

MARCELO MUNIZ BENEDETTI

PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CONDIÇÃO DE CERRADO:
DECOMPOSIÇÃO E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES

Tese apresentada a Universidade Federal de Uberlândia,
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação
em Agronomia, curso de doutorado em Agronomia, para
obtenção do título de Doutor.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS ó BRASIL
2014

MARCELO MUNIZ BENEDETTI

PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CONDIÇÃO DE CERRADO:
DECOMPOSIÇÃO E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES

Tese apresentada a Universidade Federal de Uberlândia,
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação
em Agronomia, curso de doutorado em Agronomia, para
obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 07 de Abril de 2014.

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa

UFU

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UFU

Dr. Carlos Eduardo Faroni

CTC

Dr. Robson Thiago Xavier de Sousa

CMAA

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS ó BRASIL
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

*Dedico este trabalho a meus filhos queridos,
Clara, Miguel, Pedro;
razão de todo empenho!
E a minha esposa, Jordana,
companheira, amiga, presença insubstituível!*

.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar a Deus, cuja bondade infinita sempre me protegeu!

Agradeço a Ele, pela vida, pela família com que me presenteou e pelas pessoas que colocou em meu caminho!

Agradeço a minha mãe, pelas orações, pela palavra exata, pelo amor incondicional.

A meu pai, pelo exemplo de vida, valores e persistência na busca de ideais!

A meus irmãos, Diego, Flávia e André, pela amizade, companheirismo, estímulo e presença nas dificuldades, sempre que necessário!

Aos querido sobrinhos, Lulu, Luca e Arthur, turma que faz acontecer nossos momentos de alegria inesquecíveis!

A minha grande família, primos, tios, tias, avós. Todos foram incentivadores e acolhedores a cada hora.

Ainda, aos Carvalhos e "agregados", família de minha esposa, agradeço e me orgulho de ter sido acolhido, realmente, "como filho"!

Aos amigos de Oliveira, Belo Horizonte, Lavras, Piracicaba, Matão, Itumbiara Uberlândia, todos guardados no coração!

Em especial, agradeço, sobretudo:

a meu orientador, Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer, pelo apoio e forma amiga de orientar;

aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da UFU, pela amizade e companheirismo durante as disciplinas cursadas e pelos momentos de descontração;

a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais, FAPEMIG, e também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelo apoio financeiro que contribuiu sobremaneira para a conclusão deste estudo;

ao Grupo São Martinho, ressaltando os colaboradores, Vinícius Tavares, Ronaldo Gonçalves, Célio Manechinni e Rene Sordi, pelo apoio e por acreditar na tecnologia. Agradeço também ao Diego, Gil e Danilo pelo apoio constante nas coletas e avaliações do experimento em campo;

ao Centro de Tecnologia Canavieira ó CTC, pela permissão e incentivo na execução deste estudo.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Aspectos gerais sobre a cultura da cana-de-açúcar.....	3
2.2 Cultivares e manejo agrônômico da cana-de-açúcar	6
2.3 Manejo da palhada em cana-de-açúcar	7
2.4 Ciclagem da palhada de cana-de-açúcar	10
2.5 Cana Energia	12
2.6 Variáveis climáticas	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Descrição da área de estudo	15
3.2 Variedade, solo e manejo adotados no estudo	15
3.3 Instalação e condução do experimento	17
3.4 Coleta de amostras de solo e palhada	18
3.5 Caracterização química dos solos	19
3.6 Caracterização química da palhada	19
3.7 Delineamento experimental.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Degradação da palhada de cana-de-açúcar nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012	22
4.1.1 Caracterização climática	22
4.1.3 Tempo de meia vida.....	37
4.1.4 Modelagem do decaimento da palhada de cana-de-açúcar.....	38
4.2 Ciclagem da palhada de cana-de-açúcar e efeito residual no solo nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012	40
4.2.1 Liberação e concentração de elementos minerais pela palhada.....	40
4.2.2 Efeito da ciclagem da palhada para o solo.....	49
5 CONCLUSÕES	57
6 REFERÊNCIAS	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
3.1. Sacos de decomposição com palhada de cana-de-açúcar e tela para proteção do tratamento referência.	15
3.2. Amostragem de solo e palhada em cada unidade experimental.	15
4.1. Distribuição pluviométrica e temperatura máxima e mínima no período de condução do estudo nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.	20
4.2. Modelo ajustado para decomposição da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha ⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5° corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.	27
4.3. Modelo ajustado para mineralização do carbono da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha ⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5° corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.	30
4.4. Modelo ajustado para redução da relação C:N da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha ⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5° corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.	34
4.5. Porcentagem de carboidratos estruturais (Hemicelulose, Celulose, Lignina), na colheita da cana-soca e aos 360 dias após a colheita da variedade CTC 6 em seu 5° corte. Médias seguidas por letras distintas em cada elemento diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de significância.	35
4.6. Imagens da última coleta dos <i>litter bags</i> com o material correspondente a 10, 20 e 30 Mg ha ⁻¹ de fitomassa úmida, aos 360 dias após a colheita cana-soca.	36
4.7. Modelagem dos dados de fitomassa seca de cana-de-açúcar a partir de diferentes quantidades iniciais (Qi). Modelo exponencial complexo do tipo $Y(Q_i,t) = (a1.Q_i + a2).e^{(b1.Q_i - b2)} + (c1.Q_i - c2)$.	39
4.8. Modelo ajustado para mineralização do potássio da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha ⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5° corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.	43

4.9. Modelo ajustado para mineralização do cálcio da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha ⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.	46
4.10. Modelo ajustado para mineralização do magnésio da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha ⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.	48
4.11. Modelos ajustados para teor de K trocável em solo submetido a quatro dosagens de matéria seca referentes a 0, 10, 20 e 30 Mg ha ⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.	56

LISTA DE TABELAS

	Página
2.1. Ambientes de produção edafoclimáticos para a cultura da cana-de-açúcar proposto pelo Centro de Tecnologia Canavieira ó CTC.	6
3.1. Análise química e física de um Latossolo Vermelho Acriférico típico, em três profundidades.	16
4.1. Quantidade de matéria seca e carbono orgânico em três doses da palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 em seu 5º corte nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.	24
4.2. Quantidade de carboidratos estruturais e razão C:N em três doses da palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 em seu 5º corte, nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.	31
4.3. Tempo de meia-vida para as componentes fitomassa seca, carbono e relação C:N da palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 avaliada em três doses e 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.	38
4.4. Teor de elementos minerais na palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 em seu 5º corte, nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. Valores de N, P, S e Si para as três doses de fitomassa em 0 e 360 dias após a colheita da cana-soca.	41
4.5. Teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio + alumínio (H+Al), em 5 cm de solo submetido a diferentes doses de palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 aos 360 dias após a colheita nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.	49
4.6. Teores de fósforo (P), enxofre (S), nitrogênio (N) e matéria orgânica (MO), em 5 cm de solo submetido a diferentes doses de palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 aos 360 dias após a colheita nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.	50
4.7. Teores de pH, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%), em 5 cm superficiais de solo submetido a diferentes doses de palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 aos 360 dias após a colheita nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.	52

RESUMO

BENEDETTI, MARCELO MUNIZ. **Palhada de cana-de-açúcar em condição de cerrado: Decomposição e disponibilidade de nutrientes**. 2014. 78f. Tese (Doutorado em Agronomia) ó Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

Atualmente, muito se discute sobre os possíveis efeitos decorrentes do término das queimadas e acúmulo de palhada de cortes anteriores na cultura da cana-de-açúcar. O sistema de colheita da cana-de-açúcar sem prévia despachada a fogo é uma prática que promove uma nova dinâmica na ciclagem de nutrientes, estruturação do solo, além dos efeitos positivos na manutenção da umidade e infiltração de água no solo. Este trabalho objetivou estudar o efeito da palhada da cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho Acriférico, sobre as características de produção de matéria seca, sua taxa de decomposição, o efeito no solo e as quantidades de macronutrientes por ela liberada. Foram utilizadas sacolas de decomposição com três doses de palhada de cana, mais o tratamento com dose zero. Esses materiais foram colocados perpendicularmente a linha da cana e foram coletados em 7 épocas no período de um ano safra. Um esquema fatorial de 3X7 para as doses de palhada e 4X7 para as amostras de solos, com quatro repetições, foi utilizado para estudar os efeitos da decomposição da fitomassa e sua implicação no solo. Para entender tal comportamento, foi criado um modelo exponencial específico para as doses de palhada capaz de descrever o comportamento de sua degradação e liberação de elementos. Verificou-se uma redução de massa da palhada de cana-de-açúcar de aproximadamente 39% para todas as doses utilizadas ao longo de um ano. A razão C:N inicial de 174: 1 reduziu para valores próximos a 50%. O tratamento com 18,5 Mg ha⁻¹ de palhada apresentou a maior contribuição proporcional no aporte de carbono advindo da fitomassa de cana com liberação de 59% do valor inicial, que correspondeu a 6,13 Mg ha⁻¹ de C. Houve uma pequena redução nos teores de hemicelulose da palhada, sendo esta, a principal responsável em reduzir os carboidratos estruturais: hemicelulose, celulose e lignina de 92 para 81%. Entre os nutrientes que contribuíram para o incremento de seus teores no solo, o tratamento com 20 Mg ha⁻¹ de palhada apresentou os maiores valores para Ca e Mg com 34 e 9 kg ha⁻¹, respectivamente. O maior valor de potássio liberado foi identificado no tratamento com 30 Mg ha⁻¹ de palhada com 50 kg ha⁻¹ de K. O aporte destes elementos no solo contribuiu para melhorar suas características químicas nos tratamentos com 20 e 30 Mg ha⁻¹ de palhada com incrementos dos teores de Ca, Mg, K, matéria orgânica, soma de bases e porcentagem de saturação por bases.

Palavras chave: *cana crua, carbono orgânico, macronutrientes*.

¹Orientador Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

ABSTRACT

BENEDETTI, MARCELO MUNIZ. Sugar cane trash in cerrado condition: Decomposition and nutrients availability. In 2014. 78f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - University of Uberlandia, Uberlândia.

Nowadays there are many discussions about the potential effects of sugarcane trash prevention from the ending of farming burnings or post-harvest accumulation in the sugar cane growth. The sugarcane firing based harvest system without previous trash removal is a practice which promotes a new nutrient cycling dynamics, soil structuration, and also positive effects related to moisture conservation and water infiltration in the soil. This work aimed to study the sugarcane trash effect in a Acric Oxisol on the characteristics of dry matter production, its decomposition rate, the effect on the soil and the deployed macronutrients quantities. It was used decomposition bags with three doses of trash sugar cane, plus the treatment with dose zero. The material was placed perpendicular to the cane line and was collected in 7 time lapses inside one harvest period. A factorial scheme of 3X7 for the stubble doses and of 4X7 for the soil samples with four repetitions were used to study the effects of the fitomass decomposition and its implications in the soil. To analyze the behavior it was developed a specific exponential model for each trash doses capable of describing the degradation and elements liberation dynamics. It was verified a reduction of approximately 39% in the sugar cane trash mass for all the doses throughout a year. The initial C:N ratio of 174: 1 was reduced up to values near to 50%. The treatment of 18,5 Mg ha⁻¹ of sugarcane trash has shown the greatest relative rate in carbon contribution originated from the sugar cane fitomass with 59% liberation of the initial value, which corresponds to 6,13 Mg ha⁻¹ of C. There was a slight reduction in the sugar cane hemicellulose concentration, being this, the main responsible reducing the structural carbohydrates: hemicellulose, cellulose and lignin from 92% to 81%. Among the nutrients that contributed to the increase of their concentration in the soil, the treatment of 20 Mg ha⁻¹ of sugarcane trash presented the greatest values for Ca and Mg with 34 and 9 kg ha⁻¹ respectively. The greatest value of liberated potassium was identified in the treatment of 30 Mg ha⁻¹ of sugarcane trash with 50 kg ha⁻¹ of K. The deposition of this elements in the soil contributed to enhance its chemical characteristics in treatments of 20 and 30 Mg ha⁻¹ of sugarcane trash with increasing concentration of Ca, Mg, K, organic matter, base sum, and base saturation percentage.

Keywords: *raw sugarcane, organic carbon, macronutrients*

1 INTRODUÇÃO

A otimização no potencial dos recursos naturais e a economia de insumos são a garantia da sustentabilidade dos sistemas de produção. Neste sentido, é fundamental que se realize um planejamento conservacionista dos processos produtivos. Este planejamento busca implementar um conjunto de boas práticas agrícolas, economicamente viáveis e ambientalmente responsáveis que promovam a manutenção do sistema. Novas tecnologias foram geradas para aperfeiçoar o processo produtivo em áreas de extensa produção agrícola, a fim de priorizar a manutenção e conservação dos recursos utilizados.

Na cultura da cana-de-açúcar, tem-se criado alternativas de manejo conservacionista que visam a sustentabilidade no processo de produção. Referenciado nos conceitos estabelecidos em sistema de plantio direto, a cultura busca formas mais sustentáveis de exploração com o objetivo de elevar os teores de matéria orgânica e nutrientes, diminuir o revolvimento, melhorando sua estruturação e evitando perdas de solo por processos erosivos. Dentre as práticas já utilizadas pelas unidades sucroalcooleiras, estão o cultivo mínimo e a semeadura direta na palhada deixada pela colheita mecanizada sem a utilização de despachada a fogo. Além disso, algumas unidades utilizam soja, amendoim e adubos verdes no intuito de estabelecer um sistema de rotação na reforma de seus canaviais.

Os efeitos da deposição desta palhada ao solo contribuem de forma significativa para aumentar a proteção do solo contra processos erosivos, diminuindo o impacto direto da gota de chuva sobre a superfície do solo com efeitos na redução do escoamento superficial. No sistema de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, ocorre uma redução da amplitude térmica nas camadas superficiais do solo, um aumento da atividade biológica e das taxas de infiltração de água no solo. Os aumentos nos teores de matéria orgânica e nutrientes ciclados pela palhada contribuem para o aumento da fertilidade do solo e proporciona, também, melhor estruturação física. Estes fatores contribuem para um maior crescimento e distribuição das raízes da cana, favorecendo o enraizamento da cultura.

Além disso, os grandes volumes de bagaço gerado no processo de moagem da cana-de-açúcar e da palhada aportada anualmente no solo tornam-se uma considerável opção como fonte de energia. Estes resíduos são capazes de fornecer energia elétrica,

através de cogeração e biocombustíveis de segunda geração, através da quebra das estruturas lignocelulosicas destes materiais.

Com vista aos benefícios destas práticas, há, no momento, um intenso processo de reestruturação nas condições de manejo da cultura visando a preservação e conservação do solo e da água. Com prazo determinado para cessar, a utilização da prática de despalha de cana-de-açúcar a fogo será banida do processo de produção e em seu lugar entrará uma situação de acúmulo de material vegetal dos cortes anteriores. Este aporte de biomassa depositado ao solo propiciará mudanças em sua qualidade química, física e biológica.

No entanto, o conhecimento técnico e científico da degradação e deposição de material vegetal neste sistema conservacionista é ainda muito incipiente, o que resulta na necessidade de se compreender melhor sua dinâmica e funcionamento, com a finalidade de proporcionar informações seguras para recomendações futuras e ainda para auxiliar na tomada de decisão junto aos órgãos competentes no tocante às políticas públicas.

Contudo, este trabalho objetivou avaliar a taxa de decomposição de diferentes quantidades iniciais de palhada de cana-de-açúcar, em um ciclo da cultura, com vistas na liberação de carbono orgânico, carboidratos estruturais (hemicelulose, celulose e lignina) e macronutrientes. Também foram avaliados os benefícios deste aporte no solo que recebeu os tratamentos com a palhada da cana.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais sobre a cultura da cana-de-açúcar

Introduzida no Brasil no período colonial, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é hoje uma das principais culturas no agronegócio brasileiro. Com 430 unidades produtoras e mais de 70 mil produtores, o setor movimenta anualmente 87 bilhões de reais (2,7% do PIB), exporta 27 bilhões de reais anuais, gera 1,2 milhão de empregos diretos e quase 3 milhões indiretos e recolhe 4 bilhões de reais em impostos (UNICA, 2013a).

A cultura da cana-de-açúcar tem grande importância econômica, social e ambiental, fazendo do país o maior produtor mundial, com área plantada de nove milhões e quatrocentos mil hectares, alcançando uma produção na safra 2013/2014 de 596.163 mil toneladas. Os principais produtores são os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Paraná e Mato Grosso do Sul com participação de 51%, 9,3%, 7,7%, 7,6% e 5,5%, respectivamente. Localizados na região Centro Sul, esses estados correspondem por 81% da cana-de-açúcar processada no país (UNICA, 2014).

A produção de açúcar no Brasil apresenta posição de destaque com 34 milhões de toneladas na safra 2013/2014. Estes valores fazem do Brasil o primeiro produtor mundial, responsável por 25% da produção. O volume exportado corresponde a mais de 50% do mercado mundial livre de açúcar, o que faz do país o maior exportador do mundo (UNICA, 2014).

