F - 6,9) \times (5/3 - 200/3 \times P)$ em que, ATR = açúcar teórico recuperável em kg t^{-1} de colmos de cana-de-açúcar; S (sacarose) = pol (%); F = fibra (%), e P = pureza (%).

Os valores de ATR (kg t^{-1}) foram multiplicados pelo rendimento de colmos (t ha^{-1}) para a obtenção do rendimento de açúcar teórico recuperável (t ha^{-1}).

As análises químicas dos teores de nutrientes das amostras de folhas (secas e verdes) e dos colmos foram analisadas conforme método descrito por Bataglia et al. (1983).

A análise econômica da adubação nitrogenada somente foi possível realizar com os dados da segunda soqueira, devido à ausência de significância da adubação nitrogenada na produtividade da terceira soqueira da cana-de-açúcar.

Com base nos resultados obtidos, foram realizadas análises de variância para as diversas variáveis estudadas, e, sempre que possível, realizaram-se correlações entre os tratamentos e as determinações no solo, na planta, e a produção de colmos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeitos dos tratamentos nas concentrações de amônio e nitrato no solo, aos seis e doze meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar

Os resultados da análise de variância indicam os efeitos significativos da aplicação do nitrogênio nas concentrações de amônio e nitrato, nas diferentes camadas do solo avaliadas durante o cultivo da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultado médio da concentração de amônio e nitrato no solo e o resumo da análise de variância em função da adubação nitrogenada, aos seis e aos doze meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar.

meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras do cana-de-açúcar								
	Seis meses		Doze meses		Seis meses		Doze meses	
Doses de Nitrogênio (D)	Amônio	Nitrato	Amônio	Nitrato	Amônio	Nitrato	Amônio	Nitrato
	Segunda soqueira				Terceira soqueira			
kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹							
0	14,2	10,4	9,5	10,7	3,6	3,7	4,3	4,1
60	14,5	11,2	11,8	14,0	4,4	4,6	5,0	4,9
120	14,4	13,7	15,0	16,7	4,8	4,8	5,2	5,2
180	16,4	14,2	14,4	17,6	5,0	4,9	5,3	5,2
240	18,5	15,7	17,5	17,3	6,3	6,2	6,6	6,5
Teste F	5,46**	20,33**	20,20**	16,90**	27,53**	71,12**	42,91**	32,15**
C.V. Parcelas (%)	24,7	18,3	24,7	22,61	18,5	10,3	11,7	14,5
Profundidades (P)								
0-10	13,8	11,6	13,8	16,3	5,4	5,4	5,9	5,8
10-20	17,2	12,7	13,5	14,1	5,6	5,2	5,9	5,8
20-40	13,8	13,9	13,2	14,3	5,3	5,1	5,8	5,6
40-60	17,6	12,8	14,8	13,7	4,2	4,5	4,8	4,8
60-80	13,9	12,2	13,3	15,5	4,2	4,4	4,7	4,6
80-100	17,6	15,0	13,3	17,6	4,1	4,3	4,5	4,6
Teste F	2,88*	4,61**	1,26 ^{ns}	2,86*	15,09**	7,54**	12,51**	15,26**
Interação DxP	2,68**	3,14**	1,65 ^{ns}	1,71*	4,40**	2,53**	4,29**	3,07**
C.V. Sub-Parcelas (%)	32,9	19,6	17,7	25,7	17,0	15,9	16,1	13,0

**; * e ^{ns} - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Aos seis meses após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar, observou-se interação entre as doses de nitrogênio e as camadas de 0-10 e 80-100 cm de profundidade do solo, na concentração de amônio, aumentando as concentrações com ajuste linear (**Figura 11 a, b**). Já aos doze meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar, a interação não foi significativa (**Tabela 3**), indicando que a aplicação de nitrogênio promoveu incremento da concentração de amônio no solo com ajuste linear, independentemente da camada de solo analisada (**Figura 11 c**).

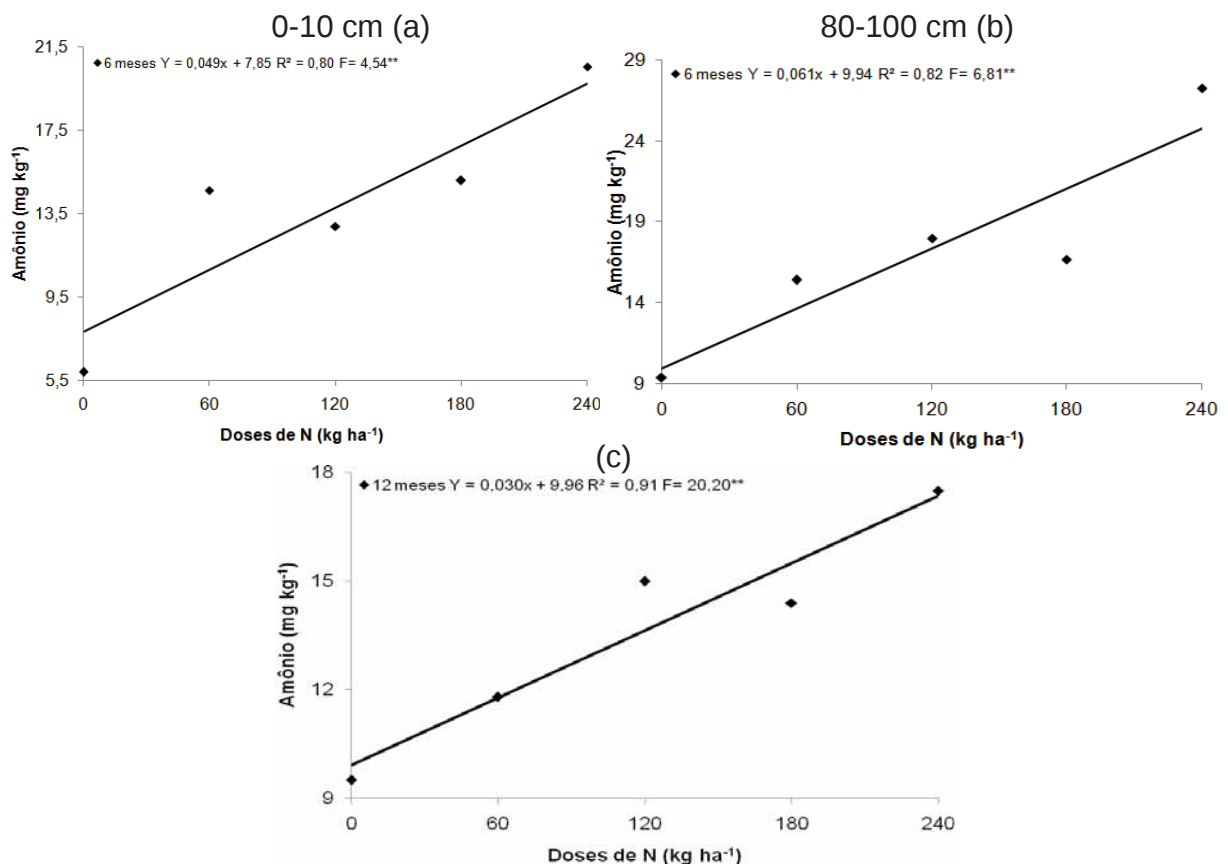


Figura 11- Concentrações de amônio nas camadas de 0-10 cm (a) e 80-100 cm (b) de profundidade do solo, aos seis e aos 12 meses (c) após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio.
^{**} significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Para as concentrações de nitrato, a interação (Doses x Profundidades) ocorreu aos seis e doze meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar (**Tabela 3**). Aos seis meses após a aplicação dos tratamentos, esta interação ocorreu

nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade do solo (**Figura 12 a, b, c, d, e, f**); já aos doze meses, ocorreu nas camadas de 10-20, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade do solo (**Figura 12 b, d, e, f**).

Comparando as concentrações de amônio e nitrato no solo, em função da aplicação de N na segunda soqueira, observam-se de forma geral que as concentrações de amônio são maiores que as de nitrato, aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar; no entanto, aos doze meses após a brotação da cultura, a situação inverte-se (**Tabela 3**): a menor concentração de nitrato em relação ao amônio na superfície do solo, aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar, pode ser justificada devido à maior absorção de N na forma N-NO_3^- pelas plantas (ORLANDO FILHO, 1983).

Para o efeito das doses de nitrogênio dentro das diferentes camadas de profundidade do solo, verifica-se efeito com ajuste linear no incremento da concentração de nitrato, nas camadas de 0-10, 10-20 e 40-60 cm de profundidade, aos 6 meses após a brotação da cana-de-açúcar (**Figuras 12 a, b e d**) e nas camadas de 40-60, 60-80 e 80-100 cm, aos doze meses após a brotação da segunda soqueira da cultura (**Figuras 12 d, e, f**).

Observa-se, ainda, aumento na concentração de nitrato com ajuste quadrático nas camadas de 20-40, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar e na camada de 10-20 cm de profundidade, aos doze meses, sendo o ponto de máximo obtido nas doses de N igual a 145; 142; 240 e 134 kg ha^{-1} , respectivamente (**Figuras 12 c, e, f, b**).

Primavesi et al. (2005), avaliando o efeito da aplicação de doses de nitrogênio (0 a 200 kg ha^{-1}) na forma de ureia e nitrato de amônio em capim-coastcross, verificaram que o aumento das doses de nitrato de amônio não promoveu diferenças significativas nas concentrações de amônio no solo, em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm); todavia, para as concentrações de nitrato no solo, observa-se aumento na concentração de 1,5 para 16,28 mg dm^{-3} ; no entanto, entre as diferentes profundidades, não se verificou diferença na concentração de nitrato no solo.

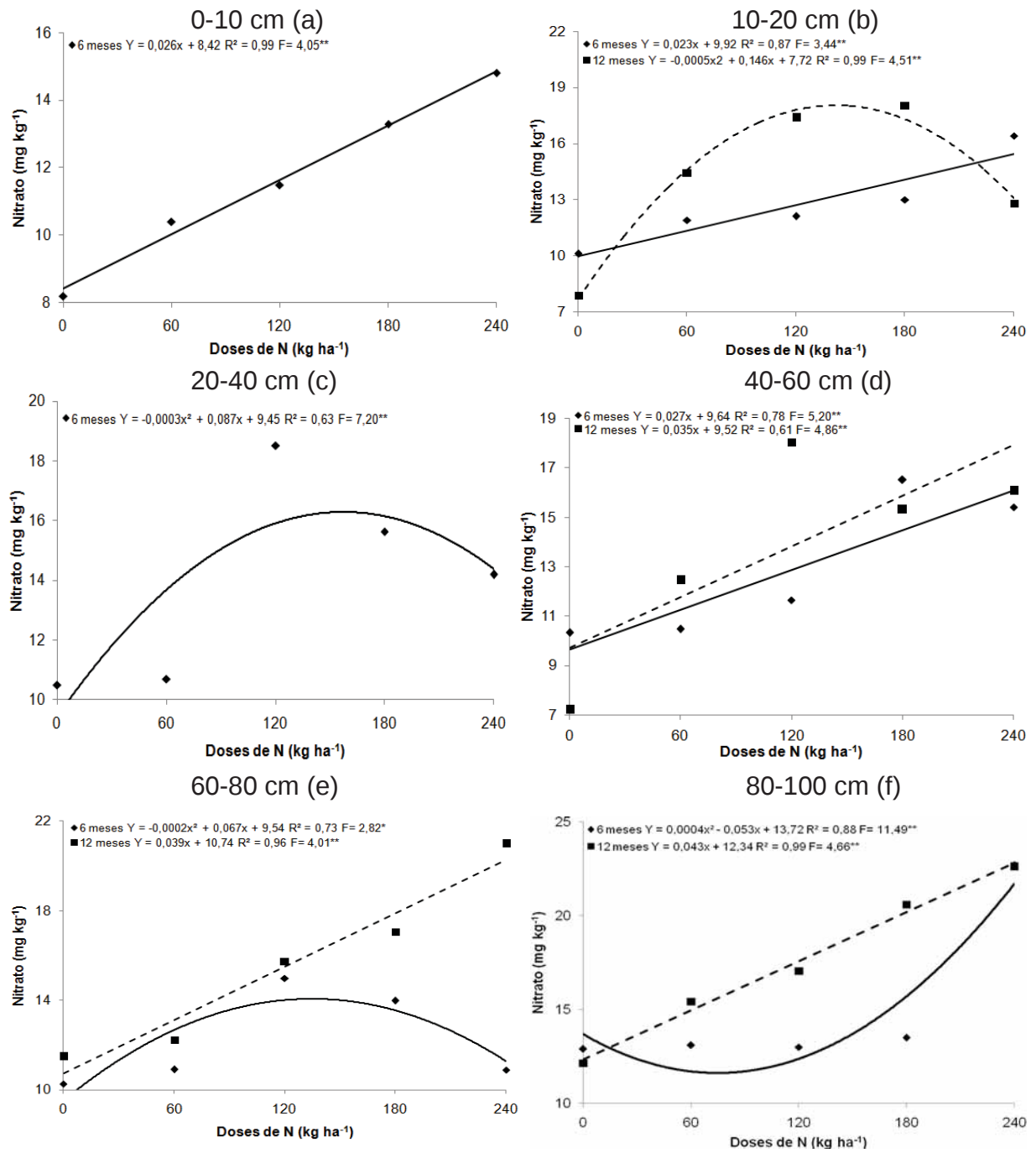


Figura 12- Concentrações de nitrato no solo, nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-40 (c), 40-60 (d), 60-80 (e) e 80-100 (f) cm de profundidade do solo, aos seis e aos doze meses após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio. **- significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F.

Ainda segundo os autores, o uso de ureia ou de nitrato de amônio apresenta maiores concentrações de amônio se comparado a de nitrato em todas as doses e profundidades, exceto na dose de N igual a 200 kg ha^{-1} , que apresentou maiores concentrações de nitrato, corroborando os resultados obtidos aos 6 meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar, fato justificado pelos autores em função do efeito de a acidificação do solo estar associada com a depleção de cátions básicos por causa da lixiviação de NO_3^- .

Rosolem et al. (2003), avaliando o efeito da aplicação de nitrogênio no solo coberto com palha, observaram maior concentração de nitrato no solo em relação ao amônio; fato semelhante ocorreu no presente trabalho aos doze meses após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar (**Tabela 3**). Segundo estes autores, parte do nitrogênio pode não ter sido lixiviado e, sim, imobilizado pela microbiota, ficando indisponível para absorção pelas plantas e também ficando menos sujeito a perdas por lixiviação. Ainda segundo estes autores, com o aumento da aplicação de N na ausência da calagem, foram aumentadas as concentrações de N amoniacal no solo; todavia, com a aplicação de calcário incorporado, exceto nas camadas superficiais, a situação inverte-se, encontrando-se maior concentração de nitrato no perfil do solo, prevalecendo o efeito da nitrificação. A maior concentração de nitrato no solo pode ser explicada pela maior ocorrência de bactérias nitrificadoras (BRUM, 1975), onde elas induzem a reação de oxidação do amônio presente no solo a nitrato, ocorrendo a nitrificação (SILVA; VALE 2000), justificando a maior concentração de nitrato no solo aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar (Tabela 3).

Outra explicação para a maior concentração de nitrato em relação à de amônio no solo, aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar, justifica-se pela possibilidade do N-NH_4^+ , oriundo da degradação da matéria orgânica, seja passado rapidamente para N-NO_3^- , estimulada pela aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados (ARAÚJO et al., 2004).

