UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

SUCESSÃO DE CULTURAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CANA SOCA: EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NA PRODUTIVIDADE E NA QUALIDADE DA CULTURA

Junior Steve Garrido Pérez
Engenheiro Agrônomo

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

SUCESSÃO DE CULTURAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CANA SOCA: EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NA PRODUTIVIDADE E NA QUALIDADE DA CULTURA

Junior Steve Garrido Pérez

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

Co-Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2013

Garrido Pérez, Junior Steve
G241s Sucessão de culturas e adubação nitrogenada em cana soca: efeitos nos atributos químicos do solo, na produtividade e na qualidade da cultura / Junior Steve Garrido Pérez. – – Jaboticabal, 2013
vii, 32 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: José Eduardo Corá
Co-Orientadora: Carolina Fernandes
Banca examinadora: Cesar André Vitti, Edson Luiz Mendes Coutinho
Bibliografia

1. Biometria da cana-de-açúcar. 2. Fertilidade do solo. 3. Leguminosas. 4. Rotação de culturas. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.452:633.61

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

JUNIOR STEVE GARRIDO PÉREZ – Nascido no dia 03 de Dezembro de 1984, em Tingo Maria, Perú. Cursou o ensino fundamental e o médio na Escola "Padre Abad", em Tingo Maria, Perú. Em Março de 2002, ingressou no Curso de Graduação em Agronomia pela Universidade Nacional Agrária da Selva no Perú, e em Julho de 2008, obteve o grau de Bacharel em Agronomia. Realizou estágio curricular de graduação no laboratório de Fungos Antagonista e Produção de *Trichoderma ssp*., no Departamento de Controle Biológico do Serviço de Sanidade Agrária (CCB-SENASA), na cidade de Lima, Perú. Realizou ainda estágio no laboratório de Física do Solo do período de Setembro a Novembro do ano de 2010, no Departamento de Solos e Adubos da FCAV-Jaboticabal. Iniciou em Março de 2011 o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal, SP, onde foi bolsista CAPES no período compreendido entre Agosto de 2011 e Março de 2013.

“Noventa por cento do sucesso se baseia simplesmente em insistir”

Woody Allen

Aos meus pais, **Lucas Mariano Garrido B. e Mercedes Pérez T.**
e irmãos Andrea, Carlos, Milagros e Valeria

Dedico

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela fé, amor, proteção, saúde e sabedoria para que pudesse alcançar mais um objetivo.

À minha **mãe e meu pai**, pela vida, ensinamentos, educação e incentivo.

À **Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias** pela excelente formação e pela estrutura oferecida para a realização do curso de Mestrado.

Ao **prof. Dr. José Eduardo Corá**, pela oportunidade de realização deste trabalho, pela brilhante orientação oferecida, pela amizade e pelos valiosos conselhos.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, por ter concedido bolsa de estudos.

Ao funcionário **Tiago Fieno** por acompanhar-me durante todas as etapas do mestrado.

A todos os professores que contribuíram para a formação durante o curso de mestrado.

Aos colegas de Pós-Graduação e Graduação **Priscila, Felipe e Ícaro** pelo companheirismo e contribuições para a realização do curso.

Aos funcionários do DSA/FCAV: **Célia e Claudia** por proporcionarem subsídios na realização deste trabalho.

A todos **os demais amigos** que sempre me incentivaram e me apoiaram nas tomadas de decisões, por mais distantes que estejam.

Ao **prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho** e ao **prof. Dr. Miguel Mutton** pelas sugestões durante o exame de qualificação.

Ao **Dr. Cesar André Vitti** por ter aceitado ser membro da banca de Defesa e pelas sugestões.

A **Liliane Pereira Campos** pelo apoio, amizade, companheirismo, compreensão e carinho durante todos os momentos do mestrado.

Ao meu parceiro **Oniel Jeremías**, pelo companheirismo.

“Muchas Gracias”!!!

SUMÁRIO

Página

RESUMO vi
ABSTRACT vi
1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO DE LITERATURA 2
2.1. A cultura da Cana-de-açúcar no Brasil 2
2.2. O Nitrogênio 4
2.3. Uso do Solo na Reforma do Canavial 7
3. MATERIAL E MÉTODOS 10
3.1. Caracterização da área de estudo e os tratamentos 10
3.2. Amostragem de folhas 12
3.3. Colheita e variáveis biométricas da cana-de-açúcar 13
3.4. Variáveis tecnológicas 13
3.5. Amostragem do solo 14
3.5.1. Determinações 14
3.5.2. Análises químicas e granulométricas 14
3.6. Análises estatísticas 15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 15
4.1. Efeitos dos tratamentos no solo 15
4.2. Efeitos dos tratamentos nas variáveis biométricas, no nitrogênio foliar e na produtividade da cana-de-açúcar 22
4.3. Efeitos dos tratamentos nas variáveis tecnológicas 23
5. CONCLUSÕES 25
6. REFERÊNCIAS 25

SUCESSÃO DE CULTURAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CANA SOCA: EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NA PRODUTIVIDADE E NA QUALIDADE DA CULTURA

RESUMO - A rotação de culturas na reforma do canavial afeta diretamente a dinâmica de nutrientes. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos no solo e na produtividade da soqueira de cana-de-açúcar cultivado em um Latossolo Vermelho eutroférrico (LVef) em função da rotação de cultura empregados e dos níveis de adubação nitrogenada. O experimento foi conduzido no município de Guariba (21°14'05'' S e 48°17'09'' O) em duas áreas experimentais anteriormente caracterizadas por diferentes usos do solo, sob rotação de soja/milheto/soja e soja/crotalária/soja, respectivamente. Os tratamentos para ambas as áreas foram aplicados após o corte da cana planta em julho/2011. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições e cinco doses de nitrogênio (N): 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha^{-1}. Em dezembro/2011 foi realizada a coleta de folhas para avaliar o teor de N total. No momento da colheita da cana-de-açúcar foram avaliados; diâmetro e comprimento do colmo; massa e número de colmos/metro; produtividade e as variáveis tecnológicas. Posteriormente à colheita foram feitas as amostragens do solo nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm. Nas amostras de solo coletas foram avaliados; atributos de fertilidade do solo; Carbono Orgânico (CO) e Nitrogênio Total (NT). Houve efeito significativo nos valores de pH, NT, P, SB e CTC no manejo soja/crotalária/soja quando comparado com soja/milheto/soja. As doses de até 240 kg ha^{-1} de nitrogênio não alteram a qualidade dos colmos e não afetaram os atributos químicos do solo nestas condições edafoclimáticas. A rotação de culturas soja/crotalária/soja na reforma do canavial proporciona maior produtividade.

Palavras-chave: biometria da cana-de-açúcar, fertilidade do solo, leguminosas, rotação de culturas

SUCCESSION OF CULTURES AND NITROGEN IN SUGARCANE RATOON: EFFECTS ON SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES, IN PRODUCTIVITY AND QUALITY OF CULTURE

ABSTRACT – Crop rotation in the reform of sugarcane directly affects nutrient dynamics. The objective of this study was to evaluate the effects on soil and yield of ratoon sugarcane grown in an Oxisol (LVef) depending on crop rotation employed and levels of nitrogen fertilization. The experiment was conducted in the municipality of Guariba (21 ° 14'05'' S and 48 ° 17'09'' O) in two experimental areas previously characterized by different land uses under rotation soybean/millet/soybean and soybean/sunn hemp/soybean, respectively. Treatments for both areas were applied after cutting sugarcane plant at July in 2011. The experimental design was a randomized block with four replications and five nitrogen (N) rates: 0, 60, 120, 180 and 240 kg ha^{-1}. December/2011 were collecting leaves to assess the total N

content. At harvest of cane sugar were evaluated, diameter and length of the stem; mass and number of stem/meter; productivity and technological variables. After the harvest, samples were taken from soil layers of 0-15 cm and 15-30 cm. Soil samples collected were evaluated; attributes of soil fertility, Organic Carbon (OC) and Total Nitrogen (TN). Significant effect on pH, NT, P, SB and CTC in managing soybean/sunn hemp/soybean compared with soybean/millet/soybean. Rates of up to 240 kg ha^{-1} of nitrogen did not alter the quality of the stems and did not affect the soil chemical properties in these environmental conditions. Crop rotation soybean/sunn hemp/soybean reform sugarcane had higher productivity.

Keywords: Biometric sugarcane, crop rotation, legume, soil fertility

1. INTRODUÇÃO

De acordo a Food and Agriculture Organization (FAO, 2011) atualmente o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. A área cultivada é destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 está estimada em 8,5 milhões de hectares. A produção de açúcar e etanol na safra 2012/2013 foi de 38,34 milhões de toneladas e 23,64 bilhões de litros respectivamente (CONAB, 2013). Entretanto, para satisfazer a demanda industrial é necessário um aumento da produtividade e a expansão de novas áreas de cultivo.

A cultura da cana-de-açúcar vem sofrendo mudanças no manejo, nas últimas décadas a colheita passou para a forma mecanizada. A mudança na forma da colheita se deve pela promoção de melhoraria dos aspectos econômicos e ambientais no ambiente de cultivo, porém a renovação do canavial tem sido apontada como um desafio quanto ao uso; manejo do solo; manutenção da fertilidade e da produtividade (AMBROSANO et al., 2005; THORBURN et al., 2012).

