**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Manejo da palha, adubação nitrogenada, potássica e uso de
inoculante em soca de cana-de-açúcar**

Diego Wyllyam do Vale

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

**Piracicaba
2013**

Diego Wyllyam do Vale
Engenheiro Agrônomo

**Manejo da palha, adubação nitrogenada, potássica e uso de inoculante em
soca de cana-de-açúcar**

Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **GODOFREDO CESAR VITTI**
Profa. Dra. **VERÔNICA MASSENA REIS**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Vale, Diego Wyllyam do

Manejo da palha, adubação nitrogenada potássica e uso de inoculante em soca de cana-de-açúcar / Diego Wyllyam do Vale.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.
155 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Cana-de-açúcar 2. Dióxido de carbono 3. Fertilidade do solo 4. Fertilizantes nitrogenados 5. Fertilizantes potássicos 6. Fixação de nitrogênio 7. Inoculação 8. Nitrato de amônio I. Título

CDD 633.61
V149m

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

À Deus,

Criador do céu e da terra pela benção de me conceber a vida, a fé e a coragem de continuar lutando mesmo quando tudo pareceu estar perdido!

DEDICO

Ao meu amado Pai e Irmão,

Márcio Luiz do Vale e Márcio Luiz do Vale Júnior por nunca me abandonarem, por pior que seja a situação. Amo muito vocês! Sem a ajuda de vocês não teria nem começado essa caminhada. Vocês são o alicerce da minha vida!

Aos meus avôs,

Manoel Martins do Vale (*In memoriam*) e **Maria Aparecida Machado Martins do Vale** (*In memoriam*) pelo amor, carinho e por nunca terem desistido de nós, por terem sido e serem meu segundo pai e minha única mãe! Tenho muito orgulho de ter tido a graça de ter convivido com vocês!

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Godofredo César Vitti pela ajuda na condução do experimento, conhecimentos transmitidos e amizade.

À Prof. Dra. Verônica Massena Reis pela ajuda na condução do experimento.

À Escola Superior “Luiz de Queiroz” pela infraestrutura, pelo corpo docente e por ser a “grandiosa” que forma grandes homens.

À FAPESP, CAPES, CNPQ, University of Urbana-Champaign e à Usina Iracema pelos financiamentos e bolsas concedidas.

À minha Irmã Joice e sobrinha Victória pelo carinho e amor!

Ao meu amor, Maria Eugênia de Souza Rossi, por ter chegado de repente e pouco a pouco ir conquistando meu coração. Estava em um ambiente totalmente escuro e você me deu a luz que precisava! Escolho você para ser MINHA MULHER por confiar em mim, acreditar nas minhas palavras e sempre me apoiar, mesmo que tenha que se voltar contra todos.

Aos Profs. Drs. Mulvaney e Saeed pelos ensinamentos, atenção e me ajudarem nos Estados Unidos.

Aos Profs. Drs. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, Carlos Eduardo Pellegrino Cerri e Edgar Gomes Ferreira de Beauclair, pela colaboração na minha qualificação de doutorado.

Ao amigo Dr. Rafael Otto por ter me ajudado de maneira inigualável, facilitando minha ida e estadia nos Estados Unidos.

Aos Profs. Drs. Nilton La Scala Júnior, Dilermando Perecin, Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, Pedro Cerqueira César, por terem me ajudado na condução do experimento, nas análises e serem sempre receptivos.

Aos Profs. Drs. Renato de Mello Prado, Danilo Eduardo Rozane, William Natale e Heitor Cantarella por terem me iniciado na carreira científica!

Ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), especialmente aos senhores José Anderson Forti e Carlos Eduardo Faroni pela ajuda na instalação do experimento e apoio em todas as atividades de campo.

À Usina Iracema do grupo São Martinho por ceder a área para a realização da pesquisa, disponibilidade de equipes de campo, indispensáveis para realização do experimento.

Ao Alan Rodrigo Panosso, Willian Pereira, Jader, Fabiano, Paulo Aguiar por me ajudarem desde o planejamento até a redação da tese.

Aos amigos: Letícia, Eduardo, Carlos Antônio, Roberta, Thiago Moura, Edson, Elaine Guedes, Fernanda, Priscila, Marcus Ribeiro, Lucíola, Eloana, Miguel, Márcio, Michele, Anderson, Neilo, Rodinei, Thalita, Maísa, Edinéia Doti, Sérgio, Raphael, Thiago Nogueira, Ivana Fonseca, por me ajudarem nas atividades do doutorado, nos momentos de dificuldade, de alegria tornando-se minha segunda família.

À Defensive, na pessoa do John, Sérgio, Ronald e Larissa por acreditarem no meu potencial e me darem a oportunidade de trabalhar unindo ciência, agricultura e economia.

Ao GAPE e todos os membros por me ajudarem nas atividades do experimento e serem como uma segunda família.

À Silvia Carvalho pela paciência, compreensão, convívio e atenção nesses anos.

À Neli por desde os tempos da graduação estar me auxiliando na carreira acadêmica e nas correções conforme a norma culta da língua portuguesa.

Aos amigos nos Estados Unidos Igor, Cristina, Sophia, Maura, Sarah, Carol, Shorsha, Michel, Luiz, Yasenia, Laibel pelo convívio, aprendizado e compreensão.

À Carolina Façanha Wendell por ter me ajudado no período do exterior, pela compreensão e carinho que me dedicou.

À Camila Ganzella e sua família por terem me ajudado a passar na seleção, nas disciplinas do doutorado e por um período ser a minha principal família, que Deus ilumine seu caminho.

À Michele Mutton, por mesmo depois de tantas desavenças, ter me ajudado a não enlouquecer, se mostrando uma amiga de verdade.

Ao Marcos e Dorival pela ajuda nas viagens ao experimento.

Aos Irmãos Geraldo Vicente, Felipe Di Lleo e Luis Antônio Rosa e a Augusto e Respeitável Loja Maçônica Fraternidade Acadêmica “Liberdade de Pensar” pelos ensinamentos, ajuda em todas as atividades e por acima de tudo ter me aberto os olhos para a luz.

Agradeço cada pessoa que infelizmente não foi mencionada, mas que de alguma forma me ajudou para realização do experimento, confecção da tese e minha formação enquanto homem, pesquisador, cientista e ser humano.

MUITO OBRIGADO!!!

BIOGRAFIA

Diego Wylllyam do Vale – Nascido em São Joaquim da Barra – SP em 27 de setembro de 1985, filho de Márcio Luiz do Vale. Graduiu-se Engenheiro Agrônomo em julho de 2007 na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal – SP. Foi bolsista de iniciação científica pela FAPESP por 18 meses. Participou em órgãos colegiados na UNESP, Campus de Jaboticabal como membro representante discente junto aos Conselhos do Departamento de Solos e Adubos, ao curso de Agronomia e da Congregação. Em agosto de 2007 iniciou o Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal – SP. Foi bolsista por um mês do CNPq e até o final do curso da FAPESP e finalizou o mestrado em julho de 2009, data em que iniciou o doutorado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, foi bolsista por 5 meses da CAPES e da FAPESP até o final do curso. Realizou estágio “sanduiche” na Universidade de Illinois, nos Estados Unidos da América, foi monitor em duas disciplinas, atuou como membro representante dos alunos do Programa de Solos e Nutrição de Plantas. Foi autor e coautor de 15 artigos em periódicos científicos, quatro livros, quatro capítulos de livro, 45 resumos em congressos, organizou dezoito eventos e participou de mais de 50. Em fevereiro de 2013 obteve o título de Doutor em Ciências, área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

EPÍGRAFE

“O QUE É O HOMEM SEM OS ANIMAIS? SE TODOS OS ANIMAIS SE FOSSEM, O HOMEM MORRERIA DE UMA GRANDE SOLIDÃO DE ESPÍRITO. POIS O QUE OCORRE COM OS ANIMAIS BREVE ACONTECE COM O HOMEM. HÁ UMA LIGAÇÃO EM TUDO. VOCÊS DEVEM ENSINAR ÀS SUAS CRIANÇAS QUE O SOLO À SEUS PÉS É A CINZA DE NOSSOS AVÓS. PARA QUE RESPEITEM A TERRA, DIGAM À SEUS FILHOS QUE ELA FOI ENRIQUECIDA COM AS VIDAS DE NOSSO POVO. ENSINEM ÀS SUAS CRIANÇAS O QUE ENSINAMOS ÀS NOSSAS, QUE A TERRA É NOSSA MÃE. TUDO O QUE ACONTECER À TERRA, ACONTECERÁ AOS FILHOS DA TERRA. OS HOMENS AO CUSPIR NO SOLO ESTÃO CUSPINDO EM SI MESMOS. ISTO SABEMOS: A TERRA NÃO PERTENCE AO HOMEM; O HOMEM PERTENCE À TERRA E TODAS AS COISAS ESTÃO LIGADAS COMO O SANGUE QUE UNE UMA FAMÍLIA. HÁ UMA LIGAÇÃO EM TUDO”

(CARTA DO CACIQUE SEATTLE, EM 1854)

SUMÁRIO

RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	17
1 Introdução.....	19
1.2 Revisão Bibliográfica.....	21
1.2.1 Importância da cana-de-açúcar.....	21
1.2.2 Características da variedade CTC 9.....	23
1.2. Material e métodos Geral.....	24
Referências.....	30
2. NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA FERTILIDADE DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	33
Resumo	33
Abstract	33
2.1.1 Introdução.....	34
2.1.2 Material e métodos.....	37
2.1.3 Resultados e discussão.....	42
2.1.4 Conclusões.....	53
Referências.....	53
2.2 INOCULANTE EM MANEJOS DA PALHA NO TEOR DE N-NO_3^- E N-NH_4^+ , NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	59
Resumo	59
Abstract	59
2.2.1 Introdução.....	60
2.2.2 Material e métodos.....	65
2.2.3 Resultados e discussão.....	70
2.2.4 Conclusões.....	79
Referências.....	79
2.3 MANEJO DA PALHA E APLICAÇÃO DE POTÁSSIO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	89
Resumo	89
Abstract	89
2.3.1 Introdução.....	90
2.3.2 Material e métodos.....	92
2.3.3 Resultados e discussão.....	94
2.3.4 Conclusões.....	127
Referências.....	127
2.4 EMISSÃO DE CO_2 , EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE INOCULANTE, NITROGÊNIO E MANEJO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	133
Resumo	133
Abstract	133
2.4.1 Introdução.....	134
2.4.2 Material e métodos.....	137
2.4.3 Resultados e discussão.....	140
2.4.4 Conclusões.....	152
Referências.....	152

RESUMO

Manejo da palha, adubação nitrogenada, potássica e uso de inoculante em soca de cana-de-açúcar

A colheita de cana-de-açúcar, sem despalha a fogo, vem crescendo no Brasil. Nesse sistema de cultivo, existem muitas dúvidas em relação ao manejo da palha, e das quantidades de nitrogênio e potássio a serem utilizadas. Objetivou-se avaliar o manejo da palha, adubação nitrogenada, potássica e uso do inoculante em área comercial de cana-de-açúcar. Para isso, instalou-se experimento na região de Piracicaba – SP, num Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, cultivado com a variedade de cana-de-açúcar CTC 9, em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial incompleto 3x6x4, totalizando 153 parcelas, sendo três manejos da palha-MP (distribuição da palha da cana em toda área-MPT, retirada da palha apenas nas linhas da cana-de-açúcar-MPRL e enleiramento da palha a cada duas linhas-MP2:1), seis doses de N (aplicação de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, aplicação na linha da cana de solução contendo cinco espécies de bactérias fixadoras de nitrogênio na ausência de adubação nitrogenada e aplicação na linha da cana de solução contendo cinco espécies de bactérias fixadoras de nitrogênio mais 30 kg ha⁻¹ de N mineral), quatro doses de K (0, 50, 100 e 150 kg de K₂O ha⁻¹) e três repetições. As variáveis analisadas ao longo das duas socas foram: análises químicas do solo, emissão de CO₂, diagnose foliar, avaliações biológicas e tecnológicas e produção de colmos da cana-de-açúcar. A aplicação de nitrogênio e potássio afetou a fertilidade do solo, teor foliar de N, açúcar teórico recuperável e crescimento da cana-de-açúcar. A aplicação de 80 kg ha⁻¹ de K₂O é suficiente para apresentar alta produtividade da primeira (87 t ha⁻¹) e da segunda soca de cana-de-açúcar (141 t ha⁻¹) e não houve resposta a aplicação de nitrogênio mineral. A aplicação de inoculante não aumentou a produtividade da cana-de-açúcar. O MPRL se mostrou como o mais promissor em relação ao crescimento e produtividade da cana-de-açúcar. O MPRL apresentou maior emissão de carbono se comparado ao MP2:1 na 2ª soca. Na 1ª soca, no MPT, MPRL e MP2:1, a emissão de CO₂ foi de 1,7; 2,0 e 1,7 μmol m⁻² s⁻¹, a temperatura foi de 21,7; 21,7; 21,2 °C e a umidade foi de 11,1; 6,6 e 9,5%, respectivamente. Na 2ª soca, no MPT, MPRL e MP2:1, o CO₂ foi de 1,8; 2,1 e 1,6 μmol m⁻² s⁻¹, a temperatura foi de 21,4; 22,9; 22,4 °C e a umidade foi de 16,9; 12,3 e 11,5%, respectivamente. A emissão de CO₂ aumentou com o crescimento das plantas de cana-de-açúcar e oscilou de 6 a 12,4 μmol m⁻².

Palavras-chave: Nitrato de amônio; Fixação biológica de nitrogênio; Nutrição; Fertilidade do solo; Emissão de CO₂

ABSTRACT

Management of harvest residue, nitrogen, potassium and use of inoculants in ratoon sugarcane

The harvesting of sugarcane, straw removal without fire, is growing in Brazil. In this culture system, there are many questions about the management of residue, and the amounts of nitrogen and potassium to be used. This study aimed to evaluate the straw management sugarcane, nitrogen, potassium and use of inoculants in commercial sugarcane. For this experiment was installed in Piracicaba - SP, in the Oxisol cultivated with the variety of sugarcane CTC 9, in a randomized block design in a incomplete factorial 3x6x4, totaling 153 plots, three management of stubble-MP (distribution of sugarcane trash in every area-MPT, removal of straw only rows of sugarcane MPRL and windrowing straw every two lines-MP2:1) six doses of N (application of 0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ of N, applied in line with the cane solution containing five species of nitrogen-fixing bacteria in the absence of nitrogen fertilizer application on line and cane solution containing five species of nitrogen-fixing bacteria plus 30 kg ha⁻¹ of mineral N), four doses of K (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹ of K₂O) and three replications. The variables analyzed along the two years were: soil chemical analysis, CO₂ emission, foliar diagnosis, biological and technological evaluations and straw yield of sugarcane. The application of nitrogen and potassium affect soil fertility, leaf N content, theoretical recoverable sugar and growth of sugarcane. The application of 80 kg ha⁻¹ of K₂O is sufficient to present the first high productivity (87 t ha⁻¹) and second ratoon sugarcane (141 t ha⁻¹) and there was no response from the application nitrogen mineral. The inoculant application did not increase productivity of sugarcane. The MPRL proved as the most promising in relation to growth and productivity of sugarcane. The MPRL had lower moisture and higher carbon footprint compared to MPT and MP2:1. In the 1st ratoon, the MPT, MPRL and MP2:1, the emission of CO₂ was 1.7, 2.0 and 1.7 µmol m⁻² s⁻¹, the temperature was 21.7, 21.7; 21.2 °C and humidity was 11.1, 6.6 and 9.5%, respectively. In the 2nd ratoon in MPT, MPRL and MP2:1 first, the CO₂ was 1.8, 2.1 and 1.6 µmol m⁻² s⁻¹, the temperature was 21.4, 22.9; 22, 4 °C and the humidity was 16.9, 12.3 and 11.5%, respectively. The emission of CO₂ increased with the growth of plants sugarcane and oscillated 6 to 12.4 µmol m⁻² s⁻¹.

Keywords: Ammonium nitrate; Biological nitrogen fixation; Nutrition, Soil fertility; CO₂ emissions

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das melhores opções, dentre as fontes de energia renováveis, para a produção de etanol, além do açúcar e de outros produtos, sendo um dos principais cultivos agrícolas cultivada no Brasil. A cana-de-açúcar, portanto, é importante tanto no aspecto social como no econômico.

O sistema de produção da cana-de-açúcar está passando da colheita manual (com uso da despalha a fogo) à colheita mecanizada (cana crua), atendendo aos aspectos da legislação ambiental, e também econômico, face ao menor custo da colheita. A presença da palha sobre o solo também tem contribuído para elevar a produtividade da cana-de-açúcar (BALL-COELHO et al., 1993), principalmente por aumentar a infiltração da água e diminuir a evaporação edáfica.

No sistema de cana colhida sem despalha a fogo, os pedaços de colmos, as folhas secas, ponteiros e as folhas verdes são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura denominada de palha. No Estado de São Paulo, estima-se que a massa de palha, que permanece sobre o solo, varia de 10 a 30 t ha⁻¹ ano⁻¹ de material seco (CANTARELLA, 1998). A mineralização deste material cultural no solo é dependente dos seguintes fatores: temperatura, umidade, aeração, qualidade (composição química) destes restos culturais, especialmente da relação C:N, teores de lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis (OLIVEIRA; MORAES, 2002).

A presença desse material vegetal sobre o solo provoca mudanças no agroecossistema, exigindo reformulação das práticas até então empregadas, principalmente com relação ao manejo da fertilização nitrogenada e potássica.

O manejo inadequado de um canavial, especialmente da adubação nitrogenada, pode resultar tanto em redução da produtividade da cultura quanto na sua longevidade, reduzindo, por conseguinte, o número de colheitas ou cortes entre as reformas (VITTI et al., 2007).

O nitrogênio é constituinte indispensável para a adequada nutrição das plantas. Na agricultura, o N é determinante na produção das culturas, portanto é um dos nutrientes que mais participa do sistema agrícola (MAE, 1997). Além disso, o potássio é muito importante para a cana-de-açúcar, sendo o nutriente mais extraído pela cultura (ORLANDO FILHO et al., 1996). Existe indicação de que a fertilização potássica em soca de cana-de-açúcar, em sistema de colheita sem despalha a fogo,

pode ser reduzida (para 70 kg ha⁻¹ de K₂O) em relação ao cultivo da cana-de-açúcar com despalha a fogo (ROSSETTO et al., 2008).

Apesar das incertezas de qual o melhor manejo da palha, importância do nitrogênio, potássio e fixação biológica de nitrogênio para a soca da cana-de-açúcar, os resultados de pesquisa que avaliaram as respostas desta cultura ao manejo da palha com a aplicação desses nutrientes ainda são incipientes, não apresentando recomendação específica de adubação.

Nesse contexto, podem-se formular as seguintes hipóteses:

1. O manejo da palha da cana-de-açúcar influencia a temperatura e umidade do solo, número de falhas, crescimento, nutrição, produção e qualidade da cana-de-açúcar.
2. A fixação biológica de nitrogênio pode suprimir parcial ou totalmente a necessidade da aplicação de nitrogênio mineral.
3. A fixação biológica varia com o manejo da palha e conseqüentemente altera o crescimento e produção da cana-de-açúcar.
4. A resposta da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio varia com a disponibilidade de potássio.
5. A emissão de CO₂ é influenciada pelo manejo da palha e pela forma de entrada de nitrogênio no sistema (doses e fonte de N).

Com base nessas hipóteses, objetivou-se com este trabalho de tese:

- a) Avaliar o efeito da interação da aplicação de nitrogênio e potássio nos atributos químicos do solo, nutrição, crescimento e produção da cana-de-açúcar.
- b) Avaliar o efeito da aplicação de inoculante em diferentes manejos da palha de cana-de-açúcar na fertilidade do solo, nutrição e produção de cana-de-açúcar.
- c) Verificar como o manejo da palha da cana-de-açúcar e fornecimento de potássio afetam os atributos químicos do solo, na nutrição da cultura, no crescimento, na produtividade e na qualidade de cana-de-açúcar.
- d) Avaliar o efeito da aplicação de inoculante, nitrogênio e manejo da palha de cana-de-açúcar na emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo.

Com base nesses objetivos, desenvolveu-se experimento no Estado de São Paulo, que está apresentado nesta tese, organizado em quatro capítulos, a saber:

1 - Nitrogênio e potássio na fertilidade do solo, nutrição e produção de cana-de-açúcar

2 - Inoculante em manejos da palha no teor de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , nutrição e produção de cana-de-açúcar

3 - Manejo da palha e aplicação de potássio nos atributos químicos do solo, crescimento, nutrição e produção da cana-de-açúcar

4 - Emissão de CO_2 , em função da aplicação de inoculante, nitrogênio e manejo da palha de cana-de-açúcar.

1.2. Revisão Bibliográfica

1.2.1. Importância da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma espécie pertencente à família das gramíneas, ao gênero *Saccharum*, espécie *officinarum*. A cana-de-açúcar tem múltipla utilidade, sendo usada *in natura*, como forragem, para alimentação animal, como matéria prima para fabricação de rapadura, melado, aguardente, açúcar, etanol neutro, anidro e hidratado, CO_2 purificado, polietileno, além disso, os resíduos tem sido utilizados como fertilizantes para agricultura e a palha como co-geradora de energia.

O Brasil lidera a produção mundial de cana-de-açúcar, com uma parcela de 25% dentre 80 países. Gerando uma renda da ordem de US\$ 7 bilhões. No âmbito da geração de energia, estima-se um potencial de 4.000 MW utilizando-se de tecnologias comercialmente disponíveis.

A previsão de produção de cana-de-açúcar da Região Centro-Sul deve ser de 594,07 milhões de toneladas, 11,5% maior que a produção da safra anterior. A região Norte/Nordeste também sinaliza um aumento em torno de 6,8%, passando dos atuais 55,93 milhões de toneladas da safra 2012/13, para 59,74 milhões na safra 2013/14. A previsão do total de cana-de-açúcar para ser moída é de 653,81 milhões de toneladas, com aumento de 11,0% em relação à safra 2012/13, que foi de 588,92 milhões de toneladas, significando que a quantidade que será moída deve ser 64,89 milhões de toneladas a mais que na safra anterior (CONAB, 2013).

A produção de açúcar chegou em 38,34 milhões de toneladas e para safra 2013/2014 a previsão é de 43,56 milhões de toneladas. A produção de etanol fechou em 23,64 bilhões de litros na safra 2012/2013 e é estimada em 25,77 bilhões de

litros para 2013/2014, um incremento de 2,13 bilhões de litros, alta de 8,99% (CONAB, 2013).

A relação estoque sobre consumo está abaixo de 20% há três safras consecutivas. A participação da região centro sul deve ficar próxima de 90% da produção nacional, e 60% são produzidas no Estado de São Paulo, com área cultivada de 4,5 milhões de hectares. Em relação aos veículos “flexfuel” atualmente são da ordem de 15 milhões de veículos (AGRIANUAL, 2012).

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 cana-de-açúcar é cultivada em 8.893,0 mil hectares, consome cerca de 430 kg de fertilizantes por hectare, o que a caracteriza como uma cultura, em que se aplica grande quantidade de fertilizante por unidade de área, todavia é uma das culturas que mais produzem por unidade de fertilizante aplicado.

A previsão é que Minas Gerais se torne o segundo maior estado produtor, ultrapassando o estado de Goiás. O estado de São Paulo permanece como o maior produtor com 51,3% (4.560,88 mil hectares) da área plantada, seguido por Minas Gerais com 9,31% (827,97 mil hectares), Goiás com 9,3% (827,03 mil hectares), Paraná com 7,0% (624,02 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 6,6% (586,22 mil hectares), Alagoas com 5,0% (441,25 mil hectares) e Pernambuco com 3,3% (295,39 mil hectares) (CONAB, 2013).

Nesse contexto, a lavoura canavieira assume papel relevante no cenário econômico nacional e mundial. O Brasil é um dos países mais apropriados para a produção da cana-de-açúcar e seus derivados, visto que possui condições edafoclimáticas propícias, custos de produção baixos (em relação a outros países produtores), e tem vastas áreas que podem ser exploradas comercialmente, com destaque para a região Centro-Oeste, mais precisamente, os Estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás.

Paralelo a isso a escolha da variedade é muito importante, pois deve-se levar em consideração o tipo de solo, época de colheita, resistência a doenças, acúmulo de sacarose, dentre outros.

1.2.2 Características da variedade CTC 9

A escolha da variedade de cana-de-açúcar a ser cultivada deve levar em conta a relação entre as suas características e o local de implantação da cultura (TRENTO FILHO et al., 2008). Esta escolha é um dos principais fatores para o sucesso do empreendimento, já que é o único fator capaz de proporcionar aumentos significativos na produtividade agrícola e industrial, sem aumentos nos custos de produção. Devem ser escolhidas variedades que possuam características definidas em relação à maturação, teor de açúcar, exigência em relação ao tipo de solo, resistência às doenças, despalha e porte.

A variedade CTC 9 é precoce, rústica e é recomendada para ser cultivada do ambiente A ao D, com crescimento inicial rápido. Destaca-se pela alta adaptabilidade. Essa divisão em ambientes de produção é utilizada para prever quais ambientes são mais (ambiente A) ou menos propícios a proporcionarem altas produtividades (ambiente D). Apresenta bom desenvolvimento e fechamento de entrelinhas, hábito de crescimento levemente decumbente, colmos de diâmetro médio, com despalha média, de cor amarelo-esverdeada, entrenós de comprimento médio, com muita cera e gemas ovais de tamanho médio; zona radicular de largura média a estreita; palmito médio com pouca cera, de cor verde-arroxeadada e com pouco joçal; aurículas assimétricas, pequenas e dentóides. Apresenta média exigência em fertilidade do solo, boa brotação de soca, perfilhamento e fechamento nas entrelinhas, pouco tombamento, exceto em solos férteis, raro florescimento, pouca isoporização, resistente à ferrugem e ao carvão, intermediária à escaldadura e suscetível ao mosaico (CTC, 2010).

1.3 Material e métodos geral

O experimento foi instalado no Sítio São João, no município de Americana-SP, localizado geograficamente a 22°41'15,84" S de latitude e 47°19'18,62" W de longitude, em Latossolo Vermelho amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006).

O clima do município onde foi instalado o experimento é tropical de altitude com inverno seco (Köppen: Cwa), com temperatura média mínima de 15 e máxima de 26 °C.

A área experimental é cultivada com cana-de-açúcar há muitos anos, sendo que em abril de 2009 a Usina Itacema renovou o canavial, sem fazer rotação de cultura, plantando a variedade CTC 9. Após isso, realizou-se preparo convencional na renovação do canavial no qual foram aplicados 2 t de calcário (CaO = 24%, MgO = 17%, PN = 85 % e PRNT = 70%) a fim de se elevar o valor de saturação por bases a 60%, e a adubação N, P₂O₅ e K₂O de plantio foi de 33, 83 e 83 kg ha⁻¹, respectivamente. No primeiro corte da cana planta (08-06-2010) a produção foi de 112 t ha⁻¹.

Antes da implantação do experimento, coletou-se 15 subamostras de terra (15-06-2010), para compor a amostra de caracterização química e física (Tabela 1.) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo (RAIJ; CANTARELLA, 1997) e S (VITTI, 1989).

Analisando os dados da Tabela 1 observa-se tratar de área com alta fertilidade, solo corrigido, e por muitos anos de cultivo de cana-de-açúcar e portanto, responsável ao uso de nitrogênio (RAIJ et al., 1997).

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos do solo antes da instalação do experimento. Americana-SP, 2010

Camada do solo	pH	M.O.	P	S	K	Ca	Mg	SB	H+Al	CTC	V
cm	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³					mmol _c dm ⁻³			%
0-20	5,6	24	66	77	1,7	92	44	137,7	22	160,1	86
20-40	4,8	13	14	53	0,9	23	14	37,9	31	68,7	55
	B	Cu	Fe	Mn	Zn		Argila	Silte	Areia	Classe textural	
		-----mg dm ⁻³ -----						-----g kg ⁻¹ -----			
0-20	0,16	0,8	32	6,0	0,9		375	176	449	Argilosa	
20-40	0,15	0,6	24	2,0	0,4		451	145	404	Argilosa	

pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, P foi determinado pelo método da resina.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial incompleto 3x6x4, sendo três manejos da palha (distribuição da palha em área total-MPT, retirada da palha apenas nas linhas da cana-de-açúcar-MPRL e enleiramento da palha a cada duas linhas-MP2:1), seis doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, aplicação na linha da cana de solução contendo mistura de cinco espécies de bactérias: *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Burkholderia tropica* e *Azospirillum amazonense* e aplicação na linha da cana de solução de bactérias mais 30 kg ha⁻¹ de N), quatro doses de K (0, 50, 100 e 150 kg de K₂O ha⁻¹) e três repetições, em esquema fatorial incompleto, totalizando 153 parcelas. As 17 combinações de nitrogênio e potássio, para os três manejos de palha foram obtidas segundo Littell; Mott (1975) e estão descritas na Tabela 2.

Tabela 1 – Combinações de nitrogênio, aplicação de inoculante e potássio na cana-de-açúcar.

Combinações	N	Aplicação de inoculante	K ₂ O
	kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹
1	0	não	0
2	60	não	50
3	60	não	100
4	120	não	50
5	120	não	100
6	180	não	0
7	180	não	50
8	180	não	100
9	180	não	150
10	0	sim	0
11	0	sim	50
12	0	sim	100
13	0	sim	150
14	30	sim	0
15	30	sim	50
16	30	sim	100
17	30	sim	150

Anterior à instalação do experimento (15-06-2010) e após o corte da primeira soca (20-05-2011), realizou-se a coleta da palha da superfície do solo em três

pontos aleatórios de 1 m². Em seguida o material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada a 65 °C até atingir massa constante. Posteriormente determinou-se a massa da matéria seca da palha da cana planta (12,5 t ha⁻¹) e da 1ª soca (13 t ha⁻¹) e o material foi moído. A seguir, realizou-se a análise química do teor de macronutrientes na palha, conforme metodologia proposta por MALAVOLTA et al. (1997) (Tabela 3). Ressalta-se que na amostragem da palha da cana-de-açúcar, após o corte da primeira soca, realizou-se amostragem nos três manejos de palha de cana-de-açúcar, isso não ocorreu na análise após a cana-planta, pois ainda não havia sido feita a instalação do experimento, portanto, como a palha era deixada em toda área experimental, realizou-se apenas uma avaliação.

Tabela 3 - Concentração de macronutrientes na palha da cana-de-açúcar. Ano agrícola 2010/2011

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
	Após o corte da cana-planta					
	5,54	0,35	3,38	2,65	0,8	1,65
	Após o corte da primeira soca					
MPT	6,00	1,00	2,40	2,30	0,70	1,21
MPRL	5,75	0,90	3,25	2,20	0,80	0,95
MP2:1	5,20	0,80	1,80	2,0	0,50	0,77

MPT – Manejo da palha da cana-de-açúcar distribuída em área total; MPRL – Manejo da palha da cana-de-açúcar retirada da linha da cultura; MP2:1 – Manejo da palha da cana-de-açúcar enleirada a cada duas linhas.

A unidade experimental foi composta por parcelas de seis linhas de cana-de-açúcar com 15 m de comprimento, espaçadas em 1,4 m entre as linhas, totalizando 126 m² por parcela, considerando as quatro linhas centrais como área útil, com um corredor de 2 m entre as parcelas (parte frontal).

O manejo da palha da cana-de-açúcar foi realizado, conforme os tratamentos, após o corte da cana planta (16-06-2010) e após o corte da primeira soca (14-06-2011) (Figura 1). Na Figura 2 observa-se o crescimento da cultura e aos 75 dias após o manejo da palha de cana-de-açúcar.

Figura 1 – Manejo da palha distribuída em área total-MPT **(A)**, retirada da palha apenas nas linhas da cana-de-açúcar-MPRL **(B)** e enleiramento da palha a cada duas linhas-MP2:1 **(C)**. Ano agrícola 2010/2011

As doses recomendadas de 120 kg ha^{-1} de N e de $100 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ foram indicadas para a cana-soca, com meta de alta produtividade no estado de São Paulo (ROSSETTO et al., 2008). Como fonte de nitrogênio e potássio foi utilizado, respectivamente, nitrato de amônio (32% de N) e cloreto de potássio (60% de K_2O).

Figura 2 - Retirada da palha apenas nas linhas da cana-de-açúcar **(a)**, enleiramento da palha a cada duas linhas **(b)** e distribuição da palha da cana em toda área cultivada com cana-de-açúcar aos 75 dias após o manejo da palha **(c)**. Ano agrícola 2010/2011

O adubo foi aplicado, manualmente, nas linhas da soca de cana-de-açúcar, após a colheita da cana planta (25-06-2010) e após o corte da primeira soca (25-06-2011) (Figura 3). Salienta-se, ainda, que as doses de N e K_2O foram repetidas sempre nas mesmas parcelas e no mesmo local. Ressalta-se que não foi necessário aplicar outros nutrientes, exceto o boro que foi aplicado via herbicida na dose de 700 g ha^{-1} de B, na forma de ácido bórico, com solução de calda de 200 L ha^{-1} (VITTI; MAZZA, 2002).

Figura 3 - Detalhe da aplicação dos fertilizantes nas linhas da primeira soca (25-06-2010) **(A)** e da segunda soca de cana-de-açúcar (25-06-2011) **(B)**. Ano agrícola 2010/2011

Os dados de precipitação, temperatura e umidade são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Precipitação, temperatura média dos anos agrícolas 2010/2011/2012.

Índices meteorológicos	2010												2011							
		Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Pluviosidade	mm	26	59	0	55	117	87	131	495	239	232	141	25	42	0	14	16	291	200	128
T. Min.		6,6	9,6	5,6	12,5	10,8	13,2	16	28,7	28,7	25,7	25,2	20,4	18,5	20,8	15	13	10	21	24
T. Max.	°C	32,1	33,1	35,6	38,8	38,1	38,8	40,9	39,4	39,1	37,9	35,8	31,4	31	32	37,3	38,9	40,9	39,8	39,1
T. Med.		19,6	21,6	20,8	24,8	24,3	25,8	28,2	30	26	35	30	24	21	24	22,4	23,3	25,7	25	27,2
U. Min.	%	18	21	13	13	13	15	22	96	94	98	98	98	98	97	95	91	98	98	94
U. Max.		95	97	92	96	94	95	94	495	239	232	141	25	42	0	14	16	291	200	128
2012																				
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho													
Pluviosidade	mm	392	207	72	103	42	111													
T. Min.		14,9	17,7	14,4	14,8	10,7	11,1													
T. Max.	°C	32,3	36,1	34,4	32,8	29,4	30,4													
T. Med.		22,4	24,9	24,4	22,3	19,5	18,3													
U. Min.	%	28	28	32	40	37	40													
U. Max.		97	96	95	97	97	98													

T. Min.: temperatura mínima; T. Max.: temperatura máxima; T. Med.: temperatura média; U. U. Min.: umidade relativa mínima; Max.: umidade relativa máxima.

Referências

BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 1004-1008, 1993.

CANTARELLA, H. Aplicação de nitrogênio em sistema de cana crua. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 16, p. 21-22. 1998.

CTC - CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **CARACTERÍSTICAS DAS VARIEDADES CTC RESUMO**, CTC, 2012. Disponível em: http://www.coplana.com/gxpfiles/ws001/design/Download/VariedadesCana/Variedad e_CTC_115.pdf Acesso em 15 de junho de 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar safra 2013/2014. Primeiro Levantamento**, abril/2014. Brasília, Conab, 2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_29_31_boletim_cana_portugues_abril_2013_1o_lev.pdf Acesso em 17 abril.2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileira de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2002**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2012. p. 124.

MAE, T. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis and yield potential. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 196, p. 201-210, 1997.

MALAVOLTA, E. VITTI, G.C.C. OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba:Potafos, 1997. 308p.

LITTEL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**. v. 34, p. 94-97, 1975.

OLIVEIRA, T.K.C.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1079-1087, 2002.

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

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).

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M.G.A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes na cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, Campinas, v. 1, p. 8-13, 2008.

TRENTO FILHO, A.J.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; BESPALHOK FILHO, J.C.; MACCARI JUNIOR, A.; FERNANDES, J.S.C. Aspectos da produção de cana-de-açúcar em propriedades rurais do município de morretes, PR. . **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 9, p. 405-410, 2008.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta.** Jaboticabal, FUNEP, 1989. 37p.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar.** Piracicaba:POTAFOS, 2002. 16p. (Encarte Técnico, 97,).

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, 2007.