Já o combustível renovável, etanol, é consumido puro (etanol hidratado) ou misturado à gasolina (etanol anidro) na proporção de 20% a 25%, representando um consumo de mais de 26 bilhões de litros em 2013. Este valor representa uma participação superior à 40% em substituição ao consumo de combustível fóssil, gasolina, utilizado em 2013 (UNICA, 2014). Esta proporção poderá aumentar, haja vista que a produção de veículos bicomcombustíveis atingiu neste período o valor de 2.458.953 unidades, correspondendo a 88% dos veículos produzidos no país (ANFAVEA, 2014).

Por fazer parte da matriz energética renovável do país, o setor sucroalcooleiro tem condições de aumentar sua participação, tanto em combustível, como na cogeração de eletricidade advinda da queima do bagaço e da palhada. As usinas brasileiras geram

energia elétrica para uso próprio com produção excedente capaz de fornecer energia para contribuir com a demanda energética do país.

É notório que o setor sucroalcooleiro passou por um intenso processo de expansão física e tecnológica, podendo ser observados os maiores crescimentos entre os anos de 2004 até 2008. Após este período, o setor inicia uma trajetória de baixo crescimento, inferior às necessidades do mercado brasileiro, segundo a UNICA (2013a). A União das Indústrias de Cana-de-Açúcar defende a construção de mais 120 unidades sucroalcooleiras de forma a garantir o fornecimento de etanol até 2020. Neste período, serão necessários investimentos de 156 bilhões de Reais para elevar a produção de cana-de-açúcar para 1,2 bilhão de toneladas de matéria prima.

Em aproximadamente quinze anos, a cultura da cana-de-açúcar aumentou sua área de cultivo em 48%. Concomitante a essa expansão, os avanços tecnológicos nos sistemas de manejo permitiram uma elevação de sua produtividade média em 41% no mesmo período, fechando a safra 2010/2011 em 79 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2013a).

Nos últimos anos, a cana-de-açúcar passa por intenso processo de expansão demográfica e tecnológica em busca de formas produtivas mais sustentáveis e que atendam as necessidades de crescimento do setor. Entre os principais fatores que contribuíram para um aumento expressivo do potencial produtivo da cultura estão: o manejo varietal correspondente a todo o processo de melhoramento genético na cultura, a mudança nas práticas de cultivo, a alocação de variedades conforme os ambientes de produção edafoclimáticos e a redução da colheita da cana com a utilização da despalha a fogo.

No início do século XX, os melhoristas de cana-de-açúcar perceberam que seria necessário um grande banco de germoplasma para o melhoramento sustentável da cultura. Várias expedições foram realizadas com o objetivo de coletar genótipos resistentes às doenças, de elevada produtividade ou que apresentassem alto teor de sacarose (BERDING; ROACH, 1987). Entre os anos de 1995 a 2006 foram criadas 79 cultivares de cana-de-açúcar pelos principais programas de melhoramento existentes no país. Graças ao alto potencial produtivo destes programas, foi permitida a disponibilidade de grande quantidade de cultivares adaptadas às condições específicas de solo, clima, época de colheita e manejo agrônomo (BRESSIANI et al., 2006). Neste contexto, as cultivares liberadas para o plantio comercial são relacionadas em tabelas informando as resposta de cada cultivar, os ambientes edafoclimáticos onde

devem ser alocadas e a época de colheita mais apropriada conforme curva de maturação específica (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

Além disso, a cultura apresenta alto potencial na recuperação dos fertilizantes utilizados em seu manejo, como pode ser observado pela vinhaça, um subproduto derivado da fabricação do etanol por via fermentativa. Este resíduo é caracterizado como um efluente de alto valor fertilizante devido, principalmente, à sua riqueza em potássio, além de fornecer quantidades consideráveis de nitrogênio, enxofre, matéria orgânica e micronutriente. Sua aplicação deve ser feita com bases nos teores de potássio via irrigação em dosagens que variam entre 50 a 200 m³ ha⁻¹.

Outra fonte nutricional recuperada é a torta de filtro. Produzida a partir da fabricação do açúcar, a torta de filtro representa uma fonte de fósforo fornecendo cerca de 1,2 a 1,8% de fósforo e cerca de 70% de umidade, sendo importante para garantir a brotação da cana em plantios feitos em épocas de inverno na Região Centro Oeste. Este subproduto apresenta também elevado teor de cálcio e consideráveis quantidades de micronutrientes. A torta de filtro é empregada principalmente em cana planta, em dosagens que podem variar de 80 a 100 toneladas por hectare (torta úmida), em área total e de 15 a 35 Mg ha⁻¹ (sulco), substituindo parcial ou totalmente a adubação fosfatada, dependendo da dose de P₂O₅ recomendada (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

No âmbito da sanidade, podemos considerar ataques constantes a cultura por lagartas (broca da cana), cigarrinha das raízes, besouros (*Migdolus* e *Sphenophorus*), cupins e formigas, que correspondem as principais pragas de um canavial. Quanto as doenças: o raquitismo, carvão e ferrugem são as mais frequentes nos canaviais brasileiros. Contrário ao que acontece com outras culturas, a cana-de-açúcar adota o controle destes organismos com base em um manejo integrado de pragas e doenças, utilizando sempre o sistema de controle de menor impacto ao ambiente. Para alcançar estes objetivos, são avaliadas desde a intensidade de ataque até o método de controle mais impactante. Estes métodos se iniciam pelo programa de melhoramento genético da cultura com a introdução de mecanismos de resistência e passa por uma contagem de nível de dano que orienta a necessidade ou não de um controle biológico, físico e em última instância o controle químico. (SEGATO, 2006).

2.2 Cultivares e manejo agrônômico da cana-de-açúcar

O potencial produtivo das cultivares selecionadas nos programas de melhoramento da cana-de-açúcar está intimamente ligado às condições edafoclimáticas do local onde são cultivadas. As características físicas, químicas e morfológicas do solo, assim como as condições climáticas, interferem significativamente na produção de determinada cultivar a ponto de limitar sua capacidade produtiva. Estudos feitos pelo Centro de Tecnologia Canavieira ó CTC mostraram que um sistema de capacidade de uso do solo para a cana-de-açúcar permitiu um aumento na produtividade e maior longevidade do canavial. Este sistema foi baseado na classificação e separação de diferentes grupos de solos com o mesmo potencial produtivo (JOAQUIM et al., 1994). Em 2008, o mesmo autor propôs uma caracterização climática para a cultura da cana-de-açúcar, permitindo a expansão do potencial produtivo para as diferentes condições climáticas. Esta caracterização permite a regionalização das variedades de cana-de-açúcar, que hoje são liberadas para condições específicas de solo e clima.

A TABELA 2.1 apresenta as 25 possibilidades de alocação das variedades de cana-de-açúcar conforme o seu ambiente edafoclimático. Segundo esta classificação, o potencial AI representa a melhor condição de solo e clima para a produção da cultura, consequentemente, o potencial EV a condição mais restritiva. Estes dois extremos apresentam um potencial produtivo de 110 e 67 Mg ha⁻¹ de cana-de-açúcar em valores médios para quatro cortes, respectivamente. A cultivar CTC 6, utilizada neste estudo, apresenta potencial produtivo médio/alto podendo, em regiões climáticas com valor IV, alcançar 82 e 78 Mg ha⁻¹ em médias de 4 e 5 cortes, respectivamente .

Tabela 2.1- Ambientes de produção edafoclimáticos para a cultura da cana-de-açúcar proposto pelo Centro de Tecnologia Canavieira - CTC

CLIMAS	SOLOS				
	A	B	C	D	E
I	AI	BI	CI	DI	EI
II	AII	BII	CII	DII	EII
III	AIII	BIII	CIII	DIII	EIII
IV	AIV	BIV	CIV	DIV	EIV
V	AV	BV	CV	DV	EV

No estado de São Paulo é possível encontrar regiões onde os índices pluviométricos apresentam distribuição e quantidade adequadas durante o ano safra, assim como a temperatura e umidade relativa do ar. Somando a esses fatores um índice de radiação apropriado, as regiões como Piracicaba-SP e Ribeirão Preto-SP recebem a classificação climática nos valores de I e II, respectivamente. Sob a mesma ótica, regiões próximas a Uberaba-MG recebem o valor climático III, enquanto no pontal do triângulo mineiro, em Iturama-MG, este valor se reduz para o clima IV. Valores restritivos, V, podem ser encontrados em região central do estado de Goiás na cidade de Goianésia-GO.

Dentre as principais classes de solo utilizadas para o plantio da cana-de-açúcar, estão os Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos, com características químicas e físicas diversas. Estas informações fazem parte de uma base de dados de solos do Centro de Tecnologia Canavieira - CTC, que conta com uma área mapeada próxima a dois milhões de hectares, ou seja, 23% da área plantada com cana-de-açúcar no Brasil. Nesta base, os Latossolos distróficos de textura média e argilosa, além dos Neossolos Quartzarênicos, representam 80% das áreas mapeadas com cana-de-açúcar.

Recentemente, foi criada, pelo Centro de Tecnologia Canavieira, uma metodologia baseada nos levantamentos de solo e clima que indicam as melhores práticas agronômicas para cada situação edafoclimática. Os chamados ambientes de manejo levam em consideração as características químicas, físicas e morfológicas, além dos fatores ambientais regionais para indicar qual o manejo mais adequado para a cultura da cana-de-açúcar. Foram desenvolvidos, neste projeto, recomendações para o planejamento conservacionista, preparo de solo, plantio, correção e fertilização do solo, além de indicação de melhor época de plantio e colheita (JOAQUIM et al., 2013).

2.3 Manejo da palhada em cana-de-açúcar

Algumas unidades sucroalcoleiras estão antecipando o fim da queima da palhada da cana-de-açúcar, outras conduzem o processo de implantação das lavouras sem a prática de despalha a fogo. O fim das queimadas trará mais uma fonte de nutrientes advinda das atividades agrícolas da colheita mecanizada. Sabe-se que na produção do etanol e do açúcar são exportados carbono, nitrogênio e oxigênio retornando grande parte dos nutrientes utilizados como subproduto para utilização nos próximos ciclos da cultura. Esta eficiência no processo produtivo ganha mais força com um aporte de

palhada no campo fornecendo nutrientes, matéria orgânica, favorecendo a manutenção da umidade e a proteção do solo.

O cultivo tradicional da cana-de-açúcar caracteriza-se pelo preparo intensivo do solo, uso intensivo de fertilizantes e queima da palhada. Várias mudanças foram introduzidas no sistema de produção da cana proporcionando um aumento médio de 10 a 15% na sua produtividade (ROSSETTO et al., 2008).

A quantidade de palha produzida pela cultura da cana-de-açúcar sofre interferência direta da variedade utilizada com grande variação entre os materiais (MANECHINI, 1997). O estágio de corte e a produtividade também interferem no potencial produtivo da palhada de cana, que pode variar para valores maiores ou menores, no decorrer do ciclo da cultura, conforme exposto por Campos (2003).

Ao colher a cana-de-açúcar mecanicamente sem a prévia despalha a fogo mantém-se sobre a superfície do solo uma quantidade de palhada composta por folhas secas, folhas verdes, pedaços de colmo e ponteiro em quantidades que variam entre 10 e 30 Mg ha⁻¹ (ABRAMO FILHO et al., 1993; TRIVELIN et al., 1995). No trabalho conduzido por Silva Neto (2010), foram avaliadas nove variedades de cana amostradas em retângulos de 4,5 m² após a colheita mecânica. Os valores da quantidade de palhada remanescente variaram entre 5 e 37 Mg ha⁻¹. O estudo ainda esclarece sobre a grande diferença na capacidade de produção desta biomassa com materiais que variaram entre 5 Mg ha⁻¹ para a cultivar IAC95-5000 e 36,66 Mg ha⁻¹ para a cultivar IAC94-4004, apresentando uma média geral de 13,44 Mg ha⁻¹.

Com o mesmo objetivo, Manechini (1997) avaliou que as quantidades de palhada depositada ao solo após a colheita variaram entre 7 e 28 Mg ha⁻¹, com uma média geral próxima a 15 Mg ha⁻¹. Este material apresenta, além de um volume considerável, maior resistência a decomposição em regiões de forte interferência do clima, como a região dos cerrados, sendo esta uma vantagem para manutenção da cobertura e permanência dos seus resíduos no solo (BOER et al., 2008).

A avaliação da dinâmica de mineralização deste material de cobertura é importante para orientar quais as ações devem ser conduzidas neste sistema conservacionista. A decomposição é dependente do volume de produção de palhada, composição da palhada, qualidade e quantidade de nutrientes orgânicos e de condições climáticas favoráveis (ALVARENGA et al., 2001).

Em estudo conduzido em diferentes regiões climáticas na Austrália, foi avaliado que a interferência na decomposição do material foi propiciada pelas condições de

umidade, temperatura, precipitação e aeração e, principalmente, da qualidade do resíduo, especialmente da razão C:N, teores de lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis (ROBERTSON; THORBURN, 2007).

Observações similares foram feitas por alguns pesquisadores no Brasil que também consideram a razão C:N um fator determinante na qualidade do material para degradação. Segundo (TRIVELIN et al., 1995), a palhada de cana-de-açúcar possui em média 390 a 450 g kg⁻¹ de carbono e 4,6 a 6,5 g kg⁻¹ de nitrogênio, o que representa uma razão C:N em torno de 100. É de se esperar uma intensa imobilização do N no solo, pois para mineralização do material pela biomassa microbiana seria necessário um valor de C:N abaixo de 20.

A composição da fitomassa de cana-de-açúcar em carboidratos estruturais, geralmente, apresenta de 35-50% de celulose, seguido de 20-35% de hemicelulose, 10-25% de lignina e uma pequena quantidade de cinzas (SANTOS et al., 2012). Estes materiais lignocelulósicos apresentam composição química elevada na palhada de cana o que favorece a resistência a degradação, como pode ser observado pelos trabalhos de Fortes et al. (2012), que obtiveram valores iniciais de 92% do total da fitomassa, constatando que em um ano houve uma redução pequena em torno de 20%. Considerando que em condições climáticas favoráveis a decomposição, Faroni et al. (2003) obtiveram uma redução na C:N de, aproximadamente, 60%, sendo este o maior valor observado na degradação da palhada da cana-de-açúcar.

A mineralização da palhada nos cerrados ocorre de forma acelerada, com taxas de decomposição que podem chegar a 10 vezes mais em regiões tropicais e subtropicais, quando comparadas as regiões temperadas (LAL; LOGAN, 1995). Uma alternativa seria a utilização de materiais de cobertura com alta produção de biomassa e que apresentem maior resistência a decomposição, mantendo os resíduos vegetais sobre os solos por maior tempo (CERETTA et al., 2002). Esta verificação torna-se ainda mais importante em regiões de elevadas temperaturas e que apresentam elevado índice pluviométrico concentrado em alguns meses do ano, como a Região Centro-Oeste.

Do ponto de vista da proteção do solo, na maior parte do tempo, a movimentação de solo é pequena ocorrendo a cada cinco anos em média, devido a técnica de plantio. Segundo De Maria e Dechen (1998), as perdas de solo na cultura da cana com a queima da palhada atingem valores 62% menores que os apresentados por culturas anuais como a soja. Este trabalho apresenta ainda diferença significativa nas perdas de solos por erosão em função do manejo diferenciado da palhada. Verifica-se

que o sistema conservacionista reduziu em 32% as perdas de solo em comparação ao sistema convencional de queima da palhada.

2.4 Ciclagem da palhada de cana-de-açúcar

O potencial da ciclagem de nutrientes contidos nos subprodutos derivados da produção da cana-de-açúcar torna esta cultura muito eficiente na utilização de insumos que visam elevar sua produtividade e a fertilidade do solo. Considerando que a produção de açúcar e etanol preserva boa parte dos fertilizantes utilizados em seu manejo, estes minerais retornam ao campo na forma de vinhaça, torta de filtro e, mais recente, a contribuição dos resíduos vegetais depositados ao solo devido a colheita mecanizada

Oliveira et al. (1999) foram os pioneiros, no Brasil, na avaliação da quantidade e da forma em que ocorre a decomposição e liberação de nutrientes pela palhada da cana-de-açúcar. No trabalho deles, estimaram que a palhada adicionasse anualmente, através de reciclagem, pequenas quantidades de N, P, Mg e S, quantidades médias de Ca e quantidades significativas de K. Contudo, as condições climáticas no período de maior contribuição a degradação do material (setembro a março) foram pouco pronunciadas, o que resultou em uma redução de 22% de matéria seca em um ano safra, não representando uma mineralização eficiente do material. A resposta da fitomassa à decomposição é dependente de uma condição climática favorável, podendo a degradação atingir uma larga faixa influenciada pelo clima da região. Além dos dados acima citados, é possível observar variação da degradação do material influenciada pela ação climática local conforme observado por Trivelin et al. (2002), que obtiveram valores de redução em matéria seca de 71% e de Fortes et al. (2012) que chegaram a 45% na redução da fitomassa seca em um ano safra.