Em estudos em áreas de reforma de canavial têm-se resultados que demonstram que o uso do solo em rotação com leguminosas e gramíneas promovem maior ciclagem de nutrientes, apresentando efeitos positivos nas propriedades físico-químicas e biológicas do solo, com aumentos significativos na produtividade da cana-de-açúcar (DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008; DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2010; AMBROSANO et al., 2013).

Fernandes, Corá e Marcelo (2012) reportaram benefícios nas propriedades químicas de dois Latossolos brasileiros quando se utilizou cobertura vegetal na reforma do canavial em experimento de longa duração. Os autores verificaram que com uso de duas safras de soja foi possível manter os níveis de fertilidade em Latossolo Vermelho eutroférrico e incrementar os níveis de fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca) e capacidade de troca catiônica (CTC) em profundidade em Latossolo Vermelho ácrico.

Ambrosano et al. (2011b) observou a contribuição do uso de culturas de cobertura vegetal associada à aplicação mineral buscando incremento da produtividade da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho-amarelo distrófico. Os

autores relataram que na soma das três safras, os maiores rendimentos de colmos foram obtidos com uma combinação de uso de crotalária e fertilizantes nitrogenados inorgânicos. Porém, no segundo corte foram observados rendimentos superiores nos tratamentos com crotalária em comparação com os resultados obtidos com a utilização do Sulfato de Amônio.

Sabe-se que uma das características das leguminosas é a capacidade de fixar nitrogênio (N), este elemento é essencial ao desenvolvimento da planta e é requerido em grande quantidade pelas soqueiras de cana-de-açúcar. Dependendo da variedade e da quantidade de N reciclada no solo, pode substituir integralmente a aplicação desse nutriente até o segundo corte (AMBROSANO et al., 2011a; MASCARENHAS et al.,1994; PERIN et al., 2004).

Neste sentido trabalha-se com a hipótese que as sequencias soja/crotalária/soja ou soja/milheto/soja no período da reforma do canavial influencia positivamente na resposta a adubação nitrogenada quando aplicado na cana-soca.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos no solo e na produtividade da soqueira de cana-de-açúcar cultivado em um Latossolo Vermelho eutroférrico (LVef) em função da rotação de culturas empregado e dos níveis de adubação nitrogenada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da Cana-de-açúcar no Brasil

De acordo a Food and Agriculture Organization (FAO, 2011) atualmente o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido pela Índia, China, Tailândia e Paquistão. A escala de adaptação da cultura da cana-de-açúcar é ampla, sendo cultivada principalmente em regiões situadas entre os paralelos 35°N e 35°S (MAGALHÃES, 1987).

Segundo dados da Unica (2013), as regiões de cultivo são Sudeste; Centro-Oeste; Sul e Nordeste, perfazendo duas safras ao ano e consequentemente, a produção de açúcar e etanol para o mercado interno e externo.

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar segue em expansão, devido à boa rentabilidade apresentada nestes últimos anos de cultivo. O aumento progressivo das áreas de produção foi observado nos estados de Mato Grosso do Sul; São Paulo; Goiás e Mato Grosso, com acréscimo nas áreas de colheita para a indústria da ordem de 61,8 mil hectares; 49,4 mil hectares; 47,5 mil hectares e 15,4 mil hectares respetivamente.

Estima-se que área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida na safra 2012/13 esteja em torno de 8.485,0 mil de hectares, distribuídas em todos os estados produtores. Sendo o estado de São Paulo o maior produtor com 52,07% (4.419,48 mil hectares); seguido por Goiás com 8,55% (725,91 mil hectares); Minas Gerais com 8,51% (721,88 mil hectares); Paraná com 7,20% (610,83 mil hectares); Mato Grosso do Sul com 6,34% (542,70 mil hectares); Alagoas com 5,25% (445,71 mil hectares) e Pernambuco com 3,68% (312,09 mil hectares).

Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3%. A produtividade média brasileira esta estimada em torno de 69.407 kg ha^{-1}, 3,5% maior que na safra 2011/12 que foi de 67.081 Kg ha^{-1}. Na safra 2012/2013 foram moídas 588.915,70 mil toneladas, representando um aumento de 5,0% em relação à safra 2011/2012.

A produção de açúcar na safra 2012/2013 foi de 38.336,9 mil toneladas, 0,17% maior que na safra anterior e a produção de etanol foi de 23,64 bilhões de litros, 0,91% maior que a produção da safra 2011/2012 (CONAB, 2013). O restante da produção de cana-de-açúcar é destinado à fabricação de cachaça; alimentação animal; sementes e outros fins, demostrando assim, a grande versatilidade da cultura.

Outro ponto importante é a geração de energia renovável-bioeletricidade, produzida a partir de diferentes biomassas de resíduos da cana-de-açúcar (bagaço e palha); restos de madeira; carvão vegetal e outros. O 80% da bioeletricidade gerada vem dos resíduos da cana-de-açúcar, assim sendo é possível que as usinas produzam sua própria energia para a industrialização da cana-de-açúcar e vendam energia excedente (MENEGUELLO; CASTRO, 2007, UNICA, 2013). Tanto a produção do etanol como a bioletricidade contribuem na redução de 10% das emissões anuais de gases causadores do efeito estufa.

Hoje, ela pode ser usada para a queima nas caldeiras gerando energia elétrica no processo industrial da cultura. E no futuro, será matéria prima para a produção do chamado etanol de segunda geração ou etanol de biomassa. Em um horizonte um pouco mais distante, será matéria prima para alimentar o que estamos chamando de Bio-refinaria - a usina do futuro. Onde será possível o uso da tecnologia chamada de gaseificação (SEABRA, 2008).

Neste contexto, é possível observar que a cultura da cana-de-açúcar apresenta grande importância no agronegócio brasileiro, contribuindo de maneira efetiva para o crescimento do mercado interno de bens de consumo. Desta maneira a agroindústria da cana-de-açúcar direciona-se a integrar os sistemas de produção alimentar, não alimentar e energético, envolvendo atividades agrícolas e industriais (VASCONCELOS, 2002).

Contudo nota-se que o sistema de manejo para a produção da cana-de-açúcar vem sofrendo mudanças nas ultimas décadas, procurando-se minimizar o impacto a poluição à biosfera. O uso de novas tecnologias vem sendo refletido na eficiência do manejo do sistema de produção. Buscando-se atender a nova legislação ambiental, além de apresentar ganhos que se diz respeito a aspectos econômicos.

Desta forma a colheita mecanizada apresenta um menor custo, além da promoção de melhores condições de todas as propriedades do solo, devido à quantidade de palha deixada no momento da colheita. Esta camada superficial que é formada pela palhada deixada sob o solo minimiza significativamente a erosão além de contribuir na melhoria dos atributos físicos e químicos do mesmo.

O Brasil destaca-se no cenário internacional por toda sua tecnologia empregada nas diferentes etapas de produção, porém a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo, desde a lavoura até a indústria.

2.2. O Nitrogênio

A contribuição do Nitrogênio (N) média no incremento da massa seca total da cana-de-açúcar é um por cento. Apesar deste baixo valor, a sua deficiência acarreta

transtornos na planta que influenciam negativamente no desenvolvimento da cultura. Sua importância é conhecida por suas funções exercidas na planta, pois está presente na composição das biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas, além disso, sua presença é considerada um dos fatores mais relevantes para o aumento da produção na cultura (CARNEIRO; TRIVELIN; VICTORIA, 1995; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

A disponibilidade de N é quase sempre um fator limitante em muitos sistemas de produção, sendo afetado diretamente o crescimento da planta e a produtividade das culturas. Dada a sua importância e a sua alta mobilidade no solo, o N tem sido intensamente estudado, no sentido de maximizar a eficiência do seu uso. Para tanto, procura-se diminuir as perdas de N no solo, bem como melhorar a absorção e a metabolização do N no interior da planta (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

Sabe-se que o maior reservatório de N nos solos está ligado a cadeias carbônicas constituindo na matéria orgânica, e em formas que não estão diretamente disponíveis para as plantas. O teor total desse elemento nas diferentes camadas do solo varia em função das diferentes caraterísticas físicas, químicas e biológicas do solo. Geralmente, menos de 5% do N total esta em formas inorgânicas como o íon amônio (NH_4^+) e o íon nitrato (NO_3^-), sendo estas as formas preferencialmente absorvidas pelas plantas.

A entrada do N no sistema solo-planta pode acontecer por descargas elétricas, adubações químicas ou orgânicas, e de maneira biológica por bactérias e fungos (simbiótica ou não). Outra forma de disponibilizar o N para as plantas é por meio da matéria orgânica, onde, entretanto esta é afetada diretamente pelas condições climáticas, relação C:N do resíduo e do solo, umidade do solo, pH, o sistema de manejo utilizado e dentre outros fatores (RAIJ, 2011).

Têm-se dificuldades em quantificar o quanto de nitrogênio presente na matéria orgânica é mineralizado e disponibilizado para a cultura, porém as linhas de pesquisas relacionadas à mineralização da matéria orgânica e qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) são focos de estudos atualmente.