2.1 Nitrogênio e potássio na fertilidade do solo, nutrição e produção de cana-de-açúcar

Resumo

A maioria dos solos brasileiros cultivados com cana-de-açúcar apresenta baixa fertilidade natural, além disso, os padrões de adubação utilizados no cultivo da cana foram estabelecidos com variedades mais antigas, manejo do solo e práticas culturais com o uso da despalha a fogo. Nesse contexto, objetivou-se verificar a importância da nutrição nitrogenada e potássica para a cultura da cana-de-açúcar e a necessidade de informações sobre a resposta de socas à aplicação desses nutrientes. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x4, sendo quatro doses de N (aplicação de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N), quatro doses de K (0, 50, 100 e 150 kg de K₂O ha⁻¹) e três repetições, em esquema fatorial incompleto. Avaliou-se a fertilidade do solo aos 30 dias após a brotação da cana-de-açúcar, na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, número, altura e diâmetro dos colmos das plantas aos cinco e nove meses após a brotação da cana-de-açúcar, análise foliar aos cinco meses após a brotação, análise tecnológica e produtividade da primeira e segunda soca de cana-de-açúcar. A aplicação de nitrogênio e potássio afetou a fertilidade do solo, teor foliar de N, açúcar teórico recuperável e crescimento da cana-de-açúcar. A aplicação de 80 kg ha⁻¹ de K₂O é suficiente para apresentar alta produtividade da primeira (87 t ha⁻¹) e da segunda soqueira de cana-de-açúcar (141 t ha⁻¹) e não houve resposta a aplicação de nitrogênio.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; Teor de nutrientes; Cana-soca; Nitrato; Amônio

Abstract

Most Brazilian soils, grown sugarcane, have a low natural fertility, in addition, the patterns of fertilizer used in cultivation of sugarcane were established with older varieties, soil management and crop practices with the use of straw removal by fire. In this context, the objective was to verify the importance of nitrogen and potassium nutrition for growing sugarcane and the need for information about the response to the application of these nutrients in brass knuckles. The experimental design was a randomized block design in a factorial 4x4, four N rates (applying 0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ of N), four rates of K (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹ of K₂O) and three replications in a incomplete factorial. Was evaluated the soil fertility, 30 days after sprouting of sugarcane, at 0-20 and 20-40 cm soil depth, number, height and diameter of the stems in the five and nine months after sprouting of sugarcane, leaf analysis, five months after sprouting, productivity and technological analysis of the first and second ratoon of sugarcane. The application of nitrogen and potassium affect soil fertility, foliar N, theoretical recoverable sugar and growth of sugarcane. The application of 80 kg ha⁻¹ was enough to promote higher productivity of the first (87 t ha⁻¹) and second ratoon of sugarcane (141 t ha⁻¹) and do not have answer to nitrogen application.

Keywords: *Saccharum* spp.; Nutrient content; Cane ratoon; Nitrate; Ammonium

2.1.1 Introdução

Para obtenção de altas produtividades na cultura da cana-de-açúcar, todas as tecnologias disponíveis e relativas à condução da cultura têm de ser empregadas (ORLANDO FILHO et al., 1996). Dentre essas tecnologias, a adubação assume importante papel para o aumento da produtividade (ZAMBELLO JÚNIOR et al., 1981), principalmente naqueles solos de comprovada carência de nutrientes.

Com a expansão da cultura canavieira e a incorporação de novas áreas geralmente de baixa fertilidade para a produção de açúcar e energia renovável, é de fundamental importância recuperar e manter a fertilidade para alcançar produções economicamente viáveis (FELIPE, 2008).

O nitrogênio é o nutriente mais exigido em quase todas as plantas perenes, tendo efeito direto na área foliar, aumentando a produção de foto assimilados e, conseqüentemente, a produção das culturas (BHELLA; WILCOX, 1986).

Na cana-de-açúcar o nitrogênio é o quinto elemento mais abundante na planta, depois do carbono, hidrogênio, oxigênio, e potássio. É constituinte de aminoácidos, nucleotídeos e coenzimas, portanto existe relação entre o seu teor e o crescimento das plantas, considerando que um dos principais sintomas da deficiência do nitrogênio é o amarelecimento ou clorose das folhas, devido à inibição da síntese de clorofila (EPSTEIN, 1975). A deficiência de nitrogênio resulta, principalmente, na diminuição da fotossíntese e, conseqüentemente, na síntese de aminoácidos essenciais determinando a importância desse nutriente na vida dos vegetais, especialmente na cana-de-açúcar, que é uma cultura altamente extrativa. De forma geral, a cana-de-açúcar com produtividade de 100 t ha⁻¹ de colmos extrai cerca de 130 a 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio (MALAVOLTA, 1980; PRADO et al., 2002).

Campbell (2007) evidenciou que as plantas acumularam maiores quantidades de nitrogênio com o aumento nos níveis de fertilização nitrogenada, confirmando observações feitas por Oliveira (1999) e Vitti (1998). Campbell (2007) ressalta que a quantidade de nitrogênio acumulado em cana-de-açúcar aumentou de 3 g por vaso na ausência da aplicação de nitrogênio para 5 g por vaso com a sua aplicação, e esse aumento foi atribuído exclusivamente ao aumento de massa seca produzida, concluindo que a distribuição percentual de N total acumulado nas diversas partes da planta não variaram com o aumento das doses de N.

VITTI et al. (2007), em experimento com soca de cana-de-açúcar colhida sem queima, avaliaram o efeito da aplicação de cinco doses de N (35 até 175 kg ha⁻¹), contendo na superfície do solo 14 t ha⁻¹ de matéria seca de palha (62 kg de N), em que constataram diferença de 100% na produção de colmos na 2ª soca entre os tratamentos de maior dose e o controle (sem N). Na safra seguinte esse diferencial na produção foi de 50%, mantendo resposta linear na produção de cana-de-açúcar às doses de N, no entanto, a adubação nitrogenada não afetou a qualidade tecnológica dos colmos. Esses autores levantam a hipótese de que seria necessário aplicar maior dose de N na implantação da colheita sem queima, para garantir o vigor das socas, com redução na dose de N nos ciclos agrícolas futuros.

Outro nutriente de extrema importância para as culturas agrícolas e em especial para a cana-de-açúcar por ser o mais absorvido e exportado é o potássio.

O potássio está envolvido em inúmeras funções nas plantas, destacando-se abertura dos estômatos, ativação de vários sistemas enzimáticos, fotossíntese, respiração, síntese de proteínas, de carboidratos, resistência ao ataque de pragas e doenças, e melhoria na qualidade industrial da cana-de-açúcar, independentemente da sua produtividade. Já, a deficiência reduz a translocação dos açúcares sintetizados nas folhas para os tecidos de armazenamento da cultura (FELIPE, 2008).

A adubação com KCl é utilizada pela maioria dos produtores rurais e nas áreas mais afastadas da usina/destilaria, nas quais a fertirrigação é inviável economicamente, ou quando o volume de vinhaça produzido é insuficiente (KORNDÖRFER et al., 1999).

Outra forma de disponibilizar potássio na área é através da palha. A palha deixada pela cana colhida sem queima é importante fonte de nutrientes. Devido ao fato do K não ser constituinte de nenhum composto existente na planta e estar presente na forma iônica o que facilita sua saída da célula após o rompimento da membrana plasmática, facilitando sua liberação (MALAVOLTA et al., 1997). Em avaliação feita com 10 variedades de cana-de-açúcar, encontrou-se valor médio de 130 kg ha⁻¹ de K acumulados na palha, e sua liberação pode atingir até 85% do K existente na palha, que pode reduzir sua aplicação em cana-soca (OLIVEIRA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2003). Assim, tem-se que, com a degradação da palha, seja suprido cerca de 70 kg ha⁻¹ de K₂O (ROSSETTO et al., 2008).

Kwong; Deville (1989) observaram que a aplicação de K promoveu aumento no rendimento e no teor de potássio na cana-de-açúcar, e em situações onde a precipitação era inferior a 2000 mm por ano, apenas a aplicação de dose única na soca era suficiente para vários cortes.

Na literatura, existem trabalhos indicando maior resposta da cana-soca cultivada com despalha a fogo à aplicação de potássio (KORNDÖRFER et al., 1999), além disso, os autores afirmam que a quantidade de potássio necessária para cana-soca depende dos níveis de K no solo e da produtividade esperada.

Em trabalhos na África do Sul também foi observado efeito benéfico na produção da cana-de-açúcar à aplicação de potássio (STEWART, 1969). Shukla et al. (2009) verificaram que a aplicação de K em cana-de-açúcar promoveu aumento no número de brotos, na produção e na absorção de nutrientes, sendo a dose de 66 kg ha⁻¹ de K₂O a responsável pela maior produção da cultura. Kumar et al. (2007), em cultivo de cana-soca em solo franco argiloso, também observaram que a maior produtividade da cultura (88 t ha⁻¹) foi obtida com a aplicação de 66 kg ha⁻¹ de K₂O.

Lana et al. (2004), trabalhando em Latossolo Vermelho, e aplicando quatro doses de K₂O (0 até 180 kg ha⁻¹), observaram que a adubação potássica teve efeito positivo sobre a produção de colmos e a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar. Outros estudo, apontam que o potássio não afeta o teor de açúcares na cana-de-açúcar (SILVA, 1997; ORLANDO FILHO et al., 1980); entretanto, devido ao aumento de produtividade, pode até aumentar a produção de açúcar por área (KORNDÖRFER, 1994). Por outro lado, quanto maior a dose de K aplicada, maior o teor de cinzas no caldo (SILVA, 1997; ORLANDO FILHO et al., 1980; KORNDÖRFER, 1994). Esse elevado teor de cinzas provoca efeitos negativos na fabricação do açúcar, reduzindo o rendimento industrial, enquanto no processo de produção do etanol, os constituintes das cinzas agem como cofatores do processo fermentativo (KORNDÖRFER, 1994). Assim, nota-se que é importante o equilíbrio do potássio na planta para garantir melhor produtividade e qualidade da cana-de-açúcar.

Diante do exposto, observa-se a importância da nutrição nitrogenada e potássica para a cultura da cana-de-açúcar e a necessidade de informações sobre a resposta de socas à aplicação desses nutrientes.

2.1.2 Material e métodos

O experimento foi instalado no Sítio São João, no município de Americana-SP, localizado geograficamente a 22°41'15.84" S de latitude e 47°19'18.62" W de longitude, em Latossolo Vermelho amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006).

O clima do município onde está instalado o experimento é tropical de altitude com inverno seco (Köppen: Cwa), com temperatura média mínima de 15°C e máxima de 26°C.

A área experimental é cultivada com cana-de-açúcar há muitos anos; em abril de 2009 a Usina Iracema renovou o canavial, sem fazer rotação de cultura, plantando a variedade CTC 9. Após isso, realizou-se preparo convencional na renovação do canavial onde foi aplicado 2 T de calcário (CaO = 24%, MgO = 17%, PN = 85 % e PRNT = 70%) a fim de se elevar o valor de saturação por bases a 60%, e a adubação N, P₂O₅ e K₂O de plantio foi de 33, 83 e 83 kg ha⁻¹, respectivamente. No primeiro corte da cana-planta (08-06-2010) a produção foi de 112 t ha⁻¹.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x4, sendo quatro doses de N (aplicação de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N), quatro doses de K (0, 50, 100 e 150 kg de K₂O ha⁻¹) e três repetições, em esquema fatorial incompleto conforme Littel; Mott (1975).

A unidade experimental foi composta por parcelas de seis linhas de cana-de-açúcar com 15 m de comprimento, espaçadas em 1,4 m entre as linhas, totalizando 126 m² por parcela, considerando as quatro linhas centrais como área útil, com um corredor de 2 m entre as parcelas (parte frontal).

As doses recomendadas de 120 kg ha⁻¹ de N e de 100 kg de K₂O ha⁻¹ foram indicadas para a cana-soca, com meta de alta produtividade no estado de São Paulo (ROSSETTO et al., 2008). Como fonte de nitrogênio e potássio foi utilizada, respectivamente, nitrato de amônio (32% de N) e cloreto de potássio (60% de K₂O).

O adubo foi aplicado nas linhas da soca de cana-de-açúcar, após a colheita da cana-planta (25-06-2010) e após o corte da primeira soca (25-06-2011). Salienta-se, ainda, que as doses de N e K₂O foram repetidas sempre nas mesmas parcelas e no mesmo local. Ressalta-se, que não foi necessário aplicar outros nutrientes, exceto o boro que foi aplicado via herbicida na dose de 700 g ha⁻¹ de B, na forma de ácido bórico de 200 L ha⁻¹ (VITTI; MAZZA, 2002).

Na primeira (25-07-2010) e na segunda (26-07-2011) soca de cana-de-açúcar, foi realizada amostragens de solo, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, a fim de avaliar os atributos químicos do solo. A amostragem de solo foi realizada próxima à linha da cultura (faixa de adubação), a partir de 6 pontos aleatórios na parcela útil (Figura 1.1). As determinações dos teores de nutrientes no solo seguiram os métodos descritos por Raij et al. (2001) e (VITTI, 1989). Parte da amostra de solo foi acondicionada em sacos plásticos e colocada em 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 ao laboratório. Em seguida essas amostras foram armazenadas a 0°C para extração e determinação de amônio e nitrato seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1985).

Figura 1.1 - Detalhe da amostragem de solo ao lado da linha das socas de cana-de-açúcar na camada de 0-20 **(A)** e de 20-40 **(B)** cm de profundidade do solo. Ano agrícola 2010/2011

Para as avaliações de crescimento, foi quantificado o número de colmos e altura das plantas aos cinco (na primeira soca 25-11-2010 e na segunda soca 25-10-2011) e nove (na primeira soca 25-03-2011 e na segunda soca 25-02-2012) meses após a brotação da cana-de-açúcar. O número de colmos foi determinado pela amostragem de 3 m nas quatro linhas de cada parcela, totalizando 12 m de soca em cada unidade experimental. A altura foi aferida, em oito plantas representativas por parcela, da superfície do solo até o ponto de inserção da primeira folha totalmente expandida (folha +1) (Figura 1.2 A) e o diâmetro dos colmos foi determinado com o uso de um paquímetro digital (Starrett 727-2001®) na metade do primeiro gomo,

logo após a superfície do solo em oito plantas representativas por unidade experimental (Figura 1.2 B). Para avaliação do número de falhas, considerou-se todo espaço na linha com intervalo, sem planta, superior a 50 cm como sendo uma falha, além disso, contabilizou-se o tamanho das falhas em metros (Figura 1.2 C).

Figura 1.2 - Detalhe da altura das plantas, **(A)**, avaliação do diâmetro do colmo **(B)** e da quantidade e tamanho das falhas **(C)** aos cinco meses após a brotação da cana-de-açúcar. Ano agrícola 2010/2011

O teor de nitrogênio e potássio das plantas foi determinado pela amostragem da folha +1, coletada aos 5 meses após a brotação da primeira (25-11-2010) e da

segunda (24-10-2011) soca de cana-de-açúcar (RAIJ; CANTARELLA, 1997) (Figura 1.3 A) e as determinações do teor de N e K no tecido vegetal, seguiram a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Figura 1.3 - Detalhe folha +1 para fins de determinação do estado nutricional d cana-de-açúcar **(A)** e da leitura SPAD **(B)**. Ano agrícola 2010/2011

Salienta-se que foi realizada a leitura SPAD, ou seja, efetuou-se a determinação indireta do teor de clorofila, com uso do aparelho Minolta SPAD-502 (Figura 1.3 B). Neste sentido, para a coleta da folha-diagnose e leitura SPAD, foi considerada a folha +1 (folha mais alta com colarinho visível “TVD”), e a leitura foi realizada nos 20 cm centrais da folha, excluída a nervura central, durante a fase de maior desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA 1997).

Nos dias 15-05-2011 e 12-06-2012 realizou-se amostragem de 10 colmos contíguos da linha central de cada parcela (SPIRONELLO, 1987) para a avaliação dos valores de fibra, açúcar redutor (AR), sólidos solúveis (Brix%) e teor de sacarose (Pol) da cana-de-açúcar (CONSECANA, 2003) (Figura 1.4 A). Nessa mesma ocasião colheu-se de forma mecanizada a cana-de-açúcar e a pesagem foi realizada mediante célula de carga acoplada no caminhão (Figura 1.4 B).

(A)

(B)

Figura 1.4 - Detalhe da amostragem dos feixes de cana-de-açúcar para análise qualitativa **(A)** e da colheita mecanizada de cana-de-açúcar no caminhão equipado com célula de carga **(B)**. Americana-SP, 2011

Com os resultados obtidos pela análise tecnológica foi calculado o ART, ou açúcar teórico recuperável (kg t^{-1}), conforme metodologia da Consecana (2003).

$$C = 1,0313 - 0,00575 \times F$$

$$PC = \text{Pol do caldo} \times (1 - 0,01 \times F) \times C$$

$$ARC = \text{AR do caldo} \times (1 - 0,01 \times F) \times C$$

$$ART = 10 \times PC \times 1,056 \times (1 - ART/100) + 10 \times (1 - ART/100)$$

Sendo: C=coeficiente de transformação da pol e do AR do caldo extraído em pol e AR do caldo absoluto; F=fibra da cana; PC=pol da cana; Pol= porcentagem aparente de sacarose contida no caldo da cana-de-açúcar; ARC=AR da cana;

$1,0526=360/342=$ fator estequiométrico de transformação da sacarose em AR; ART=perda industrial média dos açúcares contidos na cana em função dos processos industriais e tecnológicos utilizados no Estado de São Paulo (atualmente, PI=9,5%, conforme estabelecido pelo Consecana (Circular nº 10/05 – 7 dez. 2005)).

A análise de variância foi constituída para os tratamentos que receberam a aplicação de N e K₂O ao nível de 10 e 5% de probabilidade pelo Teste T.

2.1.3 Resultados e discussão

Verifica-se influência dos tratamentos, no teor de potássio do solo na camada de 0-20 cm de profundidade, na saturação por bases, no teor de amônio e nitrato do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade da primeira soca de cana-de-açúcar. Também ocorreu efeito no pH, na saturação por bases, no teor de amônio e nitrato do solo na camada de 0-20 e no teor de nitrato na camada de 20-40 cm de profundidade do solo da segunda soca de cana-de-açúcar (Tabela 1.1).

A aplicação de potássio diminuiu, de forma linear, a saturação por bases (SB) na camada de 0-20 e 20-40 cm (Figura 1.5 A), e aumentou, de forma linear, o teor de nitrato na camada de 20-40 cm de profundidade do solo da 1ª soca (Figura 1.5 B). Apesar do teor de K no solo ser influenciado pela interação da aplicação de N e K, tendo ponto de máximo na maior dose de K e menor de N (Figura 1.7 A). A diminuição do teor de K ocorreu devido ao local de amostragem ser cerca de 5 cm da linha da cana-de-açúcar, assim, como a cultura da cana-de-açúcar está em rápido crescimento e extração de nutrientes houve acentuado decréscimo do teor desse nutriente no solo, além disso, cabe enfatizar que o K é o nutriente mais absorvido e exportado pela cultura.

A aplicação de nitrogênio aumentou de forma linear o teor de nitrato na camada de 20-40 cm (Figura 1.5 C), o que levou ao aumento no teor de N da primeira e segunda soca de cana-de-açúcar (Figura 1.5 B). Paralelo a isso ocorreu diminuição na SB, com ponto de mínimo de 55,6 mmol_c dm⁻³ com a dose de 129 kg ha⁻¹ de N (Figura 1.5 C).

A fertilização nitrogenada também promoveu aumento, de forma linear, na leitura SPAD (Figura 1.5 D) do diâmetro dos colmos aos 5 e 9 meses, após a brotação da 2ª soca de cana-de-açúcar (Figura 1.5 E).

A aplicação de nitrogênio e potássio aumentou o teor de K na camada de 0-20 cm de profundidade do solo da 1ª soca (Figura 1.6 A), sendo o ponto de máximo de 5,79 mmol_c dm⁻³ atingido com a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N e 150 kg ha⁻¹ de K₂O, corroborando diversos relatos na literatura por Silva et al. (2005) e Perez & Melgar (2000).

Tabela 1.1 - Valores médios e Teste F do pH, K, H+Al, SB, V%, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, para primeira e segunda soca de cana-de-açúcar, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo em função da aplicação dos tratamentos

	pH	K	H+Al	SB	V	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³			%	mg dm ⁻³	
Primeira soca de cana-de-açúcar							
Camada de 0-20 cm de profundidade							
Média	5,8	2,3	18,7	59,5	77,1	1,6	5,6
N	0,58 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,40 ^{ns}	3,49**	0,87 ^{ns}	63,24***	41,67***
K	0,47 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,12 ^{ns}	3,15**	0,12 ^{ns}	24,30***	2,61 ^{ns}
N*K	0,03 ^{ns}	13,44***	0,01 ^{ns}	2,60 ^{ns}	0,03 ^{ns}	26,50***	21,61***
DMS	0,4	0,8	5,5	15,3	11,4	0,3	2,5
CV	7,3	37,2	29,5	25,6	14,7	16,8	44,6
Camada de 20-40 cm de profundidade							
Média	5,5	1,3	23,0	48,7	70,7	2,5	5,7
N	0,02 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,55 ^{ns}	51,19***
K	0,13 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,80**	0,01 ^{ns}	2,22 ^{ns}	5,24***
N*K	0,14 ^{ns}	2,13 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,30 ^{ns}	14,89***	1,52 ^{ns}
DMS	0,6	0,4	6,7	11,6	14,7	0,92	2,2
CV	10,3	31,9	29,1	23,7	20,8	37,4	38,3
Segunda soca de cana-de-açúcar							
Camada de 0-20 cm de profundidade							
Média	6,0	1,1	19,7	78,4	77,9	8,0	6,2
N	1,81 ^{ns}	2,14 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,83 ^{ns}	2,29 ^{ns}	0,83 ^{ns}
K	3,01**	1,67 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,37 ^{ns}	2,32 ^{ns}	4,82***	0,28 ^{ns}
N*K	3,16**	0,55 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,38 ^{ns}	3,83**	7,49***	0,04 ^{ns}
DMS	0,5	0,3	5,6	21,8	10,7	2,3	2,3
CV	8,7	29,5	28,6	27,9	13,7	28,7	36,8
Camada de 20-40 cm de profundidade							
Média	5,7	0,7	26,6	66,7	66,0	5,5	3,2
N	0,03 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}
K	0,64 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,95 ^{ns}	0,19 ^{ns}	2,16 ^{ns}	6,57***
N*K	0,39 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,20 ^{ns}	3,36**
DMS	0,8	0,2	9,9	24,3	17,6	2,0	1,3
CV	14,0	27,0	37,4	36,4	26,7	37,0	40,8

DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; pH-CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Figura 1.5 - Soma de bases na camada de 0-20 e 20-40 cm **(A)** e $N-NO_3^-$ na camada de 20-40 cm **(B)** de profundidade do solo da 1ª soca, em função da aplicação de potássio; valor da SB, na camada de 0-20 cm e $N-NO_3^-$, na camada de 20-40 cm na 1ª soca **(C)**, teor de nitrogênio nas folhas da 1ª e 2ª soca **(D)**, leitura SPAD da 2ª soca **(E)** e diâmetro dos colmos aos 5 e 9 meses após a brotação da 2ª soca de cana-de-açúcar **(F)**, em função da aplicação de nitrogênio. ** e *** - significativo a 10 e 5% de probabilidade pelo teste F

Figura 1.6 - Teor de K **(A)** e nitrato **(B)** na camada de 0-20 cm e de amônio na camada de 0-20 **(C)** e 20-40 **(D)** cm de profundidade do solo, altura das plantas aos cinco **(E)** e aos nove **(F)** meses após a brotação da primeira soca de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio e potássio.

Vários pesquisadores estudaram o nível crítico de K no solo para a cultura da cana-de-açúcar, Pérez; Melgar (2000) e Orlando Filho et al. (1980) definiram valores entre 2,1 e 2,6 mmol_c dm⁻³, valor esse que no presente trabalho foi ultrapassado com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K₂O na 1ª soca, onde obteve-se teor de K de 2,45 e 1,56 mmol_c dm⁻³ na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente. Todavia, na 2ª soca, esses valores médios de K não foram atingidos com essa dose,

pois verificaram-se valores médios de 1,30 e 0,82 mmol_c dm⁻³ na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente.

Na 1ª soca de cana-de-açúcar, a aplicação de nitrogênio e potássio também alterou o teor de N-NO₃⁻ (Figura 1.6 B), na camada de 0-20 cm, e de N-NH₄⁺ nas camadas de 0-20 (Figura 1.6 C) e 20-40 cm (Figura 1.6 D) de profundidade do solo, apresentando os pontos de máximos, respectivamente, de 22,80, 2,98 e 6,21 mg dm⁻³ com a aplicação de 149 kg ha⁻¹ de N e 0 kg ha⁻¹ K₂O, 180 kg ha⁻¹ de N e 150 kg ha⁻¹ K₂O, e 180 kg ha⁻¹ de N e 133 kg ha⁻¹ K₂O.

Verifica-se maior teor de nitrato do que amônio no solo. Isso provavelmente ocorreu devido ao solo apresentar boa aeração e conseqüentemente boa atividade das bactérias responsáveis pelo processo de nitrificação de amônio (GIRACCA, 2005).

Em relação ao N-NH₄⁺ verifica-se maior teor na camada de 20-40 em relação à camada de 0-20 cm de profundidade do solo, demonstrando a movimentação de nitrogênio no solo, além disso, o teor de N-NH₄⁺ no solo na camada de 20-40 foi maior que 0-20 cm. Provavelmente isso ocorreu devido à menor aeração com a profundidade do solo, menor nitrificação e aumento do N-NH₄⁺ com a profundidade do solo.

Verificou-se aumento de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ no solo em função da aplicação de nitrogênio na forma de nitrato de amônio, corroborando resultados encontrados por Silveira (1985) Primavesi et al. (2005). Verifica-se ainda que, na maior dose de nitrogênio, a maior concentração de nitrato no solo foi verificada na camada de 0-20 cm de profundidade, possivelmente devido à maior ocorrência de bactérias nitrificadoras (ROSOLEM et al., 2003), situação que se inverte na segunda soca, possivelmente devido ao acúmulo de palha na área, maior compactação com isso menor aeração e maior umidade do solo o que favorece o predomínio de N-NH₄⁺ a N-NO₃⁻ no solo.

A aplicação de nitrogênio e potássio afetou o pH (Figura 1.7 A), saturação por bases (Figura 1.7 B) e N-NH₄⁺ (Figura 1.7 C) na camada de 0-20 cm, e N-NO₃⁻ na camada de 20-40 cm de profundidade do solo (Figura 1.7 D), altura das plantas aos nove meses (Figura 1.7 E) e açúcar teórico recuperável aos onze meses (Figura 1.7 F), após a brotação da segunda soca de cana-de-açúcar, apresentando o ponto de máximo, respectivamente, de pH=6,82 em CaCl₂, V%=88,98, N-NH₄⁺ 17,93 e N-NH₄⁺ 3,95 mg dm⁻³ altura aos 5 meses após a brotação da cana-de-açúcar, 78 e

272 cm altura aos 9 meses após a brotação da cana-de-açúcar, e 153 kg t⁻¹ de ART, com a aplicação de 2 kg ha⁻¹ de N e 150 kg ha⁻¹ K₂O, 108 kg ha⁻¹ de N e 0 kg ha⁻¹ K₂O, 109 kg ha⁻¹ de N e 0 kg ha⁻¹ K₂O, 65 kg ha⁻¹ de N e 109 kg ha⁻¹ K₂O, 180 kg ha⁻¹ de N e 48 kg ha⁻¹ K₂O, e 0 kg ha⁻¹ de N e 150 kg ha⁻¹ K₂O.

A diminuição do pH com a aplicação de altas doses de N já foi relatada na literatura (VALE, 2009; VITTI et al.; 2002). Isso se deve ao processo de nitrificação, onde o íon amônio é convertido em nitrato e íons de hidrogênio são liberados e pode ocorrer perda de cátions para as camadas mais profundas do solo, acompanhando o ânion NO₃⁻ (TISDALE et al., 1985; HACLIN et al., 2005). Além disso, durante o processo de decomposição da matéria orgânica do solo, que é acelerado pelo fornecimento de nitrogênio, o primeiro produto com nitrogênio é o amônio e quando ele é convertido em nitrato, íons de hidrogênio são liberados, os quais podem causar a acidificação do solo (RAIJ, 1991).

Resultados semelhantes foram obtidos por Costa (2001) ao avaliar o efeito da aplicação de diferentes fontes de N nos atributos químicos do solo cultivado com cana-de-açúcar, pois evidenciou diminuição do V% e aumento de H+Al com a aplicação de N. Para Costa et al. (2007) a diminuição do pH é devido aos tratamentos culturais (adubação, calagem, culturas plantadas, sistema de cultivo etc.) sobre o meio de cultivo.

Na primeira soca de cana-de-açúcar, os tratamentos influenciaram o teor de N, aos cinco meses após a brotação da cana e a altura das plantas aos cinco e nove meses após a brotação da cana-de-açúcar. Na segunda soca, os tratamentos afetaram o teor de N, a leitura SPAD e o diâmetro das plantas aos cinco meses após a brotação da cana; o diâmetro e altura das plantas aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar (Tabela 1.2).

Na literatura existe diferentes faixas de teores adequados, para Raij; Cantarella (1997) a faixa adequada para N = 18-25 g kg⁻¹ e para K = 10-16 g kg⁻¹, para Costa (2001) a faixa adequada de N = 15,9-17,7 g kg⁻¹) e para Reis Jr; Monnerat (2003) a faixa de N adequada esta entre 13,4 e 22 g kg⁻¹, assim, verifica-se teor médio de N adequado apenas na 1ª soca (18,2 g kg⁻¹) e na 2ª soca (14,9 g kg⁻¹) e abaixo do adequado para potássio na 1ª (7,7 g kg⁻¹) e 2ª soca (8,7 g kg⁻¹) de cana-de-açúcar.

Figura 1.7 - pH (A), saturação por bases (B) e N-NH_4^+ (C) na camada de 0-20 cm, e N-NO_3^- na camada de 20-40 cm de profundidade do solo (D), altura das plantas aos nove meses (E) e açúcar teórico recuperável aos onze meses (F) após a brotação da segunda soca de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio e potássio

Tabela 1.2 - Valores médios do teor de N e K na folha +1, e variáveis biométricas e do Teste F, para primeira e segunda soca de cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos

	N ^a	K ^a	SPAD	Diâmetro	Nº colmos	Altura	Falhas
	—g kg ⁻¹ —			mm	m	cm	%
Primeira soca de cana-de-açúcar							
Cinco meses após brotação da cana-de-açúcar							
Média	18,2	7,7	34,6	29,5	10,7	60,1	7,3
N	14,72***	0,28 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,41 ^{ns}
K	0,15 ^{ns}	1,89 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,78 ^{ns}	5,05***	1,09 ^{ns}
N*K	0,67 ^{ns}	2,07 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,59 ^{ns}	3,81**	0,17 ^{ns}
DMS	1,5	1,2	2,3	1,9	2,0	8,9	5,7
CV	8,1	16,2	6,7	6,6	18,3	14,6	78,0
Nove meses após brotação da cana-de-açúcar							
Média	-	-	-	29,3	11,6	249,2	-
N	-	-	-	1,44 ^{ns}	1,16 ^{ns}	5,76***	-
K	-	-	-	1,64 ^{ns}	0,79 ^{ns}	4,44***	-
N*K	-	-	-	1,54 ^{ns}	2,44 ^{ns}	6,53***	-
DMS	-	-	-	2,1	1,3	9,8	-
CV	-	-	-	7,0	11,02	3,9	-
Segunda soca de cana-de-açúcar							
Cinco meses após brotação da cana-de-açúcar							
Média	14,9	8,7	35,6	20,8	26,7	35,9	8,2
N	3,43**	1,17 ^{ns}	5,55***	7,94***	0,55 ^{ns}	2,87 ^{ns}	2,13 ^{ns}
K	0,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,71 ^{ns}	2,01 ^{ns}	1,92 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,54 ^{ns}
N*K	0,11 ^{ns}	1,75 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,39 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,10 ^{ns}
DMS	2,1	1,4	2,4	1,6	5,3	7,5	6,7
CV	14,5	16,7	6,8	7,7	19,9	20,8	82,3
Nove meses após brotação da cana-de-açúcar							
Média	-	-	-	23,2	12,7	204,2	-
N	-	-	-	4,11***	0,02 ^{ns}	19,22***	-
K	-	-	-	2,50 ^{ns}	0,26 ^{ns}	11,55***	-
N*K	-	-	-	2,29 ^{ns}	0,05 ^{ns}	15,11***	-
DMS	-	-	-	1,7	1,9	10,3	-
CV	-	-	-	6,3	14,6	5,0	-

DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coefficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade; ^a - Teor adequado de N = 18-25 e K = 10-16 considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA,1997).

Não se verificou efeito da aplicação de K₂O no teor de K foliar, todavia, houve incremento na produção (Figura 1.8 A), mas não afetou o teor de fibra de cana-de-açúcar (Tabela 1.3), discordando dos resultados obtidos por Duarte Júnior & Coelho (2008), onde verificaram teor médio de 12 g kg⁻¹ de potássio, o que levou incremento em 37% da produção da cana-de-açúcar e em 7% o de fibra.

As diferenças entre os teores observados no trabalho e os relatados na literatura, possivelmente, ocorrem em função da época de amostragem, sendo que

foi considerado amostragem aos 4 meses após a brotação, enquanto Raij; Cantarella (1997) referem-se à amostragem em pleno desenvolvimento da cultura, que ocorre após os 4 meses da brotação e também a outros fatores, tais como cultivares (MENDES, 2006), condições edafoclimáticas, produtividades distintas e o efeito de diluição retratado por Jarrell; Beverly (1981), no qual a concentração dos nutrientes é diluída com o maior crescimento da planta.

Tabela 1.3 - Valores médios da produtividade, fatores qualitativos e do Teste F, para primeira e segunda soca de cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos

	Produtividade t ha ⁻¹	Brix	AR	POL	Fibra	ART kg t ⁻¹ de cana
Primeira soca de cana-de-açúcar						
Média	86,1	17,7	1,0	13,4	9,9	135,0
N	0,19 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,61 ^{ns}	0,01 ^{ns}
K	3,34 ^{***}	2,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	4,14 ^{***}	1,83 ^{ns}	4,21 ^{***}
N*K	1,20 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,18 ^{ns}	2,16 ^{ns}	2,29 ^{ns}
DMS	10,3	0,7	0,2	0,7	0,6	5,4
CV	12,0	4,0	18,1	5,3	6,2	4,0
Segunda soca de cana-de-açúcar						
Média	133,6	19,0	0,5	16,9	10,8	143,8
N	0,63 ^{ns}	0,39 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,17 ^{ns}
K	3,00 ^{**}	0,54 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,69 ^{ns}	1,30 ^{ns}
N*K	0,99 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,28 ^{ns}	2,75 ^{ns}	0,61 ^{ns}	3,26 ^{**}
DMS	25,6	0,5	0,2	0,6	0,5	4,8
CV	19,2	2,5	28,2	3,5	4,6	3,3

DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; BRIX-Sólidos solúveis totais; AR-Açúcar redutor; ART-Açúcar recuperável total; POL-Teor de sacarose; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

As doses de potássio não afetaram o número de colmos, diferindo resultados na literatura (UCHÔA et al., 2009), todavia o nº médio de colmos, aos 9 meses após a brotação da cana-de-açúcar, da 1ª (11,6 colmos por metro) e 2ª soca (12,7 colmos por metro), ficou acima da variação observada por Uchôa et al. (2009), no tratamento controle, que esteve entre 5,26 a 7,93 colmos por metro e no extremo acima da dose de maior eficiência técnica que variou de 8,67 a 11,60 colmos por metro, com incremento variando de 30 a 50% (UCHÔA et al., 2009). Moura et al. (2005) obtiveram 93.518 colmos ha⁻¹ usando uma cobertura de 236 e 232 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente, em sistema de plantio irrigado, neste trabalho o número de colmos médio foi de 77.333 e 84.667 colmos ha⁻¹ na 1ª e 2ª soca.

Os valores de diâmetro de colmo aos 9 meses após a brotação da cana-de-açúcar da 1ª (29,3 mm) e 2ª (23,2 mm) soca foram inferiores aos obtidos por Duarte Júnior; Coelho (2008) que alcançaram valores superiores a 28 mm em plantas com teor de potássio na folha superior a 11 g kg^{-1} . Já nas plantas com teor de K na folha igual a 8 g kg^{-1} o diâmetro foi de 22 mm, próximo ao obtido no estudo de Uchôa et al. (2009) e um pouco abaixo do obtido no presente trabalho (Tabela 1.2).

Neste trabalho a variação da altura oscilou de 240 a 273 aos 9 meses da 1ª soca e de 180 a 210 aos 9 meses da brotação da 2ª soca de cana-de-açúcar, diferindo da altura média obtida por Uchôa et al. (2009), onde verificaram variação de 1,93 a 2,61 m, possivelmente a menor altura das plantas observadas no presente trabalho é devido à época de amostragem, visto que no presente trabalho avaliou-se aos 9 meses e no trabalho de Uchôa et al. (2009) a altura foi aferida aos 12 meses, além de receber irrigação nos meses de outubro a fevereiro.

O teor de N e K variou de 16,3 a 19,7, e 7,5 a 10,7, na 1ª soca, e 7 a 19,2, e 8,7 a 10,7 na 2ª soca da cana-de-açúcar, respectivamente, verificando-se o efeito da aplicação de nitrogênio no aumento de N na 1ª e 2ª soca de 20 e 24% respectivamente (Figura 1.5 D). Para o teor foliar de N e K o extremo inferior observado na 1ª e 2ª soca ficou ligeiramente abaixo do recomendado e o extremo superior ficou dentro da faixa adequada (RAIJ; CANTARELLA, 1997), outros relatos na literatura apontam para teor adequado de K de $12,2 \text{ g kg}^{-1}$ tanto para cana-planta quanto para cana-soca (REIS JUNIOR; MONNERAT, 2003).

GOMEZ ALVAREZ (1974) acrescenta ainda que a concentração dos nutrientes nas folhas da cana-de-açúcar é afetada pela idade da cultura, variações climáticas (especialmente nebulosidade) e até a hora do dia, a qual indica como ideal das 6 às 8 horas da manhã. Portanto, nota-se que vários fatores podem afetar o teor foliar dos nutrientes na cana-de-açúcar, o que contribui para pequenas diferenças nos teores dos nutrientes relatados na literatura.

A aplicação dos tratamentos afetou a produtividade da primeira e segunda soca de cana-de-açúcar, o Pol da cana na primeira soca e o ART da segunda soca de cana-de-açúcar (Tabela 1.2).