O potássio é um elemento que não participa de nenhum composto existente nas plantas e por estar presente na forma iônica (MALAVOLTA et al., 1997), apresenta facilidade em sair da célula após o rompimento da membrana plasmática. Oliveira et al. (1999) verificaram a liberação de 56 kg ha⁻¹ de K, o que correspondeu a um percentual de 85% do inicialmente existente na palhada após 12 meses. Grande parte do potássio liberado ocorre nos primeiros dias do processo de decomposição, conforme pode ser observado por Yadav et al. (1987) que verificaram a liberação de 35% do K nos 15 primeiros dias, sendo que aos 120 dias a finalização do experimento correspondeu uma

liberação total de 70% do K existente na fitomassa de cana-de-açúcar. Dados apresentados por Fortes et al. (2012) reforçam a liberação do K pela fitomassa de cana com valores de 88% e 93% do inicialmente existente no material nas safras 2006/2007 e 2005/2006, respectivamente. Estes potenciais representaram por volta de 40 kg ha⁻¹ de potássio.

Para o elemento nitrogênio ocorrerá, após a deposição do fitomassa ao solo, a mineralização ou imobilização do N pela biomassa microbiana. Esses dois processos ocorrem simultaneamente e a quantidade de nitrogênio no material em decomposição determinará, em grande parte, qual deles será predominante (CASSMAN; MUNNS, 1980). Como este material apresenta razão C:N em torno de 100, é de se esperar intensa imobilização do nitrogênio do solo pela biomassa microbiana, pois convencionalmente acima de uma relação de 20:1 ocorre o predomínio da imobilização do N (SMITH; DOUGLAS, 1971; SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

A fitomassa de cana-de-açúcar é capaz de elevar os teores de Ca e Mg do solo liberando anualmente em torno de 15 e 5 kg ha⁻¹, respectivamente (FRANCO et al., 2007). Fortes et al. (2012) obtiveram maior contribuição a mineralização de Ca e Mg com 28 e 12 kg ha⁻¹, respectivamente. Estes valores podem ser considerados similares devido a quantidade inicial e taxa de decomposição da fitomassa nos dois estudos. Além disso, em situações de reforma do canavial, torna-se importante considerar o efeito das raízes que em conjunto com a fitomassa incrementa ao solo 59 e 25 kg ha⁻¹, de Ca e Mg, respectivamente (FRANCO et al., 2007).

O fósforo é um elemento absorvido em menor quantidade pela cana-de-açúcar, o que contribui para sua baixa disponibilidade na fitomassa. Ainda, apresenta relações C:P em torno de 800:1, que dificultam a sua liberação, já que para mineralização do elemento seria ideal valores abaixo de 200:1 (OLIVEIRA et al., 1999). Os trabalhos com a palhada mostram uma disponibilidade de 3 a 6 kg ha⁻¹ de fósforo com liberação irrelevante no primeiro ano safra. Observa-se que, a partir de 3 safras, o material consiga liberar cerca de 2 a 4 kg ha⁻¹, valores baixos quando considerada a necessidade deste elemento no sistema solo planta (OLIVEIRA et al., 1999; FORTES et al., 2012; FRANCO et al., 2007a).

O enxofre, assim como grande parte do nitrogênio e todo o fósforo contido na fitomassa de cana-de-açúcar permanecem no material de um ciclo para o outro, oferecendo contribuições muito pequenas ao sistema solo planta neste período. Nota-se, que este efeito é devido principalmente a condição química do material que apresenta

razão C:S em torno de 700:1, enquanto o valor ideal, assim como o fósforo, estaria abaixo de 200:1 (BALIEIRO et al., 2004). Nestas condições, o material tem por volta de 6 a 10 kg ha⁻¹ de enxofre com liberações que variam entre 3 e 6 kg ha⁻¹ (OLIVEIRA et al., 1999; FRANCO et al., 2007; FORTES et al., 2012).

Alterações no teor de matéria orgânica mineralizada a partir da deposição da palhada tem implicações graduais nas alterações de pH, na toxidez de alumínio, na dinâmica do nitrogênio, do fósforo e de outros nutrientes.

Nesse contexto, para aumentar a produção da cana-de-açúcar e a competitividade do setor sucroalcooleiro, é necessário controlar os fatores produtivos como, por exemplo, o fornecimento adequado de nutrientes para atender as exigências nutricionais da cultura.

2.5 Cana Energia

Instituições de pesquisa que trabalham com melhoramento genético, na cultura da cana-de-açúcar, como: o Centro de Tecnologia Canavieira, Instituto Agrônomo de Campinas e GranBio, estão em busca de novas variedades com características bem diferentes do que vinha sendo avaliado até o momento. Materiais com alto perfilhamento, colmos mais finos e grande capacidade de produção de matéria seca estão sendo selecionados, para fornecimento de uma matéria prima de qualidade para geração de novas formas de energia no setor.

Segundo Gentil (2011), uma boa biomassa para fins energéticos deve ter baixo teor de cinzas, alta densidade energética, zero emissão de particulados, baixo custo de transporte e armazenamento, baixo teor de umidade, fácil manipulação e zero corrosão de equipamentos. Hoje o bagaço e a palhada da cana-de-açúcar são as biomassas mais indicadas para cogeração de energia, pois contam com um custo de matéria prima muito baixo, mão de obra capacitada, autorização governamental e regras consolidadas.

Neste contexto, a cultura da cana-de-açúcar apresenta-se como excelente opção para composição da matriz energética renovável nacional, utilizando fontes oriundas da conversão destes materiais. Com aproximadamente 9,4 milhões de hectares plantados e uma produtividade média nacional de 75 Mg ha⁻¹, sendo que para cada tonelada de cana são geradas em média 140 kg de palha e 140 kg de bagaço em base seca, ou seja 10,5 Mg de palha e 10,5 Mg de bagaço, considerando que 80% desta área será colhida

mecanicamente ter-se-ia 158 milhões de toneladas de biomassa de cana disponíveis para produção de energia renovável (SANTOS et al., 2012; IBGE, 2013).

Novas pesquisas vêm mostrando o potencial destes resíduos para a produção da segunda geração de biocombustíveis derivado da cultura da cana-de-açúcar. O etanol denominado "Etanol de segunda geração" é um produto derivado da quebra da estrutura lignocelulósica da palhada ou do bagaço de cana. Teoricamente, o uso desta tecnologia em condição comercial possibilitou estimar uma produção média que poderia dobrar a produção de etanol por hectare (SANTOS et al., 2012)

2.6 Variáveis climáticas

O efeito catalizador das reações de degradação da palhada de cana-de-açúcar no campo inicia-se por uma boa distribuição da precipitação pluvial e culmina nos processos de acondicionamento da biomassa vegetal com a manutenção da temperatura, aeração e umidade de forma a possibilitar uma ação eficiente por parte da atividade macro e microbiológica do solo.

Diante dos benefícios proporcionados pela deposição da biomassa de cana-de-açúcar, uma redução na temperatura de 7,9 °C na profundidade de 6 cm, em relação ao solo nu, pode ser observada no trabalho de Timm (2002). Segundo Wood (1991), a redução da temperatura máxima em uma profundidade de 5 cm foi em média de 12 °C, nos meses de outubro a dezembro, e de 3°C, de janeiro a junho, quando comparada a cana crua em relação a cana queimada, na Austrália. Além do declínio da temperatura, a palhada contribuiu para manutenção da temperatura que permaneceu constante de outubro a abril, indicando uma condição favorável à atividade biológica que ali se constituiu.

Os efeitos da cobertura vegetal na temperatura do solo em outras culturas é matéria de intenso estudo. Para diversos objetivos, autores vêm pesquisando o comportamento da diminuição na temperatura do solo com vista em benefícios às culturas (BRAGAGNOLO; MIELNICZUK, 1990; DERPSCH et al., 1985; CALDEIRA; RODELLA, 1997).

A manutenção da umidade do solo proporciona um ambiente mais adequado a decomposição da palhada de cana-de-açúcar e interfere positivamente nas liberações de nutrientes no sistema solo-planta. Em uma camada de solo de 0 a 20 cm, a presença da

palhada de cana-de-açúcar na superfície de um Latossolo Vermelho de textura argilosa foi capaz de reduzir praticamente pela metade a perda de água (PERES et al., 2010). Na Austrália, foram selecionados sete locais para avaliação da umidade do solo em condições de cana queimada, cana crua e cana crua com palhada incorporada ao solo. A umidade do tratamento com a palhada depositada ao solo foi o que obteve maior valor de umidade com uma diferença, no período mais crítico, de 10% em relação a cana queimada. Observa-se, ainda, que o tratamento manteve uma umidade constante durante todo o período de avaliação (WOOD, 1991). Trabalho conduzido por Brasil Sobrinho e Mello (1960) indicam um aumento de 60% no teor de umidade na superfície de um solo com cobertura em proporção ao solo sem cobertura. Na profundidade de 2 a 15 cm, esse valor se reduz a 25%, o que é considerável diante do volume de solo analisado.

A quantidade de palhada depositada ao solo deve permitir que ocorra a renovação do ar do solo (aeração) de forma a aproximá-lo ao ar atmosférico, prevenindo perdas irreparáveis ao sistema radicular das plantas e microrganismos responsáveis pela degradação do material vegetal. Períodos curtos de anaerobismo no solo induzem os microrganismos a formar grandes quantidades de materiais tóxicos e podem causar consideráveis perdas de nitrato do solo (GREENWOOD, 1969; LETEY, 1962).

A manutenção da temperatura, aeração e umidade do solo proporcionados pela cobertura do solo com a palhada de cana permitiu uma maior atividade da biomassa microbiana, indicando um aumento em 38% em relação a cana queimada (WOOD, 1991). Graham e Haynes (2006) avaliaram o efeito da cana crua e cana queimada na atividade da biomassa microbiana na África do Sul. Segundo esses autores, a cana crua apresentou valor 45% maior, com valores para os dois tratamentos que variaram entre 1459 e 795 kg ha⁻¹ do C microbiano.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo encontra-se na região sudoeste do estado de Goiás, em unidade sucroalcoleira do grupo Nova Fronteira Bioenergia, Usina Boa Vista. Em área destinada a experimentação agrícola, com aproximadamente 200 ha, foi instalado o experimento nas coordenadas geográficas LAT/LONG 18° 34' 21" S / 50° 26' 47" W, nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. O clima da região, segundo a classificação climática de Koppen, é do tipo Aw (tropical úmido com inverno seco), precipitação e temperatura média anual de 1600 mm e 23° C, respectivamente (INMET, 2013; SUCKLING, 2000; ROLIM et al., 2007). Segundo critérios climáticos levantados pelo Centro de Tecnologia Canaveieira ó CTC, a classificação climática específica para a cultura da cana-de-açúcar apresenta valor IV. Este valor indica o potencial produtivo da cultura em relação a sua condição climática regional (JOAQUIM; BELLINASSO, 2009).

3.2 Variedade, solo e manejo adotados no estudo

Os solos apresentam litologia representada principalmente por derrames de basalto, presentes na formação Serra Geral (Grupo São Bento). Esta formação permitiu o reconhecimento de solos altamente intemperizados, profundos e pobres em bases. A classe de solo reconhecida e classificada na fazenda experimental é o Latossolo Vermelho Acriférico típico (EMBRAPA, 2006), cujas características químicas e granulométricas estão apresentadas em três profundidades (TABELA 3.1).

Solos resultantes de intenso processo de intemperismo, normalmente profundos, variando de argilosos a muito argilosos, com ocorrência mais acentuada em relevos planos a suave ondulado, apresentam fertilidade natural baixa, diminuindo consideravelmente seu valor em subsuperfície devido ao processo de intemperismo e a diminuição de compostos orgânicos. O material de origem e a ação do tempo imprimem à fração argila uma baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Além disso, são solos que apresentam alto teor de óxidos de ferro, podendo variar entre 180 a 360 g kg⁻¹ de solo.

Estes solos apresentam potencial de produção médio, caracterizado pelo ambiente de produção CIV, segundo critérios de classificação e adequação do potencial produtivo na cultura da cana-de-açúcar (JOAQUIM et al.; 1994).

TABELA 3.1- Análise química e física de um Latossolo Vermelho Acriférico típico, em três profundidades.

Prof. (cm)	Composição Granulométrica					pH H ₂ O	Carbono	Matéria		
	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total			Orgânica	Al ³⁺	H ⁺
	----- % -----						----- % -----		--- cmolc dm ⁻³ ---	
0 - 25	60,50	13,60	18,30	7,60	25,90	5,70	1,32	2,28	0,08	6,05
25 - 50	63,00	14,60	15,70	6,70	22,40	5,60	1,09	1,88	0,03	4,87
80 - 100	64,60	14,50	15,00	5,90	20,90	5,60	0,75	1,29	0,02	4,22
Prof. (cm)	Cátions Trocáveis					SB	T	Saturação		
	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			RC	V	m
	mg kg ⁻¹	----- cmolc dm ⁻³ -----							----- % -----	
0 - 25	5	0	0,14	1,91	0,77	2,82	8,95	2,82	31,51	2,76
25 - 50	2	0	0,08	1,24	0,50	1,82	6,72	1,82	27,08	1,62
80 - 100	3	0	0,04	0,58	0,20	0,82	5,06	0,82	16,21	2,38

Extratores: pH em água, K e P-assimilável por Mehlich-1, teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis extraídos por KCl; acidez potencial por Acetato de Cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria, segundo metodologia da Embrapa (2009). Retenção de Cátions (RC) = SB+Al/% Argila.

A variedade escolhida para o estudo foi a CTC 6 que, segundo o Centro de Tecnologia Canavieira, tem como principais características a produtividade e longevidade do canavial. É recomendada para colheita entre o meio e o final da safra em ambientes de médio a alto potencial de produção. A época de colheita permitiu melhor avaliação da decomposição da palhada no período de maior intensidade de chuva coincidindo com as primeiras verificações. Esta variedade ainda apresenta alto teor de sacarose, baixo teor de fibra, médio florescimento e não isoporiza. É resistente à escaldadura, amarelecimento, ferrugem marrom, ferrugem alaranjada, carvão e mosaico. Apresenta reação intermediária à broca Diatrea.

A colheita da variedade CTC 6 ocorreu no dia 13/10/2010 correspondendo ao seu quinto corte, com a instalação do experimento feita no dia 16/10/2010 com a deposição dos sacos contendo a palhada de cana-de-açúcar retirada do próprio local. A adubação de plantio foi de 500 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 10-25-25 e suas soqueiras foram adubadas até seu quarto corte com 550 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 18-07-20.

Para evitar efeitos não desejáveis e possíveis superestimação dos parâmetros analisados, a área selecionada para o experimento não sofreu adição de nenhum tipo de fertilização, procedendo apenas às especificações técnicas de manejo da usina para o

controle de plantas daninhas, de pragas e de doenças. Os dados climáticos utilizados no experimento foram obtidos por estação climática da própria unidade sucroalcoleira, localizada a 2 quilômetros do local onde se realizou a experimentação.

3.3 Instalação e condução do experimento

Para a instalação do experimento foi feita uma adaptação da metodologia de sacolas de decomposição *õlitter bags* a fim de permitir, de forma eficiente, a decomposição do material vegetal. Este material, composto por folhas secas e ponteiros, proveniente da colheita mecanizada da cana-soca do cultivar CTC 6, foi retirado da unidade experimental e ensacado em sacos de decomposição com 0,75 x 0,5 m e abertura de malha 1,5 x 1,5 cm. A utilização de sacos com esta abertura se justifica por não haver interferência de sombreamento da malha na diminuição da temperatura e umidade, com consequência na alteração da decomposição da palhada. Situação esta, também observada por Vitti et al. (2008), que utilizaram um saco telado com orifício de 0,03 m de diâmetro, não influenciando na umidade e temperatura no material de cobertura, sendo ainda abertura suficiente para o contato do material com a mesofauna e o solo.

A palhada da cana-de-açúcar sofreu uma pré-secagem para posterior instalação no campo e verificação da quantidade de matéria seca inicial do material. Os sacos contendo palhada foram fixados com ganchos de ferro nas entre linhas da cana-de-açúcar. No momento da coleta, os sacos eram retirados, limpos para retiradas de raízes e solo neles aderidos. Posteriormente, os sacos eram pesados e submetidos a secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C por 72 h para obtenção do peso de matéria seca.

O experimento foi constituído por 112 parcelas na avaliação do solo e 84 parcelas para avaliação do material vegetal em decomposição, totalizando 28 parcelas para cada tratamento. Cada parcela foi representada pela área ocupada por um saco de decomposição com 0,375 m², disposto perpendicularmente entre as linhas de cana e espaçados em um metro. No tratamento de dose zero, os sacos foram alocados na área experimental sem a palhada (FIGURA 3.1).



FIGURA 3.1- Sacos de decomposição com palhada de cana-de-açúcar e tela para proteção do tratamento referência.

3.4 Coleta de amostras de solo e palhada

A amostragem do solo e os sacos contendo a palhada foram feitos conforme ilustrado na FIGURA 3.2.