Com a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, a quantidade de palha deixada no solo atinge valores consideráveis, cerca de 10 a 20 Mg ha^{-1} de matéria seca (THORBURN; PROBERT; ROBERTSON, 2001; VITTI et al., 2007a), trazendo

uma série de vantagens ao sistema solo-planta, como o aumento do estoque do carbono no solo (GALDOS; CERRI; CERRI, 2009); maior capacidade de retenção de água; menor perda de evaporação do solo; melhoria das características físico-químicas e biológicas do solo. A palhada pode conter de 80 – 200 kg ha^{-1} de N, dependendo da variedade e produtividade da cultura (FRANCO et al., 2007).

Em áreas de reforma do canavial, a contribuição de N é maior, pela existência do sistema radicular mais desenvolvido. Diversos estudos mostram que a liberação e recuperação de N da palha e do sistema radicular podem variar de 3 – 30% e 5 – 20% respectivamente (VITTI et al., 2008; VITTI et al., 2010; VITTI et al., 2011; GAVA et al., 2003).

Diversos fatores abióticos e bióticos tais como: temperatura; umidade; aeração; qualidade dos resíduos em função da relação C:N; teor de lignina celulose; hemicelulose e polifenóis afetam diretamente a mineralização da palhada, interferindo assim na disponibilidade de nutriente para as plantas (MEIER et al., 2011).

Atualmente o método mais utilizado para disponibilizar N para as plantas são os fertilizantes (THORBURN et al., 2007), isto é pela rápida capacidade de disponibilização. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2013), até março de 2013 foram entregues aos consumidores 5.412.252 milhões de toneladas de fertilizantes no Brasil, e este volume é 2% maior que o registrado no ano passado, quando foram vendidas 5.307.818 milhão de toneladas de adubos.

Com relação aos preços, em fevereiro os fertilizantes potássicos e fosfatados ficaram praticamente estáveis, com alta de 1,5% para os nitrogenados. A menor disponibilidade da uréia no mercado interno, fez o que o preço do adubo subisse cerca de 1,9% em fevereiro em comparação com mês de janeiro, dando fim a um período de baixa que se estendeu desde junho de 2012.

Sabe-se que as importações de fertilizantes intermediários alcançaram cerca de 3.582 mil toneladas no período janeiro-março/2013, com incremento de 18,0% em relação ao mesmo período de 2012, quando entraram pelos portos brasileiros 3.036 mil toneladas. Foram observados aumentos de 14,3% nos fertilizantes nitrogenados, 19,2% nos fosfatados e 22,8% nos fertilizantes potássicos.

O maior consumo de nutrientes de uma cultura está ligado a diversos fatores antropogênicos em relação, ao uso e manejo dos solos; utilização e inovação de novas tecnologias visando aumentar a eficiência do manejo do sistema com a maior ênfase quando se tem lança mão do uso do melhoramento genético, e são expressos no maior consumo de nutrientes pelas plantas.

A cada vez, é mais discutido o uso eficiente do nitrogênio nos sistemas de produção, tentando-se definir a melhor dose; época; local e fonte a ser aplicada. Suprir o nitrogênio de forma eficiente e no estádio apropriado de crescimento da cultura não é tarefa simples, a pesar da disponibilidade do fertilizante no solo (LAEGREID; BPCKMAN; KAARSTAD, 1999).

A eficiência da adubação nitrogenada é dependente de condições climáticas; tipo de solo; acidez; conteúdo de argila; cultivares implantadas; cultivo anterior; distribuição de chuvas; níveis de fertilização nitrogenada e sua interação com outros nutrientes presentes no solo (OLIVEIRA et al., 2002).

Diversos trabalhos realizados com fertilizantes nitrogenados marcados com o isótopo ^{15}N onde os resultados obtidos evidenciam a variabilidade do aproveitamento do ^{15}N-fertilizante pela cultura da cana-de-açúcar. Com o manejo atual na cana-crua, são raros os relatos em que a cana-de-açúcar consiga recuperar mais de 40% do N-fertilizante (FRANCO et al., 2008; VITTI et al., 2011; MEGDA et al., 2012; TRIVELIN et al., 2002a).

A complexidade da dinâmica do nitrogênio no canavial dificulta a eficiência do aproveitamento do N-fertilizante, porém o efeito residual dos fertilizantes no sistema solo-planta gira em torno de 40% para os cortes subseqüentes (VITTI et al., 2011).

2.3. Uso do Solo na Reforma do Canavial

O uso de diferentes espécies de plantas na etapa de pousio é uma técnica utilizada por agricultores há milhares de anos, em distintas regiões do mundo, buscando melhorar as propriedades físicas; químicas e biológicas dos solos agricultáveis. Grandes ícones da história (Cartão, Columela, Plínio, Varrão, Virgílio e Teofrastus) fizeram referências sobre a preferência dos agricultores pelo emprego de leguminosas antes de cultivar alguma espécie (Kiehl, 1985).

Algumas pesquisas com gramíneas relato por Braz et al. (2004) onde foi observado grande acúmulo de N (348 kg ha^{-1}) e K (314 kg ha^{-1}) no milheto cultivo da variedade BN2, quando o plantio foi realizado no verão, em Região do Cerrado, com elevado índice pluvial e elevadas temperaturas. Torres et al. (2005), em seu estudo realizado na primavera, observaram maior acúmulo de N na crotalária e com feijão-guandu, entretanto com maiores taxas de liberação de N em até 43 dias após a dessecação.

Padovan et al. (2006) relatam a utilização da soja para fins de adubação verde em diferentes estádios de desenvolvimento onde observaram que a mineralização do nitrogênio presentes nos resíduos vegetais, onde foi necessário uma espera de cerca de 20 a 34 dias para atingir a meia-vida, entretanto o uso da soja além de contribuir positivamente nos atributos físico e químicos do solo (Fernandes; Corá; Marcelo, 2012) ainda gera lucro com a venda de grãos.

O desafio nas áreas de cana-de-açúcar é conseguir determinar o melhor uso do solo na reforma do canavial. Diversas propostas de manejo foram relatadas em função da rotação de culturas ou o uso de plantas de coberturas - adubos verdes.

Segundo Silva et al. (2002), as plantas de cobertura, sem necessidade de manejo pós-plantio, promovem reciclagem e incorporação de quantidades significativas de nutrientes ao solo, destacando-se o N, K^+, Ca^{2+} e P, possibilitando substituir ou reduzir uma parcela dos adubos nitrogenados químicos.

O objetivo desta pratica é tentar minimizar os custos de produção referente ao uso de fertilizantes, porém nas diferentes condições edafoclimáticas o comportamento destas espécies são diferentes. Dentre das espécies utilizadas para este fim (Miazaka e Camargo, 1984), o grupo das leguminosas constituem as culturas mais difundidas, para essa finalidade.

A preferência pelas leguminosas ocorre por fazerem simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, responsáveis por fixar o nitrogênio do ar, através dos nódulos formando nas raízes das plantas, enriquecendo o solo com esse nutriente (PERIN, et al., 2004). A resposta do uso do solo com estas espécies são refletidos tanto nos atributos químicos; físicos; biológicos do solo bem como na produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

Mascarenhas et al. (1994), encontraram resultados em sua pesquisa que demonstraram que com um único cultivo das leguminosas crotalária *juncea,* mucuna preta e soja na reforma do canavial, proporcionaram acréscimos de produtividade de 27, 25 e 4 t ha^{-1} na média de três cortes respectivamente, quando comparados com o tratamento de pousio. O tratamento pousio + adubação mineral houve somente o aumento de 9 t ha^{-1}. Outro estudo realizado pelo mesmo autor, com dois anos de cultivo com leguminosas; crotalária; mucuna e soja, onde foram observados acréscimos percentuais na produtividade de 39, 33 e 26%. Contudo o autor concluiu que o uso de leguminosas apresentou respostas superiores na produtividade quando utilizados 40 kg ha^{-1} de N-fertilizantes.

Relatos de trabalhos mais recentes mostram que a cana-planta pode acumular até o fim do primeiro corte quantidades de N semelhantes, provenientes tanto do fertilizante mineral quanto da crotalária, podendo concluir que a crotalária supriu completamente as necessidades da cana-plante em termos de N, porém, o uso das duas fontes conjuntamente propiciou melhor desempenho na produtividade e teor de açúcar (AMBROSANO et al., 2005; AMBROSANO et al., 2011b).

Ambrosano et al. (2011a), encontraram em cinco cortes incrementos médios na produtividade e teor açúcar de 30% e 35% respectivamente, quanto utilizado a crotalária na reforma do canavial em comparação ao pousio.

De modo geral, as plantas vegetais utilizadas na reforma do canavial apresentam um sistema radicular bem ramificado e profundo, o que facilita a aeração e infiltração de água no solo e proporciona uma ciclagem de nutrientes, e ao se decompor no solo torna-os disponíveis às culturas subjacentes.

Entre os efeitos do uso de plantas de cobertura na fertilidade do solo estão no aumento do teor de matéria orgânica; maior disponibilidade de nutrientes; maior capacidade de troca de cátions efetiva; diminuição dos teores de alumínio; capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes (CALEGARI et al.,1993).

Esses efeitos são bastante variáveis, dependendo da espécie utilizada; manejo dado à biomassa; época de plantio; corte da espécie; tempo de permanência dos resíduos no solo; condições locais e da interação entre esses fatores (ALCÂNTARA et al., 2000).