As concentrações de amônio no solo, aos seis meses da terceira soqueira da cana-de-açúcar, variaram entre a testemunha e a maior dose de N aplicada com valores de 3,68 a $6,32 \text{ mg kg}^{-1}$ e as de nitrato com 3,76 a $6,20 \text{ mg kg}^{-1}$ de N no solo. Já

aos 12 meses após aplicação da adubação nitrogenada, esta variação foi de 4,30 a 6,60 mg kg⁻¹ para amônio e de 4,10 a 6,55 mg kg⁻¹ para nitrato (**Tabela 3**). Vieira (2009), estudando doses e fontes de nitrogênio no final do ciclo da segunda soqueira de cana-de-açúcar, verificou efeito significativo para as doses de N aplicadas, tendo uma variação nas concentrações de nitrato na ordem de 1,6 a 2,5 mg kg⁻¹.

Aos seis meses após a brotação das duas soqueiras da cana-de-açúcar, observa-se interação entre as doses de nitrogênio e as camadas do solo analisadas (**Tabela 3**), sendo que as doses de N promoveram aumento com ajuste linear nas concentrações de amônio (**Figura 13 a, b, c, d, e**). Já aos doze meses após a brotação da terceira soqueira de cana-de-açúcar, as concentrações de amônio no solo aumentaram, obtendo ajuste linear nas camadas de 0-10, 10-20, 60-80 e 80-100 cm de profundidade do solo (**Figura 13 a, b, e, f**) e incremento com ajuste quadrático na camada de 20-40 cm de profundidade do solo (**Figura 13 c**).

Apesar de a literatura mencionar a pouca influência da adubação nitrogenada em alterar a concentração do nitrogênio em profundidade (OLIVEIRA et al. 2002), no presente trabalho, houve incremento nas concentrações de amônio e nitrato, especialmente com as doses mais elevadas de N aplicadas, a exemplo dos tratamentos com aplicação de 240 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

A aplicação de nitrogênio aumentou as concentrações de nitrato nas camadas de 0-10, 10-20 de forma linear, e quadrática na camada de 20-40 cm de profundidade do solo (**Figura 14 a, b, c**), aos seis e doze meses após a brotação da terceira soqueira da cana-de-açúcar. Para as demais camadas de solo avaliadas: 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, houve significância apenas aos 12 meses após a aplicação do N, em que as doses de nitrogênio incrementaram com ajuste linear a concentração de nitrato no solo (**Figura 14 d, e, f**).

Rosolem et al. (2003) observaram incremento nas concentrações de nitrato em profundidade com aplicações de doses acima de 100 kg ha⁻¹, corroborando o presente trabalho. Luca (2002), trabalhando com cana-de-açúcar (sem queima) em quatro cortes, constatou aumento nos teores de N apenas na camada de 0-5 cm.

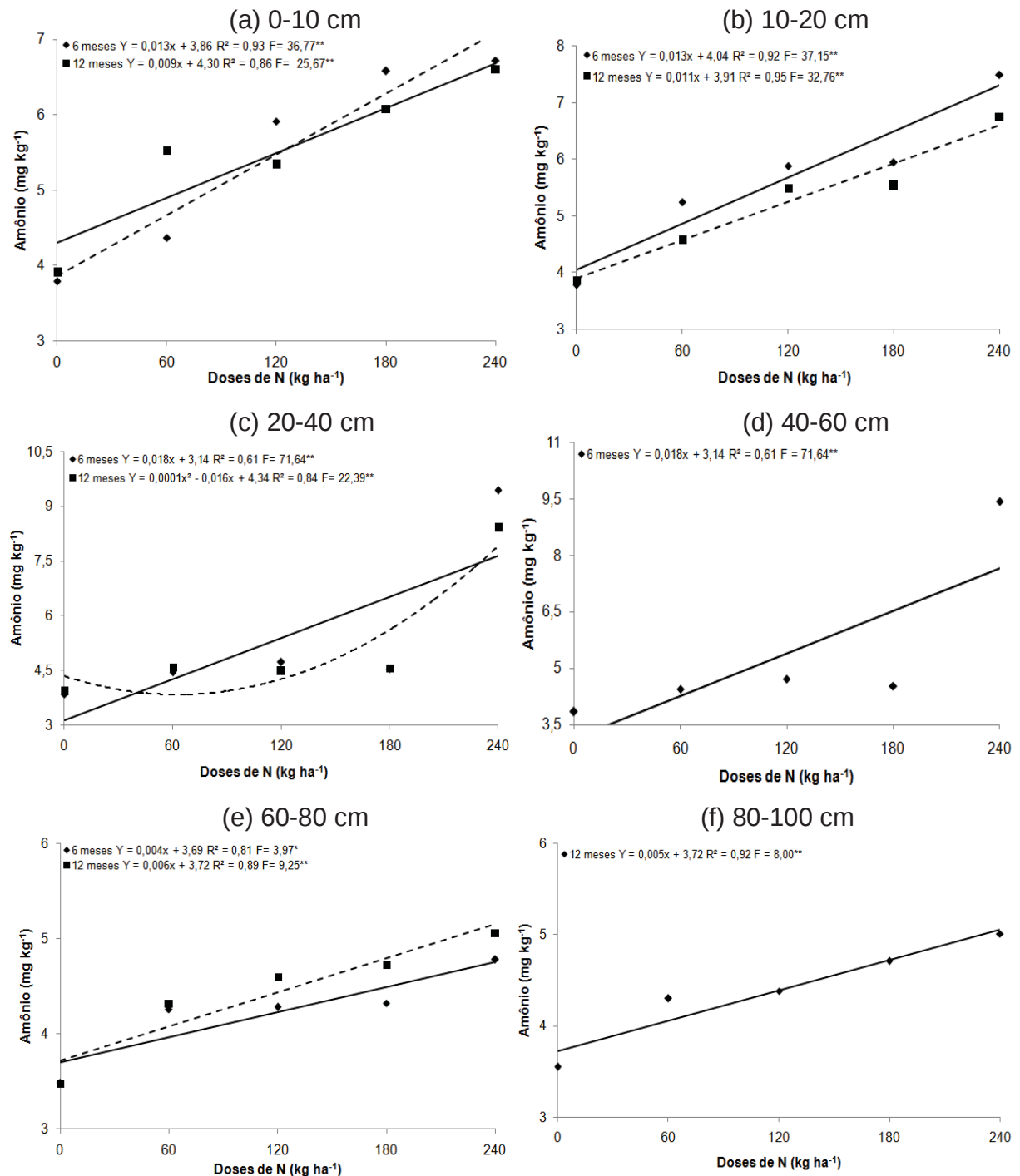


Figura 13- Concentrações de amônio no solo, em função da aplicação de nitrogênio nas camadas: 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-40 cm (c) e 60-80 cm (e), aos seis e doze meses, respectivamente, 40-60 cm (d) aos seis e 80-100 cm (f) de profundidade no solo, aos doze meses após a brotação da terceira soqueira de cana-de-açúcar. **, * - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F.

O incremento dos teores de nitrato no solo, em função das doses de nitrogênio, foi também observado por outros autores, como na cultura do milho (RAMBO et al., 2007) e na soqueira de cana-de-açúcar (VIEIRA, 2009).

Comparando as concentrações de amônio e nitrato no solo, em função da aplicação de N, observa-se de forma geral, que as concentrações de nitrato são maiores que as de amônio, tanto aos seis quanto aos doze meses após a brotação das duas soqueiras de cana-de-açúcar cultivadas (**Tabela 3**), confirmando resultados obtidos por Silveira (1985). Isso se deve às transformações que ocorrem com o amônio, sendo oxidado a nitrato, numa reação mediada por bactérias autotróficas e denominada de nitrificação (PATRICK JR., 1982).

De forma geral, a maior concentração de nitrato com a profundidade do solo pode ser explicada devido à maior lixiviação do nitrato, pois ânions nitrato (N-NO_3^-), por serem muito móveis, tendem a ser lixiviados. Trivelin et al. (1988), trabalhando com nitrogênio marcado (^{15}N), na forma de ureia e aquamônia, encontraram perdas totais de 72 e 59 kg de amônio e nitrato ha^{-1} , respectivamente, e concluíram que dos totais das perdas, 7,0 e 35,0 kg de N ha^{-1} foram lixiviados, respectivamente. Contradizendo estes relatos, na literatura, existem indicações gerais de que as perdas por lixiviação são pouco relevantes nas condições brasileiras, geralmente inferiores a 5% do N aplicado (VITTI, 2003), embora em solos arenosos a perda de N por lixiviação comece a ser relevante, atingindo cerca de 30% do N aplicado na forma de ureia (CAMARGO, 1989).

Os resultados sugerem, ainda, que as baixas quantidades do N-NH_4^+ , presentes no solo, podem ser atribuídas à imobilização líquida do N durante o ciclo da cana-soca, pela microbiota, em resposta à elevada quantidade de palha, que apresenta relação C/N alta. Silva et al. (1999) concluíram que, em presença de palha de cana-de-açúcar, os teores nos solos de N-NH_4^+ e N-NO_3^- se mostraram muito baixos, independentemente do tipo de solo. A intensidade da nitrificação que, em última instância, determina a disponibilidade de nitrato no sistema solo-planta, varia tanto com a fertilidade do solo quanto com a molécula carreadora de N.

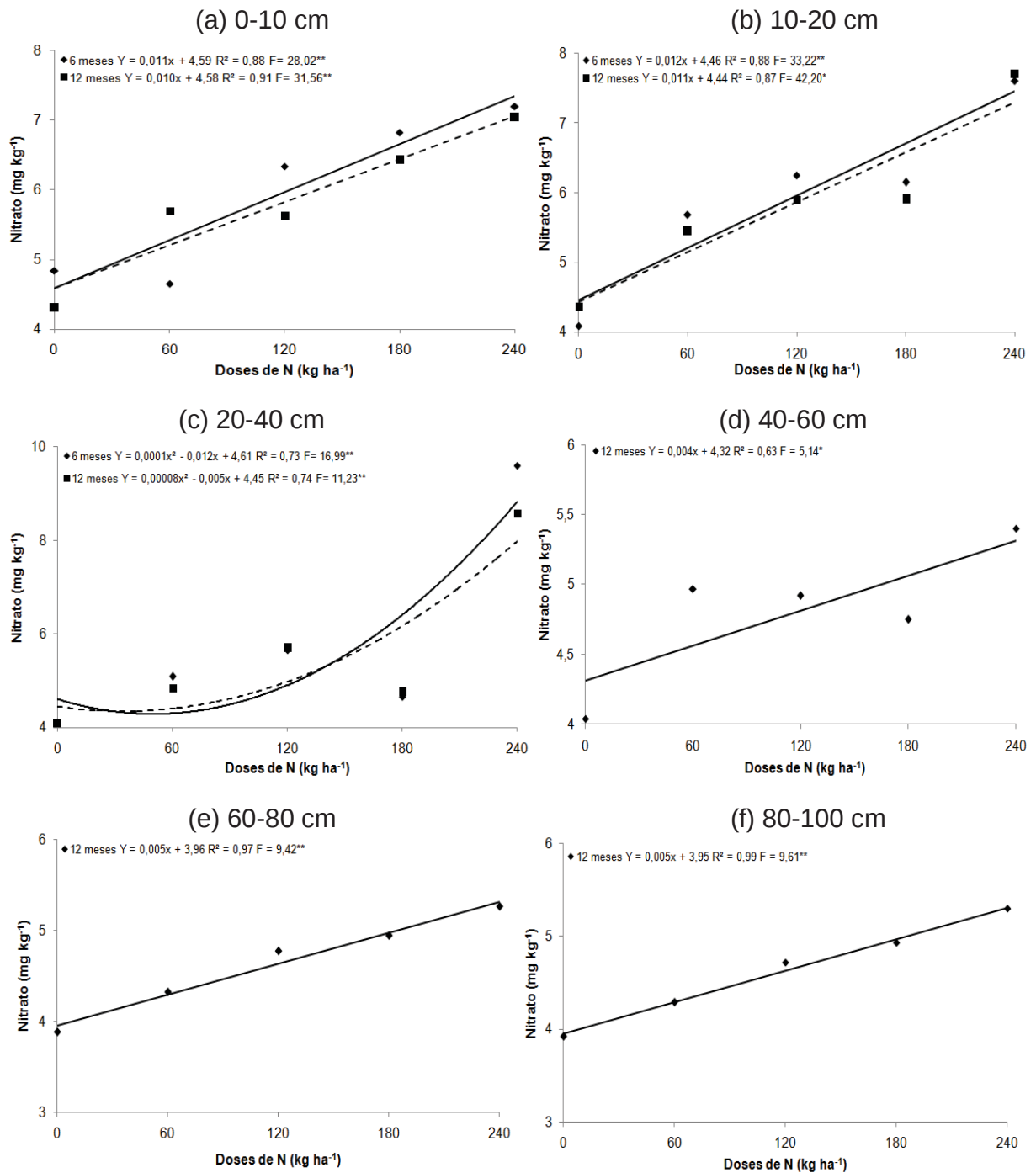


Figura 14- Concentrações de nitrato no solo, em função da aplicação de nitrogênio nas camadas: 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-40 cm (c), aos seis e doze meses, e 40-60 cm (d), 60-80 cm (e) e 80-100 cm (f) de profundidade no solo, respectivamente, aos doze meses após a brotação da terceira soqueira de cana-de-açúcar. **, * - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F.

As maiores taxas de nitrificação têm sido obtidas nos solos onde se procede à correção da acidez do solo (HAYNES, 1986). Apesar de a literatura mencionar alguns fatores que aumentam a disponibilidade do N-mineralizável do solo, como correção da acidez do solo (SILVA et al., 1994), sendo esta prática realizada na área, os resultados das concentrações de amônio e nitrato, encontrados na área, estão baixas, segundo estimativa de Moreira e Sirqueira (2006), que mencionam valores típicos de N-mineralizável variando de 11 a 383 mg N kg⁻¹ de solo.

5.2 Efeitos dos tratamentos na fertilidade do solo

Aos seis meses após a aplicação das doses de N na segunda soqueira de cana-de-açúcar, notou-se efeito da interação para fósforo, potássio, cálcio e soma de bases, indicando que o efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo depende da camada do solo analisada (**Tabela 4**).

A aplicação de nitrogênio promoveu aumento nas concentrações de P e Ca nas camadas superficiais do solo, e redução das concentrações de Ca em profundidade na camada de 20-40 cm (**Figura 15**). Ressalta-se que as concentrações de P do solo da camada de 10-20 cm de profundidade, K e SB não foram explicadas pelos modelos de regressão testados (linear e quadrático).

Não se observou efeito significativo da interação de doses com profundidades aos doze meses após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar, em todos os atributos químicos do solo (**Tabela 4**). Entretanto, os efeitos das doses nos atributos químicos do solo foram mais expressivos aos seis e doze meses da aplicação do nitrogênio na terceira soqueira de cana-de-açúcar, com efeito significativo da interação P, K, Ca, Mg, SB, T e V (**Tabela 4**).

Tabela 4- Resumo da análise de variância dos atributos químicos do solo em função das doses de nitrogênio e épocas de coleta, aos 6 e 12 meses da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.