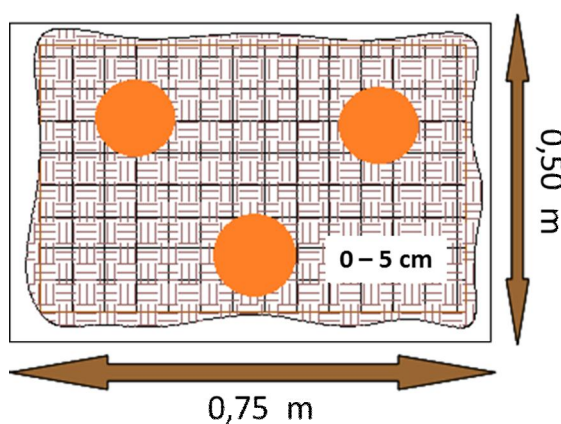


FIGURA 3.2- Amostragem de solo e palhada em cada unidade experimental.

As amostras de solos foram coletadas na profundidade de 5 cm em três anéis, formando uma análise composta para cada repetição. Estes solos foram secos ao ar, destorroados e peneirados a 2 mm para posterior análise. Os sacos contendo a palhada foram retirados em cada época de análise, limpos e pesados no momento da coleta. As amostras foram subamostradas, secas, moídas e encaminhadas para análise.

3.5 Caracterização química dos solos

Para caracterização química do solo, foi determinado o fósforo (P) extraído pelo método da resina trocadora de cátions e ânions, de acordo com a descrição de Raij e Quaggio (1983). O pH do solo foi determinado em H₂O e na solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. Na determinação da acidez potencial do solo foi extraído o H⁺ + Al³⁺ com uma solução de Ca(OAc)₂ 1 mol L⁻¹ tamponada a pH 7,0. O carbono orgânico foi determinado pela oxidação da matéria orgânica e esta foi calculada utilizando o fator de multiplicação 1,724. O enxofre (S) foi determinado pelo ataque da amostra com ácido clorídrico. O nitrogênio total do solo foi obtido pelo método da destilação de Kjeldahl. Os cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) foram determinados pela medição de cátions e ânions no extrato aquoso. A CTC potencial a pH 7,0 (T) e saturação por bases (V%) foram obtidas a partir de cálculos. Todas as determinações descritas acima foram baseadas nos métodos propostos pela Embrapa (1997).

3.6 Caracterização química da palhada

A caracterização química da palhada foi feita para estimar os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, através de digestão ácida a quente de acordo com a descrição de Malavolta (1997). Os carboidratos estruturais: celulose, hemicelulose e lignina foram analisados conforme método descrito por Silva (1990). O Silício presente no material de cobertura foi determinado pelo método amarelo, conforme descrito por Korndörfer et al. (2004).

3.7 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com esquema fatorial 4x7 para as avaliações em solo e 3x7 nas avaliações da fitomassa, constituindo três doses correspondentes a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de material vegetal úmido, além do tratamento referência sem palhada. Estes tratamentos foram referenciados nas tabelas por P ó 0, P ó 10, P ó 20 e P ó 30, correspondentes as doses 0, 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de material vegetal fresco depositado ao solo. Após a retirada da umidade, os valores em P ó 0, P ó 10, P ó 20 e P ó 30 corresponderam a 0, 9.24, 18.49, 27.73 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Tanto o solo quanto a palhada foram avaliados com quatro repetições em sete épocas a partir da colheita da cana-soca com 0, 30, 60, 90, 120, 240 e 360 dias após a colheita. As médias foram comparadas entre si através de um teste de média para

avaliação do comportamento do solo diante do tratamento com e sem doses de palhada. Para os cálculos estatísticos, foi utilizado o software Sisvar 5.0[®] (FERREIRA, 2008).

Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais e nutrientes por eles liberados foi utilizado um modelo matemático exponencial baseado em modelos descritos por Wiedner e Lang (1982) e utilizado por Thomas e Asakawa (1993), Torres et al. (2005), Rezende et al. (1999), Torres et al. (2008) e Teixeira et al. (2010). Este modelo foi criado especificamente para descrever o comportamento da decomposição de fitomassa de cana-de-açúcar. Considerando que os modelos citados trabalharam com fitomassas de outras culturas e que esses materiais apresentam comportamento diferente da palhada de cana-de-açúcar, foi criada uma equação exponencial específica para a fitomassa em questão. Onde:

$$Y = a * e^{(-k * t)} + b$$

em que Y é a quantidade de matéria seca ou nutrientes remanescentes; a é a fração da fitomassa seca ou elemento potencialmente decomponível; k e b são constantes de decomposição e t é o tempo em dias.

Este modelo estima a quantidade de fitomassa seca ou de nutrientes após um período de tempo medido em dias. Para estas estimativas, foram elaboradas equações matemáticas que represente a decomposição de fitomassa seca e a liberação de nutrientes com auxílio do software Excel[®], também responsável pelo cálculo do coeficiente de determinação. O teste F para validação estatística do modelo foi obtido a partir do software SPSS STATISTICS[®] (SPSS, 2008).

Os modelos exponenciais utilizados para avaliar o comportamento da palhada nas diferentes dosagens serviram como base para geração de um modelo complexo que explique o comportamento de diferentes quantidades iniciais de palhada. Considerando que exponenciais referenciadas apresentam degradação da fitomassa no tempo, para diferentes quantidades iniciais da palhada, foi possível gerar uma equação para modelagem de dados que venham a ser medidos no campo.

Considerando que a natureza do fenômeno não se altera com a quantidade inicial da amostra e apenas a taxa em que ele ocorre varia, foi permitido gerar uma estimativa do decaimento de fitomassa seca ou elementos para uma quantidade arbitrária de palhada, utilizando-se um modelo derivativo de duas variáveis.

Para derivar tal modelo foi gerada uma função exponencial complexa do tempo, do mesmo tipo daquelas utilizadas no ajuste dos dados, onde, no entanto, cada termo envolvido (termo multiplicativo, termo exponencial e termo independente) é obtido como uma função linear da quantidade inicial de palha. A função linear que compõe cada termo é obtida da regressão linear dos termos em cada exponencial de ajuste dos dados.

Seguindo a abordagem descrita acima, obtém-se para componente o seguinte modelo:

$$Y(Q_i, t) = (a_1 \cdot Q_i + a_2) \cdot e^{(b_1 \cdot Q_i - b_2)} + (c_1 \cdot Q_i - c_2)$$

em que $Y(Q_i, t)$ é a quantidade de matéria seca ou elemento remanescente, para quantidades de palhada inicial (Q_i) arbitrária; a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , c_1 e c_2 , valores obtidos a partir da função linear criada para cada termo dos tratamentos utilizados nas doses de palhada.

Uma característica útil na avaliação da degradação de biomassas vegetais é o tempo de meia-vida ($T_{1/2}$), que expressa o período necessário para que a metade da fitomassa se decomponha ou para metade dos componentes presentes no material sejam liberados. Conforme descrito por Rezende et al. (1999), é possível calcular o tempo de meia-vida pela equação:

$$T_{1/2} = \ln(2) / k$$

Onde $T_{1/2}$ é o tempo de meia vida da palhada seca da cana-de-açúcar ou componente por ela liberado; $\ln(2)$ é um valor constante; e k é a constante de decomposição descrita anteriormente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Degradação da palhada de cana-de-açúcar nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012

4.1.1 Caracterização climática

No período de condução do experimento houve intensas variações na disponibilidade hídrica, apesar da precipitação acumulada ultrapassar os valores das médias históricas anuais de 1600 mm. O período utilizado nas safras 2010/2011 e 2011/2012 totalizou um volume de 2200 mm a contar de outubro de 2010 a outubro de 2011 (FIGURA 4.1). Segundo Doorenbos e Kassam (1994), o consumo de água da cultura de cana-de-açúcar varia com o clima, com a disponibilidade hídrica e com o próprio ciclo de desenvolvimento da cultura, alcançando um consumo em torno de 1500 a 2500 mm. Estes autores consideram, ainda, que a ocorrência de deficiência hídrica no estágio inicial de cultivo afeta com maior gravidade a produção, pois reduz o desenvolvimento radicular.

Valores de precipitação acumulada para os meses de janeiro, fevereiro e março de 2011 totalizaram 1292 mm, quantidade suficiente para um bom desenvolvimento da cultura se distribuído por todo o período de cultivo. Conforme estudado por Peres et al. (1992), em Araras-SP, uma região com distribuição da precipitação anual equilibrada, o primeiro ciclo da cana-soca cultivar NA56-79 consumiu 1063 mm de água.

Em março de 2011, houve um grande acúmulo de chuva atingindo a máxima mensal de 579 mm. Essa quantidade de água contribuiu para uma pequena diminuição na temperatura, o que não impediu que grande parte desse volume fosse perdida por evaporação, já que a temperatura máxima se manteve por volta de 30° C e as chuvas diárias ultrapassaram os valores de capacidade de campo. Além da evaporação, a saturação do solo contribuiu para outras perdas por lixiviação superficial, contribuindo para menor aproveitamento deste volume de água pela cultura.

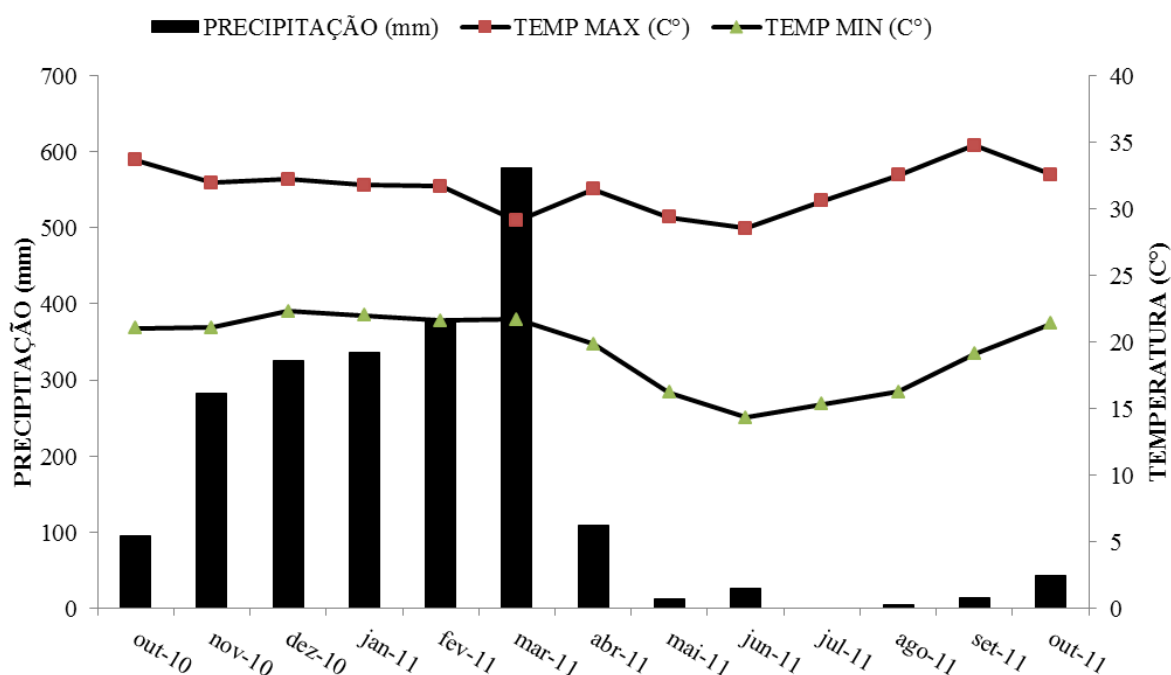


FIGURA 4.1- Distribuição pluviométrica e temperatura máxima e mínima no período de condução do estudo nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.

Os primeiros sete meses de cultivo, de outubro de 2010 a abril de 2011, registraram um índice pluviométrico de 2103 mm. Segundo Brito (2006), o bom desenvolvimento da cultura ocorre com uma disponibilidade hídrica entre 1200 e 1800 mm, com temperatura média por volta de 30 a 34°C, sendo que abaixo de 25°C e acima de 38°C o crescimento é muito lento.

Os dados da estação meteorológica da usina Boa Vista foram contrastados com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponíveis para a região. Nas cidades de Rio Verde-GO e Itumbiara-GO, as precipitações no período estudado atingiram os valores de 1979 e 1945, respectivamente. Apesar da diferença com relação aos dados da usina, os meses de maior intensidade de chuvas foram bem coerentes com valores obtidos em janeiro, fevereiro e março: 257, 258, 430 e 306, 220, 552 mm, respectivamente para Rio Verde-GO e Itumbiara-GO. Da mesma forma, os períodos de maio de 2011 a setembro de 2011 apresentaram muito pouca ou nenhuma chuva em todas as cidades consideradas na análise (INMET, 2013).

A quantidade e a distribuição das chuvas no ciclo de produção da cultura da cana-de-açúcar é fator catalizador de todas as reações que envolvem a degradação do material vegetal depositado no campo após a colheita mecanizada. A manutenção da umidade, temperatura e condição apropriada para o desenvolvimento de macro e

microrganismos proporcionará maior ou menor incremento no processo de ciclagem de nutrientes e aporte de material orgânico ao solo.

4.1.2 Degradação estrutural da palhada de cana-de-açúcar

A decomposição da palhada de cana-de-açúcar apresentou uma redução equilibrada em relação a sua perda de peso para as três doses, após 360 dias, sob as condições climáticas locais. É possível observar nos dados apresentados na TABELA 4.1 que houve uma redução média percentual de 39% da matéria seca nas fitomassas referentes a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de palhada úmida. O material foi conduzido para o campo após uma pré-secagem e seu peso de matéria seca foi obtido após a retirada de toda umidade em estufa com a obtenção de uma redução média de 8% em peso para os três tratamentos.

Os valores de redução no peso de matéria seca no tratamento P ó 10 foi de 3,84 Mg ha⁻¹ ou 42% da quantidade inicial (TABELA 4.1). Esse resultado comprova os encontrados por Fortes (2012), na cidade de Jaboticabal-SP, no ano safra 2006/2007, que obteve uma diminuição de 4,50 Mg ha⁻¹, o que representou 45% na quantidade inicial da fitomassa. Outros autores têm indicado perdas variadas como indicativo de que em condições climáticas favoráveis a decomposição do material vegetal pode reduzir a taxas superiores a 60% do seu peso em um ano safra. Já em condições de menor participação destas variáveis, há registros de valores próximos a 20% (VITTI et al., 2008; OLIVEIRA et al., 1999).

TABELA 4.1- Quantidade de matéria seca e carbono orgânico em três doses da palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 em seu 5º corte, nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.

Fitomassa	Tempo	Matéria Seca		C	
	dias	Mg ha ⁻¹	% de perda	Mg ha ⁻¹	% de perda
P ó 10	0	9,24	42%	5,16	51%
	360	5,40		2,53	
P ó 20	0	18,49	37%	10,32	59%
	360	11,57		4,20	
P ó 30	0	27,73	37%	15,48	43%
	360	17,34		8,81	

Segundo Calegari et al. (1993), o sucesso de sistemas conservacionistas de manejo no cerrado está ligado a definição de uma espécie de cobertura com elevada produtividade de fitomassa para cobertura dos solos, dada a rápida decomposição da fitomassa devido as elevadas condições de temperatura e umidade. Neste sentido, a cultura da cana-de-açúcar pode contribuir em seu sistema de conservação e manutenção do solo, pois é capaz de aportar grandes quantidades de palhada por hectare. Além disso, a capacidade de permanência do material vegetal no solo é elevada dada a sua alta razão C:N.

A fitomassa apresentou maior eficiência na liberação de carbono orgânico no tratamento P ó 20 com uma liberação de 59%, que representou 6,12 Mg ha⁻¹ de C. Este valor está bem próximo dos 43% liberados pelo tratamento com a maior quantidade de palhada P ó 30, que apresentou liberação de 6,67 Mg ha⁻¹ de C. Considerando a palhada do tratamento P ó 10, nota-se um efeito superior na liberação de carbono em relação ao tratamento P ó 30, como observado para o volume em P - 20, sendo este também um indicativo da maior eficiência da atividade biológica do solo na degradação da fitomassa (TABELA 4.1).

Oliveira et al. (1999) obtiveram um valor de 41% na liberação de carbono no ano safra 1996/1997 a partir de uma quantidade inicial de 6,26 Mg ha⁻¹ de C contidas na matéria seca da palhada. Em quantidade inicial de palha de 15,9 Mg ha⁻¹, o aporte inicial de 6,19 Mg ha⁻¹ de C permitiu uma liberação de 61% no carbono orgânico no ano safra 2000/2001 (FARONI et al., 2003). A diferença expressiva entre a quantidade inicial de carbono no estudo acima mencionado em comparação ao presente estudo está na quantidade de carbono em detrimento ao nitrogênio, que para este trabalho foi aproximadamente duas vezes maior.

A decomposição da palhada depositada no solo proporcionou um aumento significativo no teor de carbono orgânico em um Latossolo Vermelho e um Neossolo Quartzarênico avaliados em três locais na região noroeste do estado de São Paulo (LUCA et al., 2008). Esses dados remetem a importante contribuição para o aporte de carbono em solos com frações granulométricas distintas.