Estudo realizado em Latossolos Vermelho eutroférrico e distrófico demonstrou que é possível com o uso de duas safras de soja manter os níveis de fertilidade e incrementar os níveis de fósforo, potássio, cálcio e capacidade de troca catiônica em profundidade (FERNANDES, CORÁ E MARCELO, 2012).

No contexto geral, resíduos com baixa relação C:N e baixos teores de lignina e polifenóis apresentam rápida mineralização e fornecem grande quantidade de N para as culturas, ao passo que resíduos com alta relação C:N e elevados teores de lignina e polifenóis decompõem-se mais lentamente, podendo causar a imobilização de N para os cultivos posteriores (MARCELO; CORÁ; FERNADES, 2012).

Para que uma planta de cobertura seja empregada com eficiência como fonte de fertilização, é fundamental que haja sincronismo entre os nutrientes liberados pelos resíduos da planta e a demanda da cultura de interesse comercial. Se houver alta taxa de mineralização dos nutrientes contidos nas espécies utilizadas como planta de cobertura fora do período de maior demanda nutricional da cultura, pode haver perdas por lixiviação e a cultura não será beneficiada (BRAZ et al ., 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo e os tratamentos

A área experimental foi instalada no município de Guariba - SP, cuja altitude local é de 615 metros com latitude de 21°14’05’’ S e longitude de 48°17’09’’. O clima foi classificado segundo Köppen (1936), como Aw, tropical de inverno seco, com precipitação pluvial média acumulada de 1400 mm (precipitação dos anos de 2011 e 2012 apresentados na figura 1), concentrada no período de outubro a março, com temperatura média anual de 22°C.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférrico (LVef), com textura muito argilosa segundo (EMBRAPA, 2006). O ambiente de produção correspondente ao ambiente A (PRADO, 2005). O uso do solo vem sendo destinado à produção da cana-de-açúcar há mais de 30 anos, com colheita de cana crua mecanizada desde 1995.

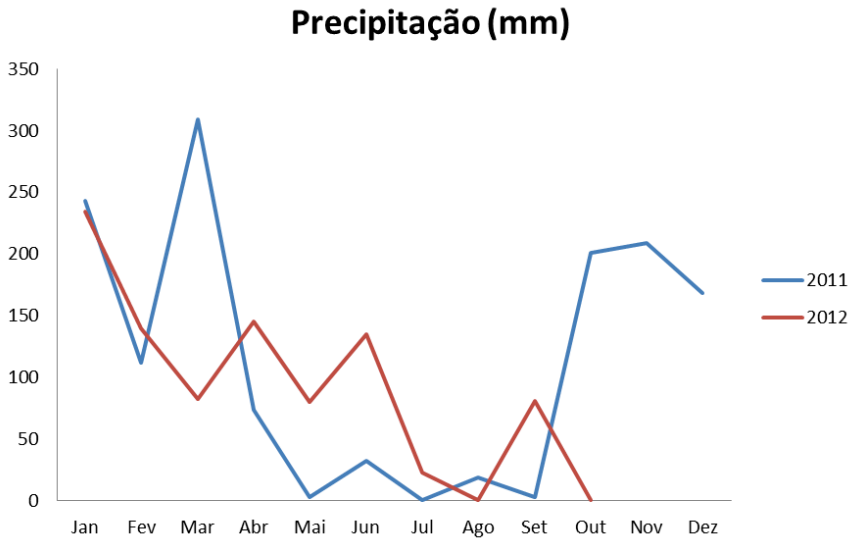


Figura 1. Dados de precipitação na safra 2011/2012 da área experimental.

No momento da reforma do canavial, a área foi dividida em subáreas de 3.375 m^2 respectivamente, cujo uso do solo consistiu na sequência de culturas: soja/crotalária/soja e soja/milheto/soja (Tabela 1). As duas lavouras de soja foram cultivadas em outubro da safra 2008/2009 e outubro da safra 2009/2010, utilizando-se na semeadura 300 kg ha^{-1} do formulado 3-30-10 (9 kg N – 90 kg P_2O_5 – 30 kg K_2O).

Após a primeira colheita da soja de cada subárea, em março/2009 foi semeada a crotalária e o milheto sem aplicação de adubação. Com auxilio de uma roçadeira a crotalária e o milheto, foram cortados e deixados sob o solo quando apresentavam um terço da floração, ficando no solo como cobertura aos 166 e 144 dias, respectivamente.

Tabela 1. Cronograma de atividades das áreas experimentais até Julho 2012.

Área do experimento	Outubro 2008	Março 2009	Outubro 2009	Março 2010	Julho 2011	Julho 2012
1 (S/C/S)	Soja	Crotalária *spectabilis*	Soja	Plantio da cana-de-açúcar	Primeiro Corte	Segundo Corte
2 (S/M/S)	Soja	Milheto	Soja		Primeiro Corte	Segundo Corte

S/C/S: soja/crotalária/soja - S/M/S: soja/milheto/soja.

Em março de 2010 ocorreu o plantio da cana-de-açúcar variedade SP87-365 com fertilização de P no sulco de plantio, sendo aplicado 260 kg ha^{-1} (fosfato natural reativo com 29% P_2O_5), 100 m^3 ha^{-1} de vinhaça e, sem adubação nitrogenada. Esta variedade é muito exigente e é cultivada em menos de 1% nas áreas do Brasil, sendo principalmente instalados em ambientes de produção A ou em ambientes onde não haja limitação de disponibilidade de água em ambiente de produção B.

Após a colheita da cana-planta em julho/2011 foi instalado o experimento em blocos casualizados com quatro repetições/subárea vinte dias após o corte. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de N na forma de uréia (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha^{-1}) colocados aproximadamente até 10 cm de profundidade a 20 cm da linha de plantio da cana. Foi feita a aplicação de 100 m^3 de vinhaça em toda a área experimental e sem aplicação de fertilizante fosfatado. As parcelas experimentais foram compostas de sete linhas de 15 m de comprimento, com espaçamento entre as linhas de 1,5 m. As bordaduras foram de 2,5 m (área útil de 45 m^2) constituída de três linhas centrais em cada parcela (Figura 2).



Figura 2. Delineamento da área experimental.

3.2. Amostragem de folhas

Em dezembro/2011, 150 dias após o corte foi realizada a amostragem de folha +3 com a aurícula perfeitamente visível de acordo ao esquema de Kuijper

(DILLEWIJN, 1952). Foi coletada a parte central da folha com aproximadamente 30 cm de comprimento. Foram amostradas trinta folhas por parcela, procedendo-se em seguida à retirada das nervuras das folhas, lavadas, secas em estufa ventilada a 65°C e, separada uma porção de 400 g que foram moídas em moinho tipo Willey. O material vegetal foi preparado e as análises do N na folha foi realizado segundo a metodologia de Bataglia et al. (1983).

3.3. Colheita e variáveis biométricas da cana-de-açúcar

Em julho/12 procedeu-se com a colheita manual das parcelas, sendo os colmos transportados com ajuda de um carregador e pesados em uma balança marca ALFA modelo 3101C para avaliar a massa de colmos por parcela, a qual possibilitou calcular a produtividade por hectare. No momento da colheita efetuou-se a medição dos dados biométricos nos colmos da área útil, sendo retirado um metro/linha. Foram realizadas as seguintes avaliações:

- **Número e massa de colmos/metro**: colmos industrializáveis retirados em três linhas de um metro/parcela, colhidos e pesados com ajuda de uma balança.
- **Diâmetro dos colmos**: foi medido o diâmetro do terço inferior de 10 colmos industrializáveis, em três linhas constituindo 30 colmos/ parcela.
- **Comprimento dos colmos**: foi medida a altura de 10 colmos industrializáveis entre o ponto de corte e o ponto de quebra do palmito, em três linhas constituindo 30 colmos/parcela.

3.4. Variáveis tecnológicas

Dez colmos foram coletados e utilizados para análise das seguintes variáveis tecnológicas: Brix, porcentagem de fibra, pol da cana, pureza, açúcares redutores (AR) e açúcar total recuperável (ATR), segundo metodologia CONSECANA (2006).

3.5. Amostragem do solo

Posteriormente à colheita, com o auxílio de um trado tipo holandês foram coletadas cinco subamostras de solo nas linhas de adubação para formar uma amostra composta em cada parcela, as coletas foram feitas nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm (Figura 3). As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha.



Figura 3. Amostragem nas áreas de S/C/S e S/M/S para os seus respectivos análises químicos e granulométricos.

3.5.1. Determinações

3.5.2. Análises químicas e granulométricas

Nas amostras coletadas foram determinados: matéria orgânica; valores de potencial hidrogeniônico (pH); teores de fósforo (P) (resina); potássio (K^+); cálcio (Ca^{2+}); magnésio (Mg^{2+}); soma de bases (SB); acidez potencial (H+Al); (Raij et al., 2001); saturação de bases (V%) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC). Também foram determinados: teor de carbono orgânico (CO) por oxidação a quente

com dicromato de potássio (método Walkley-Black) adaptado pela Embrapa (1999); teor de nitrogênio total (NT) por digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl (BREMMER, 1996). Os teores de CO e NT foram utilizados para determinar a relação C:N.