A aplicação de K aumentou, de forma quadrática, a produtividade da 1ª e 2ª soca de cana-de-açúcar, tendo como ponto de máxima a produção de 87,5 e 141,5 t ha^{-1} com as doses de 83 e 81 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente (Figura 1.8). Essa maior produção da 2ª soca pode ser justificada pela maior precipitação nos meses

de agosto a dezembro (Tabela 3) que influenciou no maior nº de colmos da 2ª soca se comparado à primeira (Tabela 1.2). Para Uchôa et al. (2009), a variedade RB 867515 se destacou por apresentar os maiores valores para número de colmos por metro, altura de colmo e diâmetro de colmo, considerados por Landell; Silva (2004) como atributos de produção, determinantes de maior potencial agrícola.

O Brix variou de 17,7 a 19,0, estando dentro da faixa observada na literatura (UCHÔA et al., 2009; MOURA et al., 2005).

A Pol e ART da 1ª soca e a produtividade da 1ª e 2ª soca da cana-de-açúcar aumentaram conforme a aplicação de K, de forma quadrática, tendo como ponto de máxima 14,19% de Pol, 135,9 t ha⁻¹ de ART, 81,8 e 141,5 t ha⁻¹ de cana com as doses de 124, 86, 83 e 81 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figuras 1.8 A e B).

Figura 1.8 – Pol e ART da 1ª soca (A) e produtividade da 1ª e 2ª soca (B) de cana-de-açúcar em função da aplicação de potássio. ** e *** - significativo a 10 e 5% de probabilidade pelo teste F

Sabe-se que a deficiência de potássio na planta afeta a produtividade da cana-de-açúcar e pode diminuir a qualidade da matéria prima, influenciando nas características agroindustriais. Pérez; Melgar (2000) constataram que a aplicação de potássio aumenta a produtividade e quantidade de açúcar em cana-de-açúcar cultivada em Andisols e Entsoils (Neossolo Flúvico), corroborando os aumentos da Pol e ART na 1ª soca e da produtividade na 1ª e 2ª soca de cana neste trabalho (Figuras 1.8 A e B).

Resultados na literatura apontam para interação N e K indicando as doses de 236 kg ha⁻¹ de N e 222 kg ha⁻¹ de K₂O responsáveis por incrementos de 58% na produtividade de colmos e de 5,7 t ha⁻¹ de açúcar em relação à dose de 44 kg ha⁻¹ de N e 41 kg ha⁻¹ de K₂O (MOURA et al., 2005). Outros resultados na literatura

apontam para respostas linear a aplicação de K_2O (ROSSETTO et al., 2004). No presente trabalho, não houve efeito da aplicação de N na produção, todavia, a aplicação de K_2O aumentou em 7,7 e 34,5% a produção da 1ª e 2ª soca de cana-de-açúcar, respectivamente. Uchôa et al. (2009) verificaram que a aplicação de potássio proporcionou incrementos na massa de colmo em seis variedades de cana-de-açúcar, variando de 46 a 156%.

Não houve efeito da aplicação de N e K_2O no teor de sólidos solúveis medidos por meio do Brix, corroborando resultados de Uchôa et al. (2009) em seis variedades de cana-de-açúcar, e contradizendo experimentos que verificaram que a aplicação de potássio aumentou o Brix (PÉREZ; MELGAR, 2000). Entretanto, Assis et al. (2004), trabalhando com variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação e níveis da adubação, verificaram que os diversos níveis de adubação não influenciaram nos rendimentos industriais da cana-de-açúcar, porcentagem de sacarose aparente no caldo (%POL) e o Brix.

2.1.4 Conclusões

A aplicação de nitrogênio e potássio afetou a fertilidade do solo, teor foliar de N, açúcar teórico recuperável e crescimento da cana-de-açúcar.

A aplicação de 80 kg ha^{-1} de K_2O é suficiente para apresentar alta produtividade da primeira (87 t ha^{-1}) e da segunda soqueira de cana-de-açúcar (141 t ha^{-1}) e não houve resposta a aplicação de nitrogênio.

Referências

ASSIS, P.C.O.; LACERDA, R.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C.H.A. Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 04, n. 02, p. 1-12, 2004.

BHELLA, H.S.; WILCOX, G.E. Yield composition of muksmelon as influenced by preplant and trickle applied nitrogen. **Hortscience**, Alexandria, VA, v.21, n.1, p.86-88, 1986.

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.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA). **Manual de instruções**. 4. ed. Piracicaba, 2003. 115p.

COSTA, M.C.G. **Eficiência agronômica de fontes nitrogenadas na cultura da cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo**. 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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 socas de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1503-1514, 2007.

DUARTE JÚNIOR, J.B.; COELHO, F.C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 576-583, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileira de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas**; princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

FELIPE, D.C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. Paraíba, 2008. 78p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2008.

GIRACCA, E.M.N. **Efeito do calcário em atributos biológicos do solo**. 2005. 61p. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

GOMEZ-ALVAREZ, F. Correlacion entre algunos niveles de nutrientes el cana de azucar. **Revista de La Facultad de Agronomia**, Maracay, v. 7, p. 5-12, 1974.

HACLIN, J.L.; TISDALE, S.L. BEATON, J.D.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**: na introduction to nutrient management. New Jersey: Pearson Pretice Hall, 2005. 515p.

JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 34, p. 197-224, 1981.

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

KORNDÖRFER, G.H.; RIBEIRO, A.C.; ANDRADE, L.A.B. **Cana-de-açúcar**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 285-288.

KUMAR, S.; RANA N.S.; CHANDRA, R.; SANDEEP, K. Effect of phosphorus and potassium doses and their application schedule on yield, juice quality and nutrient use efficiency of sugarcane-ratoon crop sequence. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, Pantnagar, v. 55, n. 4, p.122-142, 2007.

KWONG, K.F.N.K.; DEVILLE, J. Timing potassium fertilizer applications to sugarcane in Mauritius. **Sugar Industry Research Institute**, Réduit, v. 20, n.3, p. 153-158, 1989.

LANA, R.M.Q.; KORNDÖRFER, G.H.; ZANÃO JÚNIOR L.A.; MACIEL JÚNIOR, V.A. Parcelamento da adubação potássica na ca-planta. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.23, n.2, p.28-31, 2004.

LANDELL, M.G.A.; SILVA, M.A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 1, p. 18-23, 2004.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E. VITTI, G.C. OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba:Potafos, 1997. 308p.

MATOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B.V. 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.

MENDES, L.C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 48p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MOURA, M.V.P.S.; FARIAS, C.H.A.; AZEVEDO, C.A.V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H.M.; PORDEUS, R.V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

OLIVEIRA, A.L.M.; CANUTO, E.L.; REIS, V.M. BALDANI, J.I. Response of micropropagated sugarcane varieties to inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. **Brazilian Journal of Microbiology**, Rio de Janeiro, v. 34, p. 59-61, 2003.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J. de C.; PENATTI, C.P. Degradação da palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999.

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

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELO JÚNIOR, E.; RODELLA, A.A. Calibração de potássio no solo e recomendação de adubação para cana-de-açúcar. **Revista Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 97, n. 1, p. 18-24, 1980.

PÉREZ, O.; MELGAR, M. Sugar cane response to nitrogen, phosphorus and potassium application in Andisol soils. **Better Crops International**, Atlanta, v. 14, n. 1, p. 20-22, 2000.

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, p. 129-135, 2002.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A. CANTARELLA, H.; SILVA, A.G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 247-253, 2005.

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. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

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).

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.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. Fertilidade do solo e nutrição de plantas. **Bragantia**, Campinas v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M.G.A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes na cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 1, p. 8-13, 2008.

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.

SHUKLA, S.K.; YADAV, R.L.; SINGH, P.N.; SINGH, I. Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter

initiated sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid complex) ratoon yield. **Uttar Pradesh, India**, v. 30, n. 1, p. 27-33, 2009.

SILVA, F.C. da; BERGAMASCO, A.F.; MONTALI, E.F.; RODRIGUES, L.H.; FARIAS, J.R.B. Avaliação da adubação nitrogenada e potássica em cana-de-açúcar baseada em modelos. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA, 2., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2005. p. 763-822.

SILVA, G.M.A. Cana crua x cana queimada. Restrições técnicas e implicações sociais e econômicas. In: SEMANA DA CANA-DEAÇÚCAR DE PIRACICABA, 2., 1997. Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 55-57.

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.

SPIRONELLO, A. Aplicação de aquamônia, uréia, 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., 1987, Olinda. **Anais...** Piracicaba: STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos, 1987. p. 94-102.

STEWART, M.J. Potassium and sugarcane. **South African Sugar Journal**, Mount Edgecombe, v. 53, n. 2, p. 108-121, 1969.

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).

TISDALE, S.L.; NELSON, W.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers.** 4th .ed. New York: Macmillan Publishing, 1985. 754p.

UCHÔA, S.C.P.; ALVES JÚNIOR, H.O.; ALVES, J.M.A.; MELO, V.F.; FERREIRA, G.B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505-513, 2009.

VALE, D.W. **Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar.** 2009. 132p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2009.

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, 2007.

VITTI, A.C. **Utilização pela cana-de-açúcar (cana-planta) do nitrogênio da uréia (¹⁵N) e do mineralizado no solo em sistemas de manejo com e sem queima.**

1998. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; OLIVEIRA, M.W. Volatilização de amônia da adubação nitrogenada aplicada sobre solo coberto com palha de cana-de-açúcar: efeito na produtividade da cana-soca. In: CONGRESSO NACIONAL DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8, 2002. Recife: **Anais...** Recife: **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, 2002. p. 239-244.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta.** Jaboticabal:FUNEP, 1989. 37p.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar.** POTAFOS, 2002. 16p. (Encarte Técnico, 970)

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; HAAG, H.P.; ORLANDO FILHO, J. Influência da época de amostragem foliar e do tipo de solo na diagnose foliar de socas de cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, p. 23-30, 1981.

2.2 Inoculante em manejos da palha no teor de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , nutrição e produção de cana-de-açúcar

Resumo

A colheita mecanizada, sem o uso da despalha a fogo provoca mudanças no manejo da aplicação dos fertilizantes, especialmente ao nitrogênio que em curto prazo necessita de maiores doses, todavia, esse nutriente pode ser suprido pela fixação biológica. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de inoculante contendo mistura de cinco espécies de bactérias fixadoras de nitrogênio e nitrogênio mineral em diferentes manejos da palha da cultura sobre a manutenção de fertilidade do solo, nutrição e produção de cana-de-açúcar. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições, com nove tratamentos: 1-0 kg de N no MPT (manejo da palha distribuída em área total); 2-aplicação de inoculante no MPT; 3-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPT; 4-0 kg de N no MPRL (manejo da palha retirada apenas das linhas de cana-de-açúcar); 5-aplicação de inoculante no MPRL; 6-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPRL; 7-0 kg de N no MP2:1 (manejo da palha retirada a cada duas linhas); 8-aplicação de inoculante no MPT; 9-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MP2:1. Avaliou-se a fertilidade do solo há um mês, as variáveis biométricas aos cinco e nove meses, teor de N e K foliar aos cinco meses e variáveis tecnológicas e produção de colmos aos doze meses após a brotação da primeira e segunda soca de cana-de-açúcar. A aplicação de inoculante não aumentou a produtividade da cana-de-açúcar. O MPRL se mostrou como o mais promissor em relação ao crescimento e produtividade da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: amônio, fixação biológica de N, nitrato, palha, *Saccharum* spp.

Abstract

The mechanical harvesting without the use of fire straw removal causes changes in the management of fertilizer application, particularly with the nitrogen that short-term needs larger doses. However, this nutrient can be supplied by biologic fixation. In this context, the objective was to evaluate the effect of inoculant content mixture of five species of nitrogen-fixing bacteria in different mineral management of soil fertility, nutrition and production of sugarcane. The experimental design was a randomized block design with three replications with nine treatments: 1-0 kg of N in the MPT (distribution of the straw in all place); 2-application of inoculant in the MPT; 3-30 kg ha⁻¹ of N + application of inoculant in the MPT; 4-0 kg of N in the MPRL (straw removed only on the lines of sugarcane); 5- application of inoculant in the MPRL; 6-30 kg ha⁻¹ of N + application of inoculant in the MPRL; 7-0 kg of N in the MP2:1 (windrowing the straw each two lines); 8- application of inoculant in the MPT; 9-30 kg ha⁻¹ of N + application of inoculant in the MP2:1. We evaluated the soil fertility, a month, biometric variables at five and nine months, K and N content at five months and technological variables and straw yield at twelve months after sprouting of the first and second ratoon sugarcane. The inoculant application did not increase productivity variety of sugarcane CTC 9. The management of straw removing line

sugarcane (MPRL) proved to be the most promising in relation to growth and productivity of cane sugar.

Keywords: Ammonium; Biological nitrogen fixation; Nitrate; Straw; *Saccharum* Spp.

2.2.1 Introdução

Pesquisas com fixação biológica de nitrogênio (FBN) no Brasil foram iniciadas na década de 40, e esses estudos ganharam visibilidade com a descoberta de duas bactérias fixadoras de nitrogênio em gramíneas: *Beijerinckia fluminensis* em cana-de-açúcar (DÖBEREINER; RUSCHEL, 1958) e *Azotobacter paspali* com *Paspalum notatum* cv. Batatais (DÖBEREINER, 1966).

Com o tempo, novas bactérias fixadoras foram identificadas: bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico tais com as *rizosféricas* (*Beijerinckia fluminensis*, hoje renomeada para *Azorhizophilus paspali* e *Azotobacter paspali*), associativas (*Azospirillum lipoferum*, *A. brasilense*, *A. amazonense*) e as endofíticas (*Herbaspirillum seropedicae*, *H. rubrisubalbicans*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Burkholderia kururiensis* e *B. tropica*) (BALDANI; BALDANI, 2005). No Brasil, a produção de inoculante para leguminosas se iniciou na década de 1950 (FREIRE, 1968), sendo a turfa o veículo mais utilizado pela indústria até o momento. Todavia, a turfa é frequentemente importada, já que no país não existe grande disponibilidade de turfas de boa qualidade, e por ser um recurso natural pouco frequente (BUCHER; REIS, 2008).

A bactéria *Beijerinckia fluminensis* sobrevive em diferentes regiões do país (DÖBEREINER, 1959; BALDANI et al., 1999). Suas principais características são a capacidade de utilizar sacarose como fonte de carbono, menor diâmetro celular e incapacidade de tolerar pH alcalino (MAGALHÃES et al., 1983).

Os mecanismos de promoção de crescimento vegetal, causado pela ação das bactérias, incluem ações diretas como a fixação biológica de nitrogênio, produção de reguladores de crescimento vegetal, solubilização de fosfato e ações indiretas, como o controle biológico, produção de sideróforos e aleloquímicos e indução de resistência local e sistêmica (OLIVARES, 2009).

As bactérias diazotróficas podem promover o crescimento vegetal tanto pela fixação biológica de nitrogênio (FBN) como pela produção de substâncias que auxiliam o crescimento radicular, como o ácido indol acético, entre outros. Assim, as

bactérias diazotróficas associativas são consideradas rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (RPCV), e assumem papel importante na interação com raízes de plantas e ciclagem de nutrientes, entre outros.

Admite-se que eficiência similar às simbioses rizóbio-leguminosas no solo não pode ser alcançada, já que quando no interior das plantas, para as bactérias associativas não há evidências de relação tão complexa e organizada quanto a presente nas simbioses de bactérias nodulíferas com leguminosas que é resultante de um processo muito mais evoluído que minimiza perdas do nitrogênio fixado por interferência de fatores químicos, físicos e biológicos. No entanto, cálculos da contribuição de N fixado para gramíneas estão em torno de 25 a 50 kg N/ha/ano o que equivale ao suprimento médio de cerca de 17% das demandas das culturas (MOREIRA et al., 2010).

Pesquisas realizadas por Lima et al. (1987) com *Gluconacetobacter diazotrophicus* indicam que algumas variedades de cana-de-açúcar podem obter 60% do nitrogênio mediante a fixação biológica.

O grupo de bactérias fixadoras também é capaz de produzir fitos-hormônios como o ácido-indol acético (AIA) (VANDE BROEK VANDERLEYDEN, 1995), que estimula o desenvolvimento radicular, aumentando a densidade e o crescimento das raízes laterais e a sua área superficial (OKON; LABANDERA-GONZALES, 1994).

Döbereiner (1959) verificou a presença de *Beijerinckia* em 95% das amostras de solos cobertas por canaviais contra somente 60% dos solos sob outras vegetações. A autora atribuiu a influência favorável da cana-de-açúcar sobre a população de *Beijerinckia* à grande quantidade de resíduos ricos em sacarose que permanecem no solo e excretas de sacarose pela folha que seria levada ao solo pela chuva, sendo este composto um dos melhores alimentos para essa bactéria. Essa autora ressaltou que existe relação bastante íntima entre esse gênero de bactérias e a cana, considerando em até certo ponto como simbiótica, tendo em vista que a bactéria é alimentada pela cana e esta por sua vez aproveita o nitrogênio fixado pela bactéria. Anos mais tarde, por meio da atividade da nitrogenase, medida pela metodologia da redução do acetileno¹, a quantificação da fixação biológica em cana-de-açúcar por bactérias do gênero *Beijerinckia* verificada foi de 50 kg ha⁻¹ de N ano⁻¹ (DÖBEREINER et al., 1973).

Essas bactérias apresentam vários mecanismos de proteção para sobreviverem, tais como: formação de cisto, produção de melanina, de poli-β-

hidroxibutirato e de polissacarídeos que podem facilitar a sobrevivência em condições desfavoráveis (DEL GALLO; FENDRIK, 1994). Apesar de esses organismos serem geralmente classificados como bactérias de rizosfera, colonizando, principalmente, a zona de elongação das raízes e os pelos radiculares (DÖBEREINER et al., 1995), algumas estirpes de *Azospirillum* também podem ser encontradas no interior do vegetal (DOBEREINER et al., 1995; BODDEY; DOBEREINER et al., 1995).

Assmus et al. (1995) mostraram que a estirpe Sp245 de *A. brasiliense* colonizou tanto o interior dos pelos radiculares quanto os vasos do xilema de raízes de trigo, enquanto a estirpe Sp7 apenas colonizou a superfície das raízes. De acordo com os resultados de estudos sobre infecção e colonização de plantas por *Azospirillum*, Baldani et al. (1997) propuseram o termo endófito facultativo para essas bactérias, capazes de infectar e colonizar o interior das plantas e, ao mesmo tempo, com boa capacidade de sobrevivência no solo.

A infecção e colonização de plantas por bactérias caracterizam-se pela adesão e posterior penetração e multiplicação no interior das mesmas. Essa penetração pode ocorrer pelas seguintes vias: estômatos, hidatódios, nectários, lenticelas, tricomas quebrados, emergência de raízes laterais e feridas nas paredes celulares da planta (REIS; OLIVARES, 2006).

A planta não forma nenhum nódulo, porém, é colonizada por uma bactéria que evoluiu com a cultura; ou seja, é dependente dela para a sua sobrevivência e não patogênica, mas vive dentro da planta, colonizando os espaços intercelulares (apoplasto) (REIS, et al., 2009).

As bactérias contidas no inoculante estimulam o crescimento radicular, pois todas produzem hormônios de crescimento e também podem atuar no biocontrole de patógenos da cultura (REIS, et al., 2009).

Para Oliveira et al. (2006), a aplicação anual de nitrogênio nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil encontram-se ao redor de 50 kg ha⁻¹ de N, com custo aproximado de R\$ 860,00 t⁻¹. Se a aplicação de nitrogênio reduzisse pela metade (menos de 125,000 t de N ano⁻¹) devido à fixação biológica, os produtores poderiam economizar cerca de R\$ 107,5 ano⁻¹ ha⁻¹, e isso poderia significar importante economia no setor sucroalcooleiro e redução do custo de produção da bioenergia, além de reduzir a emissão de CO₂.

Oliveira et al. (2006), testando o efeito da aplicação de inoculante com adubação nitrogenada em cana-planta e primeira soca, verificou melhor inoculação em áreas de baixa e média fertilidade do solo.

A contribuição do processo biológico de fixar nitrogênio atmosférico (FBN) permite dizer que a cana-de-açúcar pode obter até 70% da demanda de N por meio da FBN, dependendo da variedade, da fertilidade do solo, das condições climáticas e do manejo da cultura (REIS, et al., 2009).

Oliveira et al. (2003) verificaram que a contribuição da FBN para as plantas de cana cultivadas no campo durante 18 meses após a inoculação com mistura de bactérias diazotróficas endofíticas na fase micropropagada estava na faixa de 20 a 30% do total do N acumulado nos tecidos da planta. Outros estudos mostraram que a contribuição da FBN média para as variedades de cana colhida em áreas produtoras de cana no Brasil é de cerca de 30% (BODDEY et al., 2001). No entanto, esses valores variaram de 0 a 70% dependendo do nível do molibdênio disponível no solo (POLIDORO, 2001).

Bactérias diazotróficas podem se associar à cana-de-açúcar naturalmente, ou podem ser inoculadas para promover efeitos benéficos. Oliveira et al. (2006) avaliaram o efeito da inoculação de misturas bacterianas nas variedades SP 701143 e SP 813250 e verificaram resposta positiva na fixação biológica de nitrogênio, contribuindo com aproximadamente 30% do nitrogênio acumulado, indicando que a combinação de espécies bacterianas é estratégia adequada para melhorar a fixação de nitrogênio em cana-de-açúcar.

Silva et al. (2009), avaliando o efeito da utilização de inoculantes compostos por diferentes estirpes de bactérias diazotróficas e pelos polímeros carboximetilcelulose e amido, sobre a fixação de nitrogênio em cana-de-açúcar, verificaram aumento médio na produtividade das variedades RB 72454 e RB 867515 de 50 e 30 t ha⁻¹, respectivamente.

Prado Junior (2008), ao testar as variedades RB 72454 e IACSP 936006, que receberam inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo, observou aumento da produtividade de colmos na variedade RB 72454, que recebeu inoculação por pulverização no momento do corte, na linha de plantio, com concentração de cerca de 107 células mL⁻¹ de *Gluconacetobacter diazotrophicus*, estirpe BR11281, com produtividade de colmos de 161 t ha⁻¹, favorecida tanto pela presença de N como pela inoculação.

Shankariah; Hunsigi (2001), testando o efeito da aplicação de inoculante com *Azospirillum brasiliense* e *Gluconacetobacter diazotrophicus* de 9 e de 5 Mg ha⁻¹, respectivamente, observaram aumento da produtividade da cana-de-açúcar. No entanto, outros estudos não demonstram efeito ao uso de inoculante, como observado por Canuto et al. (2003), ao mostrar que a resposta à inoculação é bastante variável e parece ser dependente de vários fatores, principalmente o genótipo da planta e o ambiente de produção.

Govindarajan et al. (2006), ao avaliarem a inoculação de *Burkholderia vietnamiensis* estirpe MG43, *Gluconacetobacter diazotrophicus* estirpe ATCC49037, *Herbaspirillum seropedicae* ATCC35892, e a combinação das três, nas variedades Co 86032 e Co 86027 de cana-de-açúcar micropropagada, em diferentes épocas de avaliação e até aos 12 meses após o plantio, verificaram que a inoculação com estirpe MG43 foi mais eficiente e promoveu produção da ordem de 20 e 19%, a mais, obtendo produtividade de 191 e 175 t ha⁻¹, respectivamente nas variedades.

Govindarajan et al. (2007), avaliaram a inoculação das estirpes de *Klebsiella* sp. GR9 (nova estirpe), *Gluconacetobacter diazotrophicus* ATCC49037, *Herbaspirillum seropedicae* ATCC35892, *Burkholderia vietnamiensis* LMG10929T e *Azospirillum lipoferum* LMG4348, junto com a aplicação de 140 kg ha⁻¹ de N fornecido à variedade de cana-de-açúcar Co 92102, onde observaram que a inoculação de *Klebsiella* sp. GR9 e *G. diazotrophicus*, associada à aplicação de 140 kg ha⁻¹ de N, promoveu maiores produções de massa de matéria seca (3,7 e 3,1 g por planta, respectivamente), superando o tratamento controle que recebeu 280 kg ha⁻¹ de N.

Estudos realizados por Boddey et al. (2001), Polidoro et al. (2001) e Xavier (2006), quanto à seleção de variedades de cana com potencial para fixação biológica de nitrogênio, mostraram que a variedade RB 72454 apresentou resposta significativa no acúmulo de nitrogênio da parte aérea, o que evidenciou o potencial dessa variedade para a FBN em solos com baixos teores de nitrogênio.

Outros trabalhos avaliaram a redução de 100% da adubação com N na cana de primeiro ano (cana-planta) e de até 50% na cana-soca, fase da cultura que geralmente demanda as maiores quantidades de fertilizantes nitrogenados. Isto significa uma economia anual de aproximadamente 400 mil toneladas de nitrogênio, tornando os derivados da cultura (etanol e açúcar) ainda mais competitivos no

mercado internacional, bom para a economia do produtor e para a preservação do meio ambiente (REIS, et al., 2009).

Suman et al. (2005), ao avaliarem a inoculação individual das estirpes de *Gluconacetobacter diazotrophicus* IS100, IS107, IS111, IS112, IS113, IS120 e IS121, associada à adubação mineral nitrogenada na dose 75 kg ha⁻¹ de N em cana-de-açúcar da variedade CoSe 92423, verificaram que a inoculação de todas as estirpes, exceto a IS121, favoreceram o acúmulo de nitrogênio na parte aérea da planta, com incrementos de 7,32 a 21,97%, em relação ao controle.

Leite et al. (2008) estudaram o efeito da inoculação da mistura de cinco bactérias sobre o acúmulo de nitrogênio total das variedades RB 72454 e RB 867515, na região Norte Fluminense, e verificaram que a inoculação e a re-inoculação não promoveram incrementos significativos no conteúdo total de nitrogênio na parte aérea das plantas. Entretanto, foi verificado que a variedade RB 72454 apresentou maior eficiência em fixar nitrogênio (em torno de 15% a mais), apresentando acúmulo de 124 kg ha⁻¹ de N. Segundo esses autores, os maiores acúmulos de N foram obtidos quando as variedades foram cultivadas com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N e com re-inoculação dos toletes.

Estudos realizados com a mistura de cinco espécies de bactérias diazotróficas endofíticas em duas variedades de cana-de-açúcar observaram maiores contribuições da FBN no solo de menor fertilidade em ambas as variedades, e aumentos produtivos na variedade SP 701143, por outro lado, a inoculação na variedade SP 813250 apresentou decréscimo de produtividade (OLIVEIRA et al., 2003). Outros trabalhos demonstram respostas similares de produtividade da variedade SP 701143 da área que recebeu aplicação de duas misturas de bactérias diazotróficas e N mineral (OLIVEIRA et al., 2006).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de inoculante e nitrogênio em três manejos da palha, nos atributos químicos do solo, teor de nitrogênio e potássio na planta, fatores biométricos e produtividade da cana-de-açúcar.

2.2.2. Material e métodos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 9 tratamentos, que passam-se a detalhar: 1-0 kg de N no MPT (manejo da palha distribuída em

área total); 2-aplicação de inoculante no MPT; 3-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPT; 4-0 kg de N no MPRL (manejo da palha retirada apenas das linhas de cana-de-açúcar); 5-aplicação de inoculante no MPRL; 6-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPRL; 7-0 kg de N no MP2:1 (manejo da palha retirada a cada duas linhas); 8-aplicação de inoculante no MPT; 9-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MP2:1.

O fertilizante foi aplicado nas linhas da soca de cana-de-açúcar, após a colheita da cana-planta (25-06-2010) e após o corte da primeira soca (25-06-2011) (Figura 1.5). Salienta-se, ainda, que as doses de N e K₂O foram repetidas sempre nas mesmas parcelas e no mesmo local. Ressalta-se, que não foi necessário aplicar outros nutrientes, exceto o boro que foi aplicado via herbicida na dose de 700 g ha⁻¹ de B, na forma de ácido bórico, com solução de 200 L ha⁻¹ (VITTI; MAZZA, 2002).

Na ocasião da aplicação do fertilizante mineral (após colheita da cana-planta: 25-06-2010 e após o corte da primeira soca: 25-06-2011), aplicou-se o inoculante, que é composto por coquetel de bactérias diazotróficas inicialmente selecionado por Oliveira et al. (2002, 2006), com vazão de 200 L ha⁻¹, aplicando em média 10⁸ cel mL⁻¹ de bactérias.

Na Tabela 2.1 são descritas as espécies, identificação das estirpes e origem do isolamento que foi preparado no Laboratório de gramíneas da Embrapa Agrobiologia e entregue para realização do experimento.

Tabela 2.1 - Bactérias que compõe o inoculante para cana-de-açúcar – espécie, estirpe e origem do isolamento

Espécie	Estirpe	Origem do isolamento
<i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i>	BR11281 ¹	Raízes - <i>Saccharum</i> spp. (híbrido)
<i>Herbaspirillum seropedicae</i>	BR11335	Raízes - <i>Saccharum</i> spp. (SP 701143)
<i>Herbaspirillum rubrisubalbicans</i>	BR11504	Colmos - <i>Saccharum</i> spp. (SP 701284)
<i>Burkholderia tropica</i>	BR11366 ^T	Gemas - <i>Saccharum</i> spp. (SP 711406)
<i>Azospirillum amazonense</i>	BR11145	Colmos - <i>Saccharum</i> spp. (CB 453)

A aplicação foi realizada com o conjunto trator e pulverizador adaptado para aplicação de nematicida e inseticida em soca. Pulverizadores acoplados ao implemento contendo três discos de corte, que abriu um sulco de pequena espessura sobre a soca, aplicaram o produto no sulco aberto ocasionando uma porta de entrada para as bactérias inoculadas.

Nos tratamentos sem aplicação do inoculante procedeu-se o corte da soca como nos demais tratamentos. O implemento foi regulado para aplicação de 200 L ha⁻¹, considerando o espaçamento de 1,40 m, em que foi aplicado 28 mL m⁻¹ de inoculante. Aplicou-se o inoculante, previamente umedecido em água mediante corte mecânico das socas de cana-de-açúcar utilizando turfa como substrato na primeira (Figura 2.1) e gel na segunda soca (Figura 2.2).

Figura 2.1 - Detalhe do inoculante dissolvido em água **(A)** e da aplicação do inoculante nas linhas da primeira soca de cana-de-açúcar **(B)** (25-06-2010). Ano agrícola 2010/2011

Na primeira (25-07-2010) e na segunda (26-07-2011) soca de cana-de-açúcar foram realizadas as amostragens de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, a fim de avaliar o nitrato, amônio, pH e saturação por bases no solo.

A amostragem de solo foi realizada próxima à linha da cultura (faixa de adubação), a partir de 6 pontos aleatórios na parcela útil (Figura 1.1). As determinações seguiram os métodos descritos por Raji et al. (2001) e Vitti (1989). Parte da amostra de solo foi acondicionada em sacos plásticos e colocada em caixa térmica contendo gelo ainda na área experimental, a fim de minimizar alterações nas concentrações de amônio e nitrato, conforme indicações de Mattos Júnior et al. (1995) para o transporte do campo ao laboratório. Em seguida essas amostras foram armazenadas em “freezer” (0°C) para extração e determinação de amônio e nitrato seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1985).

Para as avaliações de crescimento foi quantificado o número de colmos, a determinação de altura, diâmetro do colmo e o número de falhas na lavoura de cana-de-açúcar na primeira soca, aos cinco (25-11-2010) e aos nove (25-03-2011)

meses após a brotação, enquanto na segunda soca, as mesmas avaliações foram realizadas aos cinco (25-10-2011) e aos nove (25-02-2012) meses após a brotação da cana-de-açúcar.

Figura 2.2 - Detalhe das estirpes de inoculante **(A)**, da dissolução em água **(B)** e da aplicação do inoculante nas linhas da segunda soca de cana-de-açúcar **(C)** (25-06-2011). Ano agrícola 2011

O número de colmos foi determinado pela amostragem de 3 m nas quatro linhas centrais de cada parcela, totalizando 12 m de soca em cada unidade experimental. A altura foi aferida, em oito plantas representativas por parcela, da superfície do solo até o ponto de inserção da primeira folha totalmente expandida

(folha +1) (Figura 1.2 a) e o diâmetro dos colmos foram determinados com o uso de um paquímetro digital (Starrett 727-2001®) na metade do primeiro gomo, logo após a superfície do solo, em oito plantas representativas por unidade experimental (Figura 1.2 b). Para avaliação do número de falhas considerou-se todo o intervalo na linha superior a 50 cm sem planta como sendo uma falha, além disso, foi contabilizado o tamanho das falhas em metros (Figura 1.2 c).

O teor de nitrogênio das plantas foi determinado pela amostragem da folha +1 coletada aos 5 meses após a brotação da primeira (25-11-2010) e da segunda (24-10-2012) soca de cana-de-açúcar (RAIJ; CANTARELLA, 1997) e sua determinação seguiu a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) (Figura 1.3 a). Nessa mesma ocasião, avaliou-se a medida indireta do teor de clorofila com uso do aparelho Minolta SPAD-502 (Figura 1.3 b), feita na mesma folha-diagnose (folha +1) com leituras realizadas nos 20 cm centrais da folha. Previamente à colheita (15-05-2011) realizou-se amostragem de 10 colmos contíguos na linha central de cada parcela (SPIRONELLO, 1987) para a determinação dos valores de fibra, açúcar redutor (AR), sólidos solúveis (Brix) e teor de sacarose (Pol) da cana-de-açúcar (CONSECANA, 2003) (Figura 1.4 a). A cana-de-açúcar foi colhida de forma mecanizada com pesagem realizada mediante célula de carga acoplada ao caminhão (Figura 1.4 b).

Baseado nos resultados obtidos pela análise tecnológica foi calculado o açúcar teórico recuperável (ART) em kg t^{-1} , conforme metodologia da Consecana (2003):

$$C=1,0313-0,00575 \times F$$

$$PC=\text{Pol do caldo} \times (1-0,01 \times F) \times C$$

$$ARC=\text{AR do caldo} \times (1-0,01 \times F) \times C$$

$$\text{ART}=10 \times PC \times 1,056 \times (1-\text{ART}/100) + 10 \times (1-\text{ART}/100)$$

Sendo: C=coeficiente de transformação da pol e do AR do caldo extraído em pol e AR do caldo absoluto; F=fibra da cana; PC=pol da cana; Pol= porcentagem aparente de sacarose contida no caldo da cana-de-açúcar; ARC=AR da cana; $1,0526=360/342$ = fator estequiométrico de transformação da sacarose em AR; ART=perda industrial média dos açúcares contidos na cana em função dos processos industriais e tecnológicos utilizados no Estado de São Paulo (atualmente, PI=9,5%, conforme estabelecido pelo Consecana (Circular n] 10/05 – 7 dez. 2005).

A análise estatística foi baseada em comparação de médias pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

2.2.3. Resultados e discussão

Os manejos influenciaram a produtividade da cana-de-açúcar, assim como o teor de fibras (Figura 2.3).

Figura 2.3 - Produtividade **(a)** e teor de fibra **(b)**, para o manejo da palha distribuída em área total (MPT), palha retirada apenas das linhas (MPRL) e palha retirada a cada duas linhas da cana-de-açúcar (MP2:1), da primeira e segunda soca de cana-de-açúcar. Letras minúsculas referem-se a diferença ao nível de 5% pelo Teste F da 1ª soca, enquanto as letras maiúscula referem-se a diferença ao nível de 5% pelo Teste F da 2ª soca.

O manejo MP2:1 apresentou menor produtividade nas duas socas avaliadas. Possivelmente, em consequência de sua menor produtividade, este último manejo apresentou maior teor de fibra, mas não diferiu do MPT da 1ª soca (Figura 2.3 b).

A menor produtividade no MP2:1 pode ser explicada pelo fato de concentrar a palha em uma entre linha ocorre um desbalanceamento na disponibilidade de nutrientes, visto que com a mineralização dessa palha são liberados nutrientes apenas na entre linha onde se concentra a palha, principalmente o K que é facilmente disponibilizado. Outro fator que pode ter afetado negativamente o MP2:1 é que nesse manejo ocorre maior incidência de raios solares o que aumenta a evaporação de água no solo e consequentemente diminui a disponibilidade de água essencial para absorção de nutrientes, crescimento e produtividade da cana-de-açúcar, e ainda provoca aumento das fibras na cultura (Figura 2.3).

Por outro lado, o MPRL apresentou maior produtividade na 1ª e na 2ª de cana-de-açúcar, devido a retirada da palha das linhas de cana-de-açúcar favorecer a brotação das plantas, número de perfilhos e diminuir a incidência de pragas se comparado ao MPT e MP2:1.

Os efeitos dos manejos da palha nos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- foram observados, sendo que, para o N-NH_4^+ , com exceção da camada de 20-40 cm da 2ª soca, verificaram-se menores teores de N-NH_4^+ para o MPT (Tabela 2.1, 2 e 3), porém este último não diferiu do tratamento 5 e 7. Para o N-NO_3^- houve efeito dos manejos apenas na camada de 0-20 cm da 1ª e na camada de 20-40 cm de profundidade do solo (Tabela 2.3), evidenciando que a aplicação de inoculante (tratamentos 2, 5 e 8) e 30 kg ha⁻¹ de N + inoculante (tratamentos 3, 6 e 9) tiveram aumento no teor de nitrato no solo (Tabela 2.3).

Pelos resultados, verifica-se que o manejo da palha interfere na liberação de N e consequentemente no teor de N no solo, nesse sentido, resultados indicam que a palha da cana-de-açúcar pode liberar de 40 a 80 kg ha⁻¹ de N (VITTI et al., 2008).

Nesse contexto, Vallis et al. (1996) observaram redução da adubação nitrogenada em até 40 kg ha⁻¹ em solo da Austrália onde foi cultivado cana-de-açúcar por período superior a 20 anos.