No trabalho de Souza et al. (2012), foi avaliado o estoque de carbono da variedade SP813250, que apresenta alta capacidade para produção de palhada. Os autores obtiveram valores de 10,3 Mg ha⁻¹ na cana planta e de 7,9 Mg ha⁻¹ na cana-soca de 3º corte, considerando que o manejo da cana-de-açúcar com a colheita mecanizada sofreu influência significativa nos teores e estoques de carbono orgânico.

Alguns estudos consideram que a medida do carbono lábil resulta em comparações mais eficientes do que simplesmente medir o carbono orgânico uma vez que esta fração está prontamente disponível para a atividade da comunidade microbiana do solo (GREGORICH et al., 1994; HAYNES; BEARE, 1996). Efeitos comparativos mostram um aumento de 2000 para 6000 mg kg⁻¹ da fração lábil de C entre cana queimada e crua, respectivamente (GRAHAM; HAYNES, 2006). Outro registro dos benefícios da cobertura do solo no incremento da fração lábil do carbono foi identificado no sudeste da Austrália em um Latossolo Vermelho (Red Ferrolsol), com aumento de 60% na camada de 0-5 cm de solo. Em condição de plantio convencional o trabalho registrou um decréscimo de 66% no carbono lábil (BELL et al., 1997).

A quantidade de material vegetal depositada ao solo pela cultura da cana-de-açúcar funciona como uma barreira protetora visando um controle auxiliar na quantidade e tipo de plantas invasoras. Segundo Correia e Durigan (2004), dez toneladas de palhada foram capazes de reduzir a densidade populacional de *Brachiaria decumbens*, *Sida spinosa* e *Digitária horizontalis*. Não houve, no entanto, efeito para *Ipomoea Grandifolia* e *Ipomoea hederifolia*. Esses efeitos foram atribuídos principalmente ao aumento da umidade e redução da luminosidade e temperatura do solo. Foi demonstrado por Novo et al. (2006) que a adição de 5 e 10 Mg ha⁻¹ de palhada de cana-de-açúcar foi possível reduzir significativamente a biomassa de Tiririca (*Cyperus rotundus*).

Um modelo exponencial foi ajustado para o decaimento de fitomassa seca nas três dosagens utilizadas no estudo. O efeito climático de maior intensidade foi proporcionado pela época de início das avaliações em outubro de 2010 e contribuiu para uma degradação acelerada até aproximadamente 120 dias após a colheita da cana-soca. O tratamento P ó 10 apresentou a maior perda de peso no período de 120 dias após a colheita com um valor de 40%, o que estabilizou a taxas mínimas após este período. Já os tratamentos referentes a 20 e 30 Mg ha⁻¹ de matéria úmida apresentaram no mesmo período uma redução de 23 e 33%, respectivamente. O modelo mostra que a redução de matéria seca da palhada P ó 20 ocorre de forma mais equilibrada e apresenta redução pronunciada até 240 dias após a colheita da cana (FIGURA 4.2). Este efeito indica uma provável condição diferenciada em relação aos outros tratamentos, influenciando as taxas de decomposição da fitomassa vegetal pela atividade macro e microbiológica.

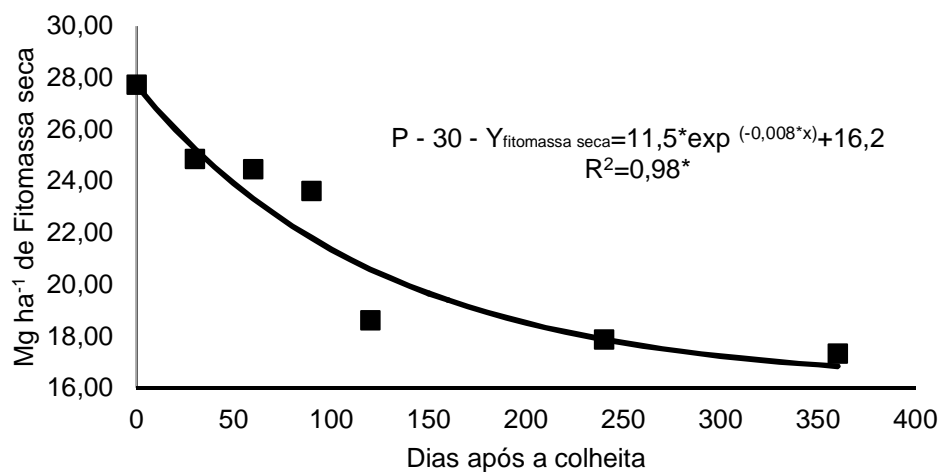
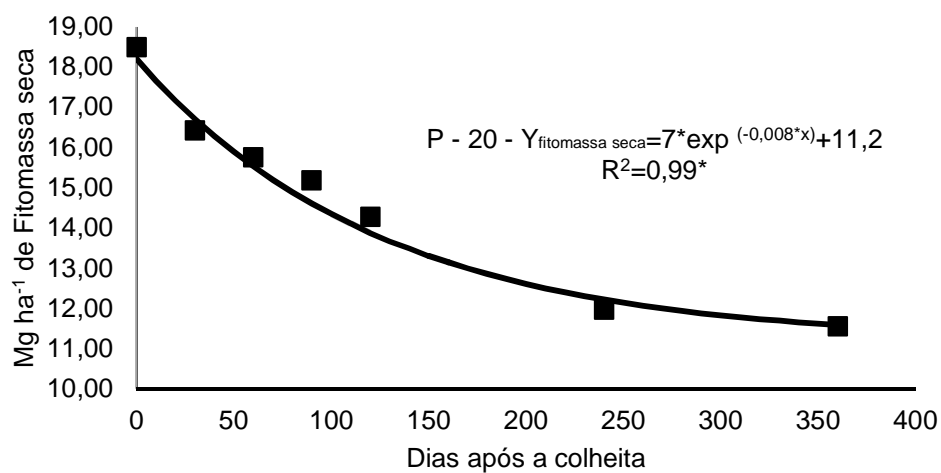
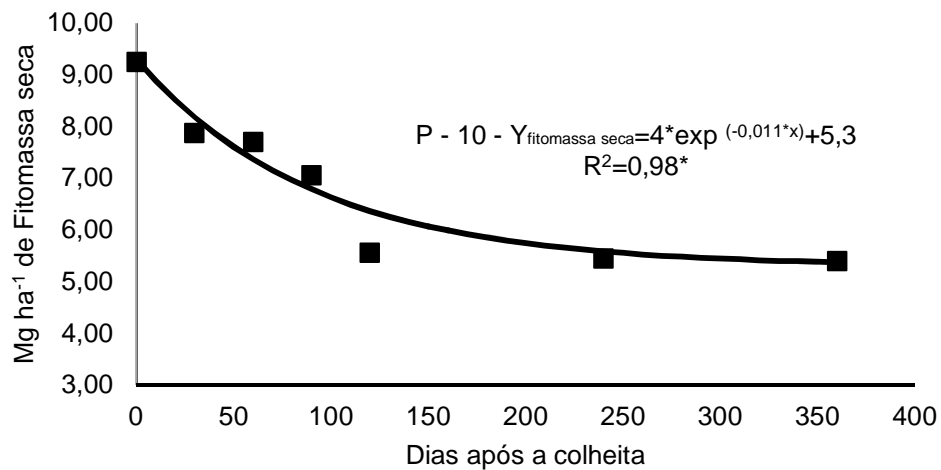


FIGURA 4.2- Modelo ajustado para decomposição da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.

Para entender a velocidade de decomposição da fitomassa seca foi calculado um limite de significância que representa o ponto no qual a taxa de decomposição atinge valores pouco significativos, sendo que a partir deste ponto a degradação do material torna-se pouco expressiva ocorrendo em taxas mínimas. Para isso, foram obtidas, a partir dos índices invariantes K (dia^{-1}) das equações exponenciais da FIGURA 4.2, a derivada primeira de onde se obtêm as variações instantâneas de perda de massa das palhadas por área e por tempo ($\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$). Desta forma, os tratamentos P ó 10, P ó 20 e P ó 30 apresentaram uma taxa de decomposição aos 120 dias referentes a 30,6, 35,0 e 75,8 $\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$, respectivamente. Após este período, as taxas caem para 0,70, 11,3 e 5,35 $\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$, respectivamente, para P ó 10, P ó 20 e P ó 30. É possível perceber um efeito de maior decomposição diária na palhada P ó 30 no período de avaliação de 120 dias, após este tempo os materiais deste tratamento e de P ó 10 reduzem significativamente sua decomposição e o tratamento P ó 20 continua com uma taxa diária superior.

Estudo mais prolongado avaliou a da decomposição da fitomassa seca em uma, duas e três safras de cana-de-açúcar entre os anos de 2005 a 2008. É possível perceber que dos 8951 kg ha^{-1} de fitomassa iniciais nas safras 2005/2006 corresponderam com uma redução de 71%. A quantidade de palhada remanescente no solo na safra 2006/2007 sofreu uma redução de mais 83% na decomposição da fitomassa, sendo que a partir deste ponto não foram observadas mais diferenças significativas nas perdas de peso do material na safra 2007/2008. Esta conclusão sugere que a partir de dois anos de avaliação e reduzida quantidade de material o decaimento da fitomassa ocorre de forma muito lenta em taxas mínimas de 0,16 $\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$ (FORTES et al., 2012).

Boer et al. (2008) obtiveram uma redução expressiva na quantidade de fitomassa seca de milho. A quantidade inicial de 10 Mg ha^{-1} foi reduzida para 7,03 Mg ha^{-1} aos 120 dias após o manejo, que devido a época e condição climática favorável contribuiu para a decomposição do material vegetal, ficando próxima a 3,0 Mg ha^{-1} aos 150 dias após o manejo. Após 180 dias, o material reduz à taxas mínimas sua degradação.

Estudos com milho indicam que esta espécie apresenta maior resistência a degradação, porém esta porcentagem de perda pode ocorrer em diferentes períodos. Conforme observado por Pelá et al. (1999) e Wisniewski e Holts (1997), as fitomassas levaram 73 e 149 dias para degradar 44 e 49%, respectivamente. Neste sentido, o Milho torna-se uma boa alternativa, assim como a palhada de cana-de-açúcar, para a

manutenção e cobertura do solo, principalmente em condições de acelerada decomposição da fitomassa, como o cerrado brasileiro.

Assim como ocorreu para o comportamento da fitomassa seca, os dados de carbono orgânico do material foram ajustados em três equações exponenciais específicas. Essas equações permitiram modelar de forma significativa o decaimento do carbono da palhada de cana-de-açúcar nos três tratamentos referentes a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de fitomassa úmida. Para as três dosagens, os 120 dias iniciais corresponderam a liberação da maior quantidade de carbono no sistema palhada-solo. Efetuando uma avaliação mais precisa é possível observar que a palha P ó 30 obteve a maior liberação com um valor médio para este período de 48 kg ha⁻¹ dia⁻¹. As palhadas de P ó 10 e P ó 20 liberaram no mesmo período os valores de 19 e 36 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente (FIGURA 4.3).

Apesar da maior liberação diária em P ó 30, o material referente ao tratamento P - 20 apresentou uma curva mais homogênea, com sinais de decaimento superiores aos outros tratamentos, quanto a liberação do carbono após 120 dias de decomposição. Considerando que a partir desta data os valores tornam-se pouco significativos, os dados de carbono em P ó 10, P ó 20 e P ó 30 foram de 2, 8 e 4 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Esta avaliação sugere um efeito mais prolongado da atividade biológica atuante no material vegetal no tratamento P ó 20. O efeito proporcionado a esta dose de palhada, nos remete aos dados descritos na TABELA 4.1, tornando a liberação total do tratamento P ó 20 muito próxima ao tratamento com a maior quantidade de palhada (P ó 30) (FIGURA 4.3).

O tempo necessário para a liberação da grande parte do carbono contido em um material vegetal em decomposição está relacionado principalmente às condições climáticas e sua composição química (GRAHAM; HAYNES, 2006). Altos teores de lignina e maior razão C:N torna mais lenta a sua decomposição (FLOSS, 2000). Nos trabalhos de Faroni et al. (2003), Oliveira et al. (1999) e Fortes et al. (2012), é possível perceber variações no aporte anual de carbono ao solo em quantidades que variaram de 2,7 a 3,7 Mg ha⁻¹ conduzidos sob diferentes condições climáticas e em quantidades iniciais de fitomassa seca variando entre 9 e 16 Mg ha⁻¹.

Luca et al. (2008) verificaram uma quantidade total de 40 Mg ha⁻¹ de matéria seca de palha em três colheitas, o que correspondeu a uma taxa de entrada de 13,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Este material foi capaz de acumular 1,60 Mg ha⁻¹ de carbono. Os autores

observaram que o acúmulo da palhada formou camadas orgânicas sobre o solo com vários graus de decomposição.

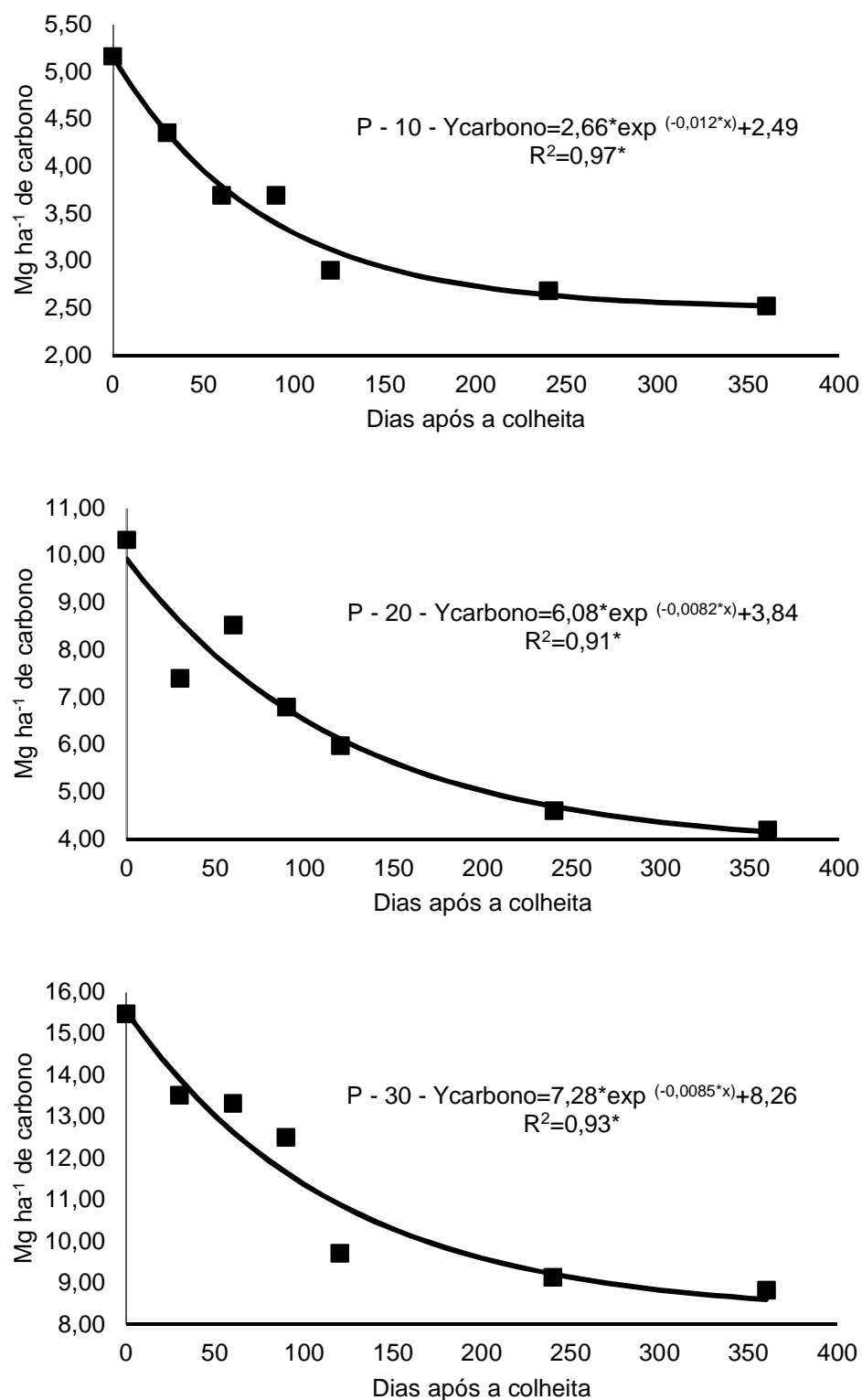


FIGURA 4.3- Modelo ajustado para mineralização do carbono da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.

A razão C:N identificada no estudo diminuiu em média percentual de 50% devido a maior liberação de carbono e imobilização de nitrogênio pelos microrganismos do solo (TABELA 4.2). Não foram observadas diferenças entre os tratamentos, o que pode estar ligado a alta quantidade inicial de carbono presente no material.