A caracterização granulométrica foi feita com adição de areia na fase de dispersão física (CORÁ et al., 2009) e determinação do teor de argila por meio do método da pipeta (CAMARGO et al., 1986) (Tabela 3).

Tabela 2. Atributos granulométricos de um Latossolo Vermelho eutróférrico sob diferentes usos e manejos do solo.

Usos	Areia	Silte	Argila	Textura
	----------g kg^{-1}----------			
		Camada 0-15 cm		
Soja/crotalária/soja	150,3	190,2	650,5	Muito
Soja/milheto/soja	140,3	150,4	700,3	Argilosa
		Camada 15-30 cm		
Soja/crotalária/soja	130,5	130,4	730,1	Muito
Soja/milheto/soja	130,9	140,2	710,9	Argilosa

3.6. Análises estatísticas

Aos resultados obtidos foram submetidos a análise de variância. Foi feita a análise de regressão para dados com efeito significativo (Teste F) em função das doses de N. Foi feita análise conjunta dos atributos do solo para cada profundidade; variáveis biométricas; tecnológicas; nitrogênio foliar e os dados de produtividade. Os dados estatísticos foram obtidos com o uso do software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeitos dos tratamentos no solo

O efeito das diferentes doses de N na camada de 0-15 e 15-30 cm nas duas áreas experimentais e o efeito residual (análises conjunta) após dois anos das sequencias de cultivo soja/crotalária/soja e soja/milheto/soja (camada 0-15 cm) utilizadas na reforma do canavial não alteraram a saturação por bases; CTC; e os teores de P, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e SB (Tabelas 3, 4 e 5). O comportamento dos íons H^+

influencia diretamente na dinâmica tanto dos cátions quanto os óxidos presentes no solo. Agindo ainda na hidrólise da uréia e consequentemente na nitrificação da amônia reagem com os iones H^+ da solução do solo na região onde o fertilizante é incorporado.

Por sua vez, a resistência do solo na mudança da concentração dos íons H^+ (poder tampão) é influenciada pelo conteúdo da matéria orgânica e teor de argila que, consequentemente são refletidos nos valores da CTC. A fertilidade natural do solo com níveis médios e altos (RAIJ et al, 1997) poderia ter influenciado no equilíbrio da dinâmica dos nutrientes do solo. Fernandes, Corá e Marcelo (2012), observaram que a sequência de culturas soja/pousio/soja, soja/milheto/soja, soja/crotalária/soja ou o uso de uma safra de soja na reforma do canavial manteve os níveis de fertilidade em Latossolo Vermelho eutroférrico (LVef). Outro fator importante é o local que foi realizado a amostragem do solo. A precisão da amostragem do solo nas linhas de adubação ao longo da parcela poderia ter influenciado no coeficiente de variação do P, K^+ e Ca^{2+} na análise estatística.

Tabela 3. Resultados da análise de variância (Teste F) dos atributos químicos do solo sob o uso da soja/crotálaria/soja.

N	pH ($CaCl_2$)	M.O.	P (resina)	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	SB	T	V
(kg ha^{-1})		g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------mmol$_c$ dm^{-3}----------						%
Camada 0-15 cm										
0	5,2	32	64	4,6	44	18	40	66,6	106,9	62
60	5,2	31	51	4,0	43	17	39	65,2	104,7	61
120	5,5	31	83	4,0	53	16	36	73,5	109,5	66
180	5,5	35	90	5,0	59	21	35	85,5	121,2	70
240	5,7	35	56	5,7	51	20	40	76,9	117,2	65
F	$1,35^{ns}$	$1,46^{ns}$	$2,86^{ns}$	$0,63^{ns}$	$1,59^{ns}$	$0,91^{ns}$	$0,41^{ns}$	$1,25^{ns}$	$1,97^{ns}$	$0,75^{ns}$
CV %	6,3	9,3	28,9	38,3	21,1	20,4	18,5	20,0	8,9	13,1
Camada 15-30 cm										
0	4,9	25	29	2,9	24	11	45	38,4	84,1	45
60	4,9	27	66	1,2	30	13	45	44,4	90,2	48
120	5,0	27	42	1,0	34	14	42	50,0	92,8	52
180	4,9	26	41	1,3	28	12	48	42,3	90,5	46
240	5,0	27	26	2,0a	34	15	40	51,7	92,2	55
F	$0,30^{ns}$	$1,16^{ns}$	$0,75^{ns}$	$1,44^{ns}$	$1,20^{ns}$	$0,97^{ns}$	$0,50^{ns}$	$0,97^{ns}$	$0,69^{ns}$	$0,71^{ns}$
CV %	5,5	6,4	90,0	75,3	26,6	23,1	19,1	24,6	9,2	20,0

n.s.: não significativo (P > 0,05).

Tabela 4. Resultados da análise de variância (Teste F) dos atributos químicos do solo sob o uso da soja/milheto/soja.

N	pH ($CaCl_2$)	M.O	P (resina)	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	SB	T	V
(kg ha^{-1})		g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------mmol$_c$ dm^{-3}----------						%
Camada 0-15 cm										
0	5,5	33	70	2,8	55	21	35	79,8	114,8	69
60	5,4	33	66	4,9	48	19	37	72,6	109,9	65
120	5,4	33	71	4,6	50	18	36	72,6	108,9	66
180	5,5	32	56	3,0	51	19	35	73,7	109,0	67
240	5,5	33	58	3,5	51	19	34	75,0	109,3	68
F	$1,35^{ns}$	$1,46^{ns}$	$2,86^{ns}$	$0,63^{ns}$	$1,59^{ns}$	$0,91^{ns}$	$0,41^{ns}$	$1,25^{ns}$	$1,97^{ns}$	$0,75^{ns}$
CV %	6,3	9,3	28,9	38,3	21,1	20,4	18,5	20,0	8,7	13,1
Camada 15-30 cm										
0	4,7	26	22	0,9	21	11	48	33,6	81,9	40
60	4,7	25	29	1,1	25	12	50	38,6	88,9	41
120	4,6	26	24	1,2	22	9	23	33,0	86,7	38
180	4,9	26	26	0,9	27	12	44	40,6	85,4	47
240	4,8	25	20	1,0	26	11	48	38,0	86,3	43
F	$0,50^{ns}$	$0,61^{ns}$	$0,36^{ns}$	$0,31^{ns}$	$0,33^{ns}$	$0,32^{ns}$	$0,99^{ns}$	$0,29^{ns}$	$0,43^{ns}$	$0,45^{ns}$
CV %	5,5	6,6	50,5	51,4	37,0	29,6	13,5	33,3	9,1	25,6

n.s.: não significativo (P > 0,05).

Na análise conjunta dos atributos químicos do solo em função do manejo e uso do solo na reforma, verificou-se maiores teores de P e SB e valores superiores de CTC e pH na camada de 15-30 cm, na sequência soja/crotalária/soja (Tabela 5). As raízes da crotalária e do milheto se diferenciam quanto à eficiência de absorção de nutrientes em profundidade. A característica fasciculada das raízes do milheto faz com haja maior eficiência de absorção de nutrientes em função da maior área de contato devido à profundidade do mesmo (EMBRAPA, 2010). Resultados encontrados por Marcelo, Corá e Fernandes (2012) em sequência de culturas em um Latossolo Vermelho eutroférrico, demonstraram que a crotalária e o milheto foram as culturas com maiores quantidades de nutrientes absorvidos na entressafra, porém, maiores teores de K^+ foram observados nos resíduos do milheto. Por outro lado Fernandes, Corá e Marcelo (2012) encontraram maiores teores de P nos resíduos do milheto quando comparados aos da crotalária, observando-se menor teor de P em profundidade em um Latossolo Vermelho eutroférrico.

Tabela 5. Resultados para análise conjunta dos dados de fertilidade do solo, em função do uso do solo, em diferentes profundidades.

Uso	pH ($CaCl_2$)	M.O	P (resina)	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	SB	CTC	V
		g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------mmol$_c$ dm^{-3}----------						%
Camada 0-15 cm										
S/C/S	5,4	33	69	4,6	50	18	38	73,5	111,9	65
S/M/S	5,5	33	64	3,8	51	19	35	74,7	110,3	67
F	$0,11^{ns}$	$0,00^{ns}$	$0,32^{ns}$	$1,78^{ns}$	$0,11^{ns}$	$1,32^{ns}$	$4,86^{ns}$	$0,08^{ns}$	$0,17^{ns}$	$1,89^{ns}$
Camada 15-30 cm										
S/C/S	4,9a	26	41a	1,7	30	13	44	45,4a	90,0a	49
S/M/S	4,7b	25	24b	1,0	24	11	49	36,8b	85,8b	42
F	10,13*	$2,08^{ns}$	8,83*	$2,74^{ns}$	$6,87^{ns}$	$5,94^{ns}$	$3,28^{ns}$	8,76*	17,29*	$7,37^{ns}$

n.s.: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05). S/C/S: soja/crotalária/soja - S/M/S: soja/milheto/soja.