Fontes de Variação	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
6 meses segunda soqueira										
Blocos	1,09 ^{ns}	14,96 ^{**}	1,81 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,78 ^{ns}	2,13 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,11 ^{ns}
Doses (D)	0,82 ^{ns}	1,78 ^{ns}	1,43 ^{ns}	4,20 [*]	2,19 ^{ns}	1,84 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,60 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,45 ^{ns}
C.V. (%) Parcelas	5,7	11,7	37,8	34,9	27,8	27,6	26,5	24,1	18,6	35,1
Profundidade (P)	115,43 ^{**}	275,86 ^{**}	130,20 ^{**}	116,17 ^{**}	403,86 ^{**}	330,45 ^{**}	19,80 ^{**}	555,05 ^{**}	73,94 ^{**}	304,24 ^{**}
DxP	0,99 ^{ns}	1,14 ^{ns}	4,36 ^{**}	2,98 ^{**}	2,96 ^{**}	1,39 ^{ns}	0,51 ^{ns}	2,48 ^{**}	0,51 ^{ns}	1,37 ^{ns}
C.V. (%) Subparcelas	3,2	10,2	24,9	25,5	19,1	22,1	11,3	16,2	8,5	18,2
12 meses segunda soqueira										
Blocos	3,52 [*]	0,35 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,36 ^{ns}	4,64 [*]	0,79 ^{ns}	4,20 [*]	0,64 ^{ns}
Doses (D)	2,14 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,96 ^{ns}	2,28 ^{ns}	0,54 ^{ns}	2,23 ^{ns}	0,53 ^{ns}
C.V. (%) Parcelas	6,8	29,8	106,2	79,7	66,4	61,6	30,5	59,4	26,8	46,9
Profundidade (P)	155,17 ^{**}	138,44 ^{**}	9,57 ^{**}	49,33 ^{**}	148,61 ^{**}	143,16 ^{**}	32,37 ^{**}	168,76 ^{**}	99,14 ^{**}	187,31 ^{**}
DxP	1,46 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,56 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,83 ^{ns}
C.V. (%) Subparcelas	3,3	16,9	87,1	36,2	32,2	31,6	6,8	29,3	9,17	21,9
6 meses terceira soqueira										
Blocos	2,09 ^{ns}	3,97 [*]	1,01 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,94 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,91 ^{ns}	2,00 ^{ns}	1,66 ^{ns}
Doses (D)	1,27 ^{ns}	0,84 ^{ns}	3,38 [*]	2,54 ^{ns}	0,82 ^{ns}	2,15 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,07 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,68 ^{ns}
C.V. (%) Parcelas	5,3	20,1	102,7	52,7	51,07	45,4	18,7	40,3	10,8	38,6
Profundidade (P)	266,07 ^{**}	263,48 ^{**}	15,33 ^{**}	151,87 ^{**}	262,46 ^{**}	268,19 ^{**}	6,77 ^{**}	364,99 ^{**}	190,00 ^{**}	298,97 ^{**}
DxP	1,63 ^{ns}	0,99 ^{ns}	2,70 ^{**}	4,06 ^{**}	2,87 ^{**}	3,91 ^{**}	0,92 ^{ns}	3,90 ^{**}	1,72 [*]	2,40 ^{**}
C.V. (%) Subparcelas	2,2	11,5	79,8	20,8	23,2	24,0	6,5	19,0	5,6	16,7
12 meses terceira soqueira										
Blocos	0,72 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,57 ^{ns}	1,80 ^{ns}	1,78 ^{ns}	3,34 ^{ns}	1,40 ^{ns}	3,44 ^{ns}
Doses (D)	1,00 ^{ns}	0,46 ^{ns}	3,89 [*]	1,98 ^{ns}	2,17 ^{ns}	3,82 [*]	1,67 ^{ns}	2,87 ^{ns}	2,62 ^{ns}	1,43 ^{ns}
C.V. (%) Parcelas	77,2	33,8	52,6	55,6	42,9	44,1	26,6	42,0	16,6	40,0
Profundidade (P)	0,89 ^{ns}	149,86 ^{**}	41,74 ^{**}	126,83 ^{**}	145,68 ^{**}	163,19 ^{**}	5,84 ^{**}	151,69 ^{**}	88,57 ^{**}	152,86 ^{**}
DxP	0,98 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,73 [*]	4,13 ^{**}	1,80 [*]	3,19 ^{**}	0,86 ^{ns}	2,00 [*]	1,49 ^{ns}	1,48 ^{ns}
C.V. (%) Subparcelas	71,2	17,6	47,4	18,3	25,4	25,4	10,9	24,7	9,9	17,4

^{**}, ^{*} e ^{ns} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

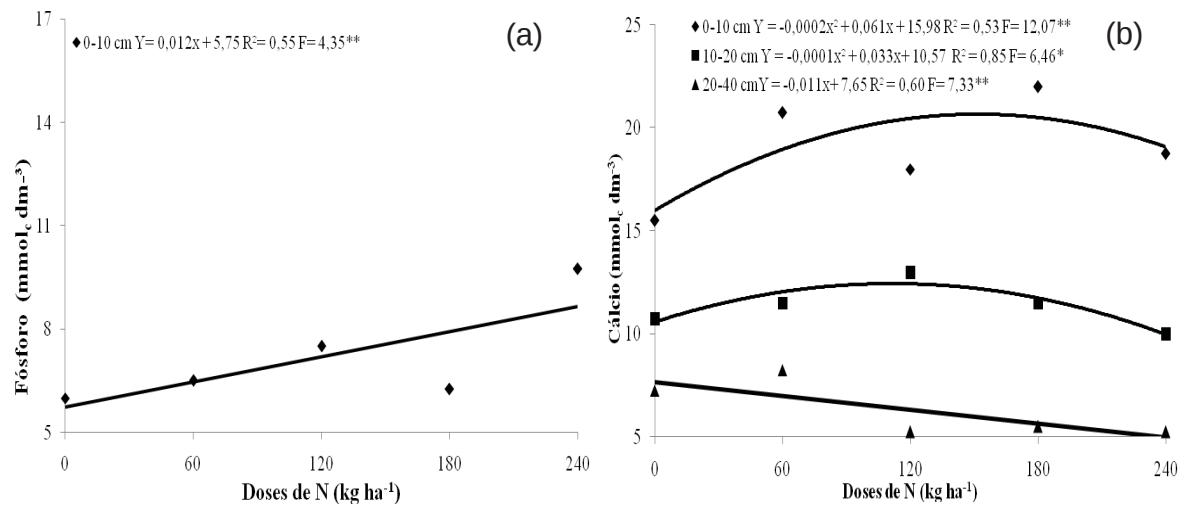


Figura 15- Efeito das doses de nitrogênio nas concentrações de fósforo (a) e cálcio (b) nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, em amostragem realizada aos 6 meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar. **, * - Significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2009

A aplicação de nitrogênio, aos seis meses após a brotação da terceira soqueira de cana-de-açúcar, promoveu redução nas concentrações de Ca, Mg, SB e T na camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade (**Figura 16**), respectivamente. As concentrações de P, K e V não foram explicadas pelos modelos de regressão testados (linear e quadrático). Já aos doze meses após a aplicação do nitrogênio, houve efeito na diminuição das concentrações de K, Ca, Mg, SB, T e V% nas camadas superficiais do solo (**Figura 17**). Portanto, observa-se que a aplicação de N aos doze meses promoveu diminuição com ajuste quadrático para K e T, e linear nas concentrações de Ca e Mg, que refletiu na diminuição da soma de bases e da saturação por bases na camada de 0-10 cm de profundidade do solo. Ressalta-se que a concentração de P na camada de 0-10 cm de profundidade do solo não foi explicada pelos modelos de regressão testados (linear e quadrático).

Faroni (2008), avaliando a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de N em dois solos, também observou que a aplicação de N proporcionou diminuição da concentração de Ca no solo, na camada de 0-25 cm de profundidade do solo.

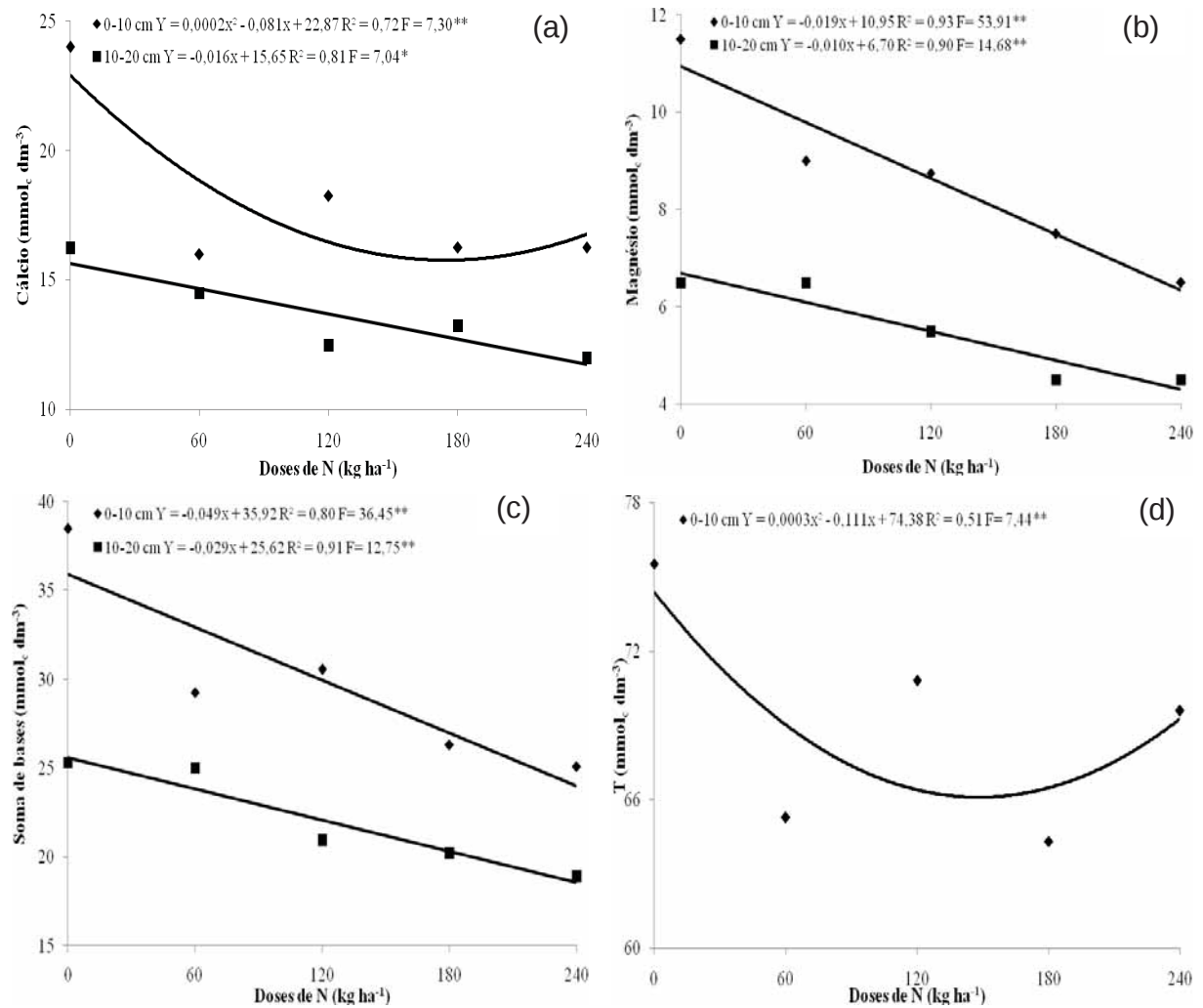


Figura 16- Efeito das doses de nitrogênio nas concentrações de cálcio (a), magnésio (b), soma de bases (c) e T (d) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidades, em amostragem realizada aos 6 meses após a brotação da terceira soqueira da cana-de-açúcar. **, * - Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

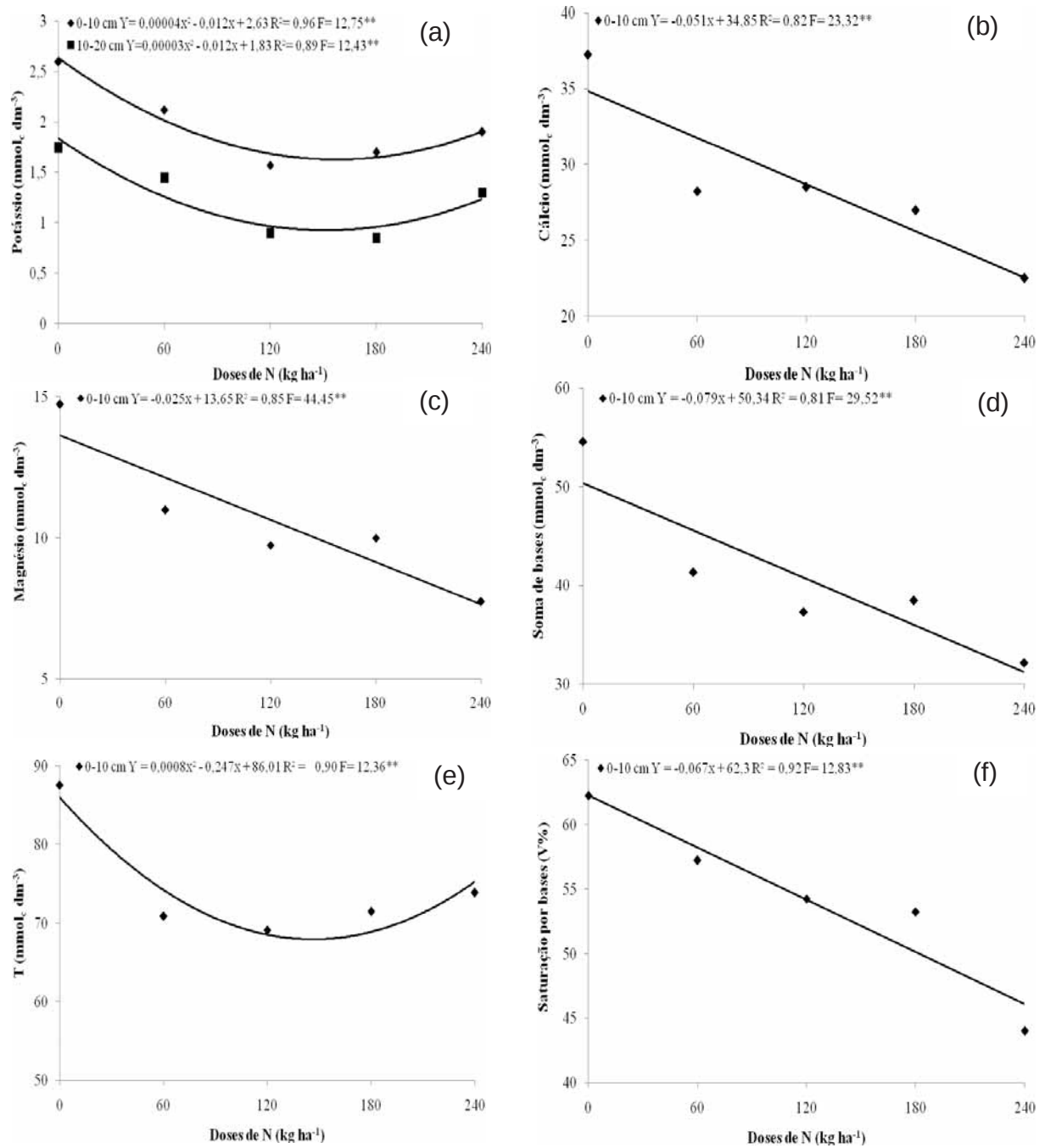


Figura 17- Efeito das doses de nitrogênio nas concentrações de potássio (a), cálcio (b), magnésio (c), soma de bases (d), T (e) e saturação por bases (f) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidades, em amostragem realizada aos 12 meses após a brotação da terceira soqueira da cana-de-açúcar. ^{**} - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Os resultados demonstram que a aplicação de N, aos seis meses após a brotação da cultura, afeta a reação do solo, visto que estes resultados foram semelhantes aos seis meses após a aplicação de N da segunda e terceira soqueiras. A redução das bases com a aplicação de N nas camadas superficiais também foi observada por Costa (2001) e Vale (2009), avaliando os efeitos da aplicação de doses e diferentes fontes de N nos atributos químicos do solo cultivado com cana-de-açúcar, respectivamente.

A diminuição do Ca, Mg, SB e T com a profundidade do solo é amplamente relatada na literatura (COSTA et al., 2007; FARONI, 2008) e esses efeitos, segundo os autores, devem-se aos tratos culturais (adubação, culturas plantadas, sistema de cultivo, etc.) sobre o meio de cultivo.