Tabela 2.3 - Valores médios das variáveis analisadas e significância do Teste F, para os tratamentos no manejo da palha distribuída em área total (MPT), palha retirada apenas das linhas (MPRL) e palha retirada a cada duas linhas da cana-de-açúcar (MP2:1), da primeira e segunda soca de cana-de-açúcar

Tratamentos	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N	SPAD
	mg dm ⁻³				g kg ⁻¹	
	—0-20 cm—		—20-40 cm—			
	Primeira soca de cana-de-açúcar					
1	1,0b	0,8c	1,5	0,3	17,8b	36,3ab
2	1,4b	2,0bc	1,2	0,2	15,9b	35,3ab
3	1,5b	7,3ab	0,5	1,0	24,9a	35,9abc
4	2,9ab	2,6bc	2,8	5,3	16,4b	38,3a
5	0,3b	1,0c	0,9	1,1	17,1b	35,1bc
6	4,3a	10,3a	2,4	4,2	18,9ab	33,3c
7	1,1b	1,3c	1,1	0,1	16,5b	35,4bc
8	4,7a	4,2bc	6,3	2,3	15,8b	34,4bc
9	2,2ab	3,4bc	3,8	8,8	16,2b	35,5bc
Teste F	5,72*	6,18**	2,07 ^{ns}	2,29 ^{ns}	3,78*	5,14**
Média	2,1	3,7	2,26	2,56	17,73	35,5
CV	52,12	61,03	98,89	132,45	14,41	2,96
DMS	2,87	5,79	5,80	8,81	6,63	2,73
Segunda soca de cana-de-açúcar						
1	9,1ab	2,9	4,6ab	1,7cb	13,0	32,9
2	7,7b	5,9	4,7ab	3,5abc	13,3	30,9
3	16,6a	6,3	5,1ab	2,7bcd	14,0	31,2
4	8,1b	3,5	6,1ab	1,5cb	17,1	37,7
5	7,0b	5,1	7,8ab	5,0ab	16,9	34,5
6	12,2ab	7,0	10,6a	5,9a	16,6	38,0
7	5,6b	2,2	4,1b	5,9cd	15,5	36,5
8	5,2b	4,1	4,0b	0,8d	15,5	33,7
9	5,7b	5,2	4,6ab	0,8cd	14,7	5,3
Teste F	5,24**	2,59 ^{ns}	3,28*	13,66*	2,13 ^{ns}	2,96 ^{ns}
Média	8,6	4,7	5,7	2,7	15,2	34,1
CV	32,57	36,77	36,08	31,70	12,06	8,16
DMS	8,11	5,00	6,00	2,44	5,31	8,08

*, ** e ^{ns} - diferença significativa ao nível de 5 e 1% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 5% de probabilidade; ^a - Teor adequado de N = 18-25 considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA,1997). 1-0 kg de N no MPT; 2-aplicação de inoculante no MPT; 3-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPT; 4-0 kg de N no MPRL; 5-aplicação de inoculante no MPRL; 6-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPRL; 7-0 kg de N no MP2:1; 8-aplicação de inoculante no MPT; 9-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MP2:1.

Tabela 2.4 - Valores das variáveis de crescimento e significância do Teste F, para os tratamentos no manejo da palha distribuída em área total (MPT), palha retirada apenas das linhas (MPRL) e palha retirada a cada duas linhas da cana-de-açúcar (MP2:1), da primeira e segunda soca de cana-de-açúcar

Tratamentos	Diâm. mm	Colmos m	Altura cm	Falhas %	Diâm. mm	Colmos m	Altura cm
	5 meses após a brotação da cana				9 meses após a brotação da cana		
Primeira soca de cana-de-açúcar							
1	29,9ab	9,7ab	51,3b	9,7	27,6	11,3bc	241,1abc
2	24,7c	9,1b	55,3ab	9,2	26,4	12,3abc	248,2abc
3	30,3ab	10,0ab	50,0b	6,0	29,2	10,3c	229,0bc
4	30,7a	12,5ab	69,0ab	10,7	27,1	14,3a	264,8a
5	30,8a	12,6ab	69,0ab	11,1	29,0	13,3ab	261,7ab
6	28,4abc	14,4a	73,3a	4,4	27,4	13,3ab	248,8abc
7	25,4c	8,1b	53,0ab	13,6	26,7	11,3bc	227,9c
8	26,0bc	8,9b	52,0b	4,0	28,2	9,67c	218,0c
9	26,5bc	8,6b	53,0ab	8,7	28,4	12,0abc	217,0c
Teste F	6,66**	3,93**	4,05**	0,89 ^{ns}	1,36 ^{ns}	6,31**	5,42**
Média	28,1	10,4	58,46	8,6	27,77	12,00	239,6
CV	5,87	18,39	13,55	68,33	5,34	8,67	5,50
DMS	4,27	4,98	20,54	15,21	3,85	2,70	34,2
Segunda soca de cana-de-açúcar							
1	17,7c	27,7ab	33,1bc	8,0ab	2,2c	12,7abc	179,6a
2	18,3bc	25,0ab	44,2ab	8,3ab	3,1ab	9,3c	190,9a
3	19,1abc	34,0a	36,2abc	4,0ab	3,1ab	103bc	189,6a
4	22,7a	22,0ab	47,2a	11,3ab	3,3a	16,0a	206,5a
5	20,8abc	18,7ab	45,0ab	10,7ab	3,2ab	17,0a	207,9a
6	19,6abc	34,0a	38,3abc	15,3a	3,1ab	13,0abc	205,8a
7	21,6abc	19,0ab	28,9c	4,7ab	2,8ab	12,3abc	85,8b
8	19,4abc	12,3b	35,4abc	5,7ab	2,7b	9,0c	76,4b
9	21,9ab	19,7ab	26,8c	3,0b	3,2a	35,5ba	117,7b
Teste F	4,75**	3,10*	6,67**	3,18*	13,05**	7,37**	26,10**
Média	20,1	23,6	37,2	7,9	3,0	12,8	162,2
CV	6,74	30,4	12,9	49,6	5,7	14,5	11,21
DMS	3,94	20,83	13,93	11,35	0,49	5,4	52,83

*, ** e ^{ns} - diferença significativa ao nível de 5 e 1% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 5% de probabilidade; Diâm.-Diâmetro; 1-0 kg de N no MPT; 2-aplicação de inoculante no MPT; 3-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPT; 4-0 kg de N no MPRL; 5-aplicação de inoculante no MPRL; 6-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPRL; 7-0 kg de N no MP2:1; 8-aplicação de inoculante no MPT; 9-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MP2:1.

Tabela 2.5 - Valores médios da produtividade e fatores qualitativos, para os tratamentos no manejo da palha distribuída em área total (MPT), palha retirada apenas das linhas (MPRL) e palha retirada a cada duas linhas da cana-de-açúcar (MP2:1), da primeira soca e segunda de cana-de-açúcar

Tratamentos	Produtividade t ha ⁻¹	Brix	AR	POL	Fibra	ART kg t ⁻¹
Primeira soca de cana-de-açúcar						
1	82,1abc	17,3	1,0	12,7	10,3ab	129,4
2	65,3cd	17,2	1,0	12,8	9,9abc	130,2
3	90,5abc	17,3	0,8	13,1	9,9abc	132,9
4	80,2abcd	18,6	0,7	14,3	9,6bc	142,4
5	108,4a	17,3	1,0	13,0	9,1c	134,2
6	97,4ab	18,1	0,8	13,5	9,5bc	137,9
7	71,6bcd	17,6	0,8	13,3	10,0abc	133,8
8	51,2d	18,3	0,9	13,3	10,7ab	136,0
9	62,6cd	17,9	3,3	13,1	11,1a	132,4
Teste F	7,50**	1,24 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,05 ^{ns}	5,19**	1,37 ^{ns}
Média	78,8	17,7	1,13	13,21	10,00	134,35
CV	14,54	4,5	121,22	5,94	4,76	4,41
DMS	29,7	2,07	3,57	2,04	1,23	15,38
Segunda soca de cana-de-açúcar						
1	122,8ab	19,0	0,5	16,9	11,0	143,0
2	115,6ab	18,6	0,4	16,3	10,7	140,1
3	123,5ab	19,7	0,4	17,7	11,0	150,0
4	114,7ab	19,3	0,3	17,2	11,0	145,8
5	140,6a	19,6	0,4	17,8	10,9	150,4
6	140,6a	19,2	0,4	17,2	10,8	146,7
7	70,8c	19,1	0,5	17,0	11,5	142,9
8	71,0c	19,2	0,4	17,3	11,7	144,8
9	99,3bc	19,4	0,3	17,6	11,0	149,0
Teste F	10,15**	1,14 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,75 ^{ns}	1,79 ^{ns}	1,69 ^{ns}
Média	111,0	19,2	0,4	17,2	11,1	145,9
CV	12,77	2,85	23,65	3,65	3,81	3,22
DMS	41,17	1,60	0,27	1,82	1,22	13,63

*, ** e ^{ns} - diferença significativa ao nível de 5 e 1% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 5% de probabilidade; Brix-Sólidos solúveis totais; AR-Açúcar redutor; ART-Açúcar recuperável total; POL-Teor de sacarose; 1-0 kg de N no MPT; 2-aplicação de inoculante no MPT; 3-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPT; 4-0 kg de N no MPRL; 5-aplicação de inoculante no MPRL; 6-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MPRL; 7-0 kg de N no MP2:1; 8-aplicação de inoculante no MPT; 9-30 kg ha⁻¹ de N + aplicação de inoculante no MP2:1.

A maior produção na 2ª soca pode ser justificada devido a maior precipitação nos meses de outubro e novembro de 291 e 200 mm da 2ª soca contra 117 e 87 mm na 1ª soca (Tabela 3) o que favoreceu que favoreceu o crescimento das plantas de cana-de-açúcar. Além disso, a temperatura média mínima nos meses de junho a dezembro na 2ª soca foi de 17,5°C contra 10,5°C na primeira soca, e a temperatura

média no mesmo período foi de 24,1°C na 2ª soca contra 23,6°C na 1ª soca (Tabela 3), ressalta-se que temperaturas acima de 25°C promovem maior velocidade no crescimento da cana e abaixo desse valor o crescimento da cana-de-açúcar tende a reduzir chegando ao mínimo de crescimento com temperaturas abaixo de 23°C (LYRA et al., 1999).

O maior teor de fibra no MP2:1 também é justificado devido ao nível de palha, nutrição mineral da planta, ressaltando que a análise dos atributos químicos do solo apontam para variação de fertilidade entre os manejos (Tabela 2.5) e até mesmo devido às diferentes variedades de cana-de-açúcar cultivada, quando se compara os resultados experimentais e os da literatura (SOUZA et al., 2005).

Os tratamentos apresentaram efeitos nos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo na 1ª e 2ª soca, exceto para camada de 20-40 cm para o teor de N-NH_4^+ e N-NO_3^- da 1ª soca e 0-20 cm de profundidade da 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 2.3).

Observou-se efeito dos tratamentos para todas as variáveis, exceto para % de falhas aos 5 meses após a brotação da cana e para o diâmetro dos colmos aos 9 meses após a brotação da 1ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 2.3 e 2.4).

Verifica-se teor médio adequado de N apenas na 1ª soca para os tratamentos que receberam 30 kg ha⁻¹ de N + inoculante no MPT (Tratamento 3) e no MPRL (Tratamento 6) conforme dados da literatura para N = 18-25 g kg⁻¹ (RAIJ; CANTARELA, 1997). Todavia, Costa (2001), trabalhando com a 3ª soca de cana-de-açúcar, colhida sem despalha a fogo, observou que na folha +1 o teor de N variou de 15,8 até 18,8 g kg⁻¹, estando o teor médio entre 15,9 e 17,7 g kg⁻¹ adequado para a cultura. Para Reis Jr; Monnerat (2003), na folha +3, a faixa de N adequada está entre 13,4 e 22 g kg⁻¹, colocando o teor de N encontrado no experimento adequando para as plantas de cana-de-açúcar.

As diferenças entre os teores observados no trabalho e os relatados na literatura, possivelmente, ocorrem em função da época de amostragem, sendo que foi considerado amostragem aos 4 meses após a brotação, enquanto que Raij; Cantarella (1997) referem-se à amostragem em pleno desenvolvimento da cultura, que ocorre após os 4 meses da brotação e também a outros fatores, tais como cultivares (MENDES, 2006), condições edafoclimáticas, produtividades distintas e o efeito de diluição retratado por Jarrell; Beverly (1981), no qual a concentração dos nutrientes é diluída com o maior crescimento da planta. Gomez Alvarez (1974)

acrescenta ainda que a concentração dos nutrientes nas folhas da cana-de-açúcar é afetada pela idade da cultura, variações climáticas (especialmente nebulosidade) e até a hora do dia, o qual indica como ideal das 6 às 8 horas da manhã. Portanto, nota-se que vários fatores podem afetar o teor foliar dos nutrientes na cana-de-açúcar, o que contribui para pequenas diferenças nos teores dos nutrientes relatados na literatura.

Embora a 1ª soca tenha apresentado efeito dos tratamentos para a leitura SPAD e a altura das plantas nas duas socas esses efeitos foram distintos em cada soca. Para a leitura SPAD na 1ª soca, os tratamentos no MPT (tratamentos 1, 2 e 3) e tratamento 4 apresentaram o maior valor SPAD, mas não se correlacionaram com os teores de N.

A leitura SPAD é interessante para ter um indicativo da disponibilidade de N para a cana-de-açúcar, pois cerca de 50 a 70% do N total na folha está associado a enzimas presentes nos cloroplastos (CHAPMAN; BARRETO, 1997). O índice relativo de clorofila (IRC), geralmente, correlaciona-se com o teor de N na folha (MINOTTI et al., 1994), podendo indicar a deficiência de N na planta (WOOD et al., 1993). Todavia, estudos envolvendo a aplicação de índices SPAD para avaliar o estado nutricional em nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar são escassos na literatura, Wiedenfeld (1997) não verificou influência da aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar na leitura SPAD da folha, assim como Vale (2009), que avaliou os efeitos da aplicação de nitrogênio na segunda soca de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, não evidenciou correlação entre a aplicação de nitrogênio mineral, teor foliar de N na folha e leitura SPAD. Neste estudo, a aplicação de inoculante (tratamentos 2, 5 e 8) e 30 kg ha⁻¹ de N + inoculante (tratamentos 3, 6 e 9) afetaram o teor de nitrogênio foliar, mas não afetaram a leitura SPAD, demonstrando que essa ferramenta não se mostrou eficiente em prever o teor de N em cana-de-açúcar.

Para o diâmetro dos colmos, nº de colmos e altura das plantas evidencia-se superioridade dos tratamentos no MPRL em relação aos tratamentos no MPT e MP2:1, sendo que a aplicação de inoculante ou 30 kg ha⁻¹ + inoculante não apresentaram aumento no crescimento das plantas (Tabela 2.4).

Observou-se efeito dos tratamentos na produtividade da 1ª e 2ª soca e no teor de fibra da 1ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 2.4).

No caso da aplicação de nitrogênio, é sabido que tanto o excesso quanto a deficiência têm influência na qualidade tecnológica dos colmos. Na deficiência de nitrogênio, decresce o teor de umidade da planta, diminuindo a qualidade do caldo, aumenta o teor de fibra, diminui a concentração de sacarose, ocorre acúmulo de sacarose nas folhas e alta relação folha:colmo. Com excesso de nitrogênio, ocorre seu acúmulo no colmo, piora a qualidade do caldo e atrasa a maturação (CARNAÚBA, 1990), todavia, neste trabalho a aplicação de inoculante ou 30 kg ha⁻¹ + inoculante não afetou a qualidade da cana-de-açúcar (Tabela 2.3).

Em relação à influência da aplicação de nitrogênio na qualidade da cana-de-açúcar, Prado; Pancelli (2006) avaliaram a nutrição nitrogenada em duas soqueiras de cana-de-açúcar em sistemas de colheita mecanizada sem queima na qualidade tecnológica da variedade SP 791011 e constataram que a qualidade tecnológica da primeira soca também não foi afetada pelas doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹).

Verifica-se efeito do MP na produtividade da cultura, todavia, a aplicação de inoculante (tratamentos 2, 5 e 8) e 30 kg ha⁻¹ de N + inoculante (tratamentos 3, 6 e 9) não afetaram a produtividade da cultura (Tabela 2.4).

O aumento do teor de amônio e nitrato no solo com a aplicação de N é esperado nos tratamentos que receberam a aplicação de nitrogênio mineral, todavia, PRIMAVESI et al. (2005) observaram que a aplicação de N (0 a 200 kg ha⁻¹) em capim-coastcross não alterou as concentrações de amônio no solo em diferentes profundidades (0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm), todavia, nesse trabalho, as concentrações de nitrato no solo aumentaram de 0,8 para 10,3 mg dm⁻³ na camada de 0-20 cm de profundidade da 1ª soca de cana-de-açúcar.

Ressalta-se ainda que, no presente trabalho, observaram-se maiores teores de nitrato na 1ª soca, mas na 2ª soca esse efeito é invertido e os teores também aumentaram significativamente, isso ocorre, porque quando o amônio está presente no solo pode ser oxidado a nitrato, em uma reação mediada por bactérias autotróficas durante o processo de nitrificação (SILVA; VALE, 2000). Neste sentido, AMOR ASUNCIÓN (1965) verificou que existe relação direta entre bactérias autotróficas e teor de nitrato no solo.

Neste trabalho observou-se aumento de amônio e nitrato com a aplicação de nitrogênio, corroborando estudos de Silveira (1985), por outro lado, LUCA (2002),

trabalhando com a aplicação de N em cana-de-açúcar (sem queima) em quatro cortes, constatou aumento nos teores de N apenas na camada de 0-5 cm.

Oliveira et al. (2006), testando o efeito da aplicação de duas misturas de bactérias diazotróficas no crescimento de duas variedades de cana-de-açúcar em três tipos de solo, verificaram que o uso de bactérias fixadoras de nitrogênio contribuíram para o crescimento da variedade de cana-de-açúcar SP 701143 cultivada em Alfisol sem a aplicação de nitrogênio ao longo de três cultivos, e a produtividade foi equivalente ao tratamento que recebeu N mineral. Segundo os autores, a média das duas variedades de cana-de-açúcar produziu mais quando cultivadas nos Latossolos, e nos tratamentos que receberam a mistura de bactérias fixadoras, além disso, no primeiro corte, foi obtido maior produtividade das variedades de cana nos três tipos de solos, nos tratamentos que receberam a mistura de bactérias fixadoras de nitrogênio, provavelmente, porque as respostas à aplicação de inoculante são predominantes em áreas de baixa e média fertilidade (OLIVEIRA et al., 2006). No presente trabalho, não se verificou resposta a aplicação de inoculante, provavelmente devido a boa fertilidade do solo e ou boa produtividade na ausência de aplicação de fertilizantes (tratamentos 1, 4 e 7) (Tabela 2.4).

A aplicação anual de nitrogênio nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil encontram-se ao redor de 50 kg ha^{-1} de N, com custo aproximado de R\$ 860,00 t^{-1} (OLIVEIRA et al., 2006). Se a aplicação de nitrogênio reduzisse pela metade (menos de $125,000 \text{ t de N ano}^{-1}$) devido à fixação biológica, os produtores poderiam economizar cerca de R\$ 107,5 ano^{-1} , e isso poderia significar importante economia no setor sucroalcooleiro e redução do custo de produção da bioenergia, além de reduzir a emissão de CO_2 (OLIVEIRA et al., 2006). Todavia, pelo presente estudo, verificou-se que com a aplicação de inoculante ou aplicação de 30 kg ha^{-1} de N + inoculante não levaram a aumento de produtividade na 1ª e 2ª soca (Tabela 2.4).

Prado Junior (2008), ao testar as variedades RB 72454 e IACSP 936006, que receberam inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo, observou aumento da produtividade de colmos na variedade RB 72454, que recebeu inoculação por pulverização no momento do corte, na linha de plantio, com concentração de cerca de 10^7 células mL^{-1} de *Gluconacetobacter diazotrophicus*, estirpe BR11281, com produtividade de colmos de 161 t ha^{-1} , favorecida tanto pela presença de N como pela inoculação. Todavia, cabe ressaltar que a resposta à inoculação é bastante variável e parece ser dependente de vários fatores,

principalmente o genótipo da planta e o ambiente de produção (CANUTO et al., 2003).

Nesse contexto, estudos realizados por Boddey et al. (2001) e Polidoro (2001), quanto à seleção de variedades de cana com potencial para fixação biológica de nitrogênio, mostraram que a variedade RB 72454 apresentou resposta significativa no acúmulo de nitrogênio da parte aérea, o que evidenciou o potencial dessa variedade para a FBN em solos com baixos teores de nitrogênio, isso justifica a alta adaptabilidade à diferentes tipos de solo e fertilidade dessa variedade de cana-de-açúcar.

Todavia, por hectare, KORNDÖRFER; MARTINS (1992) relatam que ocorre aumento linear na quantidade de açúcar produzida com aplicação de N, apesar de também resultar, em elevação no teor de umidade dos colmos, levando à redução no teor de sacarose.

Outros trabalhos com soqueira de cana-de-açúcar verificaram que a adubação nitrogenada não afetou diretamente a Pol da cana, todavia, afetou a produtividade e consequentemente a Pol em t ha⁻¹ (CAMPANHÃO et al., 2005).

2.2.4. Conclusões

A aplicação de inoculante não aumentou a produtividade da cana-de-açúcar.

O MPRL se mostrou como o mais promissor em relação ao crescimento e produtividade da cana-de-açúcar.

Referências

AMOR ASSUNCIÓN, M.J. Determinación de Azotobacter em caixas de solico-gel sin secado. **Ciencia Y Investigacion Agraria**, Santiago, v. 21, p. 368-370, 1965.

ASSMUS, B.; HUTZLER, P.; KIRCHOF, G.; AMANN, R.; LAWRENCE, J.R.; HARTMANN, A. In situ localization of Azospirillum brasilense in the rhizosphere of wheat with fluorescently labeled, rRNA-targeted oligonucleotide probes and scanning confocal laser microscopy. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v. 61, p.1019-1031, 1995.

BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 3 p. 549-579, 2005.

BALDANI J.I.;AZEVEDO M.S.; REIS V.M.; TEIXEIRA K.R.S.; OLIVARES F.L.; GOI S.R.; BALDANI V.L.D.; DÖBEREINER J. Fixação biológica de nitrogênio em gramíneas: avanços e aplicações. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GHILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.;CARVALHO, J.G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS/UFLA, 1999. p. 621–666.

BOLONGNA-CAMPBELL, I.B. **Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112p.. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BODDEY, R.M.; DÖBEREINER, J. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: recent progress and perspectives for the future. **Fertility Research**, Haren/Holanda, v. 42, p. 241-250, 1995.

BODDEY, R.M, POLIDORO, J.C.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA,S. Use of the ¹⁵N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N₂ fixation sugar cane and other grasses. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 28, p. 889–895, 2001.

BURDMAN, S.; JURKEVITCH, E.; SCHWARTSBURD, B.; HAMPEL, M.M.; OKON, Y. Aggregation in Azospirillum brasilense: effects of chemical and physical factors and involvement of extracellular components. **Microbiology**, Washington, v.144, p.1989-1999, 1998.

BUCHER, C.A.; REIS, V.M. **Biofertilizante contendo bactérias diazotróficas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. 17p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 247).

CAMPANHÃO, J.M.; BARBOSA, V.; DURIGAN, A.M.P.R.; MUTTON, M.A. Manejo da soqueira da cana-de-açúcar submetida a queima acidental da palha remanescente da colheita mecanizada. **STAB – Açúcar, Alcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 23, p. 33-37, 2005.

CANUTO, E. de L.; SALLES, J.F.; OLIVEIRA, A.L.M.; PERIN, L.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. Respostas de plantas micropropagadas de cana de açúcar à inoculação de bactérias diazotróficas endofíticas. **Agronomia**, Rio de Janeiro, v.37, p.67-72, 2003.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 422-423.

CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 24-41, 1990.

CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomic Journal**, Madison, v. 89, n. 1, p. 557-562, 1997.

COSTA, M.C.G. **Eficiência agronômica de fontes nitrogenadas na cultura da cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo**. 2001. 79p. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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 Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 631-637, 2003.

DEL GALLO, M.; FENDRIK, I. The rhizosphere and *Azospirillum*. In: **Azospirillum/plant associations**. OKON, Y (Ed.). Rehovot: CRC Press, 1994. p. 57-75,

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA). **Manual de instruções**. 4. ed. Piracicaba, 2003. 115p.

DÖBEREINER, J. *Azotobacter paspali* sp. nov., uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 1, 357–365, 1966.

DÖBEREINER, J. Sobre a ocorrência de *Beijerinckia* em alguns solos do Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 19, p. 151–160, 1959.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V.L.D.; REIS, V.M. Endophytic occurrence of diazotrophic bacteria in non-leguminous crops. In: FENDRIK, I.; DEL GALLO, M.; VANDERLEYDEN, J.; DE ZAMAROCZY, M. (Ed.), **Azospirillum VI and related microorganisms**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. p.3-14.

DÖBEREINER, J., DAY, J.M., DART, P.J. Fixação de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum notatum* e da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, p. 153-157, 1973.

DÖBEREINER, J.; RUSCHEL, A.P. Uma nova espécie de *Beijerinckia*. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 1, p. 261–272, 1958.

FAQUIN, V.; ANDRADE, A.T. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional das hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88p.

FREIRE, J.R.J.; RHOR, T.G.; OLIVEIRA, P.J.; XAVIER, G.R.; RUMJANEK, N.G. Trabalhos em rizobiologia no Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO LATINO AMERICANA SOBRE INOCULANTES PARA LEGUMINOSAS, 4., 1968, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Secretaria de Agricultura, 1968. 1924p.

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.

GHIBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S. TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen fertilizer leaching in an Oxisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 86-93, 2011.

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.

GOVINDARAJAN, M.; BALANDREAU, J.; MUTHUKUMARASAMY, R.; REVATHI, G.; LAKSHMINARASIMHAN, C. Improved yield of micropropagated sugarcane following inoculation by endophytic Burkholderia vietnamiensis. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 280, p. 239-252, 2006.

GOVINDARAJAN, M.; KWON, S.W.; WEON, H.Y. Isolation, molecular characterization and growth-promoting activities of endophytic sugarcane diazotroph *Klebsiella* sp. GR9. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 23, p. 997-1006, 2007.

HACLIN, J.L.; TISDALE, S.L. BEATON, J.D.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**: na introduction to nutrient management. New Jersey: Pearson Pretice Hall, 2005. 515p.

JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 34, p. 197-224, 1981.

KORNDÖRFER, G.H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M.E.; BUZZETI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Editora Ícone, 1994. p. 19-44.

KORNDÖRFER, G.H.; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar, **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 10, p. 26-31, 1992.

LARA CABEZAS, W.A.R.; SOUZA, M.A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2331, 2008.

LEITE, J.M.; MORAIS, R.F.; BARROS, JÚNIOR, J.C.; ALVES, B.J.R.; REIS, V.M.; URQUIAGA, S. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio em duas variedades de cana-de-açúcar inoculadas com mistura de bactérias diazotróficas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 1 CD ROM.

LIMA, E., BODDEY, R.M.; DÖBEREINER, J. Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugarcane using a ^{15}N aided nitrogen balance. **Soil Biology and Biochemistry**, Kidington, v. 19, p. 165–170, 1987.

LITTEL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**, v. 34, p. 94-97, 1975.

LUCA, E.F. **Matéria orgânica e atributos do solo em sistema de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar**. 2002. 101p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LYRA, G.B.; NASCIMENTO FILHO, M.F.; MOURA, M.A.L. Avaliação agroclimatológica do desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) no estado de Alagoas. Maceió/AL, Brasil: 1999. 4 pág. Disponível em : < <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-ceae2bc990cdc01f7415f7863e178eeb.pdf> > Acesso em: 22 set. 2012.

MAGALHÃES FMM, BALDANI JI, SOUTO SM, KUYKENDALL JR AND DÖBEREINER J. 1983. A new acid tolerant *Azospirillum* species. **Anais da Academia Brasileira Ciência**, Rio de Janeiro, v. 55, p. 417–430.

MALAVOLTA, E. VITTI, G.C.Ç OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1997. 308p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MINOTTI, P.L.; HALSETH, D.E.; SIECZKA, J.B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. **Horticultura and Science**, Alexandria, v. 29, p. 1497-1500, 1994.

MATOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B.V. 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.

MOREIRA, F.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 623p.

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

MOURA, M.V.P.S.; FARIAS, C.H.A.; AZEVEDO, C.A.V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H.M.; PORDEUS, R.V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

NASCIMENTO, C.A.C. **Ureia recoberta com S^o, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima**. 2011. 73p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OKON, Y.; LANDERA-GONZALEZ, C.A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 26, p. 1591-1601, 1994.

OLIVEIRA, A.L.M.; CANUTO, E.L.; URQUIAGA, S.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with diazotrophic bacteria. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 284, n. 1/2, p. 23-32, 2006.

OLIVARES, F. **Bactérias promotoras de crescimento vegetal**. In: Boletim Informativo da SBCS, janeiro – abril, 33-35, 2009.

OLIVEIRA, J.C.M. TRIVELIN, P.C.O.; TIMM, L.C.; TOMINAGA, T.T.; CORRECHEL, V.; CÁSSARO, F.A.M.; PIRES, L.F.; MACEDO, J.R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, p. 235-248, 2003.

OLIVEIRA, A.L.M. de; CANUTO, E.D. de; URQUIAGA, S.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with diazotrophic bacteria. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 284, p. 23-32, 2006

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. Reduction and transport of nitrate. **Soil Microbiology and Biochemistry**, New York, v. 30, p. 147–162, 1989.

PIMENTEL, J.P.; OLIVARES, F.L.; PITARD, R.M.; URQUIAGA, S. AKIBA, F.; DOBEREINER, J. Dinitrogen fixation and infection of grass leaves by *Pseudomonas rubrisubalbicans* and *Herbaspirillum seropedicae*. **Plant and Soil**. Dordrecht, v. 137, n. 61–65, 1991.

POLIDORO, J.C. **O molibdênio na nutrição nitrogenada e na fixação biológica de nitrogênio atmosférico associada à cultura da cana-de-açúcar**. 2001. 185p. Dissertação (Doutorado na área Ciencia do solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2001.

PRADO JUNIOR, J.P.Q. **Qualidade e produtividade da cana de açúcar inoculada com *Gluconacetobacter diazotrophicus* e adubada com nitrogênio mineral e orgânico**. 2008. 49p. Dissertação (Mestrado na área Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo, Campinas. 2008.

PRADO, R. de M.; PANCELLI, M.A. Nutrição em soqueira e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 2, p. 60-63, 2006.

PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, A.C. CANTARELLA, H. ARMELIN, M.J.A.; SILVA, A.G.; FREITAS, A.R. **Adubação com uréia em pastagem de**

Cynodon dactylon cv. Coastcross: eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Circular Técnica, 30).

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. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

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).

REIS, V.M.; BALDANI, J.I.; URQUIAGA, S. **Fixação Biológica de nitrogênio associativa: um futuro promissor para cana-de-açúcar e outras gramíneas.** Boletim Informativo da SBSCS, 2009. p. 28-29.

REIS, V.M.; OLIVARES, F.L. **Vias de penetração e infecção de plantas por bactérias.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 34p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 216).

RESENDE, A.S.; SANTOS, A.; XAVIER, R.P.; COELHO, C.R.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O.C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palha da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.6, p. 937-941, 2006.

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

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M.G.A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes na cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 1, p. 8-13, 2008.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. Fertilidade do solo e nutrição de plantas. **Bragantia**, Campinas v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

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.

SHANKARIAH, C.; HUNSIGI, G. Field responses of sugarcane to associative N₂ fixers and P solubilisers. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 24., 2001, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: ISSCT, 2001. p.40-45.

SILVA, M.F.; OLIVEIRA, P.J.; XAVIER, G.R.; RUMJANEK, N.G.; REIS, V.M. Inoculantes formulados com polímeros e bactérias endofíticas para a cultura da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1437-1443, nov. 2009

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. 2461-2471, 2000.

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 em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1998. p. 236.

SPIRONELLO, A. Aplicação de aquamônia, uréia, 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., 1987, Olinda. **Anais...** Piracicaba: STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos, 1987. p. 94-102.

SOUZA, Z.M.; PAIXÃO, A.C.S.; PRADO, R.M.; CESARIA, L.G.; SOUXA, S.R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p.1061-1068, 2005a.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S. CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palha de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005b.

SUMAN, A.; GAUR, A.; SHRIVASTAVA, A.K.; YADAV, R.L. Improving sugarcane growth and nutrient uptake by inoculating *Gluconacetobacter diazotrophicus*. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 47, p. 155-162, 2005.

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).

TEIXEIRA, L.A.J.; NATALE, W. R.; RUGGIERO, C. Alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e aplicação de nitrogênio e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 684-689, 2001.

UCHÔA, S.C.P.; ALVES, JÚNIOR, H.O.; ALVES, J.M.A.; MELO, V.F.; FERREIRA, G.B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de Cerrado em Roraima. **Ciências Agronômicas**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505-513, 2009.

VALE, D.W. **Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar.** 2009. 132p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal, 2009.

VALLIS, I; KEATING, B.A. Uptake and loss of fertilizer and soil nitrogen in sugarcane crops. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Canberra, v. 16, p. 105-113, 1994.

VANDE BROEK, A.; VANDERLEYDEN, J. Review: genetics of the *Azospirillum*-plant root association. **Critical Review in Plant Science**, Boca Raton, v. 14, p. 445-466. 1995.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta.** Jaboticabal:FUNEP, 1989. 37p.

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 palha e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2757-2762, 2008.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar.** POTAFOS, 2002. 16p. (Encarte Técnico,97)

WIEDENFELD, B. Evaluation of new tools for determining crop nitrogen status and availability. **Subtropical Plant Science**, Welasco, v. 49, p. 46-49, 1997.

WOOD, C.W.; REEVES, D.W.; HIMELRICK, D.G. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. **Proceedings of the Agronomy Society New Zealand**, Couterbury, v. 23, p. 1-9, 1993.

2.3 Manejo da palha e aplicação de potássio nos atributos químicos do solo, crescimento, nutrição e produção da cana-de-açúcar

Resumo

A colheita da cana-crua deixa na superfície do solo, cobertura de palha que varia de 10 a 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ de material seco que provoca mudanças na microbiota, umidade, temperatura e fertilidade do solo, desses fatores, o mais afetado, em curto prazo, é a disponibilidade de potássio. Objetivou-se avaliar o efeito do manejo da palha de cana-de-açúcar e da aplicação de potássio nos atributos químicos do solo, nutrição, crescimento e produtividade da cana-de-açúcar. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, esquema fatorial 3x4, sendo três manejos da palha, quatro doses de K (0, 50, 100 e 150 kg de K₂O ha⁻¹) e três repetições, em esquema fatorial incompleto. Avaliou-se a fertilidade do solo um mês após a brotação da cultura, o teor de nitrogênio e potássio, e leitura SPAD aos cinco meses após a brotação da cultura, o crescimento, a produtividade e variáveis tecnológicas aos onze meses após a brotação da primeira e segunda soca de cana-de-açúcar. Verificou-se que o efeito da aplicação de potássio é dependente do manejo da palha de cana-de-açúcar adotado. A aplicação de potássio afetou de forma positiva o teor no solo e na planta, o crescimento, fatores tecnológicos, sendo a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N e 100 kg ha⁻¹ de K₂O a responsável pela maior produtividade da 1^a e 2^a soca de cana-de-açúcar nos 3 manejos da palha. O MPRL se mostrou o responsável pelo maior crescimento e produtividade da 1^a e 2^a soca de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; SPAD; Nutrição de plantas; *Saccharum* spp.

Abstract

The harvest of sugarcane leaves on the soil surface, straw cover ranging from 10 to 20 t ha⁻¹ per year of dry material that causes changes in the microbiota, humidity, temperature and soil fertility, these factors, the most affected a short time is the availability of potassium. This study aimed to evaluate the effect of management's handling of straw sugarcane and potassium application on soil chemical properties, nutrition, growth and productivity of sugarcane. The experimental design was a randomized block, 3x4 factorial, three straw management, four K rates (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹ of K₂O) and three replications in a incomplete factorial. We evaluated soil fertility a month after the shooting of culture, the content of nitrogen and potassium, and SPAD readings five months after sprouting culture, growth, productivity and technological variables to eleven months after sprouting of the first and second ratoon sugarcane. The application of potassium affected positively the content in the soil and plant growth, technological factors and the application of 120 kg ha⁻¹ N and 100 kg ha⁻¹ of K₂O provided the highest yield of the 1st and 2nd stump sugarcane in three straw management, except for the 1st Ratoon in the MPRL and 2nd stump in the MP2:1 where there was no difference between the application of 50, 100 and 150 kg ha⁻¹ of K₂O, for 2nd stump in the MPT and 1st stump in the MP2:1 where K application did not influence the

production of sugarcane. In the first stump the MPRL produced more sugarcane than the MPT and MP2:1 and, in the second stump, more than MP2:1.

Keywords: Soil Fertility; SPAD; Plant nutrition; *Saccharum* spp.

2.3.1 Introdução

A colheita da cana-crua deixa na superfície do solo cobertura de palha que varia de 10 a 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ de material seco, o que corresponde de 40 a 80 kg ha⁻¹ de N (VITTI et al., 2008). A mineralização da palha no solo depende, principalmente, da temperatura, umidade, aeração, composição química, especialmente da relação C:N (OLIVEIRA; MORAES, 2002). O nitrogênio imobilizado na biomassa poderia suprir em parte a exigência nutricional da cultura, no entanto, pesquisas têm demonstrado que a mineralização da palha varia de 64 a 75% (VITTI et al., 2008). A liberação de nutrientes depende do manejo da palha, do tempo de cultivo e da relação C/N, sendo considerado que a liberação de nitrogênio demora mais tempo do que a liberação de potássio.