Na sequência soja/crotalária/soja foram observados efeitos significativos das doses de N nos valores de carbono orgânico (CO) na camada de 0-15 cm e, para nitrogênio total (NT) na camada de 15-30 cm (Tabela 6). Na análise de regressão do CO, pode-se observar que além das doses de N, existem outros fatores que afetam a dinâmica do C no sistema do canavial (Figura 4). A adoção do sistema de colheita de cana crua é responsável por grandes quantidades de resíduos deixados para cobertura do solo, cerca de 10-30 Mg ha^{-1} (THORBURN et al., 2001; VITTI et al., 2007a), sendo dependente; cultivar; produtividade; época de corte; podendo conter de 80 a 200 Kg ha^{-1} de N (FRANCO et al., 2007), com alta relação C:N (>100). Neste sentido, tanto a quantidade como a qualidade dos resíduos associados à adubação mineral que são deixados nas camadas pode ter contribuído para este resultado. Galdos, Cerri e Cerri (2009) avaliaram o estoque de C em um Latossolo Vermelho distrófico sob condições de colheita de cana-crua e cana queimada em função do tempo de adoção do manejo (segundo, sexto e oitavo ano) e encontraram valores estatisticamente similares para o teor de carbono total no segundo e oitavo ano de adoção do sistema de manejo de cana-crua, na camada 0-10 cm e com maiores valores na camada de 10-20 cm para o segundo ano.

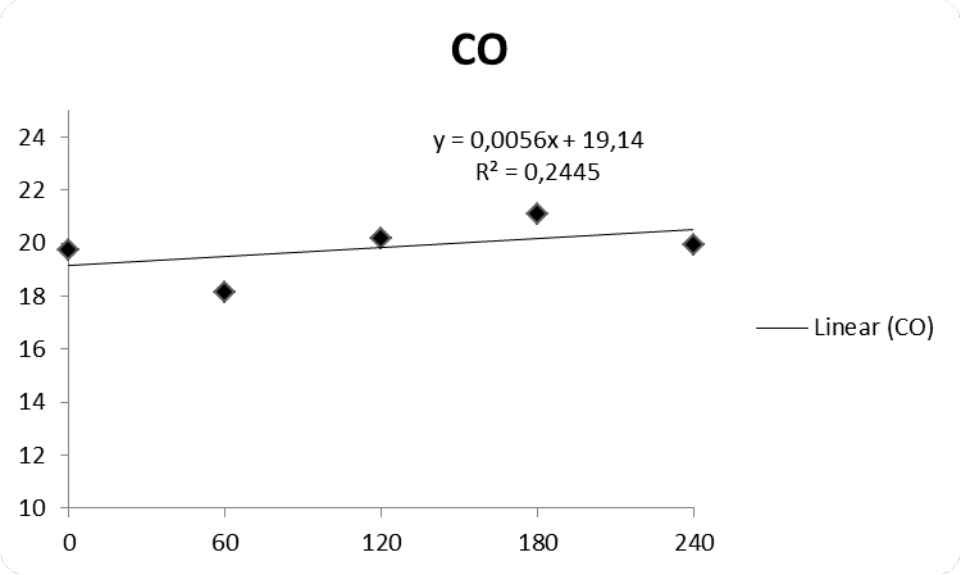


Figura 4. Análise de regressão para os dados de carbono orgânico (CO) do solo.

Vitti et al. (2011) encontrou para N, resultados que demonstraram que a cultura da cana-de-açúcar aproveita 30% de N do fertilizante aplicado na forma de uréia, aproveitando cerca de 21-30% do N proveniente do cultivo de leguminosas (AMBROSANO et al., 2005; AMBROSANO et al., 2011b). Na análise de regressão para o NT do solo, observa-se um comportamento linear em função das doses de N (Figura 5). O aproveitamento de N da cana-planta proveniente dos resíduos na reforma do canavial e o aproveitamento de N do fertilizante pela cana-soca poderiam ter influenciado na massa da raiz. Estudos mostraram que a massa da raiz, além do P e Ca^{2+}, é afetada pelos teores de N disponíveis no solo (OTTO et al., 2009; TRIVELIN et al., 2002b). Na fase de maturação da cana-de-açúcar, entre 8-22% do N da parte aérea da planta proveniente do fertilizante, dos resíduos (palha, plantas de cobertura) e do solo é translocado até as raízes (FRANCO et al., 2008, TRIVELIN et al., 2002b). A decomposição do material orgânico (raízes) poderia ter influenciado nos valores de NT do solo em profundidade. Quatro meses após a colheita, ocorre a morte de 40% da massa radicular das raízes, ocasionados por fatores ambientais (época seca) ou pela própria fenologia da planta (SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005; OTTO et al., 2009).

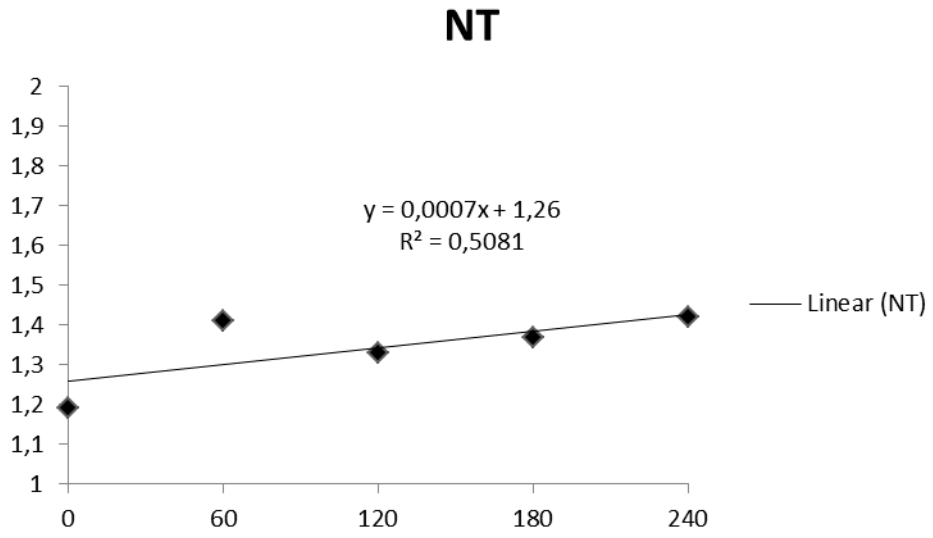


Figura 5. Análise de regressão para o NT do solo.

Tabela 6. Análise de carbono orgânico (CO), nitrogênio total (NT) e a relação C:N nos diferentes tratamentos, usos e profundidades do solo.

N	soja/crotalária/soja			soja/milheto/soja		
	CO	NT	C:N	CO	NT	C:N
kg ha^{-1}	-------- g kg^{-1} ------			------- g kg^{-1} ------		
Camada 0-15 cm						
0	19,73	1,58	12	20,56	1,46	14
60	18,13	1,59	11	18,94	1,53	12
120	20,18	1,67	12	19,15	1,49	12
180	21,10	1,70	12	18,64	1,48	12
240	19,93	1,59	12	19,89	1,56	12
F	6,00**	$0,78^{ns}$	$1,54^{ns}$	$1,53^{ns}$	$0,38^{ns}$	$2,37^{ns}$
CV %	4,5	7,5	6,6	6,5	8,6	7,9
Camada 15-30 cm						
0	14,97	1,19	12	16,02	1,32	12
60	16,24	1,41	11	15,04	1,29	11
120	17,08	1,33	12	15,89	1,33	11
180	16,47	1,37	12	15,76	1,33	11
240	16,69	1,42	11	15,61	1,32	11
F	$3,21^{ns}$	5,21*	$2,30^{ns}$	$1,52^{ns}$	$0,18^{ns}$	$0,88^{ns}$
CV %	5,5	5,8	6,1	3,9	5,9	3,6

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Entre os diferentes usos do solo observaram-se maiores valores nos teores de NT na camada de 0-15 cm para soja/crotalária/soja (Tabela 7). A simbiose das plantas da família das Leguminosae com as bactérias da ordem Rhizobiales, denominadas rizóbios, cuja característica é a capacidade de fixar o N elementar da atmosfera, poderia ter influenciado nos teores de NT no solo, por meio da decomposição do material vegetal e incorporação do elemento ao longo do tempo.

Scheuer e Tomasi (2011) utilizaram a crotalária *juncea* e crotalária *spectabilis,* ambas cultivadas em um Latossolo argiloso e utilizadas na reforma do canavial e nas entrelinhas da cana-planta. Na análise de macronutrientes dos resíduos do material vegetal da crotalária *juncea* e crotalária *spectabilis* encontraram valores de 700 kg ha^{-1} e 469 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Ambrosano et al. (2013) encontraram acúmulo de N na cultura da soja e na crotalária com valores entre 55 a 228 kg ha^{-1} em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e 221 a 510 kg $há^{-1}$ em Argissolo Vermelho distrófico, respectivamente. Nota-se que a sequência formada por soja/crotalária/soja tem a capacidade de fixar N atmosférico e incorpora-lo ao sistema por meio da decomposição dos seus resíduos, com relação C:N intermedia (25-30). A disponibilidade de N remanescente foi observado por Marcelo, Corá e Fernandes (2012), atribuindo essa característica a qualidade do resíduo que apresentou principalmente nos caules, alta relação lignina:N. A dinâmica de decomposição de resíduos poderiam ter influenciado no teor de NT no solo em comparação a sequência soja/milheto/soja.

Tabela 7. Análises conjunta de carbono orgânico (CO), nitrogênio total do solo (NT) e a relação C:N em função do uso e manejo do solo.