5.3 Efeitos dos tratamentos na concentração de carbono do solo

A aplicação de nitrogênio não afetou a concentração de carbono no solo, aos 12 meses após a aplicação dos tratamentos na segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar, a 5 % de probabilidade, pelo teste F, na camada de 0-10 cm de profundidade (Tabela 5).

Tabela 5- Carbono no solo em função da adubação nitrogenada na camada de 0-10 cm de profundidade, aos 12 meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar, respectivamente.

Doses de Nitrogênio, kg ha ⁻¹	Carbono no solo	
	Segunda soqueira	Terceira soqueira
	-----g kg ⁻¹ -----	
0	14	12
60	13	13
120	14	12
180	14	13
240	13	12
Teste F	2,32 ^{ns}	0,43 ^{ns}
C.V. (%)	7,7	5,9

^{ns} – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Apesar de estudos recentes na literatura sinalizarem que a manutenção da palhada da cana-de-açúcar, juntamente com a adição de fertilizantes alteram as propriedades químicas do solo, no presente estudo, a aplicação de N não alterou as concentrações de carbono no solo. Isto se deve, possivelmente, à imobilização do nitrogênio pela microbiota devido à alta relação C:N da palhada (MEIER et al., 2006).

Segundo Canelas et al. (2003), a correlação entre a manutenção da palhada da cana-de-açúcar e o aumento dos teores de carbono no solo tem sido observada; entretanto, essa correlação tem influência de vários fatores, tais como o tempo de adoção do sistema sem queima, textura do solo e grau de revolvimento do solo na reforma do canavial.

Os teores médios de carbono no solo, observados na camada de 0-10 cm de profundidade, foram de 14 e 13 g kg⁻¹, respectivamente, na segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar. Galdos (2007) observou teores médios variando de 15 a 23 g kg⁻¹ na camada de 0-10 cm de profundidade, em área cultivada com cana-de-açúcar após oito anos da reforma do canavial.

5.4 Efeitos dos tratamentos no estado nutricional da cana-de-açúcar

A análise conjunta dos teores de nutrientes das análises químicas das plantas, nas diferentes épocas avaliadas (4 e 9 meses da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar), mostrou interações significativas entre as doses de nitrogênio e os tipos de folhas (folha +1 e folha +3) coletadas para P, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn após 4 meses da adubação nitrogenada e para P após 9 meses da aplicação dos tratamentos na segunda soqueira da cana-de-açúcar (**Tabela 6**). A ausência da interação dos demais elementos avaliados nas diferentes épocas indica que as modificações no estado nutricional das plantas, em função das doses de nitrogênio, foram proporcionalmente semelhantes nos tipos de folhas avaliadas.

Aos quatro meses após a aplicação de nitrogênio na segunda soqueira da cana-de-açúcar, não se observa efeito significativo no teor foliar de N na folha +1 ($F = 0,32^{ns}$) e na folha +3 ($F = 1,42^{ns}$), confirmando resultados obtidos por Campbell (2007). Vale

(2009), avaliando o efeito de doses de N na segunda soqueira de cana-de-açúcar, não obteve resposta da adubação nos teores foliares de N (nas folhas +1 e +3).

Tabela 6- Resumo da análise de variância do estado nutricional de macro e micronutrientes em função das doses de nitrogênio e tipos de folhas coletadas, aos 4 e 9 meses da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.

Fontes de Variação	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
4 meses segunda soqueira											
Doses (D)	1,40 ^{ns}	5,10*	3,23 ^{ns}	1,23 ^{ns}	2,28 ^{ns}	3,36*	3,00 ^{ns}	0,67 ^{ns}	5,31*	3,19 ^{ns}	12,15*
C.V. (%) Parcelas	5,7	23,1	9,2	20,1	16,9	10,5	18,7	29,6	13,2	13,4	32,2
Folhas (F)	17,89**	1,23 ^{ns}	1,72 ^{ns}	56,83**	30,20**	13,11**	0,05 ^{ns}	14,00**	60,43**	12,5**	118,02**
DxF	0,51 ^{ns}	7,01**	0,51 ^{ns}	0,30 ^{ns}	5,63**	1,89 ^{ns}	3,69*	10,61**	30,47**	31,34**	19,40**
C.V. (%) Subparcelas	6,9	35,6	11,7	18,9	16,4	9,2	18,3	18,7	9,4	11,6	28,7
9 meses segunda soqueira											
Doses (D)	0,61 ^{ns}	2,82 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,08 ^{ns}	2,20 ^{ns}	1,80 ^{ns}	1,00 ^{ns}	2,03 ^{ns}	2,31 ^{ns}	0,20 ^{ns}
C.V. (%) Parcelas	5,0	12,4	16,3	16,9	14,3	15,0	13,8	35,2	28,2	23,1	43,0
Folhas (F)	3,11 ^{ns}	27,17**	12,80**	78,68**	1,42 ^{ns}	28,68**	156,21**	0,60 ^{ns}	20,38**	17,3**	58,56**
DxF	0,78 ^{ns}	12,72**	0,42 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,42 ^{ns}	3,27 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,62 ^{ns}	2,56 ^{ns}
C.V. (%) Subparcelas	6,1	14,6	17,9	19,9	12,5	18,1	17,5	37,1	40,3	45,3	20,8
4 meses terceira soqueira											
Doses (D)	1,73 ^{ns}	2,48 ^{ns}	1,36 ^{ns}	4,68*	1,96 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,56 ^{ns}	1,98 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,33 ^{ns}
C.V. (%) Parcelas	3,8	30,5	12,1	10,0	17,9	24,0	164,8	73,4	25,5	21,5	22,5
Folhas (F)	0,59 ^{ns}	0,06 ^{ns}	6,74*	75,40**	13,19**	0,60 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,02 ^{ns}	7,12*	43,45**	25,80**
DxF	1,04 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,33 ^{ns}
C.V. (%) Subparcelas	4,95	33,0	7,4	13,9	20,8	23,9	81,0	45,7	21,0	19,8	12,7
9 meses terceira soqueira											
Doses (D)	0,35 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,88 ^{ns}	0,68 ^{ns}	4,5*	0,50 ^{ns}	1,27 ^{ns}
C.V. (%) Parcelas	25,9	9,7	7,1	9,9	13,0	16,5	30,7	33,6	14,3	29,3	58,5
Folhas (F)	1,16 ^{ns}	51,19**	12,66**	519,84**	2,40 ^{ns}	9,03**	13,50**	3,95 ^{ns}	0,38 ^{ns}	18,35**	0,73 ^{ns}
DxF	0,45 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,65 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,99 ^{ns}
C.V. (%) Subparcelas	28,9	8,0	6,6	7,0	4,9	25,13	30,8	41,5	14,9	8,9	66,1

**, * e ^{ns} - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

Desta forma, pode-se inferir que, em virtude das funções do N na nutrição da planta em promover aumento do crescimento, pode ter levado à diluição de seu teor

nos tecidos foliares, não sendo possível perceber diferenças significativas no teor desse macronutriente.

Na literatura, é amplamente relatado o efeito da “diluição” dos nutrientes, ou seja, a concentração dos nutrientes é diluída com o maior crescimento da planta (JARRELL; BEVERLY, 1981).

Os teores médios de N na folha +1 (17 g kg^{-1}) estão um pouco abaixo da faixa adequada ($18\text{-}25 \text{ g kg}^{-1}$) (RAIJ; CANTARELLA, 1997), e adequados segundo Costa et al. (2001) ($16\text{-}19 \text{ g kg}^{-1}$), e os teores médios de N na folha +3 (17 g kg^{-1}) também estão um pouco abaixo da faixa adequada ($19\text{-}21 \text{ g kg}^{-1}$) (MALAVOLTA, 2006), e adequados segundo Reis Jr e Monnerat (2003) ($13\text{-}22 \text{ g kg}^{-1}$).

A aplicação de N promoveu redução nos teores de fósforo, cobre, ferro, manganês e zinco com ajuste quadrático (folha +1) (**Figura 18 a, c, d, e, f**), incremento com ajuste quadrático para boro (folha +1) (**Figura 18 b**), sendo o ponto de máximo obtido na dose de N igual a 173 e teor de boro de $31,7 \text{ mg kg}^{-1}$, e acréscimo nos teores de manganês com ajuste da reta linear (folha +3) (**Figura 18 e**), aos 4 meses após a aplicação dos tratamentos na segunda soqueira da cana-de-açúcar.

Aos nove meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar, não se observou efeito significativo nos teores foliares com a aplicação das doses de N; entretanto, a significância ocorreu na interação entre as doses de N e tipos de folhas analisadas, nos teores foliares de P (**Tabela 6**); já aos quatro meses após a brotação da terceira soqueira da cana-de-açúcar, apenas os teores foliares de cálcio variaram com a aplicação das doses de N. Apesar dos efeitos significativos, os teores foliares não se ajustaram aos modelos de regressão testados (linear e quadrático).

Os teores médios de N na folha +1 (32 g kg^{-1}), avaliados aos nove meses na segunda soqueira, estão acima da faixa adequada ($18\text{-}25 \text{ g kg}^{-1}$) (RAIJ; CANTARELLA, 1997), e os teores médios de N na folha +3 (34 g kg^{-1}) também estão acima da faixa adequada ($19\text{-}21 \text{ g kg}^{-1}$) (MALAVOLTA, 2006).

As diferenças entre os teores observados no trabalho e os relatados na literatura, possivelmente, ocorrem em função de fatores como condições edafoclimáticas, cultivar, etc.

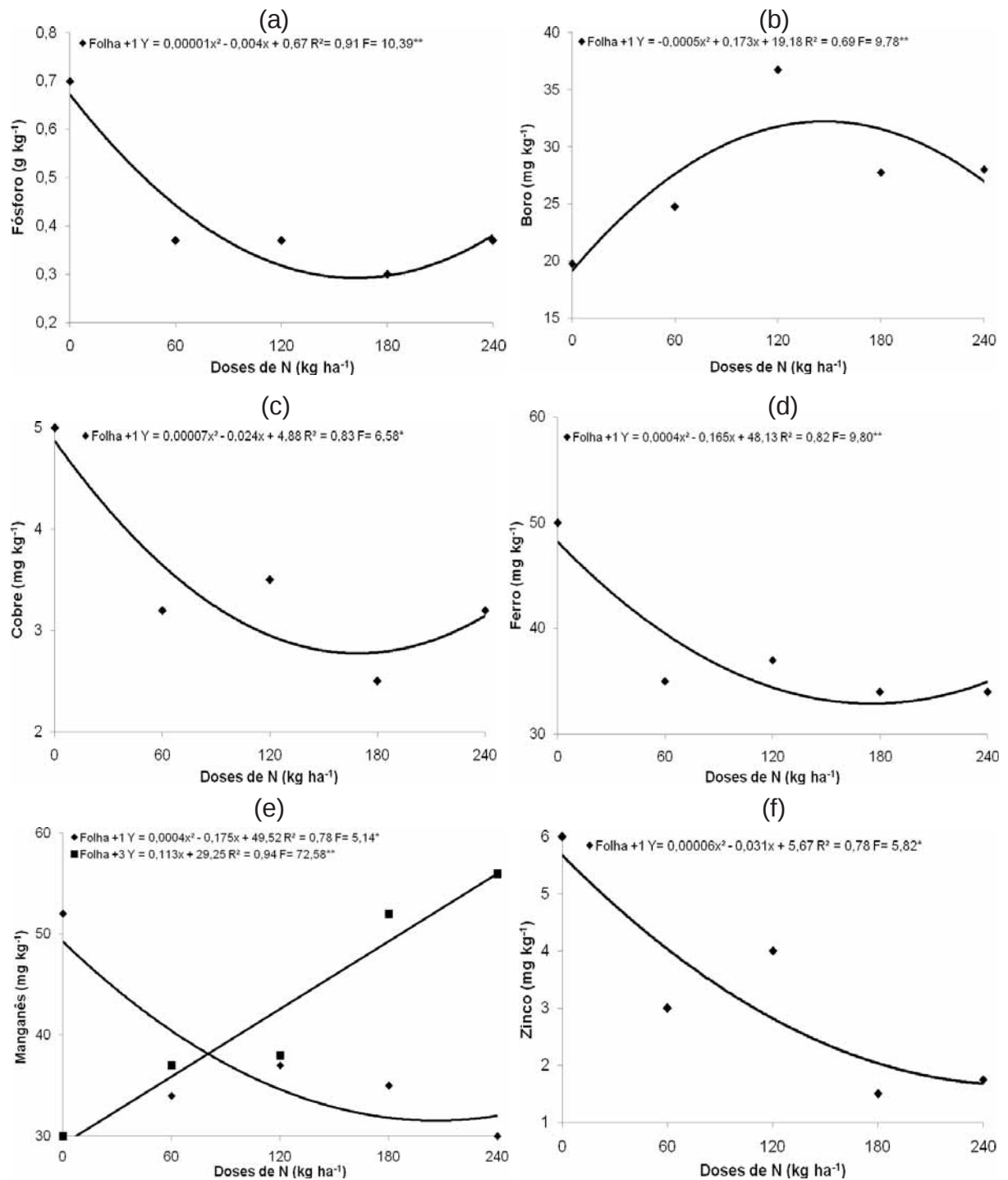


Figura 18- Teor de fósforo (a), boro (b), cobre (c), ferro (d) e zinco (f) na folha +1 e manganês (e), na folha +1 e +3, em função da aplicação de nitrogênio aos 4 meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar. **, * - significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

De forma geral, salienta-se que essas diferenças entre os teores de nutrientes obtidos no trabalho e os da literatura, possivelmente, não estão relacionados ao tipo de amostragem, visto que se utilizaram os mesmos procedimentos.

Assim, surgem outros fatores que podem influenciar, ou seja, desde as condições edafoclimáticas e cultivares até produtividades distintas. Neste sentido, Gomez-Alvarez (1974), conduzindo ensaios na Venezuela, observou que a concentração dos nutrientes nas folhas é afetada pela idade da cultura, hora do dia, variações climáticas (especialmente nebulosidade) e concluiu que a melhor hora para a coleta das amostras foliares é das 6 às 8 horas da manhã, condições essas difíceis de serem atendidas, podendo, assim, contribuir para pequenas diferenças nos teores dos nutrientes em cana-de-açúcar.

Já os teores médios de N aos quatro meses, da terceira soqueira, estão próximos dos recomendados pela literatura, sendo N na folha +1 (17 g kg^{-1}) abaixo dos teores da faixa adequada ($18\text{-}25 \text{ g kg}^{-1}$), segundo Raij e Cantarella (1997), e adequados segundo Costa et al. (2001) ($16\text{-}19 \text{ g kg}^{-1}$). Os teores médios de N na folha +3 (17 g kg^{-1}) também estão abaixo da faixa adequada ($19\text{-}21 \text{ g kg}^{-1}$), segundo Malavolta (2006), e adequados, segundo Reis Jr. e Monnerat (2003) ($13\text{-}22 \text{ g kg}^{-1}$).

Costa (2001) observou na folha +1, na terceira soqueira, colhida sem despalha a fogo, teor de N variando de $16\text{-}19 \text{ g kg}^{-1}$, estando o teor médio no presente experimento entre $16\text{-}18 \text{ g kg}^{-1}$, adequados para a cultura. Para Reis Jr. e Monnerat (2003), a faixa de N adequada na folha +3 está entre 13 e 22 g kg^{-1} . Mendes (2006), em experimento com oito cultivares de cana-de-açúcar, na folha +3, observou teores variando de 13 g kg^{-1} de N para a cultivar SP 80-3280 até 15 g kg^{-1} de N para a cultivar RB 72-454, valores esses abaixo do considerado adequado, confirmando a diferença nutricional entre cultivares. Já Martinez et al. (1999) apresentam teor de N entre 20 e 23 g kg^{-1} na folha +3 como adequado para cultura de cana-de-açúcar.