Segundo Bologna-Campbell (2007), a maior mudança no sistema com colheita sem despalha a fogo, na área de adubação, refere-se à diminuição, em longo prazo, da adubação nitrogenada. Embora os “resíduos” culturais deixados sobre a superfície do solo apresentem baixa quantidade de nitrogênio, quando comparada à reserva do solo, as colheitas sucessivas sem despalha a fogo devem contribuir, com o tempo, para o maior acúmulo de N no solo. Neste sentido, Vallis et al. (1996) observaram redução da adubação nitrogenada em até 40 kg ha⁻¹ em solo da Austrália onde foi cultivado cana-de-açúcar por período superior a 20 anos.

Graham et al. (2000), em cultivo de cana-de-açúcar após 59 anos sem queima, observaram alterações significativas nos teores de N apenas na camada de 0-10 cm de profundidade, e que apesar do acúmulo de resíduos na superfície do solo, a matéria orgânica decresceu em relação a uma área com pastagem nativa. Thorburn et al. (2000), em cultivo de cana-de-açúcar sem despalha a fogo por 17 anos na Austrália, observaram acúmulo de C e de N na camada superficial (0-5 cm de profundidade) do solo.

No solo ocorrerá mineralização do nitrogênio da palha, assim como sua imobilização na biomassa microbiana. Esses dois processos ocorrem

simultaneamente, e a quantidade de nitrogênio do material em decomposição determinará, em grande parte, qual deles será o predominante, pois como a palha de cana-de-açúcar possui em média relação C:N em torno de 100, espera-se intensa imobilização do N no solo, uma vez que, como regra geral, para relação C:N acima de 20 ocorre a imobilização (SIQUEIRA; FRANCO, 1998).

Segundo Cantarella et al. (2007) a médio e longo prazo, o solo pode acumular C e N orgânico quando a cana-de-açúcar é manejada sem despalha a fogo, mas, em curto prazo, o aporte de resíduos com alta relação C:N pode aumentar a demanda por N mineral, concomitante a isso, segundo Weir et al. (1998) há menor evaporação de água devido a cobertura vegetal, pode favorecer as perdas por lixiviação e por desnitrificação. Antwerpen et al. (2002) relataram que o aumento da exigência de N pode ser justificado devido ao aumento da produção em função da maior disponibilidade hídrica. Cantarella et al. (2007) acrescentaram que há dúvidas sobre a manutenção da palha no solo influenciando o efeito da aplicação de nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar, quando comparada ao sistema de colheita com queima. Os efeitos sobre a produtividade são complexos por envolver fatores como: adaptação das variedades, brotação das socas sob a palha, incidência de pragas e doenças, disponibilidade de água e a nutrição nitrogenada.

Para adubação potássica há indicativo de que as doses poderão ser reduzidas nos ambientes com presença de palha, pelo fato desse nutriente não estar ligado às moléculas orgânicas, e, por permanecer na forma iônica no tecido vegetal, não dependendo da mineralização da matéria orgânica para ser liberado, sendo rapidamente transferido para a solução do solo. Assim, a palha pode contribuir com 50 a 70 kg ha⁻¹ de K₂O (ROSSETTO et al., 2008).

A palha deixada pela cana colhida sem queima é importante fonte de potássio, devido ao fato do K não ser constituinte de nenhum composto existente na planta e estar presente na forma iônica, o que facilita sua saída da célula após o rompimento da membrana plasmática, contribuindo para sua liberação (MALAVOLTA et al., 1997). Em avaliação feita com 10 variedades de cana-de-açúcar, encontrou-se valor médio de 130 kg ha⁻¹ de K acumulados na palha, e deste total até 85% poderiam ser liberados, o viabiliza a redução da dose de K para cana-soca via fertilizante (OLIVEIRA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2003).

Rossetto et al. (2008), em levantamento de 15 experimentos, evidenciaram respostas à aplicação de potássio, maior produtividade obtida com a aplicação de

177 kg ha⁻¹ de K₂O, no entanto, verificaram-se, neste caso, que acima de 70 kg ha⁻¹ de K₂O, os aumentos de produtividade não passam de 1 tonelada. Neste contexto, seria permitida a redução de 30 e 40 kg ha⁻¹ de K₂O na recomendação tradicional de adubação existente e a dose ficaria próxima de 70 kg ha⁻¹ de K₂O. Além disso, Graham et al. (2002) constataram que a palha aumentou a atividade microbiana e o acúmulo superficial de matéria orgânica, melhorando as características físicas do solo e beneficiando a reciclagem de nutrientes.

Objetivou-se avaliar o efeito do manejo da palha de cana-de-açúcar e da aplicação de potássio nos atributos químicos do solo, nutrição, crescimento e produtividade da cana-de-açúcar.

2.3.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido no Sítio São João, no município de Americana (22°41'15.84" S de latitude e 47°19'18.62" W de longitude), em Latossolo Vermelho amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006). O clima do município é tropical de altitude com inverno seco (Köppen: Cwa), temperatura média mínima de 15°C e máxima de 26°C.

A área experimental tem sido cultivada com cana-de-açúcar há muitos anos, sendo que em abril de 2009 foi renovado o canavial, sem fazer rotação de cultura, plantando a variedade CTC 9. Após isso, realizou-se preparo convencional na renovação do canavial no qual foi aplicado 2 T ha⁻¹ de calcário (CaO = 24%, MgO = 17%, PN = 85 % e PRNT = 70%) a fim de se elevar o valor de saturação por bases a 60%, e a adubação N, P₂O₅ e K₂O de plantio foi de 33, 83 e 83 kg ha⁻¹, respectivamente. No primeiro corte da cana-planta (08-06-2010) a produção foi de 112 t ha⁻¹.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, esquema fatorial 3x4, segundo Littel; Mott (1975), sendo três manejos da palha (retirada da palha apenas nas linhas da cana-de-açúcar, enleiramento da palha a cada duas linhas e distribuição da palha da cana em toda área), quatro doses de K (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O) e três repetições, exceto na dose 0 kg ha⁻¹ de K₂O, todas as demais receberam 120 kg ha⁻¹ de N.

Na primeira (25-07-2010) e na segunda (26-07-2011) soca de cana-de-açúcar, foram realizadas as amostragens de solo, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm

de profundidade, a fim de avaliar os atributos químicos do solo. A amostragem de solo foi realizada próxima à linha da cultura (faixa de adubação), a partir de 6 pontos aleatórios na parcela útil (Figura 1.1). As determinações seguiram os métodos descritos por Raij et al. (2001) e (VITTI, 1989). Parte da amostra de solo foi acondicionada em sacos plásticos e colocada em 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 ao laboratório. Em seguida essas amostras foram armazenadas a 0°C para extração e determinação de amônio e nitrato seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1985).

Para as avaliações de crescimento, foi quantificado o número de colmos, a altura, o diâmetro do colmo, e o número de falhas na lavoura de cana-de-açúcar, aos cinco e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar, ambas as socas. O número de colmos foi determinado pela amostragem de 3 m nas quatro linhas de cada parcela, totalizando 12 m de soca em cada unidade experimental. A altura foi aferida, em oito plantas representativas por parcela, da superfície do solo até o ponto de inserção da primeira folha totalmente expandida (folha +1) (Figura 1.2 a) e o diâmetro dos colmos foram determinados com o uso de um paquímetro digital (Starrett 727-2001®) tomando como referência a metade do primeiro gomo, logo após a superfície do solo em oito plantas representativas por unidade experimental (Figura 1.2 b). Para quantificação das falhas, considerou-se todo espaço na linha com intervalo, sem planta, superior a 50 cm como sendo uma falha, além disso, contabilizou o tamanho das falhas em metros (Figura 1.2 c).

O estado da nutrição nitrogenada e potássica das plantas foi determinado através da amostragem e análise da folha +1 (folha mais alta com colarinho visível “TVD”), coletada aos 5 meses após a brotação da primeira e da segunda soca (RAIJ; CANTARELLA, 1997) (Figura 1.3 a) e as determinações dos macronutrientes no tecido vegetal seguiram a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Nesta mesma ocasião, avaliou-se a leitura SPAD, ou seja, a determinação indireta do teor de clorofila, com uso do aparelho Minolta SPAD-502 (Figura 1.3 a), na folha +1, nos 20 cm central dessa folha, excluída a nervura central, durante a fase de maior desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA 1997).

Aproximadamente aos onze meses após a brotação (15-05-2011 e 12-06-2012) realizou-se amostragem de 10 colmos contíguos da linha central de cada parcela (SPIRONELLO, 1987) para a avaliação dos valores de fibra, açúcar redutor

(AR), sólidos solúveis (Brix) e teor de sacarose (Pol) da cana-de-açúcar (CONSECANA, 2003) (Figura 1.4 a). Nessa mesma ocasião colheu-se de forma mecanizada da cana-de-açúcar e a pesagem foi realizada mediante célula de carga acoplada no caminhão (Figura 1.4 b).

Com os resultados obtidos pela análise tecnológica foi calculado o ART, ou açúcar teórico recuperável (kg t^{-1}), conforme metodologia da Consecana (2003).

$$C = 1,0313 - 0,00575 \times F$$

$$PC = \text{Pol do caldo} \times (1 - 0,01 \times F) \times C$$

$$ARC = \text{AR do caldo} \times (1 - 0,01 \times F) \times C$$

$$ART = 10 \times PC \times 1,056 \times (1 - ART/100) + 10 \times (1 - ART/100)$$

Sendo: C=coeficiente de transformação da pol e do AR do caldo extraído em pol e AR do caldo absoluto; F=fibra da cana; PC=pol da cana; Pol= porcentagem aparente de sacarose contida no caldo da cana-de-açúcar; ARC=AR da cana; $1,0526 = 360/342$ = fator estequiométrico de transformação da sacarose em AR; ART=perda industrial média dos açúcares contidos na cana em função dos processos industriais e tecnológicos utilizados no Estado de São Paulo (atualmente, $PI = 9,5\%$, conforme estabelecido pelo Consecana (Circular n° 10/05 – 7 dez. 2005).

A análise de estatística utilizada foi na forma de contrastes entre os tratamentos que receberam aplicação de potássio em três manejos da palha de cana-de-açúcar em nível de 10 e 5% de probabilidade pelo Teste t.

2.3.3 Resultados e discussão

Os manejos da palha de cana-de-açúcar afetaram todos os atributos químicos do solo analisado (Tabela 3.1).

O menor valor de pH e MO, e maior de H+Al foram verificados com o MP2:1 (manejo da palha da cana-de-açúcar enleirada a cada duas linhas), na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo na 1ª e 2ª soqueira de cana-de-açúcar, exceto, para MO na camada de 0-20 cm da 1ª soca, onde o manejo da palha não afetou essa variável (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Valores médios dos atributos químicos do solo e significância do Teste F, para o manejo da palha distribuída em área total (MPT), palha retirada apenas das linhas (MPRL) e palha retirada a cada duas linhas da cana-de-açúcar (MP2:1), da primeira e segunda soca de cana-de-açúcar

	pH	MO	K	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³			%
Primeira soca de cana-de-açúcar							
Camada de 0-20 cm de profundidade do solo							
MPT	5,8a	24,6	2,6	18,9ab	65,8	86,3	81,4
MPRL	5,8a	24,1	2,2	16,2b	62,2	76,7	75,4
MP2:1	5,3b	22,8	2,6	22,2a	61,9	82,6	75,3
Teste F	14,93***	1,02 ^{ns}	0,55 ^{ns}	5,55***	0,22 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,20 ^{ns}
Camada de 20-40 cm de profundidade do solo							
MPT	5,5a	20,4ab	1,3b	21,9ab	55,2a	79,0	70,0
MPRL	5,8a	23,1a	1,9a	19,1b	54,5a	76,6	70,4
MP2:1	5,1b	19,2b	1,8a	24,9a	45,5a	68,6	66,2
Teste F	8,92***	3,56***	8,01***	3,96***	2,05 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,85 ^{ns}
Segunda soca de cana-de-açúcar							
Camada de 0-20 cm de profundidade do solo							
MPT	6,0a	23,7a	1,1b	19,9b	98,6ab	72,1a	77,2a
MPRL	5,8a	22,5ab	1,8a	20,9b	105,8a	85,2a	78,4a
MP2:1	5,3b	20,1b	1,4b	27,8a	82,6b	51,0b	64,9b
Teste F	10,11***	4,17***	12,17***	6,22***	3,5***	10,84***	6,89***
Camada de 20-40 cm de profundidade do solo							
MPT	5,8a	18,3	0,8b	25,6b	84,2a	60,9a	68,2a
MPRL	5,6a	18,1	1,1a	24,2b	86,1a	62,8a	70,9a
MP2:1	5,1b	15,8	0,8b	32,1a	71,4b	35,5b	54,0b
Teste F	8,60***	2,48 ^{ns}	5,80***	6,24***	4,63***	16,72***	8,59***

CV-Coefficiente de variação; **, *** e ^{ns} - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

O menor teor de K foi verificado com o MPT (manejo da palha da cana de açúcar distribuída em área total) na camada de 20-40 cm da 1ª soca e do MPT e MP2:1 em ambas as profundidades do solo da 2ª soca (Tabela 3.1).

O menor valor de SB, CTC e V% foram verificados com o MP2:1 em ambas as profundidades da 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.1).

De forma geral verifica-se menor fertilidade do solo no MP2:1 se comparado aos demais manejos da palha, isso é devido à pior distribuição da palha na área cultivada com cana-de-açúcar no MP2:1, visto que a palha de duas entrelinhas é concentrada em apenas uma linha, proporcionando um desequilíbrio na fertilidade do solo que é traduzido em menor fertilidade do solo nesse manejo (Tabela 3.1).

O MPRL (manejo da palha da cana-de-açúcar retirada da linha da cultura) proporcionou os melhores atributos de fertilidade do solo, possivelmente em decorrência de ocorrer nesse manejo um favorecimento do desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar, porque ocorre maior incidência de radiação solar, maior temperatura do solo que por si só intensifica a mineralização da palha de cana e, além disso, acelera o crescimento inicial das plantas de cana-de-açúcar das quais vão liberar exsudados pelas raízes favorecendo o crescimento microbiano, intensificando a decomposição da palha da cana e conseqüentemente a liberação de nutrientes.

A mineralização da palha da cana no solo aumenta até certo ponto com o aumento da temperatura, umidade, aeração, qualidade (composição química) destes restos culturais, e diminuição da relação C:N, teores de lignina, celulose hemicelulose e polifenóis (OLIVEIRA; MORAES, 2002).

Uma provável explicação para o maior valor de pH no MPT e MPRL em relação ao MP 2:1 se deve à maior mineralização da palha nesses manejos, favorecendo o processo de troca de ligante entre ânions orgânicos e OH^- terminais em óxidos de Fe^{+3} e Al^{+3} , como foi observado por Hue, Amien (1989) e Carneiro et al. (2004). Além disso, a liberação de cátions básicos devido à mineralização da palha da cana pode causar a redução de oxi-hidróxidos de ferro e manganês, promovendo ligeiro aumento do pH (CARNEIRO et al., 2004).

O manejo do solo e da palha de cana deixada na superfície influenciam na fertilidade e matéria orgânica do solo, como o método de análise do solo considera toda partícula menor que 2 mm como sendo material orgânico e contribui para a matéria orgânica determinada nas análises de solo, assim, solos cultivados com cana-de-açúcar sem despalha a fogo por 17 anos na Austrália ocorreu acúmulo de C e de N na camada superficial do solo (0-5 cm de profundidade) (GRAHAM et al., 2000), no presente trabalho verificou-se ligeira superioridade do MPRL e MPT em relação ao MP2:1 que também é justificado devido ao fato de no MP2:1 as palhas de duas entre linha da cana serem concentradas em uma entre linha e conseqüentemente ter uma má distribuição do material orgânico nesse manejo.

Os manejos da palha da cana afetaram a nutrição da cana-de-açúcar e as variáveis biométricas analisadas (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Valores médios do teor de nutrientes e variáveis de crescimento e significância do Teste F para o manejo da palha distribuída em área total (MPT), palha retirada apenas das linhas (MPRL) e palha retirada a cada duas linhas da cana-de-açúcar (MP2:1) da primeira e segunda soca

	N ^a —g kg ⁻¹ —	K ^a	SPAD	Diâmetro mm	Nº colmos m	Altura cm	Falhas %
Primeira soca de cana-de-açúcar							
Cinco meses após brotação da cana							
MPT	18,0	7,6b	35,0ab	29,5a	10,2b	58,8b	6,4
MPRL	17,9	8,9a	36,2a	30,1a	16,4a	69,1a	8,5
MP2:1	17,9	6,7b	34,4b	27,0b	9,6b	55,0b	9,1
Teste F	0,04 ^{ns}	7,58***	2,45 ^{ns}	9,81***	3,88***	9,47***	1,10 ^{ns}
Nove meses após brotação da cana							
MPT	-	-	-	28,6	11,4b	248,1b	-
MPRL	-	-	-	28,6	13,5a	261,0a	-
MP2:1	-	-	-	27,6	12,3b	226,2c	-
Teste F	-	-	-	2,76 ^{ns}	6,86***	28,27**	-
Segunda soca de cana-de-açúcar							
Cinco meses após brotação da cana							
MPT	14,2b	8,6	35,5b	21,1	27,1a	37,3b	6,7
MPRL	16,5a	9,0	38,1a	21,5	25,4a	45,9a	7,5
MP2:1	15,5ab	7,9	36,6ab	20,0	19,5b	30,6c	5,4
Teste F	5,57**	1,26 ^{ns}	4,30***	2,40 ^{ns}	6,89***	22,13**	0,93 ^{ns}
Nove meses após brotação da cana							
MPT	-	-	-	32,0a	12,6b	202,5a	-
MPRL	-	-	-	32,0a	14,4a	212,1a	-
MP2:1	-	-	-	29,0b	12,8b	114,9b	-
Teste F	-	-	-	8,56***	5,11***	90,54**	-

CV-Coefficiente de variação; **, *** e ^{ns} - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade; ^a - Teor adequado de N = 18-25 e K = 10-16 considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA,1997). Manejo da palha da cana-de-açúcar distribuída em área total; MPRL – Manejo da palha da cana-de-açúcar retirada da linha da cultura; MP2:1 – Manejo da palha da cana-de-açúcar enleirada a cada duas linhas.

O MPT e MP2:1 apresentaram o menor teor de K na 1ª soca e de N e de leitura SPAD na 2ª soca de cana-de-açúcar. Isso influenciou no crescimento da cultura, no qual o MP2:1 apresentou o menor diâmetro aos cinco meses após a brotação da 1ª soca. O menor nº de colmos e altura das plantas foram obtidos com o MP2:1 e MPT aos cinco e aos nove meses após a brotação da 1ª e 2ª soca de cana-de-açúcar, exceto para o nº de colmos, aos cinco meses após a brotação da cana, onde o MPT e MPRL apresentaram melhores valores e para altura das plantas aos nove meses após a brotação da 1ª soca e aos cinco meses após a brotação da 2ª

soca onde o MPT apresentou menor valor e aos nove meses após a brotação da 2ª soca onde o MPT apresentou altura similar ao MPRL (Tabela 3.2).

A maior fertilidade do solo obtida no MPRL (Tabela 3.1) refletiu no maior teor de K e leitura SPAD da 1ª soca e de N na 2ª soca e consequentemente no maior crescimento das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 3.2). Provavelmente isso ocorreu devido à palha, nesse manejo, ter favorecido a diminuição da temperatura do solo, maior umidade das entrelinhas e retardamento da brotação (ABRAMO FILHO et al., 1993).

Estudos realizados por Tim et al. (2003) com o cultivo da cana-de-açúcar com superfície do solo coberta com palha deixada após a colheita da cana sem o uso da despalha a fogo, entrelinhas com solo descoberto e presença de resíduos da queima da cana verificaram que a palha deixada em área total afetou negativamente o desenvolvimento da cultura, reduzindo o número de colmos e seu peso úmido, em torno de 13 %. Esses efeitos corroboram os resultados de que no MPRL a ausência da palha nas linhas favoreceu o crescimento da cultura.

A diferença no teor foliar de K, da 1ª soca, e de N, da 2ª soca de cana, é devido à mineralização da palha de 64 a 75% (VITTI et al., 2008) e consequentemente à liberação de nutrientes que está diretamente ligada ao manejo da palha, do tempo de cultivo e da relação C/N, sendo considerado que a liberação de nitrogênio demora mais tempo do que a liberação de potássio. Para Bologna-Campbell (2007), a maior mudança no sistema com colheita sem despalha a fogo, na área de adubação, refere-se à diminuição, em longo prazo, da adubação nitrogenada, justificando a superioridade do MPRL no teor foliar de N apenas na 2ª soca, nesse contexto, citações apresentam que após o cultivo por 20 anos de cana-de-açúcar na Austrália foi possível reduzir em 40 kg ha⁻¹ a adubação nitrogenada (VALLIS et al., 1996).

A palha deixada pela cana colhida sem queima é importante fonte de potássio, devido ao fato do K não ser constituinte de nenhum composto existente na planta e estar presente na forma iônica o que facilita sua saída da célula após o rompimento da membrana plasmática, facilitando sua liberação (MALAVOLTA et al., 1997). Em avaliação feita com 10 variedades de cana-de-açúcar, encontrou-se valor médio de 130 kg ha⁻¹ de K acumulados na palha, e deste total até 85% poderiam ser liberados, podendo proporcionar a redução da dose de K para cana-soca via fertilizante (OLIVEIRA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2003).

Os manejos da palha da cana afetaram a produtividade e os fatores qualitativos da cana-de-açúcar (Tabela 3.3).

O MP2:1 proporcionou a menor produtividade da 1ª e 2ª soca, todavia o menor Brix, Pol e ART foram obtidos no MPT na 2ª soca, ainda que não tenha diferido do MPRL (Tabela 3.3).

A menor produtividade obtida com o MP2:1 era esperado devido a menor fertilidade do solo com esse tratamento (Tabela 3.3), que refletiu na menor nutrição e crescimento das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 3.2). Destaca-se o MPRL por apresentar a maior produtividade de cana nas duas soqueiras e similar a produtividade do MPT para 2ª soca. Provavelmente a diminuição, na 2ª soca, do Brix, POL e ART no MPT e MPRL é devido ao aumento de produtividade desses tratamentos levar ao efeito de diluição dos açúcares na planta, todavia, devido ao aumento de produtividade, por hectare ocorre aumento dos fatores tecnológicos. Nesse contexto, Singh; Mohan (1994) avaliando o efeito da aplicação de nitrogênio (0 a 300 kg ha⁻¹) e irrigação verificaram aumento na produtividade de cana-de-açúcar, mas apresentou redução nos fatores qualitativos.

É sabido que a qualidade do caldo da cana-de-açúcar varia em função das variedades do sistema de manejo, da palha, da soqueira, da cana colhida sem queima e também da nutrição mineral da planta (SOUZA et al. 2005). Assim, COSTA et al. (2003) verificaram que a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N não afetou a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Por outro lado, KORNDÖRFER (1994) afirma que a adubação nitrogenada está normalmente associada ao maior crescimento vegetativo e, portanto, maior umidade da cana-de-açúcar, neste sentido, FRITZ (1984) observou que com a aplicação de doses crescentes de nitrogênio em cana-de-açúcar ocorre redução no teor de sacarose. No entanto, a quantidade total de açúcar produzida por hectare aumenta (ESPIRONELLO et al., 1981).

Em relação ao efeito da adubação nitrogenada no teor de sacarose, ESPIRONELO (1989) observou resposta diferente das observadas por VITTI et al. (2007), visto que com a aplicação dos adubos nitrogenados observaram diminuição nos teores de sacarose do caldo e prejuízo na pureza da cana-de-açúcar. Neste sentido, MALAVOLTA (2006) relata que o uso de fertilizantes nitrogenados em cana-de-açúcar promove menor armazenamento de açúcar, pois os esqueletos carbônicos são consumidos induzindo a planta a vegetar mais.

Korndörfer; Martins (1992) relatam que ocorre aumento linear na quantidade de açúcar produzida por hectare com aplicação de N, apesar de também resultar, em elevação no teor de umidade dos colmos, levando à redução no teor de sacarose.

Campanhão et al. (2005), em soqueira de cana-de-açúcar, verificaram que a adubação nitrogenada não afetou diretamente a Pol da cana, todavia, afetou a produtividade e consequentemente a Pol em t ha⁻¹. Neste sentido, Prado; Pancelli (2006) observaram que a adubação nitrogenada não afetou a qualidade da primeira soqueira da cana-de-açúcar, entretanto, na segunda soqueira aumentou a Pol e o rendimento teórico recuperável.

Outro fator que pode justificar a maior produtividade no MPRL se deve a boa aeração nas linhas da cana, se comparado ao MPT, sendo que o O₂ é necessário para a respiração das raízes, fonte de energia (ATP) para a absorção ativa e atividade microbiológica e a temperatura um pouco mais elevado no MPRL se comparado ao MPT e um pouco abaixo do MP2:1, visto que a faixa de temperatura favorável para maior absorção dos nutrientes está entre 20 e 35°C e temperaturas extremas, abaixo de 10°C e acima de 45°C, reduzem a absorção, devido afetar, principalmente, a respiração (FAQUIN; ANDRADE, 2004).

A maior disponibilidade de nutrientes (Tabela 3.1), nutrição e crescimento (Tabela 3.2) e produtividade das plantas de cana-de-açúcar no MPT também pode ser justificado devido à faixa de pH nesse manejo da palha ser de 5,8 na camada de 0-20 e 20-40 cm da 1ª e 2ª soca de cana-de-açúcar, exceto para camada de 20-40 cm da 2ª soca que o pH foi de 2,6, pois, segundo Faquin e Andrade (2004), o pH do solo é o fator que mais afeta a disponibilidade dos nutrientes no solo e a faixa de pH mais adequada para a maioria das culturas está entre 5,5 e 6,5, por sua vez, o MP2:1, que apresentou a menor produtividade de cana-de-açúcar, apresentou pH variando de 5,1 a 5,3 (Tabela 3.1).

Com a boa cobertura do solo pela palha da cana no MPT e MPRL ocorre menor evaporação da água (WEIR et al., 1998) e essa maior disponibilidade hídrica leva ao aumento de produtividade da cana-de-açúcar cultivada nesses manejos (Tabela 3.3) e consequentemente exigência de nutrientes (ANTWERPEN et al., 2002).

Tabela 3.3 - Valores médios da produtividade e fatores qualitativos e significância do Teste F para o manejo da palha distribuída em área total, palha retirada apenas das linhas e palha retirada a cada duas linhas da cana-de-açúcar

	Produtividade t ha ⁻¹	Brix	AR %	POL	Fibra	ART kg t ⁻¹ de cana
Primeira soca de cana-de-açúcar						
MPT	86,1b	17,8	0,8	13,5	10,0ab	135,2
MPRL	100,7a	18,2	0,7	13,9	9,7b	139,1
MP2:1	65,7c	18,1	0,8	13,6	10,4a	136,9
Teste F	39,11***	1,43 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,34 ^{ns}	3,57***	1,85 ^{ns}
Segunda soca de cana-de-açúcar						
MPT	131,1a	18,9b	0,5a	16,7b	10,8	142,3b
MPRL	131,0a	19,2ab	0,4a	17,2ab	10,8	146,4ab
MP2:1	101,7b	19,4a	0,4a	17,5a	11,1	147,4a
Teste F	17,71***	2,94**	0,55 ^{ns}	3,83***	1,77 ^{ns}	2,94**

CV-Coeficiente de variação; Brix-Sólidos solúveis totais; AR-Açúcar redutor; ART-Açúcar recuperável total; POL-Teor de sacarose; **, *** e ^{ns} - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade. MPT - Manejo da palha da cana-de-açúcar distribuída em área total; MPRL - Manejo da palha da cana-de-açúcar retirada da linha da cultura; MP2:1 - Manejo da palha da cana-de-açúcar enleirada a cada duas linhas.

Efeito dos tratamentos no manejo da palha de cana-de-açúcar distribuída em área total

Verifica-se efeito dos tratamentos, na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, no teor de K, H+Al, SB, V%, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, exceto para H+Al (0-20 cm) e para SB (20-40 cm), da 1ª soca, e no H+Al, SB e V% (0-20 e 20-40 cm) e no N-NH₄⁺ (0-20 cm) da 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabelas 3.4 e 3.5).

O maior teor de K nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo foi obtido com o tratamento 4 na 1ª soca (Tabela 3.4) e do tratamento 3 na 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.5). Isso ocorreu porque esses foram os tratamentos que receberam a maior dose de cloreto de potássio, e aumentaram em relação ao tratamento 1 cerca de 5,1 (0-20 cm) e 1,1 (20-40 cm) comparado ao tratamento 4 na 1ª soca, e 0,5 (0-20 e 20-40 cm) comparado ao tratamento 3 na 2ª soca.

É plenamente aceitável e evidenciado na literatura que a aplicação de K₂O leve ao aumento do teor de K no solo (Tabela 3.4 e 3.5) que aumentou, na 1ª e 2ª soca, respectivamente, de 1,1 e 0,9 para 6,2 e 1,0 mmol_c dm⁻³, na camada de 0-20 cm, e de 0,9 e 0,6 para 2,0 e 0,8 mmol_c dm⁻³, na camada de 20-40 cm. Além disso, o

manejo da palha da cana pode reduzir a necessidade de aplicação desse nutriente em pouco tempo, visto que ele não está ligado às moléculas orgânicas, e, por permanecer na forma iônica no tecido vegetal, não dependendo da mineralização da matéria orgânica para ser liberado, sendo rapidamente transferido para a solução do solo, podendo contribuir com 50 a 70 kg ha⁻¹ de K₂O (ROSSETTO et al., 2008).

Tabela 3.4 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha distribuída em área total, da primeira soca de cana-de-açúcar, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo em função da aplicação dos tratamentos

	pH	MO	K	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³			%
Camada de 0-20 cm de profundidade do solo							
1	6,1	25,7	1,1	15,8	15,8	102,6	84,4
2	5,7	24,7	1,9	21,6	21,6	81,6	72,0
3	5,8	23,7	2,5	16,4	16,4	87,1	76,1
4	5,5	25,5	6,2	22,43	22,4	73,1	70,0
DMS	0,4	4,2	1,0	5,4	19,7	22,2	8,7
Média	5,8	24,6	2,6	18,8	65,8	86,3	75,4
CV	7,1	17,4	36,7	28,7	30,0	25,6	11,5
Valores de F							
1 vs 2	2,03 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,29 ^{ns}	2,29 ^{ns}	3,68**	1,80 ^{ns}	4,11**
1 vs 3	0,83 ^{ns}	0,44 ^{ns}	6,42***	0,03 ^{ns}	2,22 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,81 ^{ns}
1 vs 4	2,53 ^{ns}	0,01 ^{ns}	33,26***	1,80 ^{ns}	3,92**	2,15 ^{ns}	3,31**
2 vs 3	0,39 ^{ns}	0,16 ^{ns}	2,92 ^{ns}	2,73 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,70 ^{ns}
2 vs 4	0,30 ^{ns}	0,06 ^{ns}	29,84***	0,04 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,08 ^{ns}
3 vs 4	0,98 ^{ns}	0,28 ^{ns}	18,10***	1,85 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,76 ^{ns}
Camada de 20-40 cm de profundidade do solo							
1	5,8	21,3	0,9	19,5	58,9	78,4	75,0
2	5,4	19,7	1,0	21,4	60,3	78,9	75,2
3	5,6	20,3	1,5	20,0	53,9	82,8	66,9
4	5,0	21,5	2,0	33,0	38,5	68,7	56,2
DMS	0,5	3,6	0,2	6,7	17,5	25,3	9,2
Média	5,5	20,4	1,3	21,9	55,2	79,0	70,0
CV	9,1	17,4	18,9	30,8	31,7	31,9	13,2
Valores de F							
1 vs 2	0,89 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
1 vs 3	0,22 ^{ns}	0,16 ^{ns}	13,94***	0,01 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,56 ^{ns}
1 vs 4	2,81 ^{ns}	0,01 ^{ns}	25,22***	4,79***	1,63 ^{ns}	0,18 ^{ns}	4,98***
2 vs 3	0,33 ^{ns}	0,11 ^{ns}	17,73***	0,12 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2,45 ^{ns}
2 vs 4	1,12 ^{ns}	0,40 ^{ns}	28,73***	4,47**	2,33 ^{ns}	0,25 ^{ns}	6,34***
3 vs 4	2,15 ^{ns}	0,16 ^{ns}	5,67***	5,58***	1,16 ^{ns}	0,47 ^{ns}	2,00 ^{ns}

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Tabela 3.5 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha distribuída em área total, da segunda soca de cana-de-açúcar, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo em função da aplicação dos tratamentos

Análise da aplicação dos tratamentos							
	pH	MO	K	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				%
Camada de 0-20 cm de profundidade do solo							
1	5,7	23,7	0,9	22,0	82,2	53,6	72,7
2	6,1	25,8	0,9	19,0	114,3	76,4	80,2
3	6,1	23,0	1,4	19,5	95,1	75,5	78,0
4	5,9	19,5	1,0	20,5	86,7	76,6	73,0
DMS	0,6	3,3	0,3	6,4	29,9	19,4	12,5
Média	6,0	23,7	1,1	19,9	98,6	72,1	77,2
CV	9,3	13,8	24,0	32,2	30,3	26,9	16,1
Valores de F							
1 vs 2	1,11 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,44 ^{ns}	2,30 ^{ns}	2,77 ^{ns}	0,72 ^{ns}
1 vs 3	1,30 ^{ns}	0,08 ^{ns}	10,59***	0,31 ^{ns}	0,37 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,37 ^{ns}
1 vs 4	0,13 ^{ns}	1,93 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,01 ^{ns}
2 vs 3	0,01 ^{ns}	2,24 ^{ns}	12,64***	0,02 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,09 ^{ns}
2 vs 4	0,26 ^{ns}	5,59***	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,50 ^{ns}
3 vs 4	0,34 ^{ns}	1,71 ^{ns}	5,94***	0,04 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Camada de 20-40 cm de profundidade do solo							
1	5,5	19,0	0,6	23,0	80,8	39,3	66,0
2	6,0	20,0	0,7	21,2	93,0	81,4	73,0
3	5,9	17,8	1,1	29,5	80,5	53,5	65,5
4	5,7	13,5	0,8	31,0	74,1	53,6	65,5
DMS	0,9	3,1	0,3	7,6	19,5	19,3	17,4
Média	5,8	18,3	0,7	25,6	84,2	60,8	68,2
CV	14,8	16,7	38,0	29,6	23,2	31,7	25,5
Valores de F							
1 vs 2	0,67 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,77 ^{ns}	9,51***	0,32 ^{ns}
1 vs 3	0,36 ^{ns}	0,29 ^{ns}	4,31**	1,47 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}
1 vs 4	0,06 ^{ns}	3,89***	0,33 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,01 ^{ns}
2 vs 3	0,07 ^{ns}	1,51 ^{ns}	5,00***	3,63 ^{ns}	1,23 ^{ns}	6,24***	0,56 ^{ns}
2 vs 4	0,18 ^{ns}	6,79***	0,74 ^{ns}	2,53 ^{ns}	1,40 ^{ns}	3,11 ^{ns}	0,28 ^{ns}
3 vs 4	0,06 ^{ns}	3,02 ^{ns}	5,97***	0,06 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Corroborando os resultados obtidos no presente trabalho, Flores et al. (2012) avaliando o efeito da aplicação de K₂O em cana colhida sem o uso da despalha a fogo verificaram que com a aplicação de até 195 kg ha⁻¹ de K₂O ocorreu aumento de 0,7 para 1,8 e 0,7 para 1,2 mmol_c dm⁻³, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, ou seja aumento da ordem de 157 e 71%, respectivamente. Aumentos esses, percentualmente um pouco abaixo na camada de 0-20 cm (292%) e ligeiramente acima do encontrado na camada de 20-40 cm (22%) no presente trabalho, possivelmente essas divergências ocorrem devido ao clima, extração pela

variedade cultivada e principalmente ao período de amostragem, visto que no presente trabalho a amostragem do solo foi realizada 1 mês após a aplicação dos tratamentos e no trabalho citado realizou-se aos 6 meses.

O tratamento 2 apresentou maior valor de MO que o tratamento 4, na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, além disso, o tratamento 1 também apresentou maior MO se comparado ao tratamento 4 na camada de 20-40 cm de profundidade do solo na 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.5). Possivelmente isso ocorre devido à aplicação de apenas 60 kg ha⁻¹ de N no tratamento 2 e no tratamento 4 ter sido aplicado 180 kg ha⁻¹ de N, o que favoreceu a diminuição da relação C:N da palha da cana e contribuiu para acelerar a decomposição da matéria orgânica e sua mineralização no solo, visto que o aporte de resíduos com alta relação C:N pode aumentar a demanda por N mineral para sua decomposição (CANTARELLA et al., 2007).

O teor de K aumentou na camada de 0-20 e 20-40 cm da 1ª e 2ª soca conforme a sua aplicação no solo, elevando-se o teor no solo na camada de 0-20 de 1,1 (testemunha) para 6,2 mmol_c dm⁻³ de K (180 kg ha⁻¹ de K₂O) (Tabelas 3.4 e 3.5).

O teor de H+Al na camada de 20-40 cm aumentou, na 1ª soca, apenas no tratamento 4 (180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O), provavelmente devido à maior dose de N aplicado e esse promover a acidificação do solo. Ainda na 1ª soca, a SB nos tratamentos 2 e 4 foi superior ao tratamento 1 na camada de 0-20 cm de profundidade do solo (Tabela 3.4).