Condições climáticas distintas, o estágio de corte e a forma que ocorreu a colheita mecanizada podem influenciar significativamente a composição e consequentemente a redução da razão C:N da palhada de cana-de-açúcar. Abramo Filho et al. (1993) obtiveram uma redução de 58% na razão C:N. Em Jaboticabal-SP, Fortes et al. (2012) encontraram uma redução percentual muito próxima a descrita neste estudo, com uma palhada que reduziu de 108:1 para 55:1 sua razão C:N, correspondendo a uma ciclagem de carbono de 49% em um ano.

TABELA 4.2- Quantidade de carboidratos estruturais e razão C:N em três doses da palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 em seu 5º corte, nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.

Fitomassa	Tempo	C:N	Hemicelulose	Celulose	Lignina
	Dias				
P ó 10	0	174 a	2,99a	3,55a	1,95a
	360	90 b	1,27b	2,04b	1,02b
P ó 20	0	174 a	5,98a	7,11a	3,91a
	360	86 b	2,76b	4,28b	2,23b
P ó 30	0	174 a	8,97a	10,66a	5,87a
	360	94 b	4,19b	6,50b	3,22b
CV%		14,74	8,20	8,18	11,53
DMS		23,6	0,78	0,99	0,77

Médias seguidas por letras distintas na coluna, para cada tratamento, diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de significância.

Na Austrália, foi conduzido um trabalho com palhada de cana-de-açúcar em três diferentes regiões climáticas. A razão C:N da fitomassa reduziu de valores entre 120:1 e 80:1 para valores próximos a 30:1 em 360 dias. Esta redução ultrapassou 70% da relação C:N inicial. O efeito pode ser explicado por uma condição diferenciada de solo, clima e uma população de macro e microrganismos, que permitiu que o material vegetal chegasse a uma decomposição de até 94% do valor inicial (ROBERTSON; THORBURN, 2007).

A palhada, neste trabalho, iniciou-se com uma razão de 174:1 para C:N (TABELA 4.2). Mesmo considerando a redução do valor inicial pela metade, não foi suficiente para possibilitar uma degradação eficiente a fim de permitir a liberação de

determinados elementos minerais. Na literatura, os valores mais próximos observados para a condição do carbono em detrimento ao nitrogênio na palhada de cana-de-açúcar foram de 120:1 em Graham e Haynes (2006), e de média de 170:1, descrito por Spain e Hodgen (1994). Para outras plantas utilizadas como material de cobertura do solo, esse valor chegou a uma razão C:N de 227:1 (JENSEN et al., 2005).

Os valores de hemicelulose, celulose e lignina apresentaram perda de peso para todas as doses utilizadas nos tratamentos. Isso se deve, logicamente, ao decaimento da fitomassa seca no período estudado, considerando que estes carboidratos estruturais corresponderam a, aproximadamente, 90% da quantidade inicial de palhada (TABELA 4.2; FIGURA 4.5). A deposição de hemicelulose, celulose e lignina foi 46% para os tratamentos P ó 20 e P ó 30. Já para o tratamento P ó 10, a degradação correspondeu a 49%.

Notou-se uma maior decomposição da hemicelulose em relação aos outros componentes da estrutura carbônica da palhada nos três tratamentos. A fitomassa aportou 1,72, 3,22 e 4,78 Mg ha⁻¹ de hemicelulose nos tratamentos P ó 10, P ó 20 e P ó 30, respectivamente. Esta constatação também pôde ser observada por Jenkinson e Ayanaba (1977) que verificaram reduções para hemicelulose nas palhadas de milho e azevém na Nigéria.

Todos os componentes contribuíram para liberação acentuada de carbono e redução da razão C:N. Entretanto, a hemicelulose e a celulose foram os carboidratos que mais auxiliaram nesta diminuição. Em contraposição Faroni et al. (2003) verificaram maiores contribuições por parte do componente lignina. Oliveira et al. (1999) obtiveram diferença expressiva na redução dos teores de hemicelulose e não observaram variação para os carboidratos estruturais lignina e celulose, constatando um acúmulo destes elementos na biomassa remanescente após um ano. No trabalho de Fortes et al. (2012) a lignina e hemicelulose foram os principais responsáveis pela perda de carbono, com consequente declínio da razão C:N entre os anos de 2005 e 2006.

Correlações de Pearson foram utilizadas para avaliar a relação entre o que os autores chamaram de holocelulose (hemicelulose + celulose) e os conteúdos de carbono mineralizado pela fitomassa. O valor de -0,82 indicou relação significativa e negativa, concluindo que quanto maior o teor de holocelulose do material, maior é sua dificuldade na mineralização do carbono. Contrariando alguns estudos (CORNELISSEN, 1996; KUMAR; GOH, 2003; TIAN et al., 1995), estes autores não encontraram correlações significativas para o elemento lignina, indicando a quantidade (média de 4% matéria

seca) como o principal responsável pela falta de interação entre conteúdo e carbono mineralizado (JENSEN et al., 2005).

Para descrever o comportamento da liberação de carbono da palhada de cana-de-açúcar e consequente redução da razão C:N do material, foram ajustadas três equações exponenciais distintas baseadas no modelo de decomposição da fitomassa (FIGURA 4.4). O componente carbono reduziu de forma mais acelerada e em maiores quantidades até os 120 dias após a colheita da cana-soca. Os valores de 0,57, 0,66 e 0,51 representam a diminuição do carbono da razão C:N por hectare e por dia, para os tratamentos P ó 10, P ó 20 e P ó 30, respectivamente. O tratamento P ó 20 apresentou a maior redução diária no tempo analisado. As condições climáticas permitiram uma maior redução da C:N aos 120 dias no tratamento P ó 20 com 46% do valor inicial de 174:1. Após este período, a perda de carbono do material cai para valores diários de 0,06, 0,03 e 0,08 em P ó 10, P ó 20 e P ó 30, considerando o menor efeito no ataque da fitomassa pela biologia do solo devido ausência de chuva com consequente influência nas condições climáticas favoráveis à degradação.

Thorburn et al. (2001) verificaram, através de um modelo matemático (APSIM), que a decomposição da palhada de cana-de-açúcar é sensivelmente influenciada pela composição estrutural do material com reflexos na capacidade de liberação de carbono devido sua alta razão C:N.

Em trabalho conduzido na região nordeste da Austrália, Spain e Hodgen (1994) observaram que a decomposição da palhada de cana fez com que a razão C:N do material fosse inicialmente elevada de 171:1 para 241:1 entre 42 e 75 dias após a colheita, provavelmente influenciada pela imobilização inicial do nitrogênio pelos organismos do solo. Posteriormente, esse valor se reduziu para 70:1 aos 360 dias data da última observação. Os autores atribuem estes efeitos, além das reduções de carbono da estrutura, a uma diminuição nas concentrações de elementos mais moveis como K e Mg e consequente redução da razão C:N.

Janzen e Kucey (1988) também atribuíram pequenos incrementos no teor de nitrogênio à remoção contínua de elementos mais solúveis, mas esta análise não altera a condição do material que continua com um baixo teor de N, impedindo que a biomassa microbiana possa decompô-lo de forma eficiente. Contudo, reafirmam que a mineralização de determinados elementos está mais ligada à sua concentração do que à sua composição química, consequentemente se aumentar a taxa de decomposição aumentaria a quantidade destes para a liberação. Pesando por esta ótica, é possível criar

alternativas de solo, clima e manejo de forma a acelerar a decomposição da palhada de cana-de-açúcar, caso seja este o interesse em sua utilização.

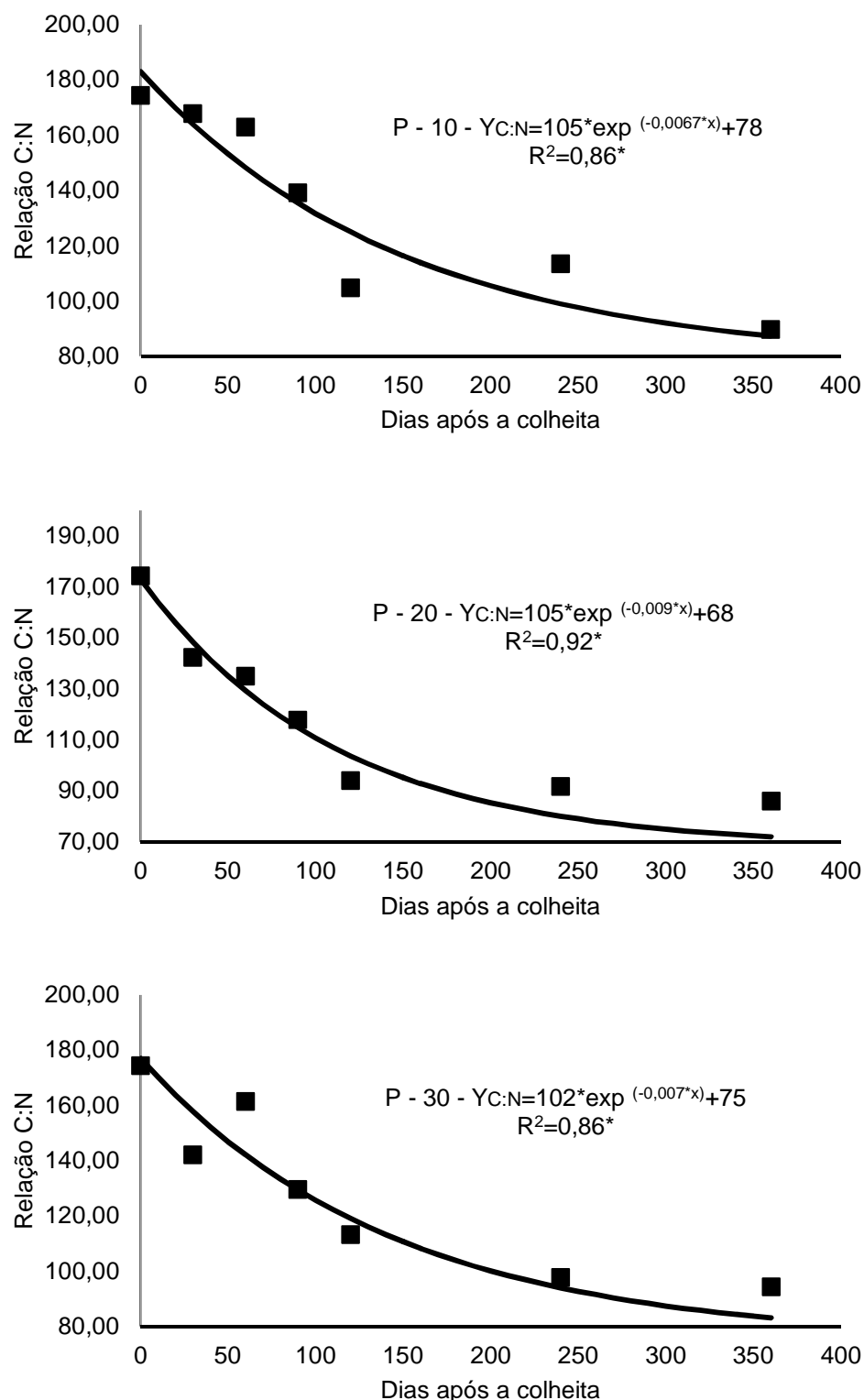


FIGURA 4.4- Modelo ajustado para redução da relação C:N da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.

Grande parte da composição química da palhada de cana-de-açúcar é composta pelos carboidratos estruturais: hemicelulose, celulose e lignina. Neste estudo, estes componentes representaram 92% da matéria seca inicialmente medida, reduzindo para 81% aos 360 dias após a colheita da cana-soca. A maior contribuição para esta constatação está na hemicelulose que sofreu redução significativa frente a não alteração dos outros componentes da estrutura carbônica (FIGURA 4.5). Considerada a redução total, a fitomassa de cana ainda se manteve com altos teores de carboidratos estruturais com valores para hemicelulose, celulose e lignina correspondentes a 24%, 38% e 20%.

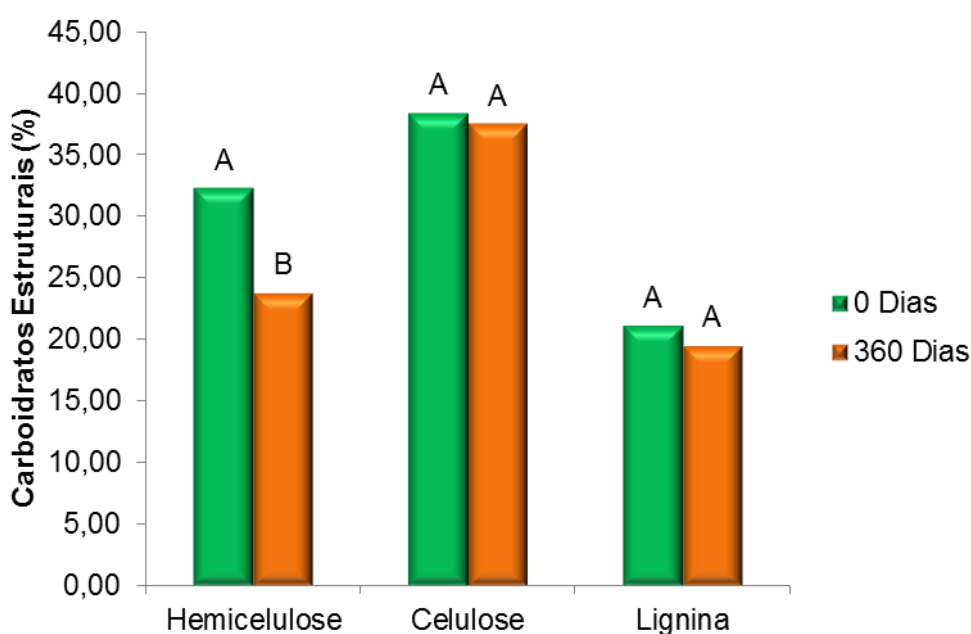


FIGURA 4.5- Porcentagem de carboidratos estruturais (Hemicelulose, Celulose, Lignina), na colheita da cana-soca e aos 360 dias após a colheita da variedade CTC 6 em seu 5º corte. Médias seguidas por letras distintas em cada elemento diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de significância.

A celulose é o polímero natural mais abundante no mundo e, depois dela, a lignina torna-se o polímero mais abundante. A hemicelulose apresenta valores iniciais próximos à lignina; é estruturalmente mais semelhantes à celulose, mas apresenta maior susceptibilidade à decomposição e por isso reduz de forma mais rápida que os outros componentes. A dificuldade em converter esta biomassa lignocelulósica em insumos químicos é atribuída às suas características químicas e morfológicas (SANTOS et al., 2012).

Segundo McKendry (2002), as proporções de celulose e lignina encontradas na biomassa vegetal são importantes para o processo de conversão bioquímica. A

biodegradabilidade da celulose é maior que da lignina e por isso a conversão do conteúdo de carbono do material vegetal presente como celulose é superior em plantas com maior proporção de lignina, um fator determinante no momento da escolha de uma biomassa lignocelulósica para a produção de energia.

Um efeito visual foi identificado no momento da última coleta dos sacos de decomposição *litter bags* da fitomassa. A FIGURA 4.6 apresenta os tratamentos em ordem crescente, sendo retirados da área experimental. É possível perceber pelas fotos o quanto o tratamento P ó 20 está com a grade do saco coberta por solo em praticamente toda sua extensão, o mesmo efeito não ocorre nos outros tratamentos. Além desta observação, foi possível identificar um volume expressivamente maior de raízes se desenvolvendo entre o *litter bag* e o solo neste tratamento. Fica nítido pela foto que a atividade biológica foi mais atuante neste volume de material em relação às outras doses.

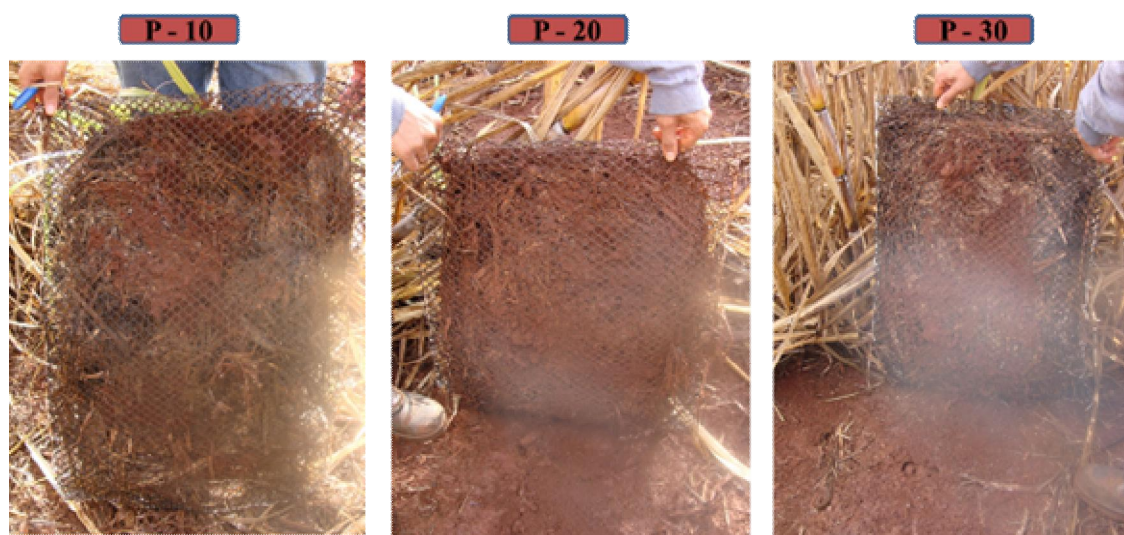


FIGURA 4.6- Imagens da última coleta dos *litter bags* com o material correspondente a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de fitomassa úmida, aos 360 dias após a colheita cana-soca.