Na folha mais nova (folha +1), encontrou-se maior teor de K, Cu, Fe e Zn aos quatro meses após o corte, ainda que sejam classificados como nutrientes de pouca mobilidade nas plantas, ao passo que, na folha +3, o maior teor obtido para Ca, S e Mn é justificado devido à baixa e à pouca mobilidade desse nutriente na planta. Por outro

lado, pesquisas indicaram nova classificação de mobilidade “variável” dos nutrientes nas plantas, uma vez que a espécie de planta e mesmo o estado nutricional interno podem alterar a dinâmica do nutriente entre os órgãos das plantas (WELCH, 1999).

Para Smith e Loneragan (1997), Ca, Mn, B e Fe são considerados imóveis, e Zn, Cu, Mo, Fe, B e S são considerados de mobilidade variável, de acordo com as culturas; portanto, os maiores teores de Ca, S e Mn na folha +3 podem ser justificados pela baixa mobilidade desses nutrientes na cultura da cana-de-açúcar.

Embora, na Venezuela, Gomez-Alvarez (1974) tenha notado efeito antagônico da adubação nitrogenada nos teores de Ca, Mg, K e P, até o presente momento, neste trabalho, observou-se redução nos teores de P, S, Cu, Zn, Mn e Fe na folha +1, em função da adubação nitrogenada; no entanto, essa diminuição pode ser devido ao efeito de diluição (JARRELL; BEVERLY, 1981).

Para Dechen et al. (2007), o excesso de N pode provocar competição com a absorção de outros nutrientes, como K, Ca e MG; todavia, neste trabalho, observou-se redução apenas de Mg na folha +3, com a aplicação de dose acima de 150 kg ha⁻¹.

Malavolta e Moraes (2007) relatam o efeito sinérgico entre nitrogênio e manganês, confirmando observações para folha +3 e contradizendo observações para folha +1. Segundo esses autores, ocorre efeito antagônico entre nitrogênio e boro, corroborando as observações para folha +1, acima da dose de N igual a 144 kg ha⁻¹ em cana-de-açúcar.

5.5 Efeito dos tratamentos no crescimento e na medida indireta da clorofila da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar

A aplicação de nitrogênio influenciou nas variáveis indicativas de desenvolvimento das plantas, aos quatro e nove meses da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar, respectivamente, com efeito significativo para número de perfilhos e leitura do índice SPAD na folha +1, aos quatro meses da segunda soqueira, e altura e leitura do índice SPAD na folha +1 e folha +3, aos nove meses da terceira soqueira (**Tabela 7**).

Tabela 7- Altura, número e diâmetro de perfilhos, índice SPAD em função da adubação nitrogenada, aos quatro e aos nove meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.

Doses de Nitrogênio, kg ha ⁻¹	Altura (m)	Número de perfilhos	Diâmetro do perfilho (mm)	SPAD +1	SPAD +3
----- 4 meses segunda soqueira -----					
0	1,74	11	27,72	40,7	42,9
60	1,76	12	26,66	40,0	41,8
120	1,64	14	27,03	38,5	39,3
180	1,79	18	27,02	41,8	42,0
240	1,76	13	27,41	37,4	41,0
Teste F	0,67 ^{ns}	19,70**	0,51 ^{ns}	3,68*	1,79 ^{ns}
C.V. (%)	8,4	9,0	4,2	4,6	4,9
----- 9 meses segunda soqueira -----					
0	2,47	12	30,98	29,1	29,4
60	2,52	13	30,02	27,5	30,1
120	2,27	14	26,79	28,1	28,2
180	2,45	14	29,20	28,8	30,8
240	2,42	13	29,45	27,3	31,4
Teste F	1,75 ^{ns}	0,78 ^{ns}	3,00 ^{ns}	1,51 ^{ns}	1,17 ^{ns}
C.V. (%)	6,0	13,0	6,1	4,4	7,7
----- 4 meses terceira soqueira -----					
0	0,99	13	26,50	26,8	18,8
60	0,99	12	27,30	24,7	19,4
120	0,96	15	27,05	23,9	18,1
180	1,02	9	26,32	28,0	18,5
240	1,40	11	26,47	26,9	19,2
Teste F	0,11 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,16 ^{ns}
C.V. (%)	8,1	25,5	4,5	12,0	14,2
----- 9 meses terceira soqueira -----					
0	2,01	14	25,00	18,0	14,3
60	1,98	15	22,92	19,4	16,7
120	2,00	15	23,92	20,6	18,4
180	1,97	17	23,45	24,0	19,7
240	1,81	15	24,75	21,5	21,2
Teste F	5,30*	1,74 ^{ns}	0,97 ^{ns}	7,53**	8,71**
C.V. (%)	3,5	12,2	7,3	10,0	7,9

**, * e ^{ns} - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente. SPAD +1 e SPAD +3 correspondem à leitura nas folhas +1 e +3, respectivamente.

Contatou-se efeito quadrático ($P < 0,01$) das doses de nitrogênio somente no número de perfilhos (**Figura 19**), sendo a dose de 163 kg ha^{-1} de N a que promoveu maior perfilhamento (16 perfilhos), aos quatro meses da segunda soqueira da cana-de-açúcar.

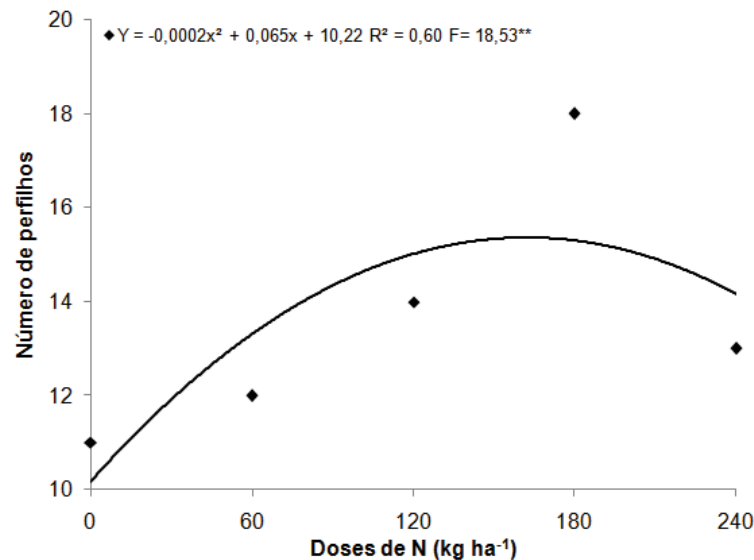


Figura 19- Efeito da adubação nitrogenada no número de perfilhos por metro da linha da cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio aos quatro meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar. ** - significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Em relação ao índice SPAD da folha +1, coletada aos quatro meses após a segunda soqueira, verificou-se efeito significativo das doses de nitrogênio; contudo, não houve ajuste às equações de primeira e segunda ordem propostas neste estudo.

Já aos nove meses após a terceira soqueira, contatou-se efeito linear das doses de nitrogênio no índice SPAD da folha +1 e quadrático da folha +3 ($P < 0,01$) (**Figura 20**), sendo a dose de 230 kg ha^{-1} de N a que promoveu maior leitura do índice SPAD na folha +3 (20,95). Orlando Filho et al. (1999), avaliando o efeito da aplicação de adubos nitrogenados em cana-de-açúcar, constataram que a aplicação de nitrogênio reflete em maior vigor das soqueiras e, conseqüentemente, em aumento das variáveis indicadoras de crescimento dessa cultura.

O nitrogênio está presente em cada passo da vida das plantas, exercendo as mais variadas funções, participando na constituição de moléculas das proteínas e na síntese de compostos celulares, como a clorofila, além de participar da formação de compostos indispensáveis às plantas (MALAVOLTA, 2006).

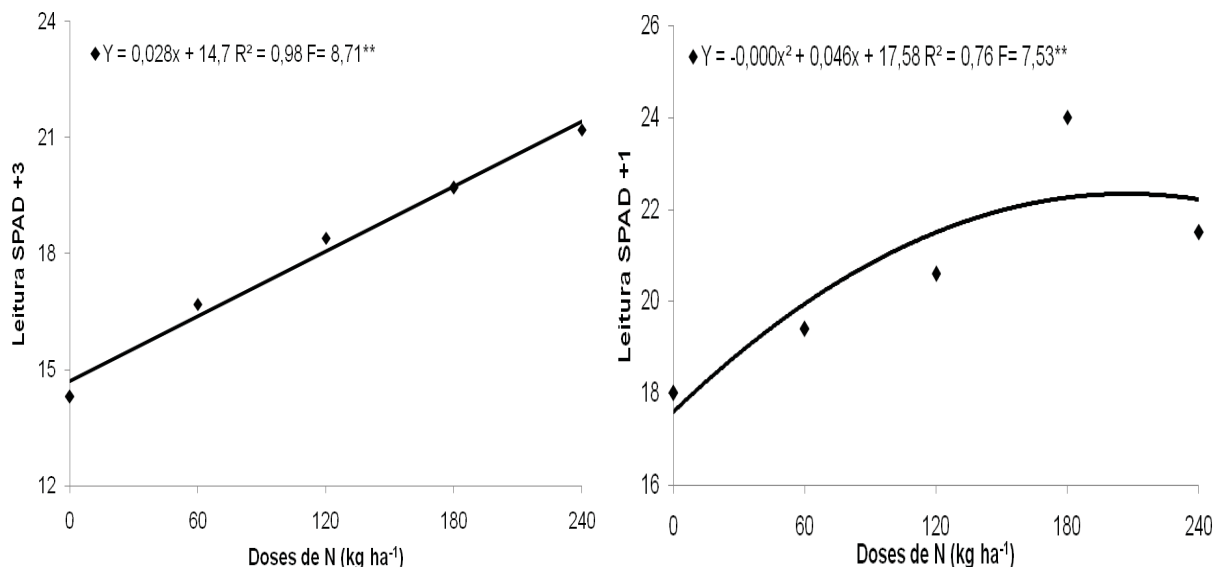


Figura 20- Leitura do índice SPAD da folha +1 e folha +3, aos nove meses após a brotação da terceira soqueira da cana-de-açúcar. ** - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Dessa forma, justifica-se o aumento dos índices SPAD com a aplicação das doses de N, devido este nutriente estar relacionado com a formação da pigmentação nos tecidos vegetais. Essa leitura (índice SPAD) é considerada a melhor indicadora do estado nutricional de N na planta (BLACKMER; SCHEPERS, 1994). O índice SPAD estima o teor relativo de clorofila, mediante valores calculados no aparelho, a partir da quantidade de luz absorvida pela folha (WASKOM et al., 1996). De modo geral, a leitura do índice SPAD é mais uma ferramenta importante para se verificar a resposta das culturas à aplicação do nitrogênio, apresentando correlações positivas entre os valores do índice SPAD e o aumento do N nos tecidos vegetais (FURLANI JÚNIOR et al., 1996). Os resultados obtidos neste experimento, com a avaliação das variáveis de crescimento nas soqueiras da cana-de-açúcar (variedade SP 83-2847), ainda são incipientes para indicar a resposta da adubação nitrogenada.

Em relação à altura avaliada aos nove meses após a brotação da terceira soqueira, verificou-se efeito significativo das doses de nitrogênio; contudo, não houve ajuste às equações de primeira e segunda ordem propostas neste estudo.

5.6 Efeito dos tratamentos na produção de fitomassa pela cana-de-açúcar

Observa-se efeito significativo da aplicação de nitrogênio na produção da massa da matéria seca das folhas verdes (MSFV), na segunda e terceira soqueiras e da massa da matéria seca dos colmos (MSC) na terceira soqueira (**Tabela 8**).

Apesar de ter verificado efeito significativo na massa da matéria seca das folhas verdes (MSFV), na segunda soqueira, os dados obtidos não se ajustaram às equações de primeira e segunda ordem propostas anteriormente.

Resultados encontrados por Faroni (2008), em experimento com cana-soca, diferem da produção de fitomassa média das MSFS (1.900 kg ha^{-1}), MSFV ($10.900 \text{ kg ha}^{-1}$) e dos colmos ($35.200 \text{ kg ha}^{-1}$) (**Tabela 8**), no qual se obtiveram 9.490; 4.800 e $26.700 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente; possivelmente, as diferenças de produção de fitomassa das MSFS e MSFV devem-se aos critérios distintos do que foi considerado para as folhas seca e verde; e a maior produção de fitomassa de colmo no presente trabalho seguiu a alta produtividade nesta área de cultivo de cana-de-açúcar.

Tabela 8- Resultados médios da produção da massa da matéria seca das folhas secas, folhas verdes e dos colmos da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio.

Doses de Nitrogênio	Folhas secas	Folhas verdes	Colmos	Folhas secas	Folhas verdes	Colmos
	Segunda Soqueira			Terceira Soqueira		
kg ha^{-1}	kg ha^{-1}			kg ha^{-1}		
0	2.090	4.250	31.170	2.413	3.538	27.377
60	1.700	18.120	40.090	2.786	4.639	35.821
120	1.970	7.380	33.700	2.808	4.919	34.132
180	2.160	15.680	41.090	3.186	4.172	35.955
240	1.870	9.500	30.250	2.906	3.966	36.444
Teste F	0,42 ^{ns}	73,11 ^{**}	1,18 ^{ns}	1,70 ^{ns}	3,02 ^{ns}	7,82 ^{**}
C.V. (%)	28,4	12,3	23,0	15,1	14,7	7,9

^{**}, * e ^{ns} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Verifica-se, com o estudo da regressão, que a aplicação de N promoveu aumento com ajuste quadrático na produção de fitomassa das folhas verdes e dos colmos, sendo as doses de 124 e 181 kg ha⁻¹ de N as responsáveis pelos pontos de máximo de 4.781 e 20.386 kg ha⁻¹, respectivamente, no cultivo da terceira soqueira da cana-de-açúcar (**Figuras 21**).

A produção de fitomassa média das MSFS (2.820,38 kg ha⁻¹), MSFV (4.247,34 kg ha⁻¹) e MSC (33.946,36 kg ha⁻¹) (**Tabela 8**) está diferente das observadas por Faroni (2008) e Vale (2009), em experimento com cana-soca, e isso se deve, possivelmente, pelas diferenças de variedades de cultivo, clima e época de coleta do material vegetal (TRIVELLIN et al., 1996), e ainda pelos critérios distintos do que foi considerado como folha seca e folha verde.

A resposta da aplicação de N em promover maior vigor das plantas de cana-de-açúcar é confirmada, pois, conforme se aplicou N, aumentou a quantidade de folhas verdes (**Figura 21**), confirmando o efeito benéfico da aplicação de N na produção da massa verde (MALAVOLTA, 2006).