Usos	CO	NT	C:N	CO	NT	C:N
	---- 0-15 cm ---			--- 15-30 cm ---		
	g kg^{-1}			g kg^{-1}		
S/C/S	19,81	1,62a	12,42	16,29	1,34	12,17
S/M/S	19,43	1,50b	13,02	15,66	1,32	11,86
F	$0,83^{ns}$	12,12*	$6,76^{ns}$	$2,13^{ns}$	$0,34^{ns}$	$2,44^{ns}$

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01). CO – Carbono Orgânico; NT - Nitrogênio Total; C:N - Relação Carbono/Nitrogênio; S/C/S: soja/crotalária/soja - S/M/S: soja/milheto/soja.

Não foram observados efeitos significativos para a relação C:N em função das doses de N e dos usos do solo na reforma do canavial (Tabelas 6 e 7). O curto período de adoção do sistema e a dinâmica da matéria orgânica são fatores importantes na incorporação do C e dinâmica do N afetando consequentemente a relação C:N do solo. Thorburn et al. (2012) avaliando o teor de COT em função do tempo de permanência da palha em solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar por 17 anos, onde os autores encontraram diferenças no teor de COT no quinto, sexto e nono ano em comparação do primeiro e decimo sétimo ano. Contudo, os autores não encontraram relação entre o tempo de permanência da palha no solo com a incorporação de C ao solo. Corroborando com os dados obtidos

na presente pesquisa, no trabalho anteriormente citado os autores concluíram que, a quantidade de C incorporado ao solo depende também do clima; da textura do solo; da qualidade do resíduo e do manejo da adubação nitrogenada.

4.2. Efeitos dos tratamentos nas variáveis biométricas, no nitrogênio foliar e na produtividade da cana-de-açúcar

A aplicação de diferentes doses de N não causou efeito significativo nas variáveis biométricas, no teor de NF e na produtividade da cana-de-açúcar nos diferentes usos da reforma do canavial (Tabela 8). De acordo com Raij (2011) o tipo e o histórico de uso do solo é um fator que influencia na produtividade das culturas quanto à necessidade de aplicação de nitrogênio. Menores respostas são esperadas em solos argilosos, cultivados há pouco tempo após período de pousio ou com cultivos anteriores com leguminosas. Segundo Otto et al. (2013), menores respostas da cultura da cana-de-açúcar as doses de N foram observados em áreas donde o N na forma orgânica de amino açúcar foram predominantes. A disponibilidade desta forma orgânica de N poderia ser atribuída aos diferentes resíduos deixados na reforma do canavial. Resultados contrários foram observados por Vitti et al. (2007b) em um Neossolo Quartzarênico em que a fertilização nitrogenada em doses crescentes até 175 kg ha^{-1} resultou em aumento linear na produtividade de colmos de 3ª soca. Este efeito poderia atribuir-se à necessidade de N da cultura ao longo do tempo do canavial.

Tabela 8. Análise de variância do nitrogênio foliar, produtividade e da biometria da cultura de cana-de-açúcar.

N	soja/crotalária/soja						soja/milheto/soja					
	NF	D	H	C/m	m/m	Pr	NF	D	H	C/m	m/m	Pr
kg ha^{-1}	g kg^{-1}	mm	M	número	Kg	t ha^{-1}	g kg^{-1}	mm	m	número	kg	t ha^{-1}
0	17,1	30,2	2,69	15,25	24,50	114,2	16,1	29,8	2,68	8,00	13,00	117,2
60	16,9	29,2	2,78	18,25	29,00	214,5	15,7	29,4	2,92	15,25	27,50	108,2
120	16,8	30,75	2,84	16,50	28,50	148,2	15,7	30,2	2,76	11,00	18,00	121,7
180	17,7	31,68	2,90	13,00	23,50	225,7	15,7	28,5	2,64	13,00	20,00	129,0
240	17,5	29,84	3,01	17,25	29,50	219,5	16,8	29,9	2,69	14,50	23,50	103,7
F	$0,96^{ns}$	$0,89^{ns}$	$1,70^{ns}$	$1,00^{ns}$	$0,81^{ns}$	$2,4^{ns}$	$2,12^{ns}$	$0,65^{ns}$	$1,71^{ns}$	$2,08^{ns}$	$2,44^{ns}$	$0,32^{ns}$
CV %	4,8	6,6	6,5	25,3	22,9	34,7	3,9	5,4	6,1	32,8	34,5	31,1

ns: não significativo (P > 0,05). NF= Nitrogênio Foliar; D= Diâmetro; H= Altura; C/m= Colmos por metro; m/m= massa por metro, Pr= Produtividade.

O manejo na reforma do canavial, com o uso da sequência de culturas soja/crotalária/soja proporcionou aumento de 23% do número de colmos e de 32% na massa de colmos por metro, quando comparados aos valores observados na sequência soja/milheto/soja. Verifica-se que o número e massa de colmos por metro em função do uso soja/crotalária/soja ao longo do tempo incrementou a produtividade em 59% quando comparado na sequencia soja/milheto/soja (Tabela 9). As leguminosas tem maior capacidade de disponibilizar N para a cana soca por meio do efeito residual da cana planta, refletindo na longevidade do canavial (AMBROSANO et al., 2005; AMBROSANO et al., 2011a) . Alguns estudos (VITTI et al., 2007b; FRANCO et al., 2008) têm evidenciado efeitos positivos da adubação nitrogenada de plantio na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar e seus autores comentam que esse manejo pode, de fato, proporcionar maior produtividade da primeira soca (efeito residual) devido as raízes e rizomas serem órgãos de reserva da cana-de-açúcar. Mascarenhas et al. (1994) observaram produtividade superior da cana-de-açúcar em decorrência do cultivo da crotalária no período da reforma do canavial quando comparado à aplicação de 40 kg ha^{-1} de N via fertilizantes minerais. Resultados encontrados por Ambrosano et al. (2011a) em experimento com uso de crotalária, mucuna preta e amendoim na reforma do canavial em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico obteve incremento de 30 % na produtividade de colmos, na média de cinco colheitas, quando o cultivo prévio de crotalária à cana planta.

Tabela 9. Analise conjunta dos dados de nitrogênio foliar, produtividade e da biometria em função do uso do solo na sequencia de culturas soja/crotalária/soja e soja/milheto/soja.

Usos	N foliar	Diâmetro	Altura	Colmos/m	Massa/m	Produtividade
	G kg^{-1}	mm	m	número	kg	t ha^{-1}
S/C/S	17,26	30,34	2,84	16,10a	27,00a	184,45a
S/M/S	16,05	29,58	2,74	12,35b	20,40b	116,00b
F	$2,33^{ns}$	$1,53^{ns}$	$1,71^{ns}$	8,85*	11,59*	8,27*

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05). S/C/S: soja/crotalária/soja - S/M/S: soja/milheto/soja.

4.3. Efeitos dos tratamentos nas variáveis tecnológicas

As doses crescentes de até 240 kg ha^{-1} de N aplicado ao solo a uma profundidade de aproximadamente 10 cm não mostrou efeitos significativos nos

valores de Brix, pol cana, fibra, pureza, açúcares redutores (AR) e açúcar total recuperável (ATR) da cultura da cana-de-açúcar (Tabela 10). A ausência desse efeito neste trabalho mesmo em doses mais elevadas de N poderia ter como explicação a dinâmica de imobilização-mineralização do N no solo causada pela qualidade e a grande quantidade de resíduos da colheita mecanizada da cana-de-açúcar. Resultados similares foram encontrados por Vitti et al. (2007b), quando utilizadas doses crescentes de até 175 kg ha^{-1} de N em um Neossolo Quartzarênico não afetou a qualidade tecnológica dos colmos, tendo como explicação as baixas reservas e a mineralização de N no solo que apresentou nessas condições.

Tabela 10. Análises de variância das variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar em função das diferentes doses de N e uso do solo.

N	soja/crotalária/soja						soja/milheto/soja					
	Brix	Pol cana	Fibra	Pureza	AR	ATR	Brix	Pol cana	Fibra	Pureza	AR	ATR
	----------%----------					kg t^{-1}	----------%----------					kg t^{-1}
0	19,41	17,42	10,27	89,69	0,49	150,75	19,63	15,75	10,56	89,57	0,49	151,25
60	19,57	17,59	10,22	89,87	0,49	152,50	20,33	16,56	10,40	90,29	0,48	158,25
120	20,08	17,99	10,40	89,59	0,49	155,25	20,40	16,55	10,34	89,90	0,49	158,50
180	19,62	17,39	10,18	88,66	0,52	151,25	19,90	16,31	10,18	89,97	0,49	155,25
240	19,80	17,72	9,82	89,51	0,50	154,75	20,31	16,44	10,63	89,84	0,49	156,75
F	$0,41^{ns}$	$0,37^{ns}$	$0,60^{ns}$	$0,81^{ns}$	$0,75^{ns}$	$0,38^{ns}$	$1,69^{ns}$	$2,19^{ns}$	$0,33^{ns}$	$0,71^{ns}$	$0,37^{ns}$	$2,81^{ns}$
CV %	3,9	4,6	5,5	1,2	6,5	4,3	2,6	2,8	5,9	0,7	4,3	2,3

ns: não significativo (P > 0,05). AR= Açúcares Redutores, ATR= Açúcar Total Recuperável.