Este é um indicativo de que esta quantidade de palhada estabeleceu um ambiente de umidade, temperatura e aeração ideal para o desenvolvimento dos organismos responsáveis por sua decomposição. Atribui-se esta diferença ao fato da palhada P ó 10 ter apresentado proporcionalmente maior contato com o solo e por isso não cria uma boa condição de temperatura, enquanto que o alto volume da palhada de P ó 30 apresentou proporcionalmente menor contato com o solo, sendo esta uma explicação passível para a atividade observada.

Essa observação pode também ser atribuída, em parte, pela grande presença de microrganismos, na maioria hifas e fungos que se desenvolveram junto a fitomassa em decomposição. Segundo Siqueira e Franco (1988), a biomassa de fungos pode ser superior em aproximadamente 92%, quando beneficiadas pelas condições microclimáticas proporcionadas pela cobertura adequada do solo.

Robertson e Thorburn (2007) consideram que é muito difícil avaliar separadamente um efeito climático de outro, mas atribuem a eficiência da atividade biológica a uma condição ideal de temperatura, umidade e aeração. Outros fatores poderiam influenciar na decomposição deste material, como o tipo de solo e a própria natureza química da palhada, que neste caso são os mesmos.

4.1.3 Tempo de meia vida

A palhada do tratamento P ó 10 foi a que obteve maior liberação no menor tempo de meia-vida para a quantidade de fitomassa e o conteúdo de carbono presente no material, com valores de 63 e 58 dias, respectivamente. Já a razão C:N deste tratamento foi a que mais demorou a liberar 50% do seu valor com um $T_{1/2}$ de 103 dias. A quantidade inicial de material pode ter contribuído para maior facilidade na liberação dos componentes neste tempo. Os tratamentos P ó 20 e P ó 30 apresentaram comportamento similar para as reduções da fitomassa e carbono com tempos médios de $T_{1/2}$ de 87 e 83 dias para as duas avaliações. Nota-se para a relação C:N, que o tratamento P ó 20 apresentou o menor tempo de meia-vida (77 dias) em relação as outras doses. Esses resultados sugerem uma condição de maior degradação da fitomassa do tratamento P ó 20, considerando que esta dose representa um volume de palhada 50% maior que em P ó 10 e 33% menor que a palhada representada pelo tratamento P ó 30 (TABELA 4.3).

O milheto é uma espécie de planta que se aproxima da estrutura química da palhada de cana-de-açúcar, rico em carboidratos estruturais e com altos teores de celulose. Torres et al. (2005), trabalhando com esta espécie de planta, semeado em solo de cerrado, obtiveram um tempo de meia-vida de 112 dias, para decomposição de seus resíduos, demonstrando que esta palhada apresentou maior persistência no solo do que a braquiária com $T_{1/2}$ de 77 dias. Os autores atribuíram essa persistência à composição do material, que possui maiores teores de lignina e celulose, tornando-o mais resistente à degradação.

TABELA 4.3- Tempo de meia-vida para as componentes fitomassa seca, carbono e relação C:N da palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 avaliada em três doses e 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.

Características avaliadas	Doses de palhada de cana-de-açúcar		
	P - 10	P - 20	P - 30
	----- T _{1/2} em dias -----		
Fitomassa seca	63	87	87
Carbono	58	85	82
C:N	103	77	99

Outros autores atribuem a quantidade inicial de material como um dos fatores responsáveis pela degradação do material em menor tempo, conforme observado por Torres et al (2008), que a partir de uma quantidade inicial de 10,3 Mg ha⁻¹ de milho e 6,0 Mg ha⁻¹ de braquiária, encontraram um T_{1/2} de 131 e 56 dias para o milho e braquiária, respectivamente.

Uma alternativa para acelerar a decomposição de biomassas com maior resistência seria a aplicação de N, conforme proposto por Assis et al. (2003), que observaram na palhada de sorgo influência significativa da aplicação de nitrogênio, acelerando o processo de degradação do material em 21% em relação ao tratamento sem nitrogênio. Na presença do elemento, a palhada de sorgo atingiu a meia-vida em 119 dias enquanto no tratamento sem nitrogênio este valor se elevou para 150 dias.

4.1.4 Modelagem do decaimento da palhada de cana-de-açúcar

Neste trabalho, foi proposto um modelo, ajustado com base nas equações lineares extraídas de cada exponencial, gerado a partir das três doses da palhada, com o objetivo de explicar o comportamento do material vegetal em decomposição e consequente redução de matéria. É importante salientar que o modelo exponencial complexo atende não somente a decomposição da palhada, mas também os componentes por ela liberados.

A modelagem propõe a identificação da degradação da fitomassa seca e liberação de nutrientes em valores estimados que permitam a verificação e tomada de decisão das possíveis técnicas de manejo a serem adotadas na unidade sucroalcooleira; quanto de palha poderá ser retirada para produção de energia ou etanol de segunda geração; ou mesmo avaliar a quantidade de material orgânico e nutriente que está sendo ciclados em determinada condição de manejo. É importante dizer que o modelo parte

de um estudo em uma condição edafoclimática específica, que precisa ser considerada no momento de sua utilização.

A FIGURA 4.7 apresenta valores arbitrários escolhidos entre 7 e 28 Mg ha⁻¹ de matéria seca para exemplificar a utilização do modelo. Os valores máximos e mínimos foram escolhidos com base em duas premissas diferentes. O valor mínimo foi escolhido como a mínima quantidade de palhada a se deixar em campo a fim de não ocorrerem problemas com perdas acentuadas de solos, conforme proposto por Saraiva e Torres (1993). O valor máximo foi considerado como a máxima capacidade de produção de palhada pela cultura da cana-de-açúcar, conforme pode ser observado nos trabalhos de Abramo Filho et al. (1993) e Trivelin et al. (1995).

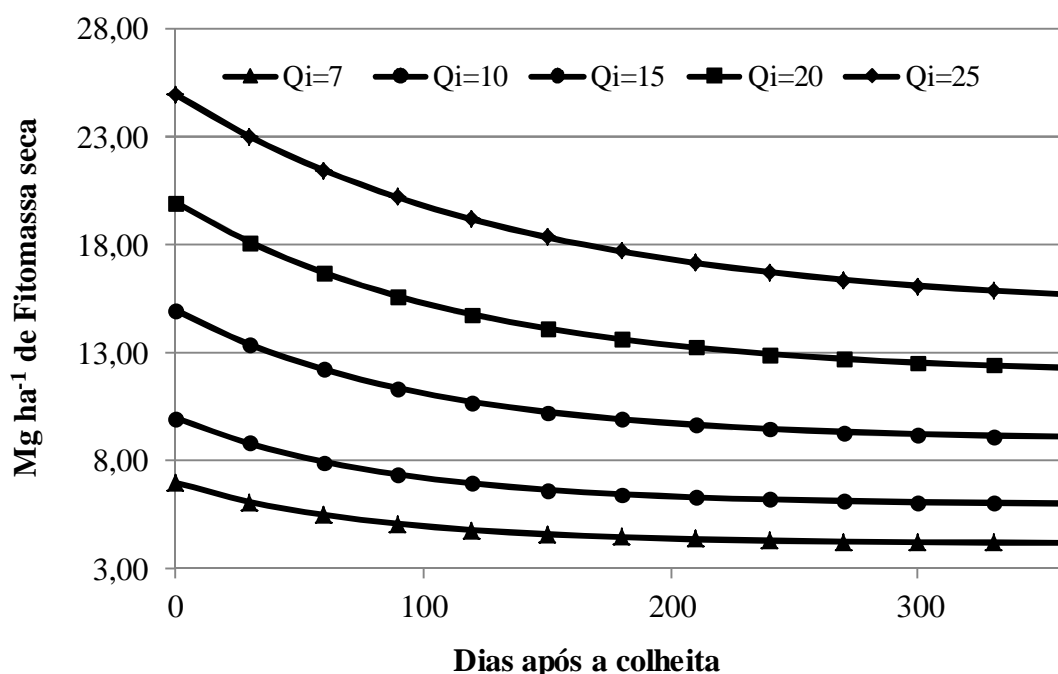


FIGURA 4.7- Modelagem dos dados de fitomassa seca de cana-de-açúcar a partir de diferentes quantidades iniciais (Q_i). Modelo exponencial complexo do tipo $Y(Q_i, t) = (a1.Q_i + a2).e^{(b1.Q_i - b2)} + (c1.Q_i - c2)$.

Assim, como os tratamentos utilizados no estudo, o modelo representa o mesmo comportamento para as diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar próximas a faixa de cada dose. Por exemplo, o tratamento P ó 20 representa o comportamento dos valores arbitrados de 15 e 20 Mg ha⁻¹ com limites de significância próximos aos 120 dias de degradação da fitomassa, variando entre 36 e 44 kg ha⁻¹ dia⁻¹ sua taxa de decomposição, respectivamente. A dose de 25 Mg ha⁻¹ apresenta uma taxa de

decomposição de $49 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, valor que já distancia da dose de P ó 20, ficando ainda com uma taxa diária mais próxima que P ó 30 (FIGURA 4.7).

Thorburn et al. (2001) exploraram um modelo matemático que explica o comportamento da palhada de cana-de-açúcar depositada ao solo após a colheita mecanizada. Eles constataram que um modelo exponencial negativo é uma equação adequada para descrever o comportamento do material em função de sua degradação e propõem um desdobramento da função em relação aos parâmetros que mais influenciam a decomposição da fitomassa. Entre esses fatores estão a temperatura, umidade, razão C:N e quantidade de palha representada pelo contato do material com o solo. Fica claro que a constante invariável K é gerada em função das condições climáticas, composição do material e a forma de contato da biomassa com o solo, sendo estes os parâmetros que interferem na análise da degradação da biomassa. Caso o estudo seja feito em outras condições de clima, solo e manejo (época de colheita, estágio de corte, entre outros) a constante K sofrerá ajuste para adequação dos dados.

4.2 Ciclagem da palhada de cana-de-açúcar e efeito residual no solo nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012

4.2.1 Liberação e concentração de elementos minerais pela palhada

A decomposição da biomassa vegetal proporcionou uma redução média de 51% em sua relação C:N, mas este valor não foi suficiente para permitir que elementos como o nitrogênio, fósforo, enxofre e silício fossem liberados pela fitomassa de cana. Houve, consequentemente, um acúmulo destes minerais em todas as doses utilizadas no estudo. Os teores de fósforo, enxofre e silício foram maiores no tratamento P ó 20, em relação aos tratamentos com maior e menor quantidade de palhada aos 360 dias após a colheita da cana-soca. O nitrogênio presente na palhada do tratamento P ó 10 foi o que obteve o maior valor em 360 dias com $5,25 \text{ g kg}^{-1}$, mais próximo à condição de acúmulo de P ó 30 (TABELA 4.4).

Segundo alguns autores, as relações C:N, C:P e C:S ideais para permitir a liberação destes elementos ficariam em torno de 30:1, 200:1 e 200:1, respectivamente, para nitrogênio, fósforo e enxofre. O presente trabalho apresentou no final do estudo valores próximos a 70:1 para o nitrogênio, 800:1 para o fósforo e 300:1 para o enxofre, não permitindo que estes minerais fossem liberados em um ano safra (SMITH;

DOUGLAS, 1971; SIQUEIRA; FRANCO, 1988; OLIVEIRA et al., 1999; BALIEIRO et al., 2004).

TABELA 4.4- Teor de elementos minerais na palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 em seu 5º corte, nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. Valores de N, P, S e Si para as três doses de fitomassa em 0 e 360 dias após a colheita da cana-soca.

Fitomassa	Tempo	N		P		S		Si	
	Dias	----- g kg ⁻¹ -----		----- g kg ⁻¹ -----		----- g kg ⁻¹ -----		----- % -----	
P - 10	0	3,23	b	0,22	b	0,45	b	1,29	b
	360	5,25	a	0,52	a	1,54	a	3,68	a
P - 20	0	3,23	b	0,22	b	0,45	b	1,29	b
	360	4,23	a	0,70	a	2,29	a	5,72	a
P - 30	0	3,23	b	0,22	b	0,45	b	1,29	b
	360	5,45	a	0,55	a	1,21	a	2,78	a
CV%		10,39		25,56		18,09		15,11	

Medias seguidas por letras distintas na coluna, dentro de cada tratamento, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As quantidades médias destes nutrientes na palhada estão por volta de 58 kg de N ha⁻¹, 6,3 kg de P ha⁻¹ e 15 kg de S ha⁻¹. Estes dados corroboram os encontrados por Manechini et al. (1997) que obtiveram valores, média de quatro variedades, de 54,7 kg de N ha⁻¹, 4,4 kg de P ha⁻¹ e 15,1 kg de S ha⁻¹. O silício apresentou uma média geral, para as doses estudadas, de 345 kg ha⁻¹ acumulados no material vegetal.

Segundo Korndörfer et al. (2002), a cultura da cana tem grande potencial na remoção de silício. Em 100 toneladas de colmo, a cultura pode remover 300 kg ha⁻¹ de Si. Esse acúmulo pode promover o aumento na produtividade da cana em consequência da maior eficiência fotossintética, resistência ao ataque de pragas e doenças e maior tolerância ao déficit hídrico em períodos de baixa umidade do solo.

Spain & Hodgen (1994) constataram uma pequena diminuição inicial no teor de nitrogênio, efeito de alguma tentativa de decomposição do material pela biomassa microbiana. Posteriormente, estes valores se elevaram significativamente para teores maiores que os iniciais entre os anos de 1984 e 1985.

Em trabalho conduzido por Vitti (2003), foi observado que o nitrogênio da palhada acumulou com o tempo durante o ciclo da cultura. No entanto, este acúmulo torna-se pouco expressivo para nutrição da cana-de-açúcar naquela safra, pois totalizou 1,7 kg ha⁻¹, o que representou cerca de 3% do N presente na palhada. Outros resultados também sugerem que a recuperação do N da palhada traz pouca contribuição para a

nutrição da cultura, conforme observado por Gava et al. (2005) e Kwong et al. (1987), que obtiveram valores de 4 e 5 % do N total presente na palha, respectivamente.

Há de se considerar que a contribuição do N da palhada em safras subsequentes são maiores para a nutrição da cana-de-açúcar, pois o tempo de exposição aos fatores que provêm sua decomposição são favorecidos por um resíduo com relação C:N inferior ao inicial.

Estudo conduzido por Basanta et al. (2003), em Piracicaba-SP, avaliaram a ciclagem do nitrogênio em condição de cana crua e queimada na variedade SP803280 plantada em um Nitossolo Vermelho. Os autores observaram que a cana crua foi capaz de reciclar $105 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que o manejo da cana queimada proporcionou uma reciclagem de $31 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, refletindo em uma perda de $83,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de um manejo para o outro.

A porcentagem de silício contida na palhada da cana-soca do tratamento P ó 20 apresentou uma diferença superior entre 2 e 3% em relação às outras doses avaliadas. Este resultado corrobora com os encontrados por Carvalho (2012) que obteve um valor de 5,77% de silício na palhada da cultivar RB867515. Korndörfer et al. (2000) encontraram, em folhas de cana, teores de 0,76; 1,04 e 1,14% de silício, respectivamente, para as variedades RB72454, SP79-1011 e SP71-6163. Os valores para as duas últimas cultivares estão bem próximos aos valores iniciais encontrados na palhada, que por ter em sua composição principalmente de folhas, ainda mantém as características do material no início do processo de degradação.

A avaliação da quantidade de potássio decomposta pela palhada da cana foi ajustada por três equações exponenciais derivadas do modelo de decomposição da fitomassa. Considerando que este elemento não constitui nenhum composto existente na planta e por estar presente na forma iônica (MALAVOLTA et al., 1997), o potássio tem facilidade em sair da célula vegetal após o rompimento da membrana plasmática. Por conseguinte, houve liberação de 89%, 87% e 79% do potássio da palhada para os tratamentos P ó 10, P ó 20 e P ó 30, respectivamente. Esses valores representaram um aporte de 19, 37 e 50 kg ha^{-1} de K, em ordem crescente para as doses utilizadas no experimento (FIGURA 4.8).

Grande parte do potássio é liberada nos primeiros dias de decomposição, com valores que se aproximam de zero, após os 120 dias para os tratamentos P ó 10 e P ó 20. Apenas o tratamento P ó 30 apresenta uma taxa mais elevada ($0,05 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), após este período.

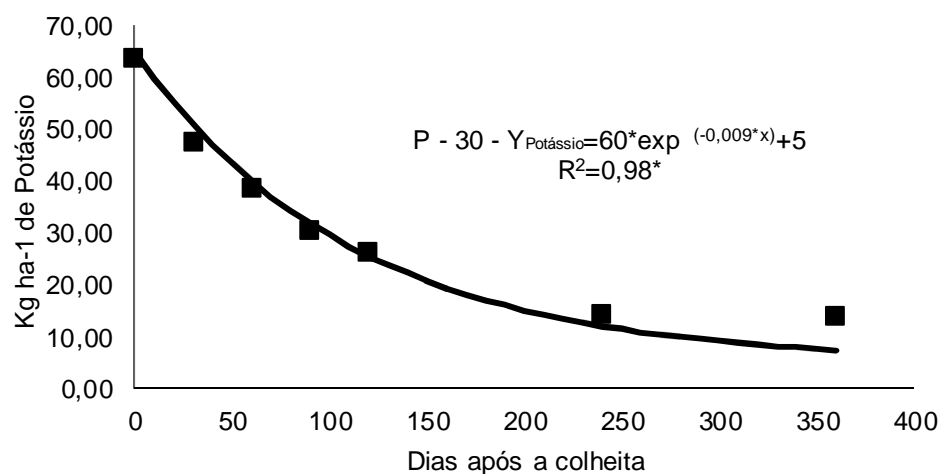
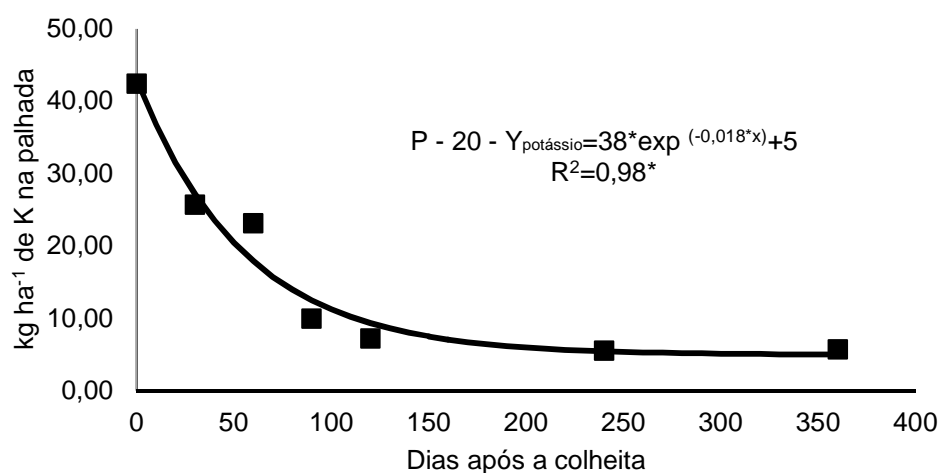
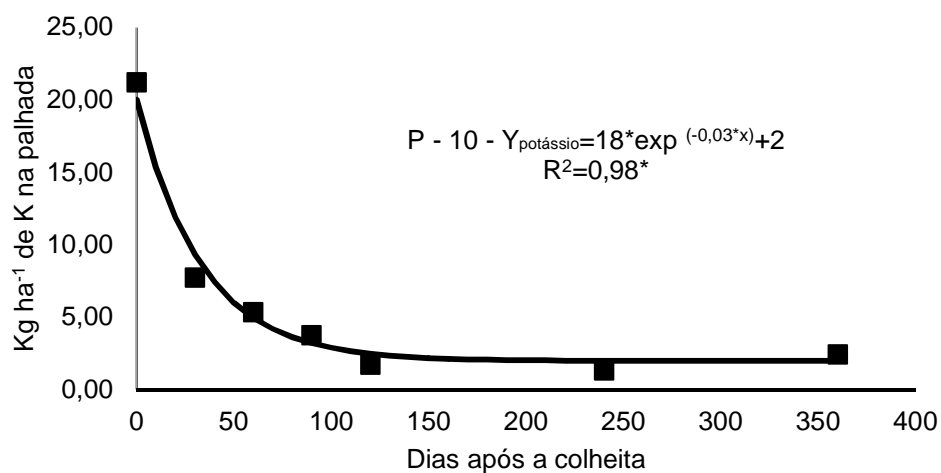


FIGURA 4.8- Modelo ajustado para mineralização do potássio da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.

Os valores diários de liberação até os 120 dias foram de 0,16 kg ha⁻¹ dia⁻¹ para P ó 10, 0,29 kg ha⁻¹ dia⁻¹ para P ó 20 e 0,31 kg ha⁻¹ dia⁻¹ para P ó 30. A taxa de decomposição se comportou de forma mais acelerada para o tratamento P ó 10, com uma liberação de 63% do potássio nos 30 dias iniciais. Para os outros tratamentos, os valores próximos a esta liberação ocorreram aos 60 dias após a colheita com 77% do K liberado em P ó 20 e 53% do K liberado em P ó 30 (FIGURA 4.8). As doses de palhada influenciaram na taxa de liberação inicial do potássio, mas este efeito praticamente se iguala na finalização do estudo, aos 360 dias.

Penatti e Manechini (2002) constataram que o potássio presente na palhada de cana, em média de 50 kg ha⁻¹, foi praticamente todo disponibilizado em uma safra da cultura. Em experimento com cana-soca, Penatti et al. (2003) constataram uma liberação de nutrientes pela palhada, principalmente potássio, com uma média de 80% para o aporte deste elemento de uma safra para outra. Oliveira et al. (1999) concluíram que a decomposição de 85% do potássio da palha foi capaz de aportar 76 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Dados semelhantes foram encontrados por Spain e Hodgen (1994) que obtiveram redução de 84% no potássio da palhada inicial analisada.

O presente trabalho obteve valores de 64 kg K ha⁻¹ para o tratamento com a maior dosagem de palha (P ó 30). Estes dados corroboram com os encontrados por Granham et al. (2002) que obtiveram uma média de 65 kg K ha⁻¹ ano⁻¹. Já o trabalho de Wood (1991) observou valores de 86 kg ha⁻¹ para o potássio presente na palhada de cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar colhida mecanicamente proporciona a manutenção da palhada, permitindo um aporte significativo de potássio para as soqueiras subsequentes. Em estudos desenvolvidos pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), foi possível recomendar uma redução de 40 a 50 kg de K₂O ha⁻¹ na dose do nutriente aplicada na adubação mineral das soqueiras, com isto reduzindo os custos com a adubação potássica (PENATTI et al., 2003). A partir deste estudo, Faroni et al. (2011) propuseram uma recomendação de adubação em função do teor de K no solo, sendo que para áreas colhidas sem a queima prévia da palhada a fórmula apresenta uma redução de 40 kg de K₂O ha⁻¹. Nesta condição, a fórmula para a fertilização em cana crua é descrita por: $K_2O (kg ha^{-1})_{crua} = 115 - (37 \times \text{teor de K no solo})$.

A decomposição do cálcio presente na palhada da cana-soca foi ajustada para três modelos exponenciais distintos que adequaram a liberação deste elemento no período de um ano safra. A disponibilização do cálcio a partir da palhada atingiu

percentuais de 55%, 72% e 32% para os tratamentos P ó 10, P ó 20 e P ó 30, respectivamente. O tratamento que apresentou a maior liberação de cálcio foi o P ó 20, com valor de 35 kg ha⁻¹. Este valor correspondeu uma quantidade 61% maior que o tratamento de menor dose e 34% maior que o tratamento com a maior dosagem de palha. As taxas diárias de liberação deste elemento pela fitomassa, até os 120 dias após a colheita, variaram de 0,09 kg ha⁻¹ dia⁻¹ em P ó 10, 0,20 kg ha⁻¹ dia⁻¹ em P ó 20 e 0,17 kg ha⁻¹ dia⁻¹ em P ó 30. Após este tempo, as taxas de decomposição tornam-se pouco significativas para as palhada em P ó 10 e P ó 30, somente o tratamento com dose intermediária (P ó 20) continua a liberar cálcio em uma pequena taxa de 0,05 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (FIGURA 4.9). A menor liberação do cálcio da palhada em relação ao potássio pode estar ligada ao fato de parte desse elemento estar ligado a compostos iônicos e moléculas solúveis.

Na literatura, podem ser encontrados valores de cálcio na fitomassa de cana entre 25 e 47 kg ha⁻¹ (OLIVEIRA et al., 1999; FORTES et al., 2012; WOOD, 1991), a liberação e quantidade de cálcio aportadas anualmente está condicionada às condições climáticas, quantidade, composição química do material vegetal depositado no solo em cada colheita.

Oliveira et al. (1999a) verificaram que 12 Mg ha⁻¹ de palha com relação C:N próxima da metade encontrada neste estudo apresentaram uma taxa de 57% na mineralização do cálcio o que contribuiu com um valor de 27,5 kg ha⁻¹. Maior taxa de mineralização foi encontrada por Spain e Hodgen (1994), com 67% de liberação do cálcio na avaliação de mudanças na composição de resíduos de cana na Austrália, que avaliaram um material com a mesma razão C:N inicial e final no período de um ano.

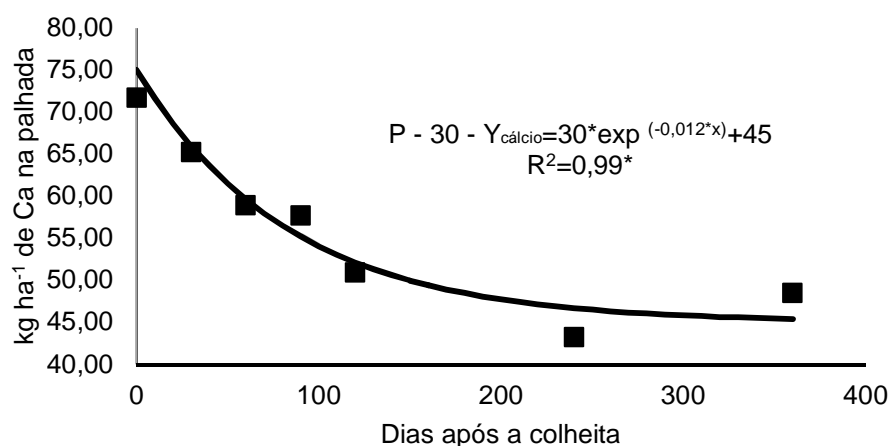
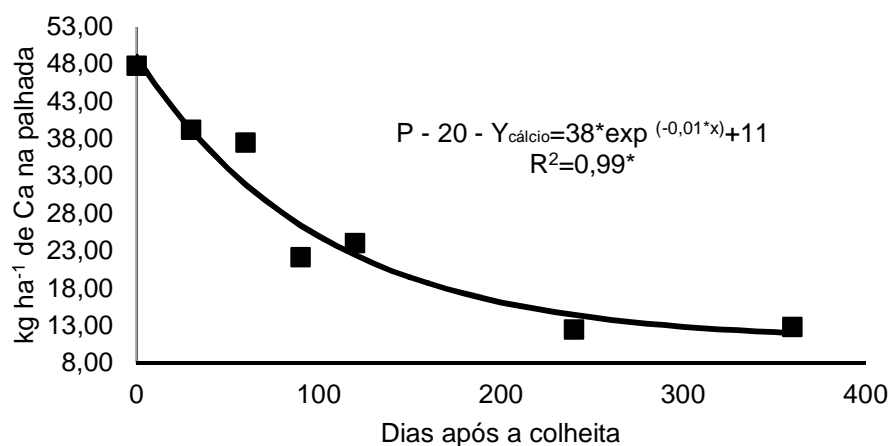
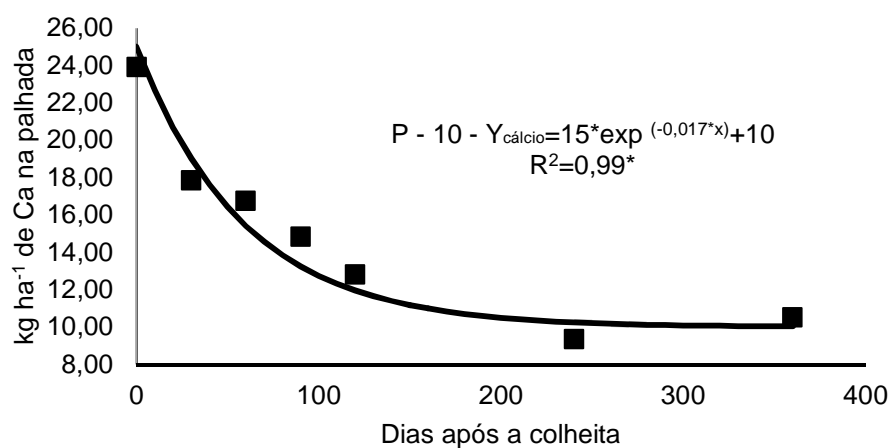


FIGURA 4.9- Modelo ajustado para mineralização do cálcio da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.

O modelo exponencial permitiu um adequado ajuste na avaliação da liberação do magnésio a partir das três doses de fitomassa. O magnésio da mesma forma que o cálcio faz parte de compostos iônicos e moléculas solúveis e por isso apresenta menor taxa de mineralização. A liberação do magnésio da biomassa vegetal correspondeu a 57%, 49% e 28%, respectivamente, para os tratamentos P ó 10, P ó 20 e P ó 30. As taxas de liberação diárias desse elemento se comportaram de maneira homogênea para todas as doses estudadas até os 120 dias após a colheita, com valores de 0,030 kg ha⁻¹ dia⁻¹ em P ó 10, 0,027 kg ha⁻¹ dia⁻¹ em P ó 20 e 0,031 kg ha⁻¹ dia⁻¹ em P ó 30. Após este período, o tratamento P ó 10 praticamente cessa sua liberação de magnésio em taxas mínimas. O tratamento P ó 20 e P ó 30 continuam a liberar o elemento com taxas de 0,023 e 0,016 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, durante os 240 dias restantes até completar o ano safra. Observa-se que a taxa de mineralização em P ó 20 permaneceu mais homogênea durante todo o período, com liberações pronunciadas até o final do experimento. Somados à taxa percentual de mineralização, a palhada deste tratamento aportou 8,8 kg ha⁻¹, sendo este o maior valor encontrado para liberação do elemento. As doses em P ó 10 e P ó 30 aportaram os valores de 5,16 e 7,61 Mg ha⁻¹, respectivamente (FIGURA 4.10).

Os dados encontrados no tratamento P ó 20 confirmam os encontrados por Oliveira et al. (1999a) que verificaram uma taxa de mineralização de 50% do magnésio da palhada atingindo um valor de 12,8 kg ha⁻¹. Spain e Hodgen (1994) identificaram uma taxa de liberação do elemento magnésio de 79% em uma condição climática mais favorável à decomposição. Como a relação C:N da palhada apresentou altos valores nos dois estudos, mesmo considerada a redução do carbono em relação ao nitrogênio em aproximadamente 50%, a mineralização do elemento magnésio foi fortemente influenciada pela temperatura e umidade da biomassa vegetal e pouco limitada pela sua composição química.

Em três safras, entre os anos de 2006 a 2008, Fortes et al. (2012) verificaram uma taxa de mineralização do magnésio de 70%. A primeira safra contribuiu com uma redução 44% e 46% na segunda. O aporte total foi de 8 kg ha⁻¹. Os autores observaram ainda que a palhada de cortes anteriores, com maior tempo de permanência e contato com o solo, é capaz de liberar até 82% do elemento em um ano.

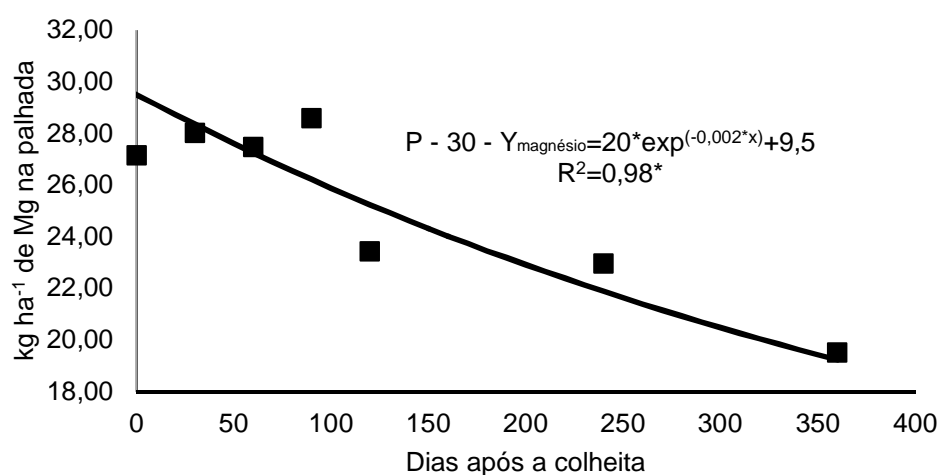