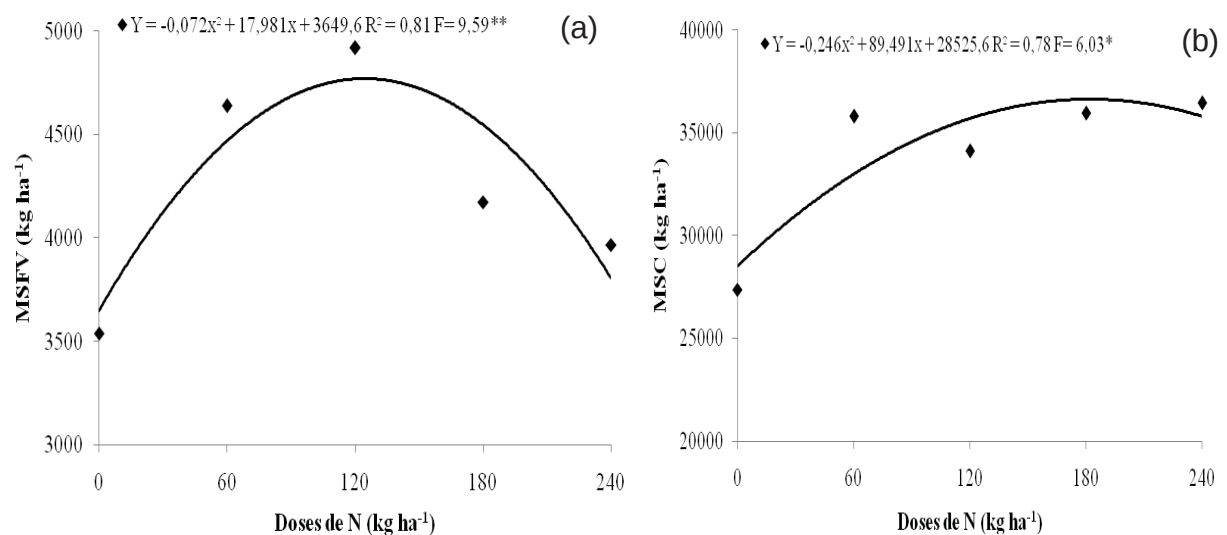


Figura 21- Efeito das doses de nitrogênio na massa da matéria seca das folhas verdes MSFV e na massa da matéria seca dos colmos MSC da terceira soqueira de cana-de-açúcar, aos doze meses após a brotação da cultura.
^{**}, ^{*} - Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

5.7 Efeito dos tratamentos no teor e no acúmulo de nitrogênio nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos da cana-de-açúcar

A aplicação de nitrogênio influenciou no teor de N nas folhas secas, folhas verdes da segunda soqueira e do colmo na segunda e terceira soqueiras (**Tabela 9**). Para o teor de N nas folhas secas, verifica-se incremento com ajuste quadrático em função da aplicação do nitrogênio, atingindo o máximo de 1,95 e 3,48 g kg⁻¹ com a dose de 87,5 e 175 kg ha⁻¹, respectivamente, para a segunda e terceira soqueiras (**Figura 22**).

Contudo, é importante destacar que, nas amostras das folhas +1 e +3, aos quatro e aos nove meses após a brotação da segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar, não foi possível constatar diferença significativa no teor de N ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, em função da aplicação do nitrogênio (**Tabela 6**).

Tabela 9- Teor e acúmulo de nitrogênio nas folhas secas, folhas verdes e nos colmos da segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio.

Doses de Nitrogênio	Teor de nitrogênio			Acúmulo de nitrogênio		
	Folhas secas	Folhas verdes	Colmos	Folhas secas	Folhas verdes	Colmos
	Segunda Soqueira					
kg ha ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----			-----kg ha ⁻¹ -----		
0	2,7	1,7	1,6	4,9	10,7	72,2
60	2,8	1,2	1,5	7,0	18,6	50,4
120	3,1	2,3	1,8	5,9	13,7	55,3
180	2,4	1,4	2,6	5,1	16,8	103,3
240	2,0	1,6	1,9	3,6	12,0	58,2
Teste F	3,98*	4,65*	8,83**	1,00 ^{ns}	1,16 ^{ns}	3,49*
C.V. (%)	16,8	22,6	14,5	46,9	42,6	33,6
	-----Teste F-----					
R.L.	7,04*	0,00 ^{ns}	13,28**	1,22 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,47 ^{ns}
R.Q.	6,80*	0,45 ^{ns}	1,57 ^{ns}	2,18 ^{ns}	2,32 ^{ns}	0,01 ^{ns}
D.R.	1,99 ^{ns}	16,80**	3,19 ^{ns}	0,20 ^{ns}	2,06 ^{ns}	2,54 ^{ns}
	Terceira Soqueira					
kg ha ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----			-----kg ha ⁻¹ -----		
0	2,3	9,1	2,1	5,6	32,1	57,4
60	2,6	9,3	2,3	7,4	43,9	83,4
120	3,6	10,3	2,7	11,5	50,4	99,0
180	2,9	9,8	2,4	9,3	41,2	87,9
240	2,8	9,8	2,5	8,3	38,8	91,6
Teste F	8,73**	0,81 ^{ns}	0,94 ^{ns}	4,79**	3,54*	4,85*
C.V. (%)	11,6	11,0	19,1	23,5	17,2	17,1
	-----Teste F-----					
R.L.	6,24*	1,53 ^{ns}	1,70 ^{ns}	5,46*	0,90 ^{ns}	10,25**
R.Q.	15,93**	0,92 ^{ns}	1,22 ^{ns}	10,17**	10,88**	6,98*
D.R.	12,81**	0,77 ^{ns}	0,73 ^{ns}	3,43 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,93 ^{ns}

**, * e ^{ns} - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste F, respectivamente. R.L. – Regressão linear; R.Q. – Regressão quadrática, e D.R. – Desvio de regressão.

A aplicação de nitrogênio promoveu efeito significativo no acúmulo de N nas folhas secas, folhas verdes e nos colmos da terceira soqueira da cana-de-açúcar (Tabela 9).

Houve incremento com ajuste quadrático no acúmulo de N nas folhas secas, verdes e nos colmos, em função da aplicação de N, atingindo com doses de 172; 141 e 163 kg ha⁻¹ de N os pontos de máximo de 11,2; 49,0 e 96,7 kg ha⁻¹ de N (Figura 22), respectivamente. A maior concentração de N-amônio e N-nitrato no solo pode justificar

o acúmulo de N nas plantas (**Figuras 13 e 14**), apesar da não significância do teor de N nas folhas diagnósticas.

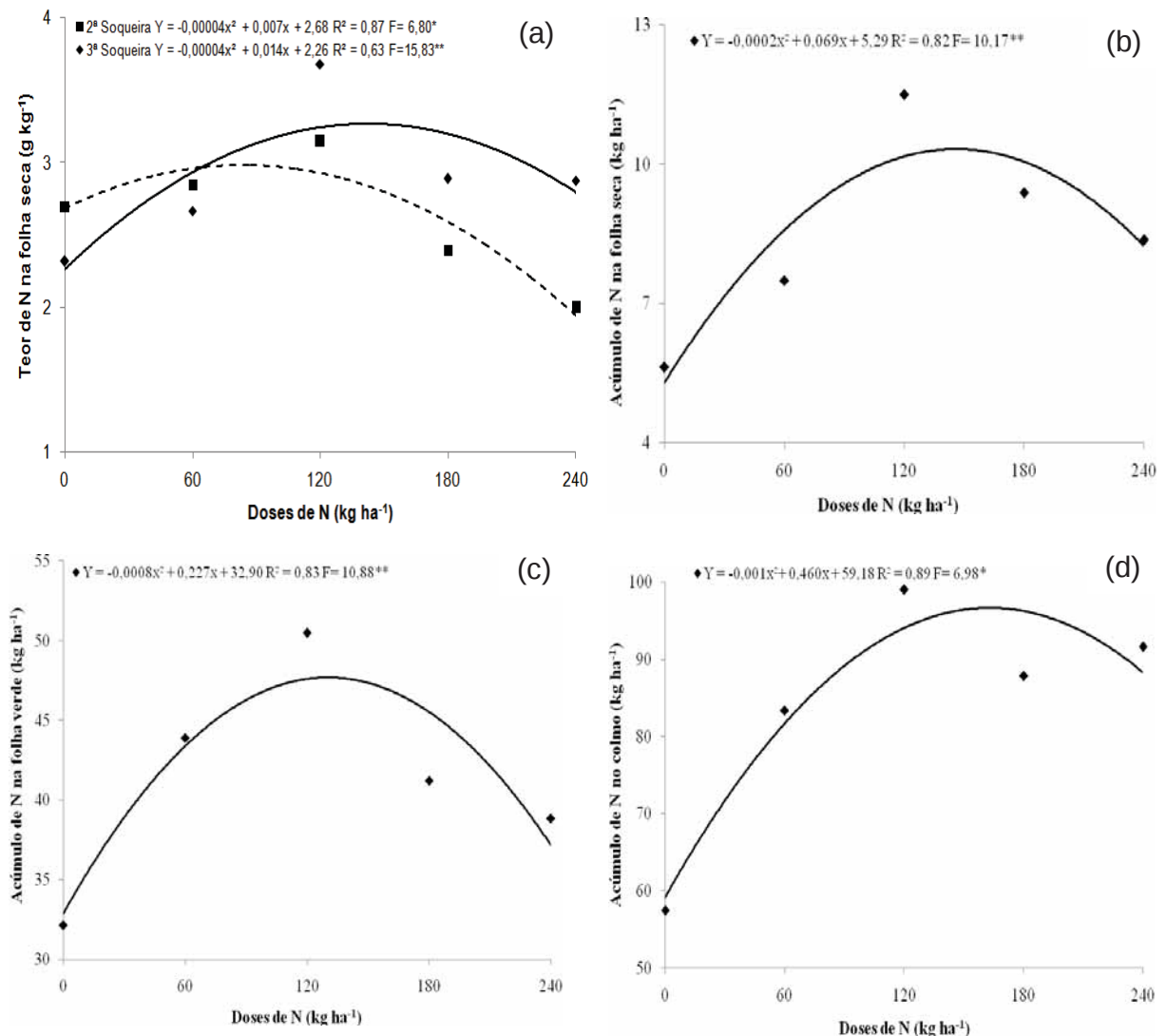


Figura 22- Efeito das doses de nitrogênio no teor de N nas folhas secas da segunda e terceira soqueiras (a) e acúmulo de nitrogênio das folhas secas (b), folhas verdes (c) e nos colmos (d) da terceira soqueira da cana-de-açúcar. **, * - Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para Golden (1961), a quantidade de N nos colmos de cana-de-açúcar variava de 46 a 82 kg ha⁻¹; neste experimento, o acúmulo de N variou de 57 a 99 kg ha⁻¹; já Prado et al. (2002), em cana-soca (SP 80-1842), cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo, observaram valores de exportação de N nos colmos de 88 kg ha⁻¹; Coleti et

al. (2002) observaram exportação de N nos colmos, para cana-soca, de 84 kg ha^{-1} ; neste sentido, Gomes (2003), em cultivo de doze variedades de cana-de-açúcar sem o uso da despalha a fogo, em dois solos, observou exportação pelo colmo (em kg ha^{-1}) variando de 34,4 a 104,9 para o N (com uma produção de 29 e 54 t ha^{-1}), resultados próximos dos encontrados no presente experimento. A variação de acúmulo de N deve-se pela diferença das variedades na eficiência de utilização do nutriente, além disso, depende do solo, do ano agrícola (estágio), das práticas culturais e de sua adaptabilidade ao ambiente (GOMES, 2003).

5.8 Efeitos dos tratamentos na produção e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

A aplicação de N promoveu aumento com ajuste quadrático na produção de cana-de-açúcar, sendo a máxima produção (130 t ha^{-1}) obtida na dose de N de 158 kg ha^{-1} (**Figura 23**), sendo superior à dose de 120 kg ha^{-1} de N recomendada por Spironello et al. (1997), para alcançar produtividades superiores a 100 t ha^{-1} de cana-de-açúcar.

Pode-se inferir que o efeito do nitrogênio no aumento da produção de colmos da soqueira da cana-de-açúcar é reflexo desse nutriente no crescimento da planta. A dose que proporcionou a máxima produção de colmos está próxima da que promoveu o maior número de perfilhos aos nove meses após a brotação (163 kg ha^{-1} de N) (**Figura 19**). Além disso, o aumento das concentrações de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo, que foram responsivos às doses de N aplicadas, ajuda a justificar o aumento da produção.

Segundo Robertson e Thorburn (2007), após a fertilização nitrogenada com fonte mineral, o conteúdo de N inorgânico no solo é inicialmente aumentado, devido à solubilização da fonte de N na solução do solo. Por outro lado, o N-fertilizante pode estimular a mineralização do N orgânico do solo, por fornecer condições adequadas aos microrganismos heterotróficos, além de contribuir para o desenvolvimento radicular, aumentando a absorção de N, por explorar maior volume de solo (FRIED; BROESHART, 1974).

No presente trabalho, a aplicação de N promoveu aumento de 80% na produção

(130 t ha⁻¹), se comparado à não aplicação de N (72 t ha⁻¹). O efeito benéfico da aplicação de nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar corrobora os resultados obtidos por Orlando Filho et al. (1999), que afirmam que a aplicação de N em cana-de-açúcar reflete no aumento da produção.

Resultados semelhantes foram obtidos por Alvarez et al. (1963), constatando que a adubação nitrogenada em cobertura de cana-soca com despalha a fogo promoveu aumento de 10% na produção da cana-de-açúcar com a aplicação de 75 kg ha⁻¹ de N, comparada à não aplicação de N. Em cana-planta (sem despalha a fogo), Cardoso (2002) observou que a redução na aplicação de nitrogênio de 100 para 30 kg ha⁻¹ causou diminuição drástica no rendimento dos colmos.

Vitti et al. (2007), em experimento com soqueira de cana-de-açúcar, colhida sem queima, avaliando o efeito da aplicação de cinco doses de N (35 até 175 kg ha⁻¹), constataram diferença de 100% na produção de colmos na segunda soca, entre a maior dose e a não aplicação de N. Na safra seguinte, esse diferencial na produção foi de 50%, confirmando os resultados obtidos no presente trabalho e evidenciando a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem o uso da despalha a fogo.

A resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de altas doses de N, possivelmente, ocorreu devido ao fato de ser a segunda soqueira e por o sistema de colheita sem despalha a fogo ter sido implantado há poucos anos (6 anos na área e lavoura de segunda soqueira) e, assim, para a degradação da palhada, ocorre grande imobilização de N, aumentando a exigência de aplicação de nitrogênio (VITTI, 2003), ou ainda devido à aplicação de Si (RAID et al., 1992), pois o Si reduz a taxa de senescência foliar de modo que as folhas ficam fotossinteticamente ativas por mais tempo (PRADO; FERNANDES, 2000).

A produção da terceira soqueira da cana-de-açúcar não foi afetada com a aplicação das doses de nitrogênio. Entretanto, ressalta-se que, mesmo sem efeito significativo, a aplicação da maior dose de nitrogênio (240 kg ha⁻¹ de N) promoveu aumento de aproximadamente 10 % na produção, em relação à testemunha (**Tabela 10**).

Os trabalhos desenvolvidos por Vitti et al. (2007) com soqueiras de cana-de-açúcar, colhida sem queima, avaliando o efeito da aplicação de doses de N, constataram diferença de 100% na produção de colmos, na 2ª soca, entre a maior dose e a testemunha. Na safra seguinte, esse diferencial na produção foi de 50%, mantendo incremento com ajuste linear na produção de cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio.