Na CTC da camada de 20-40 cm de profundidade da 2ª soca o tratamento 2 apresentou maior CTC que o tratamento 1 e 3 (Tabela 3.5), possivelmente houve aumento da CTC, pois ela é calculada a partir da soma de Ca, Mg, K e H+Al (RAIJ; CANTARELLA, 1997), assim, com aumento da aplicação de K pode dar a falsa impressão de aumento da capacidade de troca de cátions.

A saturação por bases V% diminuiu, na camada de 0-20, com o tratamento 2 e 4 e, na camada de 20-40 cm, com o tratamento 4 em comparação ao tratamento 1 (testemunha) da 1ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.4), todavia, na 2ª soca, o V% apresentou ligeiro aumento, mas que não foi suficiente para apresentar diferença significativa. Os resultados obtidos na 1ª soca de cana diferem dos resultados encontrados por Flores et al. (2012), onde verificaram ligeiro aumento de 5% no V% com a aplicação de 110 kg ha⁻¹ de K₂O, na camada de 0-20 cm de profundidade do solo, mas se aproximam dos 8% encontrados na camada de 0-20 cm da 2ª soca se

comparamos o tratamento 2 com o tratamento 1. Sabe-se que o K contribui para o aumento da saturação por bases, todavia, como o potássio é o nutriente mais extraído e exportado pela cultura da cana-de-açúcar é de se esperar que o fornecimento desse nutriente, promova maior crescimento da cana-de-açúcar e consequentemente maior extração de cátions que compõem a saturação por bases (Ca e Mg) o que pode mascaram a influência benéfica da aplicação de K no V%.

Verifica-se efeito dos tratamentos no teor de N, aos cinco meses, no número e altura dos colmos aos nove meses após a brotação da 1ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.6) e no teor de N e K e diâmetro dos colmos aos cinco meses e na altura das plantas aos cinco e aos nove meses após a brotação da 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.7).

Os tratamentos 2 e 3 apresentaram maior teor de N que o tratamento 1 (controle) na 1ª soca, pois receberam a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N e, portanto, apresentaram teor de N adequado, segundo Raji; Cantarella (1997), na 2ª soca o tratamento 4 apresentou maior teor de N que os tratamentos 1 e 3 (Tabela 3.6). O menor teor de N no tratamento 1 na 1ª soca se deve ao fato desse tratamento não receber a aplicação de N e no tratamento 3 na 2ª soca se deve ao maior crescimento da cultura nesse tratamento e assim diluir o teor de N na folha (Tabela 3.7).

Tabela 3.6 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha distribuída em área total, da primeira soca de cana-de-açúcar, para teor de N e K na folha +1, e variáveis biométricas, em função da aplicação dos tratamentos

	N ^a —g kg ⁻¹ —	K ^a	SPAD	Diâmetro mm	Nº colmos m	Altura cm	Falhas %
Cinco meses após brotação da cana							
1	16,4	7,6	36,3	29,9	9,7	51,3	9,7
2	18,6	7,3	33,9	29,9	10,9	60,3	6,0
3	18,3	7,8	35,3	28,4	9,8	63,2	5,5
4	17,9	8,1	35,8	31,0	10,7	52,5	5,2
DMS	1,1	1,4	2,4	2,4	2,0	9,5	5,4
Média	18,0	7,6	35,0	29,5	10,2	58,8	6,4
CV	6,0	18,4	6,8	8,2	19,0	16,2	84,1
Valores de F							
1 vs 2	8,25***	0,07 ^{ns}	2,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,97 ^{ns}
1 vs 3	6,58***	0,05 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,07 ^{ns}	1,20 ^{ns}
1 vs 4	2,46 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,86 ^{ns}
2 vs 3	0,14 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,02 ^{ns}
2 vs 4	0,54 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}
3 vs 4	0,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,79 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,87 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Nove meses após brotação da cana							
1	-	-	-	27,6	11,3	241,1	-
2	-	-	-	28,3	11,2	249,0	-
3	-	-	-	29,2	12,3	252,9	-
4	-	-	-	29,3	9,5	241,7	-
DMS	-	-	-	2,1	0,8	8,7	-
Média	-	-	-	28,6	11,4	248,1	-
CV	-	-	-	7,5	7,4	3,5	-
Valores de F							
1 vs 2	-	-	-	0,22 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,61 ^{ns}	-
1 vs 3	-	-	-	1,14 ^{ns}	2,79 ^{ns}	3,63**	-
1 vs 4	-	-	-	0,75 ^{ns}	6,62***	0,01 ^{ns}	-
2 vs 3	-	-	-	0,53 ^{ns}	5,69***	0,61 ^{ns}	-
2 vs 4	-	-	-	0,31 ^{ns}	5,80***	1,06 ^{ns}	-
3 vs 4	-	-	-	0,01 ^{ns}	16,77***	2,50 ^{ns}	-

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade; ^a - Teor adequado de N = 18-25 e K = 10-16 considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA,1997).

Tabela 3.7 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha distribuída em área total, da segunda soca de cana-de-açúcar, para teor de N e K na folha +1, e variáveis biométricas, em função da aplicação dos tratamentos

	N ^a —g kg ⁻¹ —	K ^a	SPAD	Diâmetro mm	Nº colmos m	Altura cm	Falhas %
Cinco meses após brotação da cana							
1	13,0	8,4	32,9	17,7	27,6	33,1	7,9
2	14,7	8,8	34,9	21,4	27,8	39,7	5,1
3	13,2	7,8	37,0	22,3	26,6	39,8	7,0
4	17,4	10,7	36,6	21,7	25,3	28,9	9,1
DMS	2,3	1,4	3,2	1,2	5,3	7,3	5,9
Média	14,2	8,6	35,5	21,1	27,1	37,3	6,8
CV	16,0	16,3	8,9	5,7	19,5	19,5	87,6
Valores de F							
1 vs 2	1,12 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,79 ^{ns}	18,50 ^{***}	0,01 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,51 ^{ns}
1 vs 3	0,02 ^{ns}	0,43 ^{ns}	3,32 ^{ns}	28,90 ^{***}	0,07 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,03 ^{ns}
1 vs 4	4,49 ^{**}	3,12 ^{ns}	1,63 ^{ns}	13,02 ^{***}	0,31 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,03 ^{ns}
2 vs 3	1,28 ^{ns}	1,57 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,40 ^{ns}
2 vs 4	2,12 ^{ns}	2,74 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,43 ^{ns}	3,35 ^{**}	0,68 ^{ns}
3 vs 4	5,08 ^{***}	6,47 ^{***}	0,02 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,15 ^{ns}	3,37 ^{**}	0,14 ^{ns}
Nove meses após brotação da cana							
1	-	-	-	29,0	12,7	179,6	-
2	-	-	-	32,0	13,0	214,1	-
3	-	-	-	32,0	12,3	205,6	-
4	-	-	-	32,0	12,5	192,8	-
DMS	-	-	-	2,0	1,8	10,9	-
Média	-	-	-	31,0	12,6	202,5	-
CV	-	-	-	6,9	14,3	5,3	-
Valores de F							
1 vs 2	-	-	-	2,97 ^{ns}	0,07 ^{ns}	20,04 ^{***}	-
1 vs 3	-	-	-	1,87 ^{ns}	0,07 ^{ns}	11,37 ^{***}	-
1 vs 4	-	-	-	2,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,77 ^{ns}	-
2 vs 3	-	-	-	0,19 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,83 ^{ns}	-
2 vs 4	-	-	-	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}	5,72 ^{***}	-
3 vs 4	-	-	-	0,18 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,06 ^{ns}	-

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade; ^a - Teor adequado de N = 18-25 e K = 10-16 considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA,1997).

O teor foliar de K foi maior no tratamento 4 (150 kg ha⁻¹ de K₂O) em relação ao tratamento 1 (controle) da 2ª soca (Tabela 3.7), ficando dentro da faixa de nutrição adequada segundo Raij; Cantarella (1997).

O nº de colmos foi superior no tratamento 3 em relação aos tratamentos 2 e 4 e o tratamento 4 apresentou o menor número de colmos da 1ª soca (Tabela 3.6).

O diâmetro dos colmos da 1ª soca de cana-de-açúcar aumentou com a aplicação de N e K, elevando-se de 17,7 (tratamento controle) para média de 21,8 mm com os tratamentos 2, 3 e 4 (Tabela 3.7).

A altura das plantas aumentou com o fornecimento de K_2O aos 9 meses após a brotação da 1ª soca e aos 5 e 9 meses após a brotação da 2ª soca, corroborando resultados obtidos por El-Tilib et al. (2004) e Flores et al. (2012). Para El-Tilib et al. (2004), a maior altura foi obtida com a aplicação de 86 kg ha^{-1} de K_2O , valor esse ligeiramente abaixo do obtido no presente trabalho, visto que a dose de 100 kg ha^{-1} de K_2O proporcionou a maior altura (Tabela 3.6 e 3.7).

Com relação ao número de perfilhos e diâmetro dos colmos, existem resultados divergentes na literatura com ausência de resposta (FLORES et al., 2012) e presença de resposta (UCHÔA et al., 2009), os casos de a ausência do efeito do potássio nas variáveis de crescimento da cana-de-açúcar ocorre devido à baixa exigência nutricional da cana na fase inicial (FLORES et al., 2012), pois, segundo Coelho; Verlengia (1973), trata-se de uma fase de crescimento lento, assim a de se esperar efeito da aplicação de potássio nas variáveis de crescimento como diâmetro de caule e número de colmos da cana-de-açúcar mais tardiamente, próximo aos dez meses após a brotação da planta (UCHÔA et al., 2009).

Corroborando os resultados, Dantas Neto et al. (2006) e Shukla et al. (2009), em estudos com soqueiras de cana-de-açúcar, observaram aumento no número de colmos, em função do aumento de doses de potássio aplicadas, e Silva (2010) não observou efeito significativo para a altura, em função das doses crescentes de potássio aplicadas, aos 12 meses após o brotamento da primeira soqueira da cana-de-açúcar. Já Orlando Filho et al. (1993) constataram que a deficiência de potássio não alterou o perfilhamento, porém, provocou diminuição no diâmetro médio e altura dos colmos.

Por outro lado, Silva (2010) observou que a aplicação de doses crescentes de potássio não afetou o número de perfilhos, altura, diâmetro de colmo. Além disso, Teixeira (2005) e Felipe (2008) não observaram incrementos significativos para o número e diâmetro do colmo.

Observou-se efeito dos tratamentos na produtividade, Brix, AR e POL da 1ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.8).

O tratamento 3 apresentou maior produtividade de cana-de-açúcar que o tratamento 1 na 1ª soca (Tabela 3.8).

O tratamento 2 apresentou maior Brix, POL e ART que o tratamento 1 da 1ª soca de cana-de-açúcar, além disso, o tratamento 3 também se mostrou superior ao tratamento 1 no POL e o tratamento 1 apresentou maior AR que os tratamentos 2 e 3 da 1ª soca (Tabela 3.8).

No tocante à qualidade, Lana et al. (2004), trabalhando em Latossolo Vermelho, e aplicando quatro doses de K_2O (0 até 180 kg ha⁻¹), observaram que a adubação potássica teve efeito positivo sobre a produção de colmos e a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar.

Outros relatos na literatura indicam que o potássio não afeta o teor de açúcares na cana-de-açúcar (SILVA, 1997; ORLANDO FILHO et al., 1980); entretanto, devido ao aumento de produtividade, pode até aumentar a produção de açúcar por área (KORNDÖRFER, 1994). Por outro lado, quanto maior a dose de K aplicada, maior o teor de cinzas no caldo (SILVA, 1997; ORLANDO FILHO et al., 1980; KORNDÖRFER, 1994). Esse elevado teor de cinzas provoca efeitos negativos na fabricação do açúcar, reduzindo o rendimento industrial, enquanto no processo de produção do etanol, os constituintes das cinzas agem como cofatores do processo fermentativo (KORNDÖRFER, 1994). Assim, nota-se que é importante o equilíbrio do potássio na planta para garantir melhor produtividade e qualidade da cana-de-açúcar.

Tabela 3.8 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha distribuída em área total, para produtividade e fatores qualitativos, em função da aplicação dos tratamentos

	Produtividade t ha ⁻¹	Brix	AR	POL	Fibra	ART kg t ⁻¹ de cana
Primeira soca de cana-de-açúcar						
1	82,1	17,3	1,0	12,7	10,3	129,4
2	84,8	18,3	0,7	14,0	10,1	139,2
3	90,6	17,6	0,8	13,4	9,6	134,7
4	82,2	17,6	0,8	13,3	10,2	133,6
DMS	6,2	0,7	0,1	0,6	0,7	4,5
Média	86,1	17,8	0,8	13,5	10,0	135,2
CV	7,2	3,9	15,9	4,3	7,2	3,3
Valores de F						
1 vs 2	0,37 ^{ns}	4,14 ^{**}	13,53 ^{***}	10,71 ^{***}	0,16 ^{ns}	9,38 ^{***}
1 vs 3	3,69 ^{**}	0,39 ^{ns}	6,56 ^{***}	3,56 ^{**}	2,04 ^{ns}	2,75 ^{ns}
1 vs 4	0,01 ^{ns}	0,34 ^{ns}	2,69 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,02 ^{ns}
2 vs 3	2,60 ^{ns}	2,99 ^{ns}	1,87 ^{ns}	2,88 ^{ns}	1,58 ^{ns}	2,96 ^{ns}
2 vs 4	0,27 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,83 ^{ns}	2,35 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,32 ^{ns}
3 vs 4	2,77 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Segunda soca de cana-de-açúcar						
1	122,8	19,0	0,5	16,9	11,0	143,0
2	139,7	18,9	0,5	16,7	10,7	142,6
3	132,2	18,9	0,4	16,8	10,9	142,5
4	114,9	18,9	0,5	16,3	10,8	139,5
DMS	20,9	0,4	0,1	0,5	0,6	4,1
Média	131,1	18,9	0,5	16,7	10,8	142,3
CV	15,9	2,3	24,7	3,2	5,2	2,9
Valores de F						
1 vs 2	1,32 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,02 ^{ns}
1 vs 3	0,41 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,03 ^{ns}
1 vs 4	0,17 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,91 ^{ns}
2 vs 3	0,38 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,01 ^{ns}
2 vs 4	2,12 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,90 ^{ns}
3 vs 4	1,03 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,82 ^{ns}

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; Brix-Sólidos solúveis totais; AR-Açúcar redutor; ART-Açúcar recuperável total; POL-Teor de sacarose; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Em levantamento de 15 experimentos evidenciou-se que a maior produtividade da cana-de-açúcar foi obtida com a aplicação de 177 kg ha⁻¹ de K₂O, no entanto, verificou-se, neste caso, que acima de 70 kg ha⁻¹ de K₂O os aumentos de produtividade não passam de 1 tonelada. Neste contexto, seria permitida a redução de 30 e 40 kg ha⁻¹ de K₂O na recomendação tradicional de adubação

existente e a dose ficaria próxima de 70 kg ha^{-1} de K_2O (ROSSETTO et al., 2008). No presente trabalho também verificou-se aumento da produtividade da 1ª soca da cana, sendo a maior produtividade obtida com a aplicação de 150 kg ha^{-1} de K_2O (Tabela 3.8). Corroborando evidências de Lana et al. (2004) em cultivo de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho, o qual observou resposta à aplicação de K_2O (0 até 180 kg ha^{-1}).

Em geral, o aumento de produtividade deve-se à integração entre a altura, diâmetro e número de colmos, e pequenos acréscimos em cada uma destas categorias nem sempre são diferenciados pela análise estatística (FLORES et al., 2012), todavia, contribuem para diferenças na produtividade e qualidade (Tabela 3.8).

Efeito dos tratamentos no manejo da palha retirada apenas das linhas da cana-de-açúcar

Verifica-se efeito dos tratamentos, na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, no pH, teor de K, H+Al, SB, V%, N-NH_4^+ e N-NO_3^- , exceto para SB (20-40 cm), da 1ª soca (Tabelas 3.9) e na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, no pH, teor de K, CTC, V%, N-NH_4^+ e N-NO_3^- , exceto para CTC (0-20 cm) da 2ª soca (Tabelas 3.10).

A acidez potencial (H+Al) foi maior no tratamento 4, com diferença de $4,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na camada de 0-20 cm de profundidade do solo da 1ª soca (Tabela 3.9), todavia, na 2ª soca, isso inverteu, e o tratamento 4 apresentou maiores valores de H+Al que os tratamentos 1 e 2 ba Canadá de 0-20 e maiores valores que o tratamento 2 na camada de 20-40 cm de profundidade do solo (Tabela 3.10).

O aumento da acidez potencial (H+Al) com a aplicação de nitrogênio é plenamente aceitável (VALE, 2009; VITTI et al., 2002), isso ocorre quando o íon amônio é convertido em nitrato e íons de hidrogênio são liberados e pode ocorrer perda de cátions para as camadas mais profundas do solo, acompanhando o ânion NO_3^- (TISDALE et al., 1985; HACLIN et al., 2005). Além disso, durante a decomposição da matéria orgânica, que é acelerado pelo fornecimento de nitrogênio, o primeiro produto com nitrogênio é o amônio e quando ele é convertido em nitrato, íons de hidrogênio são liberados, os quais podem causar a acidificação do solo (RAIJ, 1991).

Tabela 3.9 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha retirada das linhas da primeira soca de cana-de-açúcar, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo em função da aplicação dos tratamentos

	pH	MO	K	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³			%
Camada de 0-20 cm de profundidade do solo							
1	6,0	22,7	1,7	16,6	57,7	64,8	96,3
2	6,0	25,3	2,1	17,5	70,6	88,1	78,2
3	6,1	24,7	3,0	15,6	61,8	77,5	78,7
4	6,2	21,0	1,0	13,3	44,5	57,8	76,9
DMS	0,3	4,2	0,8	2,8	22,2	23,1	16,1
Média	6,0	24,1	2,2	16,2	62,2	76,7	81,4
CV	5,0	17,4	38,2	17,3	35,7	30,2	19,8
Valores de F							
1 vs 2	0,05 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,68 ^{ns}	2,04 ^{ns}	2,52 ^{ns}
1 vs 3	0,05 ^{ns}	0,45 ^{ns}	4,99***	0,26 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,61 ^{ns}	2,39 ^{ns}
1 vs 4	0,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,74 ^{ns}
2 vs 3	0,33 ^{ns}	0,08 ^{ns}	3,41**	1,42 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,01 ^{ns}
2 vs 4	0,46 ^{ns}	1,60 ^{ns}	2,55 ^{ns}	3,37**	2,08 ^{ns}	2,57 ^{ns}	0,01 ^{ns}
3 vs 4	0,07 ^{ns}	1,14 ^{ns}	8,42***	0,99 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Camada de 20-40 cm de profundidade do solo							
1	5,7	24,0	1,5	19,6	40,2	69,6	59,6
2	5,8	22,7	1,9	19,9	54,9	74,8	72,5
3	5,9	24,7	2,4	18,5	64,4	83,1	76,6
4	5,8	18,0	1,2	17,8	45,2	73,0	61,6
DMS	0,4	5,1	0,6	4,9	14,2	15,0	8,6
Média	5,8	23,1	1,9	19,1	54,5	76,6	70,4
CV	7,1	22,3	33,2	25,5	26,1	19,5	12,2
Valores de F							
1 vs 2	0,12 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,13 ^{ns}	0,24 ^{ns}	4,48**
1 vs 3	0,55 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3,45**	0,10 ^{ns}	5,77***	1,62 ^{ns}	7,81***
1 vs 4	0,05 ^{ns}	1,63 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,06 ^{ns}
2 vs 3	0,24 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,69 ^{ns}
2 vs 4	0,01 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,43 ^{ns}
3 vs 4	0,16 ^{ns}	2,51 ^{ns}	5,08***	0,03 ^{ns}	2,72 ^{ns}	0,68 ^{ns}	4,60**

3-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Para SB, verificou-se superioridade do tratamento 3 em relação ao tratamento 1, na camada de 20-40 cm de profundidade do solo da 1ª soca de cana e do tratamento 2 em relação aos tratamentos 3 e 4 na camada de 0-20 cm de profundidade do solo e do tratamento 2 em relação ao tratamento 3 na camada de 20-40 cm de profundidade do solo na 2ª soca.

A SB é oriunda da soma do Ca+Mg+K, assim, espera-se aumento do seu valor com a aplicação de K, todavia, com o aumento da aplicação de fertilizantes,

ocorreu aumento da produção de cana-de-açúcar (Tabela 3.13), assim ocorre aumento da extração de bases e consequentemente tende a reduzir a SB.

Tabela 3.10 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha retirada das linhas da segunda soca de cana-de-açúcar, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo em função da aplicação dos tratamentos

	pH	MO	K	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				%
Camada de 0-20 cm de profundidade do solo							
1	6,0	22,3	1,5	18,7	113,7	94,7	83,0
2	5,9	25,0	1,9	19,5	124,0	99,1	81,8
3	5,9	23,0	1,8	21,0	93,9	79,4	77,8
4	5,2	14,0	1,9	28,0	74,9	47,2	63,0
DMS	0,4	3,0	0,5	5,4	25,4	21,3	8,8
Média	5,8	22,5	1,8	20,9	105,8	85,2	78,4
CV	6,5	13,5	28,0	26,2	24,0	25,0	11,2
Valores de F							
1 vs 2	0,09 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,04 ^{ns}
1 vs 3	0,09 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,69 ^{ns}
1 vs 4	5,93***	8,98***	0,91 ^{ns}	3,50**	2,81 ^{ns}	5,98***	6,20***
2 vs 3	0,01 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,23 ^{ns}	4,22***	2,56 ^{ns}	0,62 ^{ns}
2 vs 4	6,03***	19,55***	0,01 ^{ns}	3,63**	5,62***	8,89***	6,88***
3 vs 4	6,03***	13,09***	0,06 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,84 ^{ns}	3,42**	4,27**
Camada de 20-40 cm de profundidade do solo							
1	5,4	17,0	0,7	26,0	88,3	62,3	69,7
2	5,8	18,0	1,1	21,2	96,5	76,7	76,5
3	5,6	18,3	1,2	24,5	76,9	53,2	68,7
4	5,1	19,0	1,8	29,5	79,6	50,3	62,5
DMS	0,4	3,9	0,3	5,5	17,3	15,8	11,1
Média	5,6	18,1	1,1	24,2	86,1	62,8	70,9
CV	6,7	21,7	28,4	22,9	20,0	25,2	15,6
Valores de F							
1 vs 2	2,25 ^{ns}	0,13 ^{ns}	2,66 ^{ns}	1,52 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,76 ^{ns}
1 vs 3	0,39 ^{ns}	0,23 ^{ns}	4,32**	0,15 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,02 ^{ns}
1 vs 4	1,24 ^{ns}	0,31 ^{ns}	13,11***	0,48 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,50 ^{ns}
2 vs 3	1,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,09 ^{ns}	3,86**	6,61***	1,50 ^{ns}
2 vs 4	6,49***	0,10 ^{ns}	6,94***	3,40**	1,44 ^{ns}	4,17***	2,40 ^{ns}
3 vs 4	3,20 ^{ns}	0,04 ^{ns}	5,06***	1,22 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,47 ^{ns}

3-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Na 1ª soca, o tratamento 1 apresentou maior V% que o tratamento 2 e 3 e o tratamento 3 maior que o tratamento 4 na camada de 20-40 cm de profundidade do solo (Tabela 3.9). Na 2ª soca, na camada de 20-40 cm de profundidade do solo, o tratamento 4 apresentou menor CTC comparativamente a todos os tratamentos e, na camada de 20-40 cm de profundidade do solo, menor que os tratamentos 2 e 3 (Tabela 3.10), isso ocorre, pois a CTC é calculada indiretamente pela soma de

Ca+Mg+K+H+Al (RAIJ; CANTARELLA, 1997), assim, com aumento do teor de K no solo, tende-se aumentar o valor da CTC.

O maior teor de K, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, foi obtido com o tratamento 3 na 1ª soca (Tabela 3.9) e na camada de 20-40 cm de profundidade, foi obtido com o tratamento 4 na 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.10). Os tratamentos 3 e 4 apresentaram o maior teor de K, pois receberam a maior dose de cloreto de potássio, o que levou ao aumento em relação ao tratamento 1 em cerca de 1,3 (0-20 cm) e 0,9 (20-40 cm) comparado ao tratamento 3 na 1ª soca, e 0,9 (20-40 cm) comparado ao tratamento 4 na 2ª soca.

Nesse contexto, Flores et al. (2012) avaliaram o efeito da aplicação de K_2O em cana-de-açúcar, onde concluíram que com a aplicação de até 195 kg ha^{-1} de K_2O promoveu aumento de 0,7 para 1,8 e 0,7 para 1,2 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, no presente estudo a aplicação de 120 kg ha^{-1} (tratamento 3) promoveu aumento, na 1ª soca, de 1,7 para 3,0 e 1,5 para 2,4 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e na 2ª soca, de 1,5 para 1,8 e 0,7 para 1,2 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo (Tabelas 3.9 e 3.10).

Os menores valores de MO observados no tratamento 4, na camada de 0-20 cm de profundidade do solo, da 2ª soca, provavelmente, é devido a maior aplicação de nitrogênio nesse tratamento (180 kg ha^{-1} de N) diminuir a relação C/N da palha e acelerar a decomposição desse material orgânico e consequentemente favorecer para diminuição da MO do solo, pois, resíduos com alta relação C/N, como é o que o corre com a palha da cana-de-açúcar tendem a apresentar alta taxa de decomposição quando existe disponibilidade de N mineral no solo (AITA et al., 2007).

Os resultados obtidos na 1ª soca de cana corroboram resultados encontrados por Flores et al. (2012), onde verificaram ligeiro aumento de 5% no V% com a aplicação de 110 kg ha^{-1} de K_2O .

Verifica-se efeito dos tratamentos no teor de N, leitura SPAD e altura, aos cinco meses, no diâmetro e altura dos colmos aos nove meses após a brotação da 1ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.11) e no nº de colmos, altura e falhas de cana aos cinco meses após a brotação da 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.12).

Na 1ª soca, o tratamento 4 apresentou maior teor de N ($19,7 \text{ g kg}^{-1}$) comparativamente ao tratamento 1 ($16,4 \text{ g kg}^{-1}$), isso ocorreu devido o tratamento 4

receber 180 kg ha⁻¹ de N e o tratamento 1 (controle), não receber aplicação de fertilizantes.

Tabela 3.11 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha retirada das linhas da primeira soca de cana-de-açúcar, para teor de N e K na folha +1, e variáveis biométricas, em função da aplicação dos tratamentos

	N ^a —g kg ⁻¹ —	K ^a	SPAD	Diâmetro mm	Nº colmos m	Altura cm	Falhas %
Cinco meses após brotação da cana							
1	16,4	9,9	38,3	30,7	12,6	69,0	10,7
2	17,9	8,7	35,7	30,0	13,7	73,2	7,5
3	17,9	9,2	35,5	30,3	22,1	64,6	6,9
4	19,7	7,4	36,4	28,7	13,3	70,6	13,0
DMS	1,6	1,5	1,5	1,4	13,9	7,2	5,3
Média	17,9	8,9	36,2	30,1	16,4	69,1	8,5
CV	8,8	17,3	4,2	4,7	84,6	10,5	61,9
Valores de F							
1 vs 2	1,89 ^{ns}	1,11 ^{ns}	6,09***	0,50 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,72 ^{ns}
1 vs 3	1,78 ^{ns}	0,34 ^{ns}	7,35***	0,15 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,02 ^{ns}
1 vs 4	5,28***	3,07 ^{ns}	1,94 ^{ns}	2,43 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,24 ^{ns}
2 vs 3	0,01 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,15 ^{ns}	1,10 ^{ns}	4,26**	0,04 ^{ns}
2 vs 4	1,90 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,64 ^{ns}
3 vs 4	2,00 ^{ns}	2,11 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,98 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,04 ^{ns}	2,03 ^{ns}
Nove meses após brotação da cana							
1	-	-	-	27,1	14,6	264,8	-
2	-	-	-	29,5	14,1	265,3	-
3	-	-	-	28,3	12,6	260,6	-
4	-	-	-	29,0	13,0	243,5	-
DMS	-	-	-	1,2	2,2	7,6	-
Média	-	-	-	28,6	13,5	261,0	-
CV	-	-	-	4,2	16,0	2,9	-
Valores de F							
1 vs 2	-	-	-	7,71***	0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-
1 vs 3	-	-	-	2,10 ^{ns}	1,67 ^{ns}	0,63 ^{ns}	-
1 vs 4	-	-	-	3,02 ^{ns}	0,73 ^{ns}	9,56***	-
2 vs 3	-	-	-	2,65 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,17 ^{ns}	-
2 vs 4	-	-	-	0,21 ^{ns}	0,42 ^{ns}	12,49***	-
3 vs 4	-	-	-	0,48 ^{ns}	0,03 ^{ns}	7,66***	-

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade; ^a - Teor adequado de N = 18-25 e K = 10-16 considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA,1997).

Observa-se que o tratamento 4 da 1ª soca foi o único que apresentou teor de N dentro da faixa adequada (18 a 25 g kg⁻¹ de N) segundo Raij; Cantarella (1997).

O teor de K na 1ª e 2ª soca e de N na 2ª soca não foram influenciados pelos tratamentos e todos os valores médio dos teores de N e K nesses tratamentos ficaram abaixo da faixa de teor adequado (N=18 a 25 e K 10 a 16 g kg⁻¹) (RAIJ; CANTARELLA, 1997), exceto para o tratamento 4 na 2ª soca que apresentou teor de 11,5 g kg⁻¹, isso ocorreu, pois esse tratamento recebeu 180 kg ha⁻¹ de K.

Tabela 3.12 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha retirada das linhas da segunda soca de cana-de-açúcar, para teor de N e K na folha +1, e variáveis biométricas, em função da aplicação dos tratamentos

	N ^a —g kg ⁻¹ —	K ^a	SPAD	Diâmetro mm	Nº colmos m	Altura cm	Falhas %
Cinco meses após brotação da cana							
1	17,1	8,7	37,7	22,7	32,6	47,2	11,2
2	16,3	8,3	38,6	21,0	25,1	48,8	4,6
3	16,4	8,9	37,8	21,8	24,8	45,8	9,5
4	16,5	11,5	38,2	20,1	17,3	35,4	5,1
DMS	1,2	2,5	1,7	1,9	7,1	5,1	3,9
Média	16,5	9,0	38,1	21,5	25,4	45,9	7,6
CV	7,7	28,3	4,4	9,0	28,0	11,0	51,5
Valores de F							
1 vs 2	0,79 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,56 ^{ns}	2,32 ^{ns}	0,20 ^{ns}	6,01***
1 vs 3	0,63 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,44 ^{ns}	2,42 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,36 ^{ns}
1 vs 4	0,30 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,09 ^{ns}	2,24 ^{ns}	5,44***	6,48***	2,63 ^{ns}
2 vs 3	0,01 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,02 ^{ns}	5,15***
2 vs 4	0,03 ^{ns}	2,34 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,66 ^{ns}	10,48***	0,10 ^{ns}
3 vs 4	0,01 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,59 ^{ns}	6,36***	1,68 ^{ns}
Nove meses após brotação da cana							
1	-	-	-	33,0	16,0	206,5	-
2	-	-	-	32,0	14,2	216,8	-
3	-	-	-	32,0	14,0	211,6	-
4	-	-	-	30,0	15,0	207,8	-
DMS	-	-	-	2,0	1,9	10,3	-
Média	-	-	-	32,0	14,5	212,1	-
CV	-	-	-	5,9	12,8	4,9	-
Valores de F							
1 vs 2	-	-	-	0,35 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,95 ^{ns}	-
1 vs 3	-	-	-	0,26 ^{ns}	2,32 ^{ns}	0,49 ^{ns}	-
1 vs 4	-	-	-	1,55 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-
2 vs 3	-	-	-	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,73 ^{ns}	-
2 vs 4	-	-	-	0,78 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,12 ^{ns}	-
3 vs 4	-	-	-	0,89 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade; ^a - Teor adequado de N = 18-25 e K = 10-16 considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA, 1997).

O tratamento 1 apresentou maior valor de SPAD que os tratamentos 2 e 3, provavelmente isso ocorreu porque com a aplicação dos fertilizantes ocorreu maior crescimento das plantas (Tabela 3.11) e consequentemente diminuiu a coloração verde das plantas.

Para o diâmetro das plantas aos 9 meses após a brotação da 1ª soca de cana-de-açúcar, verificou-se maior diâmetro no tratamento 2 se comparado ao tratamento 1 (Tabela 3.11).

Verificou-se aumento da ordem de 8,9% no diâmetro dos colmos com o tratamento 2 (120 kg ha^{-1} de N + 50 kg ha^{-1} de K_2O), de acordo com Moura et al. (2005) a adubação nitrogenada e potássica em cobertura na primeira soca da cana-de-açúcar ocasionou comportamento quadrático no diâmetro de colmos. Landell; Silva (2004) destacam que o diâmetro de colmo é um dos atributos de produção determinantes do potencial produtivo da cana-de-açúcar. Sendo assim, destaca-se a importância da adubação nitrogenada e potássica para o aumento deste atributo.

Para altura das plantas, verificou-se superioridade do tratamento 2 em relação ao tratamento 3, aos 5 meses após a brotação da 1ª soca de cana-de-açúcar, e inferioridade do tratamento 4 em relação aos tratamentos 1, 2 e 3, aos 9 meses após a brotação da 1ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.11).

Aos 5 meses após a brotação da 2ª soca de cana-de-açúcar verificou-se que o tratamento 4 apresentou menor nº de colmos que o tratamento 1 e menor altura que os tratamentos 1, 3 e 3, já o tratamento 2 apresentou menor altura que o tratamento 1 e 3 (Tabela 3.12).

Quando analisa-se as variáveis de crescimento com a produtividade das duas socas (Tabela 3.13) constata-se que os tratamentos que receberam aplicação de fertilizantes (Tratamentos 2, 3 e 4) apresentaram alta produtividade, evidenciando que o diâmetro e % de falhas apresentaram melhor relação com a produtividade da cana-de-açúcar no presente estudo.

Observou-se efeito dos tratamentos na produtividade da 1ª e 2ª soca, Fibra da 1ª soca e AR da 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 1.13).

A ausência do efeito da aplicação de K_2O no Brix também observada por vários trabalhos (CAIONE et al., 2011; UCHÔA et al., 2009), no presente estudo os valores de Brix variaram de 18,1 a 19,3, próximo aos valores observados por Uchôa et al. (2009) que obtiveram valores variando de 18,19 com a variedade SP 791011 a 20,2 com a variedade RB 72454 e ligeiramente abaixo dos observados por Caione et

al. (2011) que observaram valores de 21,87 a 22,75 Brix. As variações no Brix está associado às características genéticas das variedades (CAINOE et al., 2011).

Tabela 3.13 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha retirada das linhas da cana-de-açúcar, para produtividade e fatores qualitativos, em função da aplicação dos tratamentos

	Produtividade t ha ⁻¹	Brix	AR	POL	Fibra	ART kg t ⁻¹ de cana
Primeira soca de cana-de-açúcar						
1	80,2	18,6	0,7	14,3	9,6	142,4
2	107,9	18,1	0,7	13,9	9,5	139,2
3	100,8	18,1	0,8	13,8	9,6	138,2
4	109,6	18,3	0,8	13,6	10,9	136,9
DMS	9,7	0,8	0,1	0,7	0,7	5,5
Média	100,7	18,2	0,8	13,9	9,7	139,1
CV	9,6	4,2	19,0	5,0	7,1	3,9
Valores de F						
1 vs 2	16,39***	0,83 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,69 ^{ns}
1 vs 3	9,04***	0,90 ^{ns}	0,28 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,22 ^{ns}
1 vs 4	10,99***	0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,00 ^{ns}	3,94**	1,23 ^{ns}
2 vs 3	1,62 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,11 ^{ns}
2 vs 4	0,04 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,26 ^{ns}	6,35***	0,27 ^{ns}
3 vs 4	1,21 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	4,67**	0,08 ^{ns}
Segunda soca de cana-de-açúcar						
1	114,7	19,3	0,3	17,2	11,0	145,8
2	132,9	19,4	0,4	17,5	10,7	148,8
3	141,3	19,1	0,5	17,0	10,6	145,2
4	119,1	19,0	0,3	17,0	11,3	143,6
DMS	19,6	0,8	0,1	0,9	0,5	7,4
Média	131,0	19,2	0,4	17,2	20,8	146,4
CV	15,0	4,2	26,7	5,3	5,1	5,0
Valores de F						
1 vs 2	1,74 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,32 ^{ns}
1 vs 3	3,68**	0,13 ^{ns}	5,46***	0,09 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}
1 vs 4	0,06 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,11 ^{ns}
2 vs 3	0,54 ^{ns}	0,58 ^{ns}	2,12 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,70 ^{ns}
2 vs 4	0,75 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,73 ^{ns}
3 vs 4	1,93 ^{ns}	0,01 ^{ns}	4,45**	0,01 ^{ns}	2,40 ^{ns}	0,07 ^{ns}

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; Brix-Sólidos solúveis totais; AR-Açúcar redutor; ART-Açúcar recuperável total; POL-Teor de sacarose; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Existem trabalhos, que apontam ausência de resposta à aplicação de potássio no teor de açúcares na cana-de-açúcar (SILVA, 1997; ORLANDO FILHO et

al., 1980); por outro lado, com o aumento de potássio, pode aumentar a produção por área de cana e de açúcar (KORNDÖRFER, 1994).

Efeito dos tratamentos no manejo da palha retirada a cada duas linhas da cana-de-açúcar (palha enleirada)

Verifica-se efeito dos tratamentos, na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, no teor de K, H+Al, SB, V%, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, exceto para SB e V% (0-20 cm) e para H+Al (20-40 cm), da 1ª soca (Tabelas 3.14) e na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, no pH, MO, teor de K, H+Al, SB, CTC, V%, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, exceto para K (0-20 cm) e para MO e V% (20-40 cm), da 2ª soca (Tabelas 1.5).