Pela Tabela 11 observa-se que houve valores superiores em media de Brix e ATR de 2,13% e 2,02% respectivamente, na sequência soja/milheto/soja em comparação da sequência soja/crotalária/soja. Isto permite deduzir que os valores de Brix e ATR observados em função da sequência soja/crotalária/soja ocorreram devido à produtividade significativa (analise conjunta), onde, para cada aumento percentual na produtividade pode ocorrer uma diminuição de 0,01% no teor de açúcar. O ganho da produção de colmos em função do uso do solo compensa tal redução produzindo mais açúcar por hectare (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

Tabela 11. Variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar em função do uso e manejo do solo.

Usos	Brix	Pol cana	Fibra	Pureza	AR	ATR
		----------%----------				kg t^{-1}
S/C/S	19,69b	17,62a	10,18	89,46	0,50	152,9b
S/M/S	20,11a	16,32b	10,42	89,91	0,49	156,0a
F	17,71*	119,33**	$2,51^{ns}$	$3,72^{ns}$	$6,07^{ns}$	12,15*

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo,); **: significativo (P < 0,01). S/C/S: soja/crotalária/soja - S/M/S: soja/milheto/soja.

5. CONCLUSÕES

Doses de até 240 kg ha^{-1} de nitrogênio não alteram a qualidade dos colmos e não afetam os atributos químicos do solo nestas condições edáficas.

O uso do solo na reforma do canavial conformada pela sequência de culturas soja/crotalária/soja proporciona maior produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

6. REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; de PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 277-288, 2000.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; DIAS, F. L. F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T; ROSSI, F.; AZCÓN R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 810-818, 2011a.

AMBROSANO, E. J.; FOLTRAN, D. E.; CAMARGO, M. S.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E. A.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F. Acúmulo de biomassa e nutrientes por adubos verdes e produtividade da cana-planta cultivada em sucessão, em duas localidades de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira. de Agroecologia**, v. 8, p. 199-209, 2013.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A; GUIRADO, N.; ROSSI, F.; MENDES, P. C. D.; MURAOKA, T. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 534-542, 2005.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; ROSSI, F. ^{15}N-labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 361-368, 2011b.

ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Principais indicadores do setor de fertilizantes janeiro/março. Disponível em: <http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>. Acesso em: Abril/2013.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. AgroEstat - **Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**, Versão 1.1.0.626, 2011.

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 Agronômico. 1983. 48 p. (Boletim Técnico).

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. da; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, p. 83-87, 2004.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BREMMER, J. M. Nitrogen Total. In: SPARKS, D. L., ed. **Methods of Soil Analysis.** 3. ed. Madison, SSSA Book, 1996. p.1085-1121.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. p. 1-56.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico.** Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106).

CARNEIRO, A. E. V.; TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agricola,** Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 199-209, 1995.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. 5 ed. Piracicaba: Consecana, 2006. 112p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2012/2013, quarto levantamento,** abril/2013. Brasilia, 2013.

CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; BERALDO, G. J. M.; MARCELO, A. V. Adição de areia para dispersão de solos na análise granulométrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 255-262, 2009.

DILLEWIJN, C.V. **Botany of sugar cane**. Waltham, The Chronica Botanica Co., 1952. 371 p.

DUARTE JÚNIOR, B.; COELHO, F. C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia,** Campinas, v. 67, p. 723-732, 2008.

DUARTE JÚNIOR, B.; COELHO, F. C. Avaliação de atributos químicos do solo após colheita da cana-planta em sistema de plantio direto e convencional. **Científica,** Jaboticabal, v. 38, p. 69-77, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. SILVA, F. C. da coord. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 1999. 370 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 2006. 306 p.

FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; MARCELO, A. V. Soil uses in the sugarcane fallow period to improve chemical and physical properties of two latosols (oxisols). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 283-294, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Country rank in the world, by commodity. 2011. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 23 abril, 2013.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 32, p. 2763-2770, 2008. Número Especial.

FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canavial. **STAB**, Piracicaba, v. 25, p. 249-256, 2007.

GALDOS, M. V.; CERRI. C. C.; CERRI, C. E. P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 153, p. 347-352, 2009.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio (15N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-acucar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 621-630, 2003.

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

KÖPPEN, W. **Das Geographische System der Klimatologie: Handbuch der Klimatologie**. Berlim, Gebruder Borntrager. 1936. 44p.

LAEGREID, M.; BOCKMAN, O. C.; KAARSTAD, O. Agriculture, Fertilizers and the Environment. **Norsk Hydro ASA**, Porsgrunn, Norway. 1999.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; COSTA, A. A.; ROSA, F. V.; COSTA, V. F. **Efeito residual de leguminosas sobre rendimento físico e econômico da cana-planta**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1994. 15 p. (Boletim Científico IAC, 32).

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspecto do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C; FERREIRA, S. O; YMADA, T. (Coord.). **Ecofisiologia da produção.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (POTAFOS), 1987. p. 113-118.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S., VITTI, G.C. ed. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba, IPNI Brasil, 2007. p.189-249.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNADES, C. Sequência de culturas em sistemas de semeadura direta. II - Decomposição liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileria de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1568-1582, 2012.

MEGDA, M. X. V.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C. Eficiência agronômica de adubos nitrogenados em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 12, p. 1681-1690, 2012.

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,** v. 75, p. 101-114, 2006.

MENEGUELLO, L. A.; CASTRO, M. C. A. A. O Protocolo de Kyoto e a geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo. **Interações Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, Campo Grande, v. 8, n. 1, p. 33-43, 2007.

MYAZAKA, S.; CAMARGO, O. A. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo**. Campinas, Fundação Cargill, p. 64-123, 1984.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 393-486.

OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 44, n. 4, p. 398-405, 2009.

OTTO, R; MULVANEY, R. L.; KHAN, S. A.; TRIVELIN, P. C. O. Quantifying soil nitrogen mineralization to improve fertilizer nitrogen management of sugarcane. **Biology and Fertility of Soils,** Heidelberg, 2013 Disponivél em < link.springer.com/article/10.1007/s00374-013-0787-5/fulltext.html#Sec1>

PADOVAN, M. P.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D.; OLIVEIRA, F. L. de; SANTOS, L. A.; ALVES, B. J. R.; SOUTO, S. M. Decomposição e liberação de nutrientes de soja cortada em diferentes estádios de desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 667-672, 2006.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

PRADO, H. Ambientes de produção da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Informações Agronômicas**, n. 110, p. 6-9, 2005.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba, IPNI Brasil, 2011. 420 p.

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

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 Agronômico de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

SÁ, J. C. M. Parâmetros para recomendação de calagem e adubação no sistema de plantio direto. In: CONFERÊNCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Pato Branco. Resumos... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1997. p. 63-81.

SEABRA, J. E. A. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil.** 2008. 225 f. Doutorado (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SILVA, J. A. A.; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S; SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranjeira-'pêra'. **Revista Brasileria de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 225-230, 2002.

SCHEUER, J. M.; TOMASI, D. B. A crotalária na adubação intercalar e reforma do cultivo de cana-de-açúcar. **Vivências**, v. 7, p. 81-90, 2011.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research,** v. 92, p. 169-183, 2005.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 609-618, 2005.

TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas de nitrogênio da uréia no sistema solo‑planta em dois ciclos de cana‑de‑açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 193‑201, 2002a.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G. J. C.; SARRIÉS, G. A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 636-646, 2002b.

THORBURN, P. J.; PROBERT, M. E.; ROBERTSON, F. A. Modelling decomposition of sugar cane surface residues with APSIM-Residue. **Field Crops Research**, v. 70, p. 223–232, 2001.

THORBURN, P. J.; MEIER, E. A.; COLLINS, K.; ROBERTSON, F. A. Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, p. 99-111, 2012.

THORBURN, P. J.; WEBSTER, A. J., BIGGS, I. M.; BIGGS, J. S.; STAUNTON, S. P.; PARK, S. E. Systems to balance production and environmental goals of nitrogen fertiliser management. **Proceedings International Society Sugarcane Technologists**, v. 26, 2007.

UNIÃO CANAVIEIRA DE SÃO PAULO (UNICA) – União da Agroindustria Canavieira de São Paulo. Disponivel em:< http://www.unica.com.br/consecana/>. Acesso em: 24 abr. 2013.

VASCONCELOS, J. N. Derivados da cana-de-açúcar. **STAB**: açúcar, álcool e subprodutos, Piracicaba, v. 20, n. 3, p. 16-18, 2002.

VITTI, A. C.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Balanço de massas e de nutrientes da palhada e da rebrota de cana desseca com glifosato. **STAB**, Piracicaba, v. 25, p. 30-33, 2007a.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, 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, p. 249-256, 2007b.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M. O.; TOVAJAR, J. G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2757-2762, 2008.

VITTI, A. C.; FERREIRA, D. A.; FRANCO, H. C. J.; FORTES, C.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Utilisation of nitrogen from trash by sugarcane ratoons. **International Sugar Journal**, v. 28, p. 249-253, 2010.

VITTI, A. C; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FERREIRA, D. A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C. E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 46, p. 287-293, 2011.