Tabela 10- Efeito dos tratamentos na produtividade, na leitura dos açúcares redutores (AR), no brix, no teor de sacarose (Pol% cana), na fibra, na pureza, na pureza do caldo (PC), no açúcar total recuperável (ATR), no açúcar redutor total (ART) e no peso do bolo úmido (PBU), em função da adubação nitrogenada, na segunda e terceira soqueiras da cana-de-açúcar.

na segunda e terceira soqueiras da cana de açúcar:										
	Produção (t ha ⁻¹)	AR	Brix	Pol	Fibra	Pureza	PC	ATR	ART	PBU
Causas de variação		-----%-----						-----kg t ⁻¹ -----		
	-----Segunda soqueira-----									
Nitrogênio	8,99 ^{**}	0,03 ^{**}	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,56 ^{ns}		40,80 ^{ns}
Blocos	0,61 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,11 ^{ns}	9,35 ^{ns}		29,48 ^{ns}
Média Geral	110,50	0,49	20,50	18,26	13,61	89,10	15,04	147,63		159,14
C.V. (%)	15,92	10,31	2,97	3,83	4,24	1,25	4,27	4,00		4,53
R.L.	15,63 ^{**}	0,05 ^{**}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,35 ^{ns}		59,66 ^{ns}
R.Q.	12,12 ^{**}	0,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,32 ^{ns}		58,16 ^{ns}
D.R.	5,81 [*]	0,03 ^{**}	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,18 ^{ns}		45,13
Causas de variação		-----Terceira soqueira-----								
Nitrogênio	0,84 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,96 ^{ns}
Blocos	1,13 ^{ns}	1,75 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Média Geral	61,3	0,68	19,10	16,8	13,53	87,9	13,85	136,62	18,36	158,2
C.V. (%)	9,6	17,2	4,3	5,3	3,2	1,1	5,2	4,8	4,5	3,4
R.L.	2,96 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,32 ^{ns}	2,90 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,32 ^{ns}	2,90 ^{ns}
R.Q.	0,41 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,36 ^{ns}
D.R.	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,02 ^{ns}

**, * e ^{ns} - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste F, respectivamente. R.L. – Regressão linear; R.Q. – Regressão quadrática, e D.R. – Desvio de regressão.

A maior produção de colmos por hectare observada no experimento foi de 63 t ha⁻¹, correspondente à dose de 240 kg ha⁻¹ de N, enquanto a produtividade anterior do mesmo talhão, referente à segunda soqueira, foi de 88 t ha⁻¹ para o mesmo tratamento. As áreas em início de adoção do sistema de colheita de cana sem despalha a fogo têm apresentado redução na produtividade (GAVA, 1999). O autor menciona que a diminuição da produtividade varia com o tempo de implantação do sistema de colheita

de cana sem queima, com as condições climáticas e de manejo, contudo pode-se inferir que as condições de baixa precipitação, durante o cultivo da terceira, soqueira podem ter mascarado os resultados.

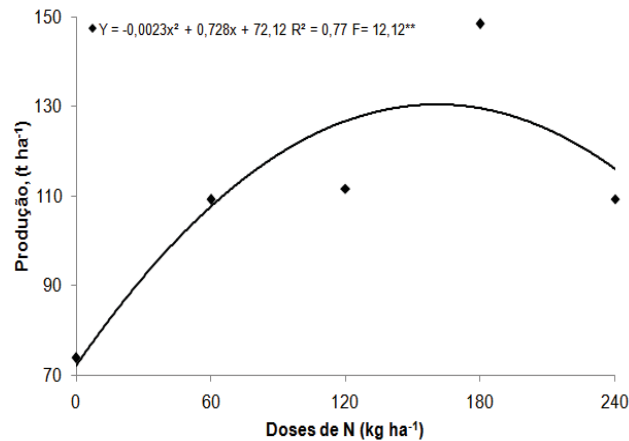


Figura 23- Produção de colmos da segunda soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio (médias de quatro repetições). ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Para as variáveis tecnológicas do colmo, houve efeito significativo apenas para a leitura dos açúcares redutores (A.R.), em função da aplicação de nitrogênio na segunda soqueira da cana-de-açúcar (**Tabela 10**).

Verifica-se que a aplicação de N reduziu com ajuste linear a leitura dos açúcares redutores (A.R.) (**Figura 24**).

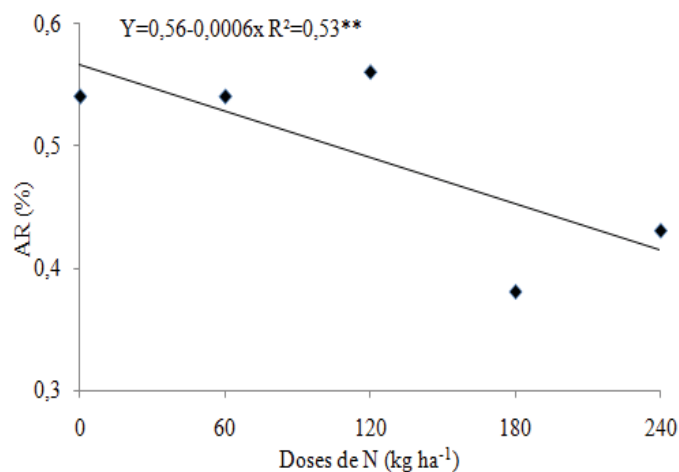


Figura 24- Açúcares redutores da cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio. ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Sabe-se que a qualidade do caldo da cana-de-açúcar varia em função das variedades do sistema de manejo da palhada da soqueira da cana colhida sem queima e também da nutrição mineral da planta (SOUZA et al., 2005), mas, como ocorre aumento da produtividade da cana-de-açúcar com a aplicação de N na segunda soqueira, pode ocorrer diluição na concentração do açúcar e das outras variáveis de qualidade da cana-de-açúcar, não sendo possível verificar se o aumento da qualidade da cana-de-açúcar advém da aplicação de N.

Campanhão et al. (2005), em soqueira de cana-de-açúcar, verificaram que a aplicação de nitrogênio não afetou diretamente a Pol da cana, todavia afetou a produtividade e, conseqüentemente, a Pol em $t\ ha^{-1}$. Segundo Prado e Pancelli (2006), a aplicação de nitrogênio não afetou a qualidade da primeira soqueira da cana-de-açúcar, aumentando, entretanto, no segundo corte, a Pol e o rendimento teórico recuperável.

Desta forma, os resultados obtidos são confirmados por Costa et al. (2003) e Vieira et al. (2010), que verificaram que a aplicação de nitrogênio não afetou a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Vitti et al. (2007), em experimento com soqueira de cana-de-açúcar, colhida sem queima, avaliando o efeito da aplicação de doses de nitrogênio (35 até $175\ kg\ ha^{-1}$), constataram que a aplicação das doses de nitrogênio não afetou a qualidade tecnológica dos colmos. Esses autores levantam a hipótese de questionamento de que, se não seria necessário aplicar maior dose de N na implantação da colheita sem queima, para garantir o bom vigor das socas, com reduzida dose de N nos ciclos agrícolas futuros. Neste contexto, Souza et al. (2005) comentam que a qualidade do caldo da cana-de-açúcar varia em função das variedades do sistema de manejo da palhada da soqueira da cana colhida sem queima e também da nutrição mineral da planta; além disso, ressaltam que, com o aumento da produtividade da cana-de-açúcar com a aplicação de N, pode ocorrer efeito de diluição na concentração do açúcar e das outras variáveis indicadoras da qualidade da cana-de-açúcar, não sendo possível verificar aumento da qualidade da cultura com aplicação de N.

5.9 Efeito dos tratamentos no fator econômico da segunda soqueira de cana-de-açúcar

A aplicação de nitrogênio na forma de nitrato de amônio promoveu efeito significativo no incremento líquido (I.L.), no valor líquido de produção (V.L.P.) e na receita líquida (R.L.) da cana-de-açúcar, com ajuste quadrático no I.L., sendo o máximo (R\$ 35,5) obtido com a aplicação de 165 kg ha⁻¹ de N. Observa-se, ainda, que na dose zero o I.L. foi negativo (R\$ -24,9), e a aplicação da dose adequada de N resultou em aumento da ordem de 140% no I.L. (Figura 25 a).

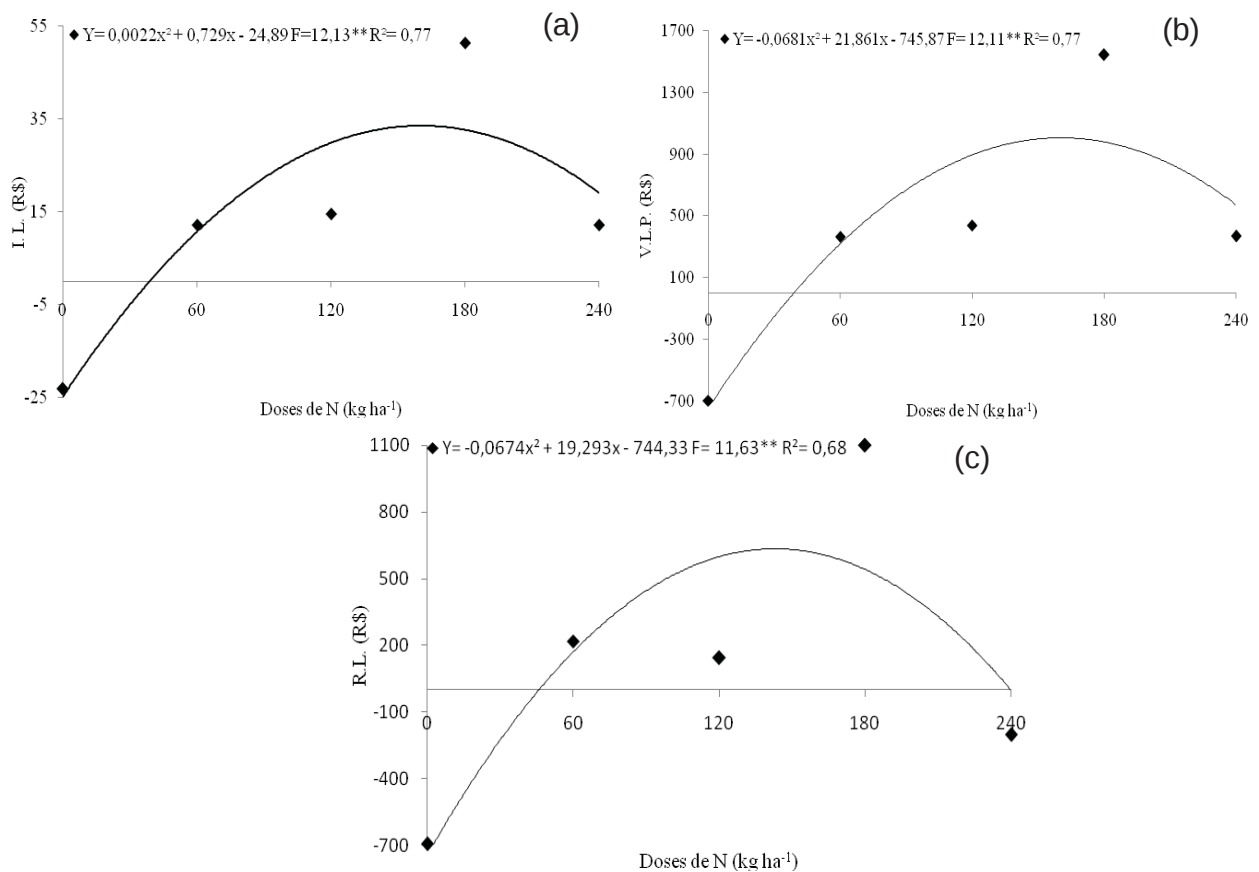


Figura 25- Incremento líquido (I.L.) (a), valor líquido de produção (V.L.P.) (b) e receita líquida (R.L.) (c), na segunda soqueira de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio. ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Para o V.L.P., verifica-se aumento com ajuste quadrático em função da aplicação de N, sendo o ponto de máximo (R\$ 1010,0) obtido com a aplicação de 160 kg ha^{-1} de N, dose esta responsável por aumentar em 135% o V.L.P. (**Figura 25 b**).

Para a R.L., a aplicação de N proporcionou aumento com ajuste quadrático, sendo a dose de 143 kg ha^{-1} de N, responsável pelo ponto de máximo (R\$ 636,2) (**Figura 25 c**). Observa-se, ainda, que, na ausência da aplicação de nitrogênio na segunda soqueira da cana-de-açúcar, a R.L. é negativa (R\$ -744,3), evidenciando que, financeiramente, é viável e necessário à aplicação de nitrogênio para ser lucrativo o cultivo da cana-de-açúcar. Para R.B.C, não houve ajuste das equações de primeira e segunda ordem propostas neste estudo.

Observa-se que a dose que proporcionou maior receita líquida ($143 \text{ kg de N ha}^{-1}$) foi relativamente alta em função da alta produtividade da cultura (130 t ha^{-1}) proporcionada pela aplicação de N.

Mediante o preço elevado dos fertilizantes nitrogenados e o baixo da cana-de-açúcar, é recomendado maior atenção à aplicação de nitrogênio, para obter maior produtividade e longevidade do canavial (VITTI et al., 2007), mas é preciso usar de maneira consciente, para que seja economicamente viável essa prática agrícola (CRUZ et al., 2008), pois a aplicação de N acima de 125 kg ha^{-1} inicia a diminuição na R.L.

Spironello (1985), em experimento com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, em sistema de colheita com despalha a fogo, apontou que a adubação mais econômica está próxima de 80 kg ha^{-1} de N, dose essa um pouco abaixo do observado no presente trabalho (143 kg ha^{-1} de N), possivelmente em virtude do avanço tecnológico advindo principalmente do uso de variedades mais eficientes no uso dos fertilizantes ou até mesmo do sistema sem o uso da despalha a fogo (GRAHAM et al., 2000).

Cantarella et al. (2007) apresentaram resultados não publicados de Penatti e Cantarella, em 74 experimentos com cana-de-açúcar sem o uso da despalha a fogo, que a dose econômica de N estava em torno de $75 \text{ kg de N ha}^{-1}$ para as condições do Centro-Sul.

Teodoro (2007), trabalhando com doses de ureia e sulfato de amônio em cana-de-açúcar, sem o uso da despalha a fogo, em Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico,

verificou que a máxima eficiência econômica foi obtida com a aplicação de 96 e 92 kg de N ha⁻¹, respectivamente, valores esses um pouco abaixo dos observados no presente trabalho, possivelmente em função da variedade e do fertilizante utilizado e também do local de cultivo.

A discussão da dose econômica de N em sistema de colheita mecanizada ficou prejudicada pelas poucas informações a respeito da cultura nesse novo sistema de colheita e pelo fato de que a dose econômica é muito variável pela alta variação nos preços dos produtos (custo do fertilizante e da cana-de-açúcar ao longo do cultivo) e pelo curto período de avaliação de um ano, devido à terceira soqueira não apresentar efeito significativo das doses na produção da cultura.

6 CONCLUSÕES

- 1- A adubação nitrogenada aumentou o teor de nitrogênio no solo, o acúmulo de nitrogênio na planta e o crescimento da cultura, entretanto não alterou o teor foliar de nitrogênio.
- 2- A dose de 130 kg ha⁻¹ de N proporcionou a máxima produção de colmos da segunda soqueira (158 t ha⁻¹) e esteve associada aos teores de amônio de 14 mg kg⁻¹ e de nitrato de 12 mg kg⁻¹ no solo (camada de 0-10 cm).

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL: Anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: **FNP Consultoria e Comércio**, p.215-232, 2011.
- ALVAREZ, R.; SEGALLA, A. L.; WUTKE, A. C. P. Adubação da cana-de-açúcar. VIII. Adubação mineral em solos Massapê-Salmourão (1957-58). **Bragantia**, Campinas, v. 22, p. 657-675, 1963.
- ARAÚJO, A.R.A.; CARVALHO, J.L.N.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 537-541, 2004.