A aplicação de fertilizantes (tratamentos 2, 3 e 4) promoveram diminuição do pH nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo da 1ª soca (Tabela 3.14), efeito similar ocorreu na camada de 0-20 cm de profundidade da 2ª soca, onde os tratamentos 2 e 3 apresentaram menor pH que o tratamento 1 (Tabela 3.15).

Na camada de 0-20 cm de profundidade da 1ª soca os tratamentos 2 e 4 apresentaram menor teor de K no solo, se comparado ao tratamento 1, na camada de 20-40 cm de profundidade, o tratamento 4 apresentou menor teor de K que o tratamento 3 (Tabela 3.14) e na 2ª soca o tratamento 3 apresentou maior teor de K que o tratamento 1 (Tabela 3.15).

Na camada de 0-20 cm de profundidade do solo da 1ª soca os tratamentos 3 e 4 apresentaram maior H+Al que o tratamento 1, e na camada de 20-40 cm o tratamento 4 foi superior ao tratamento 1 (Tabela 3.14).

Para SB, na camada de 0-20 cm da profundidade do solo da 1ª soca de cana-de-açúcar, os tratamentos 3 e 4 apresentaram menor V% que o tratamento 1, além disso, nessa camada o tratamento 2 também se mostrou superior ao tratamento 4 em relação ao V%. Na camada de 20-40 cm de profundidade do solo o tratamento 4 apresentou menor V% que o tratamento 1 e 3 (Tabela 3.14).

Outros trabalhos avaliando o efeito da aplicação de N verificaram diminuição na saturação por bases, essa diminuição ocorreu porque o N diminuiu a disponibilidade de Mg no solo (TEIXEIRA et al., 2001).

Tabela 3.14 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha retirada a cada duas linhas da primeira soca de cana-de-açúcar, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo em função da aplicação dos tratamentos

	pH	MO	K	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				%
Camada de 0-20 cm de profundidade do solo							
1	5,7	21,7	3,4	15,9	64,1	73,1	89,6
2	5,3	23,5	2,3	22,5	74,3	93,4	81,4
3	5,2	22,3	2,7	23,6	55,1	78,4	69,1
4	5,2	23,5	2,1	26,2	42,1	76,8	54,1
DMS	0,3	4,0	0,7	5,2	18,5	24,8	12,2
Média	5,3	22,8	2,6	22,2	61,9	82,6	75,3
CV	6,2	17,4	27,0	23,7	29,9	30,1	16,2
Valores de F							
1 vs 2	3,44**	0,43 ^{ns}	4,52**	3,13 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,90 ^{ns}
1 vs 3	5,44***	0,06 ^{ns}	1,86 ^{ns}	4,30**	0,47 ^{ns}	0,09 ^{ns}	5,70***
1 vs 4	3,74**	0,26 ^{ns}	4,03**	4,59**	1,69 ^{ns}	0,03 ^{ns}	10,23***
2 vs 3	0,37 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,14 ^{ns}	3,25**	1,09 ^{ns}	3,11 ^{ns}
2 vs 4	0,31 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,75 ^{ns}	4,54**	0,67 ^{ns}	7,60***
3 vs 4	0,02 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,28 ^{ns}
Camada de 20-40 cm de profundidade do solo							
1	5,7	19,7	2,1	18,4	41,4	57,7	71,6
2	5,0	19,5	1,7	26,4	47,5	73,9	61,9
3	5,0	19,5	2,3	25,1	50,6	70,2	73,8
4	5,0	17,0	1,1	30,2	30,6	63,8	48,6
DMS	0,4	4,0	0,6	6,5	15,9	18,9	13,4
Média	5,1	19,2	1,9	24,9	45,5	68,6	66,2
CV	7,7	20,7	32,6	6,0	35,0	27,6	20,2
Valores de F							
1 vs 2	5,16***	0,01 ^{ns}	0,78 ^{ns}	3,04 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,48 ^{ns}	1,06 ^{ns}
1 vs 3	5,72***	0,01 ^{ns}	0,18 ^{ns}	2,13 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,05 ^{ns}
1 vs 4	3,43**	0,54 ^{ns}	2,98 ^{ns}	3,99**	0,55 ^{ns}	0,13 ^{ns}	3,59**
2 vs 3	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,11 ^{ns}	2,37 ^{ns}
2 vs 4	0,01 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,50 ^{ns}
3 vs 4	0,01 ^{ns}	0,59 ^{ns}	5,27***	0,94 ^{ns}	2,36 ^{ns}	0,17 ^{ns}	5,35***

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Tabela 3.15 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F no manejo da palha retirada a cada duas linhas da segunda soca de cana-de-açúcar, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo em função da aplicação dos tratamentos

Camada de 0-20 cm de profundidade do solo							
	pH	MO	K	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				%
1	5,8	18,0	1,0	20,3	87,3	45,6	74,0
2	5,2	20,7	1,4	29,8	86,4	56,6	63,3
3	5,2	20,2	1,5	29,8	75,2	45,3	60,5
4	5,5	21,5	1,6	26,5	86,4	59,8	69,5
DMS	0,4	4,2	0,4	9,5	18,0	16,7	13,4
Média	5,3	20,1	1,4	27,8	82,6	51,0	64,9
CV	8,1	20,8	28,7	34,1	21,8	32,8	20,6
Valores de F							
1 vs 2	3,65**	0,81 ^{ns}	1,59 ^{ns}	2,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,27 ^{ns}
1 vs 3	4,30**	0,53 ^{ns}	3,25**	2,01 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,04 ^{ns}
1 vs 4	0,79 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,36 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,14 ^{ns}
2 vs 3	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,13 ^{ns}
2 vs 4	0,44 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,32 ^{ns}
3 vs 4	0,65 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,68 ^{ns}
Camada de 20-40 cm de profundidade do solo							
1	5,4	14,7	0,7	26,3	76,1	27,9	59,7
2	5,1	15,8	0,8	31,5	70,6	39,3	55,7
3	5,0	16,5	0,8	33,3	70,2	36,9	52,0
4	4,9	15,0	1,0	38,5	70,2	31,7	46,5
DMS	0,4	4,5	0,3	9,8	13,8	8,3	14,0
Média	5,1	15,8	0,8	32,1	71,4	35,5	54,0
CV	8,5	28,5	33,5	30,6	19,3	23,4	25,9
Valores de F							
1 vs 2	0,86 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,31 ^{ns}	3,74**	0,16 ^{ns}
1 vs 3	1,58 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,37 ^{ns}	2,32 ^{ns}	0,60 ^{ns}
1 vs 4	1,40 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,52 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,06 ^{ns}
2 vs 3	0,16 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,21 ^{ns}
2 vs 4	0,27 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,64 ^{ns}
3 vs 4	0,06 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,23 ^{ns}

2-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Na camada de 20-40 cm de profundidade do solo da 2ª soca, verificou-se que o tratamento que não recebeu aplicação de fertilizantes (Tabela 3.15) apresentou o menor valor para CTC do solo, quando comparado ao tratamento que recebeu 120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O (tratamento 2), isso ocorre, pois calculou-se a CTC pelo somatório de Ca+Mg+K+H+Al, assim com a aplicação de potássio, tende-se aumentar os valores da CTC.

Verifica-se efeito dos tratamentos na leitura SPAD, diâmetro e nº de colmos aos nove meses após a brotação da 1ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.16) e no teor de K e diâmetro dos colmos aos cinco meses após a brotação da cana e no diâmetro e altura das plantas da 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.17).

Tabela 3.16 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha retirada a cada duas linhas da primeira soca de cana-de-açúcar, para teor de N e K na folha +1, e variáveis biométricas, em função da aplicação dos tratamentos

	N ^a —g kg ⁻¹ —	K ^a	SPAD	Diâmetro mm	Nº colmos m	Altura cm	Falhas %
Cinco meses após brotação da cana							
1	16,5	7,4	35,4	25,4	8,1	53,1	13,6
2	19,0	7,3	36,0	25,7	9,7	52,2	7,3
3	18,0	6,2	33,1	28,1	10,3	57,0	9,7
4	16,8	5,6	32,2	29,6	9,7	60,5	6,1
DMS	2,2	2,1	2,3	1,6	1,3	11,1	6,9
Média	18,0	6,7	34,4	26,9	9,6	55,0	9,1
CV	12,4	30,7	6,5	5,9	13,9	20,2	75,7
Valores de F							
1 vs 2	2,35 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,10 ^{ns}	2,64 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,67 ^{ns}
1 vs 3	0,91 ^{ns}	0,71 ^{ns}	2,07 ^{ns}	5,6***	5,29***	0,25 ^{ns}	0,62 ^{ns}
1 vs 4	0,02 ^{ns}	0,89 ^{ns}	2,46 ^{ns}	8,06***	1,63 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,41 ^{ns}
2 vs 3	0,50 ^{ns}	0,93 ^{ns}	5,08***	6,29***	0,68 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,38 ^{ns}
2 vs 4	1,35 ^{ns}	1,01 ^{ns}	4,42**	8,39***	0,01 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,04 ^{ns}
3 vs 4	0,44 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Nove meses após brotação da cana							
1	-	-	-	26,7	11,2	227,9	-
2	-	-	-	27,8	12,7	223,7	-
3	-	-	-	27,6	12,7	222,7	-
4	-	-	-	27,9	11,5	241,8	-
DMS	-	-	-	0,5	1,3	20,0	-
Média	-	-	-	0,7	12,3	226,2	-
CV	-	-	-	2,8	10,4	8,8	-
Valores de F							
1 vs 2	-	-	-	1,23 ^{ns}	2,73 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-
1 vs 3	-	-	-	0,82 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-
1 vs 4	-	-	-	0,81 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,58 ^{ns}	-
2 vs 3	-	-	-	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-
2 vs 4	-	-	-	0,01 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,23 ^{ns}	-
3 vs 4	-	-	-	0,05 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,37 ^{ns}	-

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade; ^a - Teor adequado de N = 18-25 e K = 10-16 considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA,1997).

Tabela 3.17 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha retirada a cada duas linhas da segunda soca de cana-de-açúcar, para teor de N e K na folha +1, e variáveis biométricas, em função da aplicação dos tratamentos

	N ^a g kg ⁻¹	K ^a	SPAD	Diâmetro mm	Nº colmos m	Altura cm	Falhas %
Cinco meses após brotação da cana							
1	15,5	9,4	36,5	21,5	18,8	28,9	4,6
2	15,4	7,2	36,9	19,6	19,6	31,2	4,6
3	16,2	8,9	36,7	20,2	19,1	29,9	6,2
4	13,9	4,9	35,3	18,0	21,4	33,4	6,2
DMS	1,7	2,1	2,0	1,6	6,9	7,9	3,0
Média	15,5	7,9	36,6	20,0	19,6	30,6	5,3
CV	11,2	26,6	5,5	8,2	35,0	26,0	56,2
Valores de F							
1 vs 2	0,01 ^{ns}	2,21 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2,81 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}
1 vs 3	0,30 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,51 ^{ns}
1 vs 4	1,09 ^{ns}	5,67***	0,42 ^{ns}	5,60***	0,16 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,24 ^{ns}
2 vs 3	0,64 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,94 ^{ns}
2 vs 4	1,15 ^{ns}	1,89 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,38 ^{ns}
3 vs 4	2,67 ^{ns}	5,54***	0,65 ^{ns}	2,71 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Nove meses após brotação da cana							
1	-	-	-	28,0	12,3	85,8	-
2	-	-	-	28,0	13,2	108,1	-
3	-	-	-	30,0	13,5	124,7	-
4	-	-	-	30,0	12,5	149,8	-
DMS	-	-	-	2,0	1,8	35,0	-
Média	-	-	-	29,0	13,1	114,9	-
CV	-	-	-	6,1	13,7	30,5	-
Valores de F							
1 vs 2	-	-	-	0,10 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,81 ^{ns}	-
1 vs 3	-	-	-	1,69 ^{ns}	0,85 ^{ns}	2,48 ^{ns}	-
1 vs 4	-	-	-	1,74 ^{ns}	0,01 ^{ns}	4,01**	-
2 vs 3	-	-	-	3,89**	0,10 ^{ns}	0,68 ^{ns}	-
2 vs 4	-	-	-	3,04 ^{ns}	0,21 ^{ns}	2,13 ^{ns}	-
3 vs 4	-	-	-	0,12 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,77 ^{ns}	-

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade; ^a - Teor adequado de N = 18-25 e K = 10-16 considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA,1997).

Aos cinco meses após a brotação da 1ª soca de cana-de-açúcar verificou-se que o tratamento 2 apresentou o maior valor SPAD (36) quando se compara aos tratamentos 3 (33,1) 4 (32,2), para o diâmetro, os tratamentos 3 e 4 apresentou os maiores valores e não diferiram entre si; em relação ao nº de colmos, o tratamento 3 (10,3 colmos / m) proporcionou maiores valores que o Tratamento 1 (8,1 colmos Q m) (Tabela 3.16).

A leitura SPAD é interessante para ter um indicativo da disponibilidade de N para a cana-de-açúcar, pois cerca de 50 a 70% do N total na folha está associado a enzimas presentes nos cloroplastos (CHAPMAN; BARRETO, 1997). Estudos envolvendo a aplicação de índices SPAD para avaliar o estado nutricional em nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar são escassos na literatura, e diversos trabalhos não verificaram influência da aplicação de nitrogênio na leitura SPAD (VALE, 2009 e WIEDENFELD, 1997).

Aos 5 meses após a brotação da 2ª soca de cana-de-açúcar observa-se maior teor de K na folha +1 com a aplicação dos tratamentos 1 e 3 comparativamente ao tratamento 4, e maior diâmetro dos colmos com o tratamento 1 em relação ao tratamento 4 (Tabela 3.17).

Verificou-se, na 1ª e 2ª soca, respectivamente, teor médio de N variando de 16,5 a 19 g kg⁻¹ de N e de 5,6 a 7,4 g kg⁻¹ de K, e de 13,9 a 16,2 g kg⁻¹ de N e de 4,9 a 9,4 g kg⁻¹ de K, segundo Raij; Cantarella (1997) o teor adequado para N é 18-25 g kg⁻¹ e para K é 10-16 g kg⁻¹. Todavia, Reis Jr; Monnerat (2003), na folha +3, constatou que a faixa adequada de N está entre 13,4 e 22 g kg⁻¹, colocando o teor de N encontrado no experimento adequando para as plantas de cana-de-açúcar. Costa (2001), trabalhando com a 3ª soca de cana-de-açúcar, colhida sem despalha a fogo, observou que na folha +1 o teor de N variou de 15,8 até 18,8 g kg⁻¹, estando o teor médio entre 15,9 e 17,7 g kg⁻¹ adequado para a cultura.

As diferenças entre os teores observados no trabalho e os relatados na literatura ocorrem em função da época de amostragem, sendo que foi considerado amostragem aos 4 meses após a brotação, enquanto que RAIJ; CANTARELLA (1997) referem-se à amostragem em pleno desenvolvimento da cultura, que ocorre após os 4 meses da brotação e também a outros fatores, tais como cultivares (MENDES, 2006), condições edafoclimáticas, produtividades distintas e o efeito de diluição retratado por Jarrell; Beverly (1981), no qual a concentração dos nutrientes é diluída com o maior crescimento da planta. Sabe-se que a concentração dos nutrientes nas folhas são afetadas pela idade da cultura, variações climáticas e até o horário do dia (GOMEZ ALVAREZ, 1974).

Aos 9 meses após a brotação da 2ª soca verificou-se maior diâmetro dos colmos com o tratamento 3 em relação ao tratamento 2 e maior altura das plantas de cana-de-açúcar com o tratamento 4 em relação ao tratamento 1 (Tabela 3.17), o efeito benéfico da aplicação de fertilizantes nas variáveis biológicas da cana-de-

açúcar refletiram na maior produtividade da cana-de-açúcar com esses tratamentos (Tabela 3.18).

Com relação ao número de perfilhos e diâmetro dos colmos em resposta a aplicação de K, existem resultados divergentes na literatura com ausência de resposta (FLORES et al., 2012) e presença de resposta (UCHÔA et al., 2009), a ausência de resposta da cana à aplicação de K é devido à baixa exigência nutricional da cana na fase inicial (FLORES et al., 2012), pois, trata-se de uma fase de crescimento lento, assim a de se esperar efeito da aplicação de potássio nas variáveis de crescimento como diâmetro de caule e número de colmos da cana-de-açúcar mais tardiamente, próximo aos dez meses após a brotação da planta (UCHÔA et al., 2009).

Observou-se efeito dos tratamentos na produtividade e no AR da 2ª soca de cana-de-açúcar (Tabela 3.18).

Na 2ª soca da cana-de-açúcar, os tratamentos que receberam fertilizantes (tratamentos 2, 3 e 4) aumentaram a produção em relação ao tratamento 1 (controle), mas não diferiram entre si, apesar da diferença de 16 t ha^{-1} de cana-de-açúcar, em relação ao AR, o tratamento 3 apresentou menor valor que o tratamento 1 (Tabela 3.18).

Uchôa et al. (2009) avaliando a resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de K, verificaram que as variedades responderam de forma quadrática as doses de K para todas as variáveis estudadas, exceto o Brix e o índice de maturação, sendo que a dose de máxima eficiência econômica variou de 94 a 165 kg ha^{-1} de K_2O , neste manejo da palha (MP2:1) a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N + 50 kg ha^{-1} de K_2O já foi suficiente para garantir alta produtividade (106 t ha^{-1}).

Em trabalhos na África do Sul também foi observado efeito benéfico na produção da cana-de-açúcar à aplicação de potássio (STEWART, 1969). Shukla et al. (2009) verificaram que a aplicação de K em cana-de-açúcar promoveu aumento no número de brotos, na produção e na absorção de nutrientes, sendo a dose de 66 kg ha^{-1} de K_2O a responsável pela maior produção da cultura. Kumar et al. (2007), em cultivo de cana-soca em solo franco argiloso, também observaram que a maior produtividade da cultura (88 t ha^{-1}) foi obtida com a aplicação de 66 kg ha^{-1} de K_2O , dose próxima da eficiência atingida com o tratamento 2.

Tabela 3.18 - Valores médios das variáveis analisadas e do Teste F, no manejo da palha retirada a cada duas linhas da cana-de-açúcar, para produtividade e fatores qualitativos, em função da aplicação dos tratamentos

	Produtividade t ha ⁻¹	Brix	AR	POL	Fibra	ART kg t ⁻¹ de cana
Primeira soca de cana-de-açúcar						
1	71,6	17,6	0,8	13,3	10,0	133,8
2	64,6	18,6	0,7	14,0	10,5	140,2
3	64,0	18,0	0,8	13,4	10,6	134,8
4	65,2	18,2	0,8	13,8	10,1	137,9
DMS	13,4	0,8	0,2	0,8	0,7	6,5
Média	65,7	18,1	0,8	13,6	10,4	136,9
CV	20,4	4,5	23,6	6,1	6,6	4,7
Valores de F						
1 vs 2	0,55 ^{ns}	2,95 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,94 ^{ns}
1 vs 3	0,65 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,05 ^{ns}
1 vs 4	0,28 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,47 ^{ns}
2 vs 3	0,01 ^{ns}	1,55 ^{ns}	1,79 ^{ns}	2,06 ^{ns}	0,08 ^{ns}	2,03 ^{ns}
2 vs 4	0,00 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,19 ^{ns}
3 vs 4	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Segunda soca de cana-de-açúcar						
1	70,8	19,1	0,5	17,0	11,5	142,9
2	106,3	19,3	0,5	17,2	11,1	145,7
3	105,8	19,8	0,4	17,9	11,0	151,4
4	122,0	19,2	0,4	17,4	10,9	147,2
DMS	12,6	0,8	0,1	1,0	0,6	7,5
Média	101,7	19,4	0,4	17,5	11,1	147,4
CV	12,4	4,1	28,5	5,5	5,6	5,1
Valores de F						
1 vs 2	15,71 ^{***}	0,06 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,27 ^{ns}
1 vs 3	15,26 ^{***}	1,48 ^{ns}	4,33 ^{**}	1,91 ^{ns}	1,05 ^{ns}	2,55 ^{ns}
1 vs 4	19,68 ^{***}	0,01 ^{ns}	2,23 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,39 ^{ns}
2 vs 3	0,01 ^{ns}	1,41 ^{ns}	2,50 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,73 ^{ns}
2 vs 4	2,33 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,06 ^{ns}
3 vs 4	2,48 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,47 ^{ns}

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 kg ha⁻¹ de N + 50 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-120 kg ha⁻¹ de N + 100 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-180 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coeficiente de variação; Brix-Sólidos solúveis totais; AR-Açúcar redutor; ART-Açúcar recuperável total; POL-Teor de sacarose; **, *** e ns - diferença significativa ao nível de 10 e 5% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Outros relatos na literatura apontam para resposta na produção de colmos e a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar a aplicação de potássio (LANA et al.; 2004). Também é indicado na literatura que o potássio não afeta o teor de açúcares na cana-de-açúcar (SILVA, 1997; ORLANDO FILHO et al., 1980); entretanto, devido ao aumento de produtividade, pode até aumentar a produção de açúcar por área

(KORNDÖRFER, 1994). Por outro lado, quanto maior a dose de K aplicada, maior o teor de cinzas no caldo (SILVA, 1997; ORLANDO FILHO et al., 1980; KORNDÖRFER, 1994).

2.3.4 Conclusões

A aplicação de potássio afetou de forma positiva o teor no solo e na planta, o crescimento, fatores tecnológicos, sendo a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N e 100 kg ha⁻¹ de K₂O a responsável pela maior produtividade da 1^a e 2^a soca de cana-de-açúcar nos 3 manejos da palha.

O MPRL se mostrou o responsável pelo maior crescimento e produtividade da 1^a e 2^a soca de cana-de-açúcar.

Referências

- ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R. C.D.; MARCHETTI, L.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, n. 67, p. 23-25, 1993.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; STIPP E ABDALLA, S.R.; VITTI, G.C. (Ed.) **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International plant nutrition institute – Brasil, 2007. p. 1-41.
- ANTWERPEN, R. van; THORBURN, P.J.; HORAN, H.; MEYER, J.H.; BEZUIDENHOUT, C. The impact of trashing on soil carbon and nitrogen: II: implications for sugarcane production in South Africa. **Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association**, Durval, v. 76, p. 269-280, 2002.
- BOLONGNA-CAMPBELL, I.B. **Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 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 acidental da palha remanescente da colheita mecanizada. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 23, p. 33-37, 2005.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira**. Piracicaba: International plant nutrition institute, 2007. p. 355-413.

CARNEIRO, C.E.A.; FIORETTO, R.A.; FONSECA, I.C.B.; NEVES, C.S.V.J.; CASTRO, A.J.S. Alterações químicas no solo induzidas pela aplicação superficial de palha de cana-de-açúcar, calcário e vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 4, p. 265-272, out./dez. 2004.

CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomic Journal**, Madison, v. 89, n. 1, p. 557-562, 1997.

COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. Fertilidade do solo. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.p. 384.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA). **Manual de instruções**. 4. ed. Piracicaba, 2003. 115p.

COSTA, M.C.G. **Eficiência agrônômica de fontes nitrogenadas na cultura da cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo**. 2001. 79p. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J.L.C.; FARIAS, C.H.A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileira de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EL-TILIB, M.A.; ELNASIKH, M.H.; ELAMIN, E.A. Phosphorus and potassium fertilization effects on growth attributes and yield of two sugarcane varieties grown on three soil series. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, n. 4, p. 663-699, 2004.

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

FLORES, R.A.; PRADO, R.M.; POLITI, L.S. ALMEIDA, T.B.F. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 106-111, 2012.

FRITZ, J. Effects of fertilizer application up on sucrose % cane. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., 1974, Durban. **Proceedings...** Durban: ISSCT, 1984. v. 2, p. 630-663.

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.

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.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, Kingdom, v.34, p. 93-102, 2002.

HACLIN, J.L.; TISDALE, S.L. BEATON, J.D.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

HUE, N.V.; AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.20, p.1499-1511, 1989.

JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 34, p. 197-224, 1981.

KORNDÖRFER, G.H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M.E.; BUZZETTI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Editora Ícone, 1994. p. 19-44.

KORNDÖRFER, G.H.; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar, **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 10, p. 26-31, 1992.

LANA, R.M.Q.; KORNDÖRFER, G.H.; ZANÃO JÚNIOR L.A.; MACIEL JÚNIOR, V.A. Parcelamento da adubação potássica na cana-planta. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 23, n. 2, p. 28-31, 2004.

LANDELL, M.G.A.; SILVA, M.A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 1, p. 18-23, 2004.

LITTEL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**. v. 34, p. 94-97, 1975.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba;Potafos, 1997. 308p.

MATOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. V. 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.

MENDES, L.C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 48p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MOURA, M.V.P.S.; FARIAS, C.H.A.; AZEVEDO, C.A.V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H.M.; PORDEUS, R.V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

OLIVEIRA, A.L.M.; CANUTO, E.L.; REIS, V.M. BALDANI, J.I. Response of micropropagated sugarcane varieties to inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. **Brazilian Journal of Microbiology**, Rio de Janeiro, v. 34, p. 59-61, 2003.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J. de C.; PENATTI, C.P. Degradação da palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999.

OLIVEIRA, T.K.C.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1079-1087, 2002.

ORLANDO FILHO, J.; MURAOKA, T.; RODELLA, A.A.; ROSSETTO, R. Fontes de potássio na adubação da cana-de-açúcar: KCl e K₂SO₄. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 6, p. 39-43, 1993.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELO JÚNIOR, E.; RODELLA, A.A. Calibração de potássio no solo e recomendação de adubação para cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 97, n. 1, p. 18-24, 1980.

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.

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. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

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).

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.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M.G.A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes na cana-de-açúcar tendo em

vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 1, p. 8-13, 2008.

SHUKLA, S.K.; YADAV, R.L.; SINGH, P.N.; SINGH, I. Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter initiated sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrid complex) ratoon yield. **European Journal of Agronomy**, Oxford, v. 30, n. 1, p. 27-33, 2009.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1998. p. 236.

SILVA, G.M.A. Cana crua x cana queimada. Restrições técnicas e implicações sociais e econômicas. In: SEMANA DA CANA-DEAÇÚCAR DE PIRACICABA, 2., 1997. Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 55-57.

SINGH, P.N.; MOHAN, S.C. Water use and yield response of sugarcane under different irrigation schedules and nitrogen levels in a subtropical region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 26, n. 4, p. 253-264, 1994

SPIRONELLO, A. Aplicação de aquamônia, uréia, 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., 1987, Olinda. **Anais...** Piracicaba: STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos, 1987. p. 94-102.

SOUZA, Z.M.; PAIXÃO, A.C.S.; PRADO, R.M. CESARIN, L.G. Manejo de palha do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1061-1068, 2005.

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).

TEIXEIRA, C.D. **Adubação nitrogenada e potássica em cana-soca, em dois solos do Estado do Paraná**. 2005. 56p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

THORBURN, P.J.; P.J. KEATING, B.A.; ROBERTSON, F.A.; WOOD, A.W. Long-term changes in soil carbon and nitrogen under trash blanketing. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Canberra, v. 22, p. 217-224, 2000.

TIMM, L.C.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; CASSARO, F.A.M. TOMINAGA, T. T.; BACCHI, O.O.S. DOURADO-NETO, D. Sugarcane production evaluated by the state-space approach. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 272, p. 226–237, 2003.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4th .ed. New York: Macmillan Publishing, 1985. 754p.

UCHÔA, S.C.P.; ALVES, JÚNIOR, H.O.; ALVES, J.M.A.; MELO, V.F.; FERREIRA, G.B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de Cerrado em Roraima. **Ciências Agronômicas**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505-513, 2009.

VALE, D.W. **Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar**. 2009. 132p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias “ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

VALLIS, I; KEATING, B.A. Uptake and loss of fertilizer and soil nitrogen in sugarcane crops. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Canberra, v. 16, p. 105-113, 1994.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; TRIVELIN, M.O.; TOVAJAR, J.G. Mineralização da palha 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.; 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, 2007.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal:FUNEP, 1989. 37p.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar**. POTAFOS, 2002. 16p.(Encarte Técnico,97)

WIEDENFELD, B. Evaluation of new tools for determining crop nitrogen status and availability. **Subtropical Plant Science**, Welasco, v. 49, p. 46-49, 1997.

2.4 Emissão de CO₂ em função da aplicação de inoculante, nitrogênio e manejo da palha de cana-de-açúcar

Resumo

A colheita da cana-de-açúcar posterior ao fogo é prática ainda comum nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, porém, a manutenção da palha dessa cultura sobre o solo ajuda na sua proteção, temperatura, umidade e emissão de CO₂ nesses ambientes. Todavia, pouco se sabe sobre a inter-relação dessas variáveis, incluindo a adubação nitrogenada, no ciclo do carbono em solos agrícolas, principalmente no cultivo da cana-de-açúcar. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito do manejo da palha, da aplicação de inoculante, nitrogênio e potássio na emissão de CO₂ do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Foram comparados três manejos da palha: MPRL – retirada da palha apenas nas linhas da cana-de-açúcar; MP2:1 – enleiramento da palha a cada duas linhas; MPT – distribuição da palha da cana em toda área. As doses de fertilizante aplicadas foram: 1) 0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2) 120 e 180 kg ha⁻¹ de N + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; 3) 0 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; 4) 30 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O. Aproximadamente 20 dias após a aplicação dos fertilizantes avaliou-se a emissão de dióxido de carbono (CO₂) nos tratamentos da palha da cana-de-açúcar distribuídos em área total. Aproximadamente 75 dias da aplicação dos fertilizantes avaliou-se o CO₂, temperatura e umidade do solo. Verificou-se menor umidade, maior temperatura e emissão de carbono no MPRL e nos tratamentos que receberam aplicação de nitrogênio, na forma de nitrato de amônio, na cana-de-açúcar. O MPRL apresentou maior emissão de carbono se comparado ao MP2:1 na 2ª soca. Na 1ª soca, no MPT, MPRL e MP2:1, a emissão de CO₂ foi de 1,7; 2,0 e 1,7 μmol m⁻² s⁻¹, a temperatura foi de 21,7; 21,7; 21,2 °C e a umidade foi de 11,1; 6,6 e 9,5%, respectivamente. Na 2ª soca, no MPT, MPRL e MP2:1, o CO₂ foi de 1,8; 2,1 e 1,6 μmol m⁻² s⁻¹, a temperatura foi de 21,4; 22,9; 22,4 °C e a umidade foi de 16,9; 12,3 e 11,5%, respectivamente. A emissão de CO₂ aumentou com o crescimento das plantas de cana-de-açúcar e oscilou de 6 a 12,4 μmol m⁻².

Palavras-chave: Carbono; *Saccharum Spp*; Palhada; Efeito Estufa

Abstract

The harvesting of sugarcane after the fire is still a common practice in the areas cultivated with sugarcane. However, to maintain this culture straw on the soil helps protection, temperature, humidity and CO₂ emission in these environments. However, little is known about the inter-relationship of these variables, including nitrogen, the carbon cycle in agricultural soils, especially in the cultivation of sugarcane. In this context, the objective was to evaluate the effect of straw management, the inoculant application, nitrogen and potassium in the soil CO₂ emissions in areas cultivated with sugarcane. We compared three straw management: MPRL - straw removed only on the lines of cane sugar; MP2:1 - windrowing straw every two lines; MPT - distribution of the straw in the whole area. The fertilizes doses were: 1) 0 kg ha⁻¹ of N and K₂O; 2) 120 and 180 kg ha⁻¹ N + 50,

100 and 150 kg ha⁻¹ of K₂O, 3) 0 kg ha⁻¹ of N + inoculant + 50, 100 and 150 kg ha⁻¹ of K₂O; 4) 30 kg ha⁻¹ N + inoculant + 50, 100 and 150 kg ha⁻¹ of K₂O. Approximately 20 days after the application of fertilizers was evaluated the emission of carbon dioxide (CO₂) in treatments of the straw-cane distributed in full area. Approximately 75 days after fertilizer application evaluated the CO₂, temperature and soil moisture. A lower humidity, increased temperatures and carbon MPRFL and occurred in the treatments that received nitrogen application in the form of ammonium nitrate in sugarcane. In the 1^a stumps, in the MPT, MPRL and MP2:1, the CO₂ was 1,7; 2,0 and 1,7 μmol m⁻² s⁻¹, the temperature was 21,7; 21,7; 21,2 °C and the humidity was 11,1; 6,6 e 9,5%. In the 2^a stumps, in the MPT, MPRL and MP2:1, the CO₂ was 1,8; 2,1 and 1,6 μmol m⁻² s⁻¹, the temperature was 21,4; 22,9; 22,4 °C and the humidity was 16,9; 12,3 e 11,5%. The sum of CO₂ of treatments 1, 2, 3 e 4 in dates of Five consecutive days in the MPT of 1^a stumps was 8,1; 9,3; 10,9 e 12,4 μmol m⁻² s⁻¹, and in the 2^a stumps was 6,7; 8,3; 7,3 and 7,8 μmol m⁻² s⁻¹.

Keywords: Carbon; *Saccharum* Spp; Sugarcane crop residues; Greenhouse effect

4.1 Introdução

As evidências que relacionam a mudança do clima ao aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera terrestre (IPCC, 2007) são cada vez mais claras, sendo assim, é importante investigar a emissão desses gases provenientes de diversas atividades agrícolas. Com isso, o balanço do principal gás do efeito estufa, o dióxido de carbono (CO₂), capturado pela vegetação e trocado entre o solo e a atmosfera, passa a ser um dos principais focos das pesquisas mais recentes.

O solo é um importante reservatório natural de carbono, estimando-se que nos primeiros 100 cm de profundidade, em termos globais, estão armazenados 2200 Pg de carbono, correspondendo a aproximadamente quatro vezes o compartimento de C da vegetação (560 Pg) e três vezes o C da atmosfera (750 Pg). O C armazenado no solo é constituído pelo C orgânico (1500 Pg C) e mineral (700 Pg C) (BATJES, 1996). De acordo com Brito et al. (2009), a importância da agricultura na dinâmica da emissão de CO₂ (CO₂) não está relacionada apenas aos processos de perda de carbono do solo via respiração, mas também ao significativo potencial de mitigação de carbono atmosférico. Dependendo do uso e manejo, os solos agrícolas podem atuar como fontes ou sumidouros de carbono da atmosfera (USSIRI; LAL, 2009). Neste contexto, a cana-de-açúcar, cultivada em vasta área do Brasil com aproximadamente 9 milhões de hectares, consome cerca de 0,43 t ha⁻¹ de

fertilizantes por ano, e dependendo do manejo da palha, uso de insumos e sistema de cultivo, a cultura pode atuar como um emissor ou mitigador de carbono no ambiente.

A presença de resíduos agrícolas sobre a superfície do solo tem se mostrado benéfica para a preservação do carbono do solo. Práticas de preparo do solo que incorporam a palha e destroem os agregados expondo a matéria orgânica da ação oxidante dos microrganismos do solo, resultam no aumento da taxa de decomposição e mineralização.

O balanço de CO_2 entre a atmosfera e os ecossistemas terrestres é o resultado da interação dos processos de absorção desse gás pelas plantas, por meio da fotossíntese e da liberação de CO_2 para a atmosfera, por meio do processo de respiração de plantas, animais e microrganismos, sendo este gás também liberado para a atmosfera pelas queimadas (CAST, 2004). O sistema de colheita da cana-de-açúcar tem passado por profundas mudanças, uma delas é a colheita sem o uso da despalha a fogo, esse sistema, denominado de cana crua, deixa de liberar para a atmosfera cerca de $5.000 \text{ kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (CAMPOS, 2003). De acordo com CERRI et al. (2007), as práticas de manejo podem resultar em modificações nas propriedades físicas e químicas do solo, afetando diretamente a atividade microbiana e, conseqüentemente, a emissão CO_2 do solo.

LUCA et al. (2008) observaram que, após quatro anos sem queima, houve formação de camadas orgânicas sobre o solo em diversos graus de decomposição, havendo elevação significativa nos teores de C no Latossolo e no Neossolo, e aumentos dos estoques de carbono na camada de 0-0,2 m, nos três solos estudados. Tais valores representam uma taxa de sequestro de C de $2,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os autores afirmam que a estimativa do potencial de sequestro de C devido ao manejo sem queima do Brasil seja de aproximadamente $2,61 \text{ Tg ano}^{-1}$, equivalente a $9,57 \text{ Tg ano}^{-1}$ em CO_2 .

Souza et al. (2005), em sistema de cana crua com incorporação da palha, também verificaram maiores teores de matéria orgânica, maior estabilidade de agregados, macroporosidade e teor de água, e menores valores de resistência do solo à penetração e densidade do solo, quando comparado aos demais sistemas de manejo de cana queimada. PANOSSO et al. (2011), avaliando o efeito da queima ou não da palha da cana-de-açúcar observaram que a interação entre grau de

humificação da matéria orgânica e densidade do solo foi mais bem relacionado à emissão de CO_2 do solo do que outros atributos físicos e químicos estudados.

A biota do solo, com destaque para a população microbiana heterotrófica, utiliza a energia e os nutrientes estocados em compostos orgânicos para, por meio da oxidação destes compostos, realizarem a síntese celular. Portanto, a decomposição dos resíduos orgânicos, que constitui a principal função da população microbiana do solo, é o processo-chave do ciclo do C, já que cerca de 2/3 desse C orgânico retorna à atmosfera na forma de CO_2 , que é o produto final da respiração microbiana (SYLVIA et al., 1998).