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS-ANDA. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes.** 2009. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>>. Acessado em: 22 ago. 2009.
- ANJOS, I. A.; ANDRADE, L. A. B.; FIGUEIREDO, P. A. M. Avaliação do potencial industrial de duas variedades de cana-de-açúcar (cana-soca), sob diferentes doses de nitrogênio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23. 1998, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: SBSCS, 1998. p. 87.
- BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). 1981. 142p. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. Software AgroEstat - Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Brasil, 2009.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Circular, 78).
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.1.791-1.800, 1994.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Balanço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia 2007.** Brasília, 2007. 139p.
- BRUM, A.C.R. **Efeito de manejo e exploração agrícola na densidade populacional de bactérias nitrificadoras, em solo da unidade de mapeamento Santo Ângelo.** Santa Maria, 1975, 64p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria. 1975.
- CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: Ureia (^{15}N) e aquamônio (^{15}N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar.** 1989. 104 f. Dissertação

- (Mestrado) – Estado Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solo do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).
- CAMPBELL, I. B. **Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 1998. 112p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- CAMPANHÃO, J.M.; BARBOSA, V.; DURIGAN, A.M.P.R.; MUTTON, M.A. Manejo da soqueira da cana-de-açúcar submetida a queima accidental da palhada remanescente da colheita mecanizada. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 23, p. 33-37, 2005.
- 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, p. 935-944, 2003.
- CANTARELLA, H.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C. Fertilidade do solo em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 19., 2002, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2002. p. 99-132.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO NITROGENA DA NO BRASIL, 1984, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1986. p. 47-79.
- CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 7, p. 24-41, 1990.
- CARDOSO, F.P. Plantio direto em cana-de-açúcar. **Direto no Cerrado**, Passo Fundo, v. 7, p. 4, 2002.

- CHAPMAN, L.S.; HOGARTH, D.M.; LEVERINGTON, K.C. Does nitrogen fertilizer carry over to succeeding crops? In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 22. , 1983, Brisbane. **Proceedings**. Brisbane: Watson Fergunson, 1983. p. 109-114.
- COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; ESTUPIELLO, J.J.L.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em argissolos, variedades RB83-5486 e SP81-3250. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 316-332.
- Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. Piracicaba-SP, CONSECANA, 5. ed. 2006, 112p.
- COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de duas cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1.503-1.514, 2007.
- COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 631-637, 2003.
- COSTA, M.C.G. **Eficiência agrônômica de fontes nitrogenadas na cultura da cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo**. 2001. 94f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; SANTOS, J.R.; ALBURQUERQUE, A.W.; PEREIRA, R.G. Aplicação de nitrogênio para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 62-68, 2008.
- DECHEN, A.R.; NAVA, G.; BATAGLIA, O.C. Métodos de avaliação do estado nutricional das plantas para nitrogênio e enxofre. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira**. Piracicaba: International plant nutrition institute – Brasil, 2007. p. 251-275.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileira de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FARONI, C.E. **Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**. 2008. 190f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 579-590, 2010.
- FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e o papel do Instituto Agrônômico no seu estabelecimento no Brasil. Cana-de-Açúcar. IAC, SP, 2008. 882p.
- FURLANI JUNIOR, E.; NAKAGAWA, J.; BULHÕES, L.J.; MOREIRA, J.A.A.; GRASSI FILHO, H. Correlação entre leituras de clorofila e níveis de nitrogênio aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, v.55, n.1, p. 171-175, 1996.
- GAVA, G.J.C. **Utilização do nitrogênio, da ureia (15N) e da palhada (15N) por soqueira de cana-de-açúcar no manejo sem despalha a fogo**. Piracicaba, 1999. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 1999.
- GALDOS, M.V. **Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar**. 2007. 101p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- GOLDEN, L.E. Nutrient uptake by sugarcane in Louisiana. **Sugar Journal**, New Orleans, v. 23, n. 11, p. 22-24, 1961.
- GOMES, J.F.F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. 2003. 75f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

- GOMEZ-ALVAREZ, F. Correlacion entre algunos niveles de nutrientes El La loja de La cana de azucar. **Revista de La Facultad de Agronomia**, Maracay, v. 7, p. 5-12, 1974.
- GOMES, A.A.; REIS, V.M.; BALDANI, V.L.D.; GOI, S.R. Relação entre distribuição de nitrogênio e colonização por bactérias diazotróficas em cana-de-açúcar **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.11, p.1.105-1.113, nov. 2005.
- GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Changes in soil fertility induced by trash retention and fertilizer applications on the long-term trash management trial at Mount Edgecombe. **Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association**, Durban, v. 74, p. 109-113, 2000.
- HAYNES, R.J. Nitrification. In: (Ed.). **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. Madison : Academic, 1986. p.127-164.
- HUNSIGI, G. **Production of sugarcane: theory and practice**. Springer – Verlag, 1993. 239p.
- KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C.; CHIMELLO, M.A.; LEONE, P.L.C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem Nitrogênio. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 20, p. 28-31, 2002a.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2002b. 23p. (Boletim Técnico 1).
- JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, v. 34, p. 197-224, 1981.
- LUCA, E.F. **Matéria orgânica e atributos do solo em sistema de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar**. 2002. 101 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*). In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.
- MAE, T. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis and yield potential. **Plant and Soil**, v.196, p. 201-210, 1997.

- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992.124p.
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Fundamentos do nitrogênio enxofre na nutrição mineral de plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira**. Piracicaba: International plant nutrition institute, 2007. p. 189-249.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V, V. H.A. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5º Aproximação**, Viçosa: CFSEMG. 1999, p. 156.
- MATOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Manuseio e conservação de amostras de solo para preservação do nitrogênio inorgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 423-431, 1995.
- MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BOREM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa : Editora UFV, p.205-251, 2005.
- MATSUOKA, S. Botânica e ecofisiologia da cana-de-açúcar. Apostila: **Curso de Qualificação em Plantas Industriais – Cana-de-açúcar**, São Paulo, 1996. 93p.
- MEIER, E.A.; THORBURN, P.J.; WEGENER, M.K.; BASFORD, K.E. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 75, p. 101-114, 2006.
- MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 48p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- MME – Ministério de Minas e Energia, (Publicações). Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acessado em: 06 jan. 2012.

- MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2.ed. atual. e ampl. Lavras: Ufla, 2006. 729p.
- OITICICA, A.G.R.; MELLO, A.J.P.; MOURA FILHO, G. Resposta da cana-soca a fontes e doses de nitrogênio em área de vinhaça com palhiço da cana crua, variedade RB 83-102. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. 1999. **Anais**, Brasília: SBSCS/EMBRAPA, 1999. (CD-ROM).
- OLIVEIRA, P. S. R.; ANDRADE, L. A. B.; VALE, F. R.; CARVALHO, G. J. Influência da adubação nitrogenada nas características tecnológicas e rendimento industrial de duas variedades de cana-de-açúcar (ciclo de ano). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: SBSCS, 1998. p. 94.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; MORTALI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 861-868, jun. 2002.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB**, v.17, p.39-41, 1999.
- ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983, p. 99.
- OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. 2007, 116 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- PATRICK JR., W. H. Nitrogen transformations in submerged soils. STEVENSON, F.J. (ed). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1982. Cap.12, p.449-466.
- PEUKE, A. D.; JESCHKE, W. D. The uptake and flow of C, N and ions between roots and shoots in *Racinus communis* L. - I: growth with ammonium and nitrate as

- nitrogen source. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 44, p. 1.167-1.176, 1993.
- PRADO, R.M.; PANCELLI, M.A. Nutrição nitrogenada em soqueiras e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. p. 60-63, 2006.
- PRADO, R.M.; PANCELLI, M.A. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 951-959, 2008.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes da cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 129-135, 2002.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, p. 739-744, 2000.
- PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, A.C. et al. **Adubação com ureia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross**: eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Circular Técnica, 30).
- PRIMAVESI, A.A.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A.G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com ureia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 247-253, 2005.
- RAID, R. N.; ANDERSON, D. L.; ULLOA, M. F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar cane. **Crop Protection**, v. 11, p. 84-88, 1992.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de**

- adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2: ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 233-239. (Boletim Técnico, 100).
- ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.; OLIVEIRA, R.H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e aplicação de nitrogênio, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 301-309, 2003.
- ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residues: consequence for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 45, p. 13-23, 2007.
- SILVEIRA, J.A.G. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada em condições de campo**. 1985. 152p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- SILVA, C.A.; VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G. Nitrificação em latossolos da região sul de Minas Gerais: efeito da acidez do solo. **Ciência e Prática**, Lavras, v.18, p.388-394, 1994.
- SILVA, V. M.; TRIVELIN, P. C. O.; COLAÇO, W.; ENCARNAÇÃO, F. A. F.; RUBEN, W. A.; CABEZAS, L. Mineralização e volatilização do nitrogênio da vinhaça-¹⁵N na presença ou não de ureia e de palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, 1999.
- SILVA, C.A.; VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solo brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2.461-2.471, 2000.
- SMITH, F.W.; LONERAGAN, J.E. Interpretation of plant analysis: concepts and principles. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. (Ed). **Plant analysisan interpretation manual**. Collingwood: CSIRO Publishing, 1997. p. 2-33.
- SPINORELLO, A. Aplicação de aquamônia, ureia, nitrato de amônio e cloreto de potássio em cinco níveis, em três socas de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 4., Piracicaba, **Anais...** Olinda: **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, p. 94-102, 1987.

- SPIRONELLO, A. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar, calagem, estudos iniciais, nitrogênio e potássio em cana-planta. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.5, p.17-28, 1989. Olhar no boletim 100.
- SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETO, R. **Cana-de-açúcar**. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1997. p. 237-239.
- SRIVASTAVA, S.C.; SUAREZ, N.R. Sugarcane. In: WICHMANN, W. (Ed.). **World fertilizer use manual**, Germany, BASF AG, 1992. p. 257-266.
- SOUZA, Z.M.; PAIXÃO, A.C.S.; PRADO, R.M.; CESARIN, L.G. Manejo de palhada do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1.061-1.068, 2005.
- RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; BAYER, C.; ARGENTA, G.; STRIEDER, L. M.; SILVA, A.A. Teor de nitrato como indicador complementar da disponibilidade de nitrogênio no solo para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 731-738, 2007.
- REIS JR., R. A.; MONNERAT, P. H. DRIS norms valition for sugarcane crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 379-385, 2003.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros minerais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- TEODORO, L.M.C. **Ureia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 72f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical), Instituto Agronômico, Campinas, 2007.
- TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUÊS, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-¹⁵N e ureia-¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 30, n. 12, p. 1.375-1.385, 1995.

- TRIVELIN, P.C.O.; CARVALHO, J.G.; SILVA, A.Q.; PRIMAVESI, A. C.P.A.; CAMACHO, E.; EIMORI, I.E.; GUILHERME, M.R. Adubação foliar de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Absorção e translocação de ureia-15N. **Energia Nuclear e Agricultura**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 52-65, 1988.
- TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade de cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 636-646, 2002.
- VALE, D.W. **Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar**. 2009. 120p. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.
- VIEIRA, M.X. **Eficiência agrônômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio**. 2009. 134p. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- VIEIRA, M.X.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FARONI, C.E. Ammonium chloride as nitrogen source in sugarcane harvested without burning. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1.165-1.174, 2010.
- VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; ROSSETTO, R. **Nitrogênio**. In: MIRANDA, L.L.D.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p.239-269.
- VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: Manejo e efeito na produtividade**. 2003. 114p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.249-256, fev. 2007.

- WASKOM, R. M.; WESTFALL, D. G.; SPELLMAN, D. E.; SOLTANPOUR, P. N. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, n. 3, p. 545-560, 1996.
- WELCH, R.M. Importance of seed mineral nutrient reserves in crop growth and development. In: RELGEL, Z. (Ed.). **Mineral nutrition of crops: fundamental mechanisms and implications**. New York, Food Products Press, 1999. p. 205-226.
- WIEDENFELD, R. P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilizer. **Agricultural Water Management**. Elsevier, v. 43 p. 173-182, 2000.
- WIRÉN, N.V.; GAZZARRINI, S.; FROMMER, W.B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.196, p.191-199, 1997.
- YADAV, D.V.; TODI, S.; SRIVASTAVA, A.K. Recycling of nutrients in trash with N for cane yield. **Biological Waste**, West Lafayette, v. 20, p. 133-141, 1987.

APÊNDICE

Os dados referentes às temperaturas máximas e mínimas, e o índice pluviométrico correspondente aos anos de desenvolvimento do experimento estão apresentados nas Figuras 26 e 27 (dados obtidos da Estação Agroclimatológica da FCAV/Unesp).

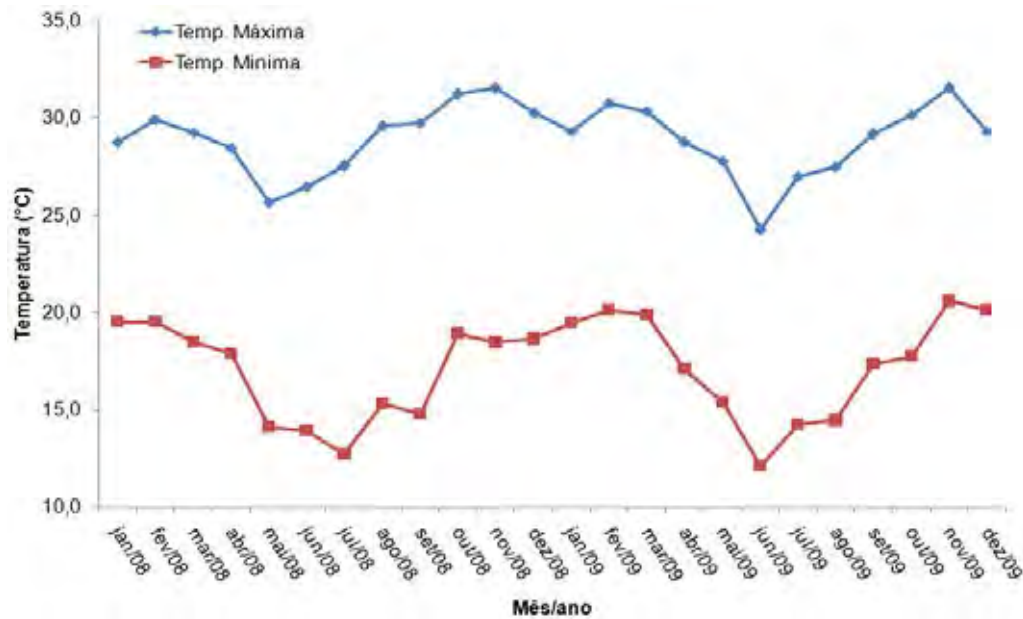


Figura 26- Dados médios mensais da temperatura máxima e mínima referente à área experimental durante os respectivos anos de condução do experimento.

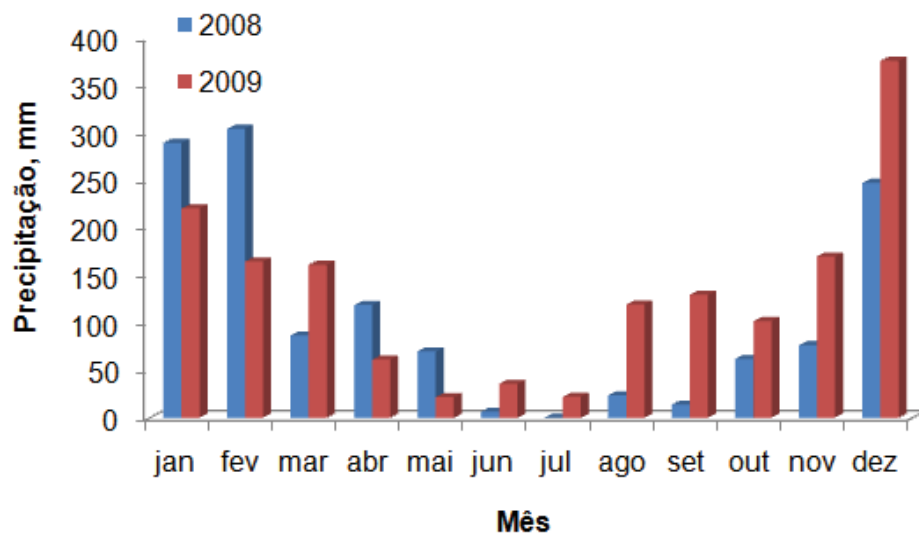


Figura 27- Dados pluviométricos mensais referentes à área experimental durante os respectivos anos de condução do experimento.