De maneira geral, o processo de decomposição de resíduos culturais é dirigido pela necessidade de carbono e energia por parte da população heterotrófica do solo e é influenciado, principalmente, pela temperatura e umidade do solo. Conhecer a dinâmica de decomposição dos resíduos culturais e da matéria orgânica do solo (MOS) pela população microbiana é fundamental, tanto do ponto de vista agrônomo como ambiental, já que dela dependem aspectos importantes como a emissão de CO_2 e N_2O para a atmosfera (MOTT et al., 1988). Estudos conduzidos por Campos (2003), analisando a influência da palha depositada sobre o solo na dinâmica do carbono no agrossistema da cana-de-açúcar, concluíram que no manejo sem queima houve maior emissão de CO_2 , comparado ao manejo com queima. Entretanto, quando estabelecido o balanço de carbono, o sistema sem queima deixou de liberar para a atmosfera cerca de $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C- CO_2 , diferindo do sistema com queima, que liberou grandes quantidades de CO_2 , N_2O e CH_4 para a atmosfera do momento da queima prévia à colheita.

Embora a quantidade de C no solo esteja relacionada ao grau de mobilização deste, é importante enfatizar que, mesmo adotando-se sistemas de manejo conservacionistas, a recuperação dos estoques de C no solo é um processo bastante lento, especialmente em condições de clima tropical e subtropical. Isto porque a maior parte do C orgânico adicionado ao solo é liberada na forma de CO_2 por meio da mineralização microbiana, mesmo quando os resíduos culturais permanecem na superfície do solo. Além disso, existe o processo lento e gradual de decomposição natural da matéria orgânica do solo, independente do manejo adotado (AITA et al., 2007).

A taxa de assimilação do carbono depende da taxa de decomposição dos resíduos culturais e do rendimento de assimilação do C pela biomassa microbiana

decompositora. A assimilação de nitrogênio, por sua vez, é condicionada pelo fluxo de C e pela relação C/N dos resíduos e da biomassa microbiana. Isso evidencia que a taxa de decomposição dos resíduos orgânicos, especialmente daqueles pobres em N, é fortemente influenciada pela disponibilidade de N mineral no solo (AITA et al., 2007). Signor (2010) observou correlação nas emissões de CO₂ com aplicação de N e temperatura do solo nos tratamentos com ureia, enquanto para o nitrato de amônio não foi encontrado correlação. Adviento-Borbe et al. (2007), avaliando o efeito do cultivo de milho em casa de vegetação também verificaram relação entre as emissões de CO₂ e a temperatura. A influência da aplicação de ureia nas emissões de CO₂ pode ser explicada pela composição deste fertilizante, que apresenta N na forma amídica [CO(NH₂)₂]. Desta maneira, o CO₂ medido nos tratamentos nos quais se aplicou ureia muito provavelmente é proveniente do próprio adubo adicionado ao solo (SIGNOR, 2010). Por outro lado, Fernández-Luqueño et al. (2009) não observaram efeito da aplicação de ureia nas emissões de CO₂ em solos cultivados com feijão em casa de vegetação.

Huth et al. (2010), utilizando modelos matemáticos, estimaram redução de 50% nas emissões de CO₂ devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados em sistemas agrícolas na Austrália. Em trabalho comparando a influência da adição de água com dejetos animais no aumento da emissão de CO₂ e N₂O em solos do México, verificaram que a aplicação desses dejetos favoreceram a emissão de CO₂ e N₂O em 25,7 e 6 vezes respectivamente (TRUJILLO-TAPIA et al., 2008).

Neste contexto, estudos que visam caracterizar e estudar a variabilidade da emissão de CO₂ em função da aplicação de fertilizantes e do manejo da palha em áreas de cultivo da cana-de-açúcar tornam-se essenciais para a adequação e melhoras dessas práticas principalmente em relação à questão ambiental. Assim, objetivou-se avaliar o efeito do manejo da palha, da aplicação de inoculante, nitrogênio e potássio na emissão de CO₂ do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

2.4.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido no Sítio São João, no município de Americana, localizado geograficamente a 22°41'15 84" de latitude sul e 47°19'18 62" de longitude oeste, em Latossolo Vermelho amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006).

O clima do município é tropical de altitude com inverno seco (Köppen: Cwa), com temperatura média mínima de 15 °C e máxima de 26 °C.

A área experimental tem sido cultivada com cana-de-açúcar há mais de 10 anos, sendo que em abril de 2009 a Usina Iracema renovou o canavial, sem fazer rotação de cultura, plantando a variedade CTC 9. Após isso, realizou-se preparo convencional na renovação do canavial no qual foi aplicado 2 T ha⁻¹ de calcário (CaO = 24%, MgO = 17%, PN = 85 % e PRNT = 70%) a fim de se elevar o valor de saturação por bases a 60%, e a adubação N, P₂O₅ e K₂O de plantio foi de 33, 83 e 83 kg ha⁻¹, respectivamente. No primeiro corte da cana-planta (08-06-2010) a produção foi de 112 t ha⁻¹.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com 3 repetições, em esquema fatorial incompleto 3x4, segundo Littell; Mott (1975), para os fatores manejo da palha, doses de nitrogênio e doses de potássio, respectivamente. Foram estudados três manejos da palha: MPRL – retirada da palha apenas nas linhas da cana-de-açúcar; MP2:1 – enleiramento da palha a cada duas linhas; MPT – distribuição da palha da cana em toda área (MPT). Os tratamentos foram: Tratamento 1) 0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; Tratamento 2) 120 e 180 kg ha⁻¹ de N + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; Tratamento 3) 0 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; Tratamento 4) 30 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O.

O inoculante foi oriundo da mistura de cinco espécies de bactérias: *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Burkholderia tropica* e *Azospirillum amazonense* na ausência de adubação nitrogenada. A análise de estatística utilizada foi na forma de contrastes entre os tratamentos nos três manejos da palha de cana-de-açúcar em nível de 10, 5 e 1% de probabilidade pelo Teste F.

As parcelas foram compostas de 15 m de comprimento e seis linhas espaçadas em 1,5 m entre as linhas cultivadas com cana-de-açúcar.

O manejo da palha da cana-de-açúcar foi realizado, conforme os tratamentos, após o corte da cana-planta (16-06-2010) e após o corte da primeira soca (14-06-2011) (Figura 1). O adubo foi aplicado nas linhas da soca de cana-de-açúcar, após a colheita da cana-planta (25-06-2010) e após o corte da primeira soca (25-06-2011) (Figura 3).

Um mês antes da leitura da emissão de dióxido de carbono, instalou-se as câmeras a cerca de 5 cm de distância das linhas da soqueira de cana-de-açúcar, sendo que no MP2:1 instalou-se as câmeras nas linhas onde concentrou-se as palhas de cana-de-açúcar.

Na primeira soca, durante o período de cinco dias (16 a 20-07-2010), e na 2ª soca (18 a 22-07-2011) foram avaliadas a emissão de dióxido de carbono do solo (CO_2) nos tratamentos com a palha da cana-de-açúcar distribuída em área total. Todavia, nos dias 09-09-2010 e 15-09-2011 quantificou-se a emissão de CO_2 , a temperatura e a umidade do solo, utilizando-se de uma câmara de fluxo LI-6400 fabricada pela companhia Li-Cor nos três manejos da palha da cana-de-açúcar.

Os sistemas LI-6400 e LI-8100 monitoram a variação da concentração do CO_2 no interior da câmara pela análise de radiação infravermelha (HEALY et al., 1996). A câmara de solos foi instalada sobre cilindros de PVC, evitando, assim, possíveis distúrbios mecânicos no perfil do solo, que poderiam superestimar os valores das emissões (Figura 4.1). A umidade (Us) e a temperatura do solo (Ts) foram aferidas próximas à linha da cultura e na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, ressalta-se que no manejo de palha 2:1 essas medidas foram efetuadas na linha na qual foi colocada a palha da cana-de-açúcar.

Figura 4.1 - Detalhes dos aparelhos LI-6400 (**A** e **B**) e LI-8100 (**C**) e da quantificação da emissão de CO₂ ao lado das linhas de cana-de-açúcar. Ano agrícola 2010 e 2011

2.4.3 Resultados e discussão

Os tratamentos afetou a emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos três manejos da palha da cana-de-açúcar (Tabela 1.1) e em função de cada manejo da palha (Tabela 1.2).

Tabela 1.1 - Valores médios das da emissão de CO₂, temperatura e umidade, e do Teste F, nos três manejos da palha de cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos

	CO ₂	T	Umid.	CO ₂	T	Umid.	CO ₂	T	Umid.
	M.P.T.			M.P.R.L.			M.P.2:1		
Primeira soca de cana-de-açúcar									
1	0,7	22,0	8,0	22,4	1,7	5,0	1,7	21,5	6,0
2	1,9	21,3	10,4	21,7	2,0	7,6	1,9	21,2	10,9
3	2,1	22,3	12,6	21,2	2,2	6,1	1,7	21,1	8,9
4	1,5	21,8	12,1	22,1	2,1	6,0	1,2	21,3	9,1
1 vs 2	6,81**	0,74 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,67 ^{ns}	4,2**	0,27 ^{ns}	0,33 ^{ns}	5,23**
1 vs 3	8,25*	0,15 ^{ns}	6,39**	0,53 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,62 ^{ns}
1 vs 4	2,78 ^{ns}	0,04 ^{ns}	5,08**	0,37 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,92 ^{ns}
2 vs 3	0,41 ^{ns}	3,33***	3,47**	0,25 ^{ns}	0,77 ^{ns}	2,76 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,79 ^{ns}
2 vs 4	1,44 ^{ns}	0,88 ^{ns}	2,09 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,43 ^{ns}	3,25***	4,40**	0,15 ^{ns}	1,37 ^{ns}
3 vs 4	2,66 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,02
DMS	0,7	1,2	2,7	1,0	6,1	2,0	0,8	0,9	3,3
Média	1,7	21,8	11,1	2,1	21,7	6,6	1,7	21,2	9,5
CV	40,5	5,5	24,3	48,1		29,8	45,3	4,3	35,1
Segunda soca de cana-de-açúcar									
1	1,9	21,1	16,7	1,3	22,6	12,1	1,5	22,2	10,6
2	1,7	21,5	16,8	2,1	23,1	12,9	1,3	22,3	12,2
3	1,6	21,2	16,6	2,1	22,6	11,6	1,9	22,3	10,1
4	2,1	21,7	17,6	2,3	23,0	1,2	1,8	22,5	12,1
1 vs 2	0,46 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,06 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,57 ^{ns}
1 vs 3	0,64 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,80 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,04 ^{ns}
1 vs 4	0,11 ^{ns}	2,17 ^{ns}	0,12 ^{ns}	2,86 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,48 ^{ns}
2 vs 3	0,06 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	5,10**	0,26 ^{ns}	3,68***	0,01 ^{ns}	2,97 ^{ns}
2 vs 4	2,21 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,15 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,01 ^{ns}
3 vs 4	2,38 ^{ns}	2,23 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,49 ^{ns}
DMS	0,6	0,5	3,7	0,9	1,2	3,8	0,7	0,8	3,3
Média	1,8	21,4	16,9	2,1	22,9	12,3	1,6	22,4	11,5
CV	32,2	2,4	22,0	42,0	5,1	31,1	41,7	3,4	28,6

1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 e 180 kg ha⁻¹ de N + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-0 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-30 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coefficiente de variação; CO₂-micro mol m⁻²s⁻¹; T-Temperatura em °C; Umid. Umidade do solo em %; M.P.T. – Manejo da palha da cana-de-açúcar distribuída em área total; M.P.R.L. – Manejo da palha da cana-de-açúcar retirada da linha da cultura; M.P.2:1 – Manejo da palha da cana-de-açúcar enleirada a cada duas linhas; *, **, *** e ^{ns} - diferença significativa ao nível de 10, 5 e 1% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

Tabela 1.2 - Valores médios da emissão de CO₂, temperatura e umidade e do Teste F, nos três manejos da palhada de cana-de-açúcar, para emissão de CO₂, em função da aplicação dos tratamentos

	CO ₂	T	Umid.	CO ₂	T	Umid.
	1ª soca de cana-de-açúcar			2ª soca de cana-de-açúcar		
1	1,7	21,7	11,1	1,8	21,4	16,9
2	2,0	21,7	6,6	2,1	22,9	12,3
3	1,7	21,2	9,5	1,6	22,4	11,5
1 vs 2	1,64 ^{ns}	0,01 ^{ns}	40,50*	2,39 ^{ns}	46,49*	29,34*
1 vs 3	0,11 ^{ns}	3,79***	5,19**	1,20 ^{ns}	17,72*	39,91*
2 vs 3	2,61 ^{ns}	3,42***	16,70*	6,97*	6,81**	0,81 ^{ns}
DMS	0,8	1,1	2,9	0,7	0,9	3,5
Média	1,8	21,6	9,1	1,8	22,2	13,6
CV	45,9	5,3	31,8	39,5	3,9	25,8

1-M.P.T. – Manejo da palha da cana-de-açúcar distribuída em área total; 2-M.P.R.L. – Manejo da palha da cana-de-açúcar retirada da linha da cultura; 3-M.P.2:1 – Manejo da palha da cana-de-açúcar enleirada a cada duas linhas; DMS-Diferença mínima significativa; CV-Coefficiente de variação; CO₂-micro mol m⁻²s⁻¹; T-Temperatura em °C; Umid. Umidade do solo em %; *, **, *** e ^{ns} - diferença significativa ao nível de 10, 5 e 1% de probabilidade, e não significativa pelo teste F a 10% de probabilidade.

A comparação dos diferentes períodos de estudo indicou que os menores valores médios de CO₂ foram observados na 1ª e 2ª soca de cana-de-açúcar, respectivamente, com o tratamento 2 no MP2:1 (1,28 μmol m⁻² s⁻¹) e o tratamento 1 no MPT (0,7 = μmol m⁻² s⁻¹), e os maiores valores com o tratamento 3 no MPRL (2,2 = μmol m⁻² s⁻¹) e o tratamento 4 do MPRL (2,3 = μmol m⁻² s⁻¹) (Figuras 4.2 A e B), respectivamente.

No estudo conduzido na 2ª soca do MP2:1, verificou-se diferença (F=8,25; p=0,01) no CO₂ no tratamento 3 (1,9 = μmol m⁻² s⁻¹) se comparado ao tratamento 2 (1,3 = μmol m⁻² s⁻¹) (Figura 4.2 B). Evidenciando que os tratamentos que receberam a aplicação de inoculante apresentara maior CO₂ nessa situação.

Na 1ª soca do MPT o tratamento 3 apresentou maior temperatura do solo (22,3 °C) se comparado ao tratamento 2 (21,3 °C) (F=3,33; p=0,001). A umidade do solo, no tratamento 1, no MPT (8%), MPRL (6%) e no MP 2:1 (6%) apresentou menor umidade do solo se comparado aos demais tratamentos (Figura 4.2 C), por outro lado, na 2ª soca, houve diferença entre os tratamentos apenas entre o tratamento 2 (23,1 °C) e o tratamento 3 (22,6° C) (Figura 4.2 D), todavia, essas diferenças não afetaram a emissão de CO₂ de forma significativa (Figura 4.2 B).

Figura 4.2 - Valores médios da emissão de CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹) da primeira (A) e da segunda soca (B) – CO₂, da temperatura (°C) – Ts e da umidade do solo (% de volume) – Us, na primeira (C) e na segunda soca (D), de cana-de-açúcar em função dos tratamentos: 1) 0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2) 120 e 180 kg ha⁻¹ de N + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; 3) 0 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; 4) 30 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; nos seguintes manejos da malha: MPT. – Manejo da palha da cana-de-açúcar distribuída em área total; MPRL – Manejo da palha da cana-de-açúcar retirada da linha da cultura; MP2:1 – Manejo da palha da cana-de-açúcar enleirada a cada duas linhas

O CO₂ aumentou 72 e 228% quando se compara à menor e à maior emissão na 1ª e 2ª soca de cana-de-açúcar, além disso, o tratamento 1 (controle) e o tratamento 2 (tratamento que recebeu a aplicação de fertilizantes) apresentaram o menor CO₂, comparativamente aos tratamentos que receberam aplicação de inoculante (tratamentos 3 e 4).

O aumento das bactérias fixadoras de nitrogênio e possível aumento da flora microbiana podem favorecer a mineralização da matéria orgânica e assim aumentar o CO₂, além disso, associado à maior mineralização da matéria orgânica, ocorre maior liberação de nutrientes que beneficia a flora microbiana, favorecendo o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, induzindo ao aumento da emissão de CO₂, tanto pelo sistema radicular, como pela parte aérea das plantas.

A maior temperatura do solo aferida no tratamento 3 se comparado ao tratamento 2 pode ser justificada por dois fatores: a) o tratamento 2, que recebeu a aplicação de N mineral, beneficiou o crescimento inicial das plantas de cana-de-açúcar e consequentemente essas protegeram o solo da radiação solar favorecendo a menor temperatura nesse tratamento, ou b) a flora microbiana pode ter sido aumentada devido a compostos nutricionais no inoculante (ácidos orgânicos, carboidratos, etc.) que favorecem a sobrevivência da flora microbiana do solo (DOBEREINER; PEDROSA, 1987) e consequentemente favorecer um ligeiro aumento da temperatura do solo advindo do calor dos organismos de solo.

De forma geral, os tratamentos que receberam aplicação de fertilizantes minerais e ou inoculante (tratamentos 2, 3 e 4) apresentaram maior CO₂ que o tratamento controle (tratamento 1) devido ao aumento da atividade microbiana oriundo de melhorias na fertilidade do solo (FUENTES et al., 2006) influenciado pelas: a) partículas físicas do solo que se movimentam por meio dos poros formados após a decomposição de raízes mortas (OLIVEIRA; PAVAN, 1996) ou por organismos do solo (MELLO et al., 2003); b) movimento de Ca, Mg, NO³⁻ ou SO₄²⁻ originados do fertilizante ou devido à mineralização da palha (MELLO et al., 2003); c) ou com a formação de complexos orgânicos oriundos dos resíduos das plantas que ficam dissolvidos na água e são deixados na superfície do solo no sistema de plantio direto (FRANCHINI et al., 2001).

Assim, o manejo da palha da cana-de-açúcar afetou o CO₂, apresentando valores médios na 1ª soca de 1,7, 2,0 e 1,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e na 2ª soca de 1,75, 2,1 e 1,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para MPT, MPRL e MP2:1, respectivamente (Figuras 4.2 A e B), esses resultados dos CO₂ em ordem crescente no MP2:1, MPT e MPRL evidenciam que o manejo afeta a emissão de CO₂ do solo (FUENTES et al., 2006).

A maior emissão de carbono no MPRL, provavelmente pela maior temperatura do solo, favoreceu aumento da atividade microbiana do solo e assim

aumento da mineralização da matéria orgânica e consequentemente maior emissão de carbono (FANG; MONCRIEFF, 2001).

A maior exposição à radiação de sol no solo das parcelas do MPRL aumenta a temperatura no solo, acelerando assim o crescimento das plantas de cana-de-açúcar e consequentemente a respiração da parte aérea e sistema radicular, o que contribui para maior emissão de CO₂ nesse manejo da palha. Moitinho et al. (2012) avaliando o fluxo de emissão de CO₂ em experimento com a retirada ou não da palha verificou CO₂ que variaram de 1,2 a 4,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo os maiores valores de CO₂ obtidos no período da tarde.

A proteção da palha da cana-de-açúcar diminui a incidência direta de raios solares no solo, com isso também diminui a temperatura do solo, e quando a temperatura permanece abaixo de 15 °C, os microrganismos do solo apresentam menor atividade, o que ocasiona decréscimo nas emissões de CO₂ (FANG; MONCRIEFF, 2001).

A temperatura média na 1ª e 2ª soca foi crescente no MPT (21,7 e 21,4°C), MP2:1 (21,2 e 22,4°C) e MPRL (21,7 e 22,9°C), evidenciando maior temperatura do solo no MPRL, principalmente na 2ª soca ocorreu devido maior incidência de raios solares, na condição desprovida de palha na superfície, visto que a palha é retirada de todas as linhas da cana-de-açúcar, local onde realizou-se a aferição da temperatura do solo; assim a temperatura do solo é maior e consequentemente promove a menor temperatura do solo na primeira e segunda soca de cana-de-açúcar (Figura 4.2).

O MPT apresentou a menor temperatura média se comparada aos demais manejos, isso ocorreu devido à menor incidência de raios solares que provocam o aquecimento do solo e evaporação das moléculas de água, consequentemente seria esperado influência na umidade do solo, apresentando valores médios na 1ª e 2ª soca crescentes no MPRL (9,5 e 11,5%), MP2:1 (6,6 e 12,3%) e MPT (11,1 e 16,9%), confirmando que a menor temperatura do solo nas parcelas do MPT levou à maior umidade (Figura 4.2).

Ocorreu maior variação de temperatura no MPRL (CV= 48,1 e 42,0 na 1ª e na 2ª soca, respectivamente) comparativamente ao MPT (CV= 40,5 e 32,2 na 1ª e na 2ª soca, respectivamente), confirmando que em manejo sem revolvimento da palha da cana e do solo ocorre menor variação e menor média de temperatura, que é justificada pela presença da cobertura do solo poder reduzir em até 4 °C e levar a

uma diminuição de 25% na taxa de evaporação da água no solo (MOITINHO et al., 2012), o que justifica a maior umidade aferida no MPT (Figura 4.2).

Observa-se o CO_2 (Figuras 4.3 A e B), a temperatura (Figuras 4.3 C e D) e a umidade (Figuras 4.3 E e F) do solo ao longo de cinco dias. Na 1ª soca da cana-de-açúcar, evidenciou-se que no 3º dia aumentou a umidade do solo e o CO_2 . Isso ocorreu porque quando se aumenta a umidade do solo aumenta-se a emissão de CO_2 , pois os espaços porosos do solo são ocupados pela água (MOITINHO et al., 2012).

Na 2ª soca de cana-de-açúcar também é verificado maior CO_2 (Figura 4.3 B) no 1º dia do MPT, possivelmente devido à maior umidade nesse solo (Figura 4.3 E). A maior umidade do solo nesse manejo da palha ocorreu em função da proteção do solo pela palha que diminui a incidência de raios solares no solo, proporcionando menor temperatura do solo (Figura 4.3 D). A transição do seco para o úmido já aumenta o fluxo de CO_2 do solo logo nas primeiras horas, porém após determinado tempo tende a normalizar-se e até diminuir essa emissão com o solo úmido (VARELLA et al., 2004).

Figura 4.3 – Valores médios da emissão de CO_2 da 1ª (A) e da 2ª soca (B), temperatura da 1ª (C) e da 2ª soca (D), e umidade do solo da 1ª (E) e da 2ª soca (F) em função dos tratamentos: 1) 0 kg ha^{-1} de N e K_2O ; 2) 120 e 180 kg ha^{-1} de N + 50 , 100 e 150 kg ha^{-1} de K_2O ; 3) 0 kg ha^{-1} de N + inoculante + 50 , 100 e 150 kg ha^{-1} de K_2O ; 4) 30 kg ha^{-1} de N + inoculante + 50 , 100 e 150 kg ha^{-1} de K_2O , nos seguintes manejos da palha: MPT. – Manejo da palha da cana-de-açúcar distribuída em área total; MPRL – Manejo da palha da cana-de-açúcar retirada da linha da cultura; MP2:1 – Manejo da palha da cana-de-açúcar enleirada a cada duas linhas, da primeira soca de cana-de-açúcar

Ao longo dos cinco dias verifica maior pico de CO₂ no MPRL e maior emissão nesse manejo da palha na 1ª e 2ª soca de cana-de-açúcar (Figuras 4.3 A e B), provavelmente devido aos maiores picos e temperatura média nas duas soqueiras (Figuras 4.3 C e D) e menor umidade na 1ª soca (Figura 4.3 E). A umidade presente no solo pode favorecer ou inibir CO₂, sendo que determinado conteúdo de água no solo maximiza a atividade microbiana, por sua vez, o excesso limita a difusão de O₂ pelos poros, entretanto, a falta de umidade dificulta a solubilidade de substratos de carbono orgânico, fonte de energia da microbiota (SMART; PEÑUELAS, 2005).

Em estudos realizados em solos encharcados evidenciam uma variação da emissão de CO₂ do solo logo após sua irrigação, apresentando um aumento imediato de seis e até dez vezes nessa emissão, que posteriormente tende-se a se normalizar (PANOSSO et al., 2009).

No MPT o solo está protegido da radiação solar, pois a palha está distribuída em toda área, o mesmo ocorre no manejo da palha enleirada a cada duas linhas, visto que as leituras de umidade, temperatura e emissão de carbono foram realizadas nas linhas de cana-de-açúcar onde se concentra a palha, assim como ocorre alto acúmulo de palha (palha das duas linhas) promove um microclima nessas linhas com alta umidade e temperatura, todavia, nas demais linhas do MP2:1 verifica-se um ambiente que recebe alta radiação solar, visto que não tem palha protegendo o solo, e consequentemente alta temperatura e baixa umidade do solo.

De acordo com Reicosky (1997), a presença de palha favorece a infiltração e preserva a porosidade superficial, além de conservar a umidade, pois evita a ação do vento e dos raios solares diretos sob a superfície, evitando o aumento excessivo da temperatura, influenciando na redução da emissão de CO₂ para a atmosfera (SALTON; MIELNICZUK, 1995) e evidenciando o porquê os MP2:1 e MPT apresentaram menor CO₂ se comparado ao MPRL (Figura 4.2).

No MPRL e no MP2:1 ocorre maior incidência de raios solares no solo e com o aumento da temperatura, as transformações no solo são mais intensas, principalmente com relação à mineralização do material orgânico, à dinâmica do N e às emissões dos gases do solo (HARNEY et al., 2004).

Observa-se menor emissão de CO₂ no MPT e MP2:1 se comparado ao MPRL na 1ª e 2ª socas, para tº do solo não se verifica diferença (Figura 4.4 A).

Na 1 e 2ª soca de cana-de-açúcar, verifica-se maior umidade do solo no MPT em relação ao MPRL e MP2:1, sendo os menores valores obtidos no MPRL (Figura 4.4 B).

Figura 4.4 - Valores médios da emissão de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (A), temperatura (°C) e umidade do solo (% de volume) (B), em função da aplicação de inoculante, nitrogênio e potássio, nos seguintes manejos da palha: MPT – Manejo da palha da cana-de-açúcar distribuída em área total; MPRL – Manejo da palha da cana-de-açúcar retirada da linha da cultura; MP2:1 – Manejo da palha da cana-de-açúcar enleirada a cada duas linhas

De modo geral, no manejo da palha da cana-de-açúcar distribuída em área total (MPT), na primeira e segunda soca, a palha fica distribuída mais uniforme no solo e consequentemente protege-o totalmente, assim, diminui a incidência de raios solares nas entre linhas e linhas de cana-de-açúcar (local de leitura das variáveis) e consequentemente maior temperatura e evapotranspiração do solo, e menor umidade do solo cultivado da cana-de-açúcar (Figura 4.3 C e D). Adviento-Borbe et al. (2007) também verificaram relação entre as emissões de CO₂ e a temperatura.

Estudos também apontam que a palha, além de reduzir o escoamento superficial, aumentar a drenagem profunda, aumentar a umidade do solo, também reduz a evaporação de água do solo, o que proporciona que o solo apresente maior umidade (OLIVEIRA et al., 2010).

Verifica-se ausência da aplicação dos tratamentos na emissão de CO₂ no manejo da palha em área total (Tabela 1.3).

Tabela 1.3 - Valores médios das da emissão de CO₂, e do Teste F, no manejo da palhada em área total ao longo de cinco dias consecutivos em função dos tratamentos

	1	2	3	4	1	2	3	4
-----Emissão de Co ₂ em micro mol m ⁻² s ⁻¹ -----								
Primeira soca de cana-de-açúcar					Segunda soca de cana-de-açúcar			
A	1,8	1,9	1,7	2,1	1,0	1,6	1,3	1,6
B	1,6	1,9	2,0	2,0	1,4	1,5	1,5	1,4
C	1,7	2,1	2,7	2,8	1,5	1,6	1,3	1,5
D	1,6	1,6	2,1	3,1	1,5	1,9	1,6	1,6
E	1,4	1,8	2,4	2,4	1,3	1,7	1,6	1,7
A vs B	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,68 ^{ns}
A vs C	0,01 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,21 ^{ns}
A vs D	0,09 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,99 ^{ns}	2,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}
A vs E	0,27 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,02 ^{ns}
B vs C	0,05 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,13 ^{ns}
B vs D	0,01 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,59 ^{ns}
B vs E	0,07 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,90 ^{ns}
C vs D	0,06 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,16 ^{ns}
C vs E	0,23 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,35 ^{ns}
DMS	0,8	1,4	1,5	2,5	1,0	0,9	0,5	0,6
Média	1,6	1,8	2,2	2,5	1,4	1,6	1,4	1,6
CV	50,7	77,1	70,6	101,1	76,5	56,7	34,1	40,3

A-Dia 16 de agosto de 2010; B-Dia 17 de agosto de 2010; C-Dia 18 de agosto de 2010; D-Dia 19 de agosto de 2010; E-Dia 20 de agosto de 2010; 1-Dia 16 de agosto de 2010; 1-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; 2-120 e 180 kg ha⁻¹ de N + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; 3-0 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; 4-30 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O;

Verifica-se a variação do CO₂ em função dos tratamentos ao longo de cinco dias no manejo da palha distribuído em área total (MPT) na 1^a, 2^a e média das duas socas de cana-de-açúcar. Todavia, de forma geral, verifica-se aumento da emissão de CO₂ com o passar dos dias após a aplicação dos tratamentos A (controle, ausência da aplicação de fertilizante e inoculante) que tende a diminuir o CO₂ com o passar dos dias (Figura 4.5).

Mudanças no solo podem influenciar a respiração do mesmo e consequentemente afetar o sequestro de carbono (LI et al., 2009) e o incremento da concentração de carbono na atmosfera é particularmente devido à respiração da microbiota do solo (IPCC, 2007).

Figura 4.5 - Valores médios das da emissão de CO₂ na 1^a soca (A), na 2^a soca (B) e na média das duas socas no manejo da palha de cana-de-açúcar distribuído em área total ao longo de cinco dias consecutivos, em função da aplicação de inoculante, nitrogênio e potássio. 1 dia: 16-08-2010 e 18-07-2011; 2 dia: 17-08-2010 e 19-07-2011; 3 dia: 18-08-2010 e 22-07-2011; 4 dia: 19-08-2010; 5 dia: 20-09-2010; A-0 kg ha⁻¹ de N e K₂O; B-120 e 180 kg ha⁻¹ de N + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; C-0 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O; D-30 kg ha⁻¹ de N + inoculante + 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O

Dependendo do uso e manejo, os solos agrícolas podem atuar como fontes ou sumidouros de carbono da atmosfera (USSIRI; LAL, 2009), assim, práticas de manejo do solo podem favorecer a emissão de carbono do solo; Campos (2003) também verificou que a presença da palha no solo favorece a emissão de CO₂.

Signor (2010) observou correlação nas emissões de CO₂ com aplicação de N e temperatura do solo nos tratamentos com ureia, enquanto para o nitrato de amônio não foi encontrada correlação. A influência da aplicação de ureia nas emissões de CO₂ pode ser explicada pela composição deste fertilizante, que apresenta N na forma amídica [(NH₂)₂CO]. Desta maneira, o CO₂ medido nos tratamentos nos quais

se aplicou ureia muito provavelmente é proveniente do próprio adubo adicionado ao solo (SIGNOR, 2010). Por outro lado, Fernández-Luqueño et al. (2009) não observaram efeito da aplicação de ureia nas emissões de CO₂ em solos cultivados com feijão em casa de vegetação.

Huth et al. (2010), por meio de modelos matemáticos, estimaram redução de 50% nas emissões de CO₂ devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados em sistemas agrícolas na Austrália. Em trabalho comparando a influência da adição de sulfato de amônio em dois solos do México, Trujillo-Tapia et al. (2008) observaram que em um deles a emissão de CO₂ aumentou, enquanto em outro nenhum efeito foi observado.

2.4.4 Conclusões

O manejo da palha onde se retira a palha das linhas de cana-de-açúcar (MPRL) apresentou maior emissão de carbono se comparado ao manejo da palha retirada a cada duas linhas de cana (MP2:1) na segunda soca de cana-de-açúcar.

Na 1ª soca, no MPT, MPRL e MP2:1, a emissão de CO₂ foi de 1,7; 2,0 e 1,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a temperatura foi de 21,7; 21,7; 21,2 °C e a umidade foi de 11,1; 6,6 e 9,5%. Na 2ª soca, no MPT, MPRL e MP2:1, o CO₂ foi de 1,8; 2,1 e 1,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a temperatura foi de 21,4; 22,9; 22,4 °C e a umidade foi de 16,9; 12,3 e 11,5%.

A emissão de CO₂ aumentou com o crescimento das plantas de cana-de-açúcar e oscilou de 6 a 12,4 $\mu\text{mol m}^{-2}$.

Referências

- ADVIENTO-BORBE, M.A.A.; HADDIX, M.L.; BINDER, D.L.; WALTERS, D.T.; DOBERMANN, A. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, n. 9, p. 1972-1988, 2007.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. **Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola**. In: YAMADA, T.; STIPP E ABDALLA, S.R.; VITTI, G.C. (Ed.) Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: International plant nutrition institute – Brasil, 2007. p. 1-41.
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 47, p. 151–163, 1996.

BRITO, L.F.; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, J.T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA Jr., N. Soil CO₂ emission of sugarcane field as affected by topography. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n. 1, p.77-83, 2009.

CAMPOS, D.C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima de cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono**. 2003 103p. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (CAST) **Climate Change and Greenhouse Gas Mitigation: Challenges and Opportunities for Agriculture**, CAST, Ames, IA, USA, 2004. 120p. (Task Force Report,141).

DÖBEREINER J.; PEDROSA, F.O. **Nitrogen-fixing bacteria in nonleguminous crop plants**. Science Tech, Madison and Springer Verlag, Berlin, 1987. 155p.

FANG, C.; MONCRIEFF, J.B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 33, n. 155-165, 2001.

FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, F.; REYES-VARELA, V.; MARTÍNEZ-SUÁREZ, C.; REYNOSO-KELLER, R.E.; MÉNDEZ-BAUTISTA, J.; RUIZ-ROMERO, E.; LÓPEZ-VALDEZ, F.; LUNA-GUIDO, M.L.; DENDOOVEN, L. Emissions of CO₂ and N₂O from soil cultivated with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) fertilized with different N sources. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam v. 407, n. 14, p. 4289-4296, 2009.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2012**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2012. p. 124.

FUENTES, J.P.; B EZDICEK, D.F.; FLURY, M.; ALBRECHT , S.; SMITH, J.L. microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, p. 123-131, 2006.

HARNEY, R.L.; FRANZLUEBBERS, A.J.; PORTER, E.B.; HONS, F.M.; ZUBERER, D.A. Soil carbon and nitrogen mineralization: Influence of drying temperature. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 489-492, 2004.

HUTH, N.I.; THORBURN, P.J.; RADFORD, B.J.; THORNTON, C.M. Impacts of fertiliser and legumes on N₂O and CO₂ emissions from soils in subtropical agricultural systems: a simulation study. **Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 136, n. 3/4, p. 351-357, 2009.

HEALY, R.W.; STRIEGL, R.G.; RUSSEL, T.F.; HUTCHINSON, G.L; LIVINGSTON, G.P. Numerical evaluation of static chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange identification of physical processes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, n.3, p.740-747, 1996.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change. the physical science basis. contribution of Working group I to the fourth assessment Report of the Intergovernmental panel on climate change** cambridge, cambridge university press, 2007. 996p.

LI, H.; HAN, X.; QIAO, Y.; HOU, X.; XI NG, B. Carbon dioxide emission from black soil as influenced by land-use change and long-term fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 40, p. 1350–1368, 2009.

LITTEL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**. v. 34, p. 94-97, 1975.

LUCA, E.F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p.789-800, 2008.

MOITINHO, M.R.; PADOVAN, M.P.; PANOSSO, A.R.; SALOMÃO, G.B.; LA SCALA JR, N. Variações diurnas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo sobre diferentes manejos pós-colheita da cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, Glória de Dourados, v. 7, n. 2, p. 1-6, 2012.

MOTT, S.C., J.R. DAVENPORT, R.L.; THOMAS. Mineralization and redistribution of carbon from surficial and buried corn stalks. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 68, p. 687-691, 1988.

OLIVEIRA, N.T.; CASTRO, N.M.R.; GOLDENFUM, J.A. Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 15 n. 2, p. 93-103, 2010.

PANOSSO, A.R.; MARQUES JR, J.; MILORI, D.M.B.P. FERRAUDO, A.S.; BARBIERI, D.M.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, 190–196, 2011.

PANOSSO, A.R.; RIBEIRO, C.E.; ZANINI, J.R.; PAVANI, L.C.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA JR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. **Semina. Ciências Agrárias (Impresso)**, Londrina, v. 30, p. 1017-1034, 2009.

REICOSKY, D.C. Tillage-induced CO₂ emission from soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v. 49, p. 273-285, 1997.

SIGNOR, D. **Estoques de carbono, nitrogênio e emissões de gases do efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba**. 2010. 119p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SMART, D.R; PEÑUELAS, J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 28, p. 247-57, 2005.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palha de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

SYLVIA, D.M.; FUHRMANN, J.J.; HARTEL, P.G.; ZUBERER, D.A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 550p.

TRUJILLO-TAPIA, N.; CRUZ-MONDRAGÓN, C.; VÁSQUEZ-MURRIETA, M.S.; CLEEMPUT, O.V.; DENDOOVEN, L. Inorganic N dynamics and N₂O production from tannery effluents irrigated soil under different water regimes and fertilizer application rates: a laboratory study. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p.279-288, 2008.

USSIRI, A.N.; LAL, R. 2009. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 39-47, 2009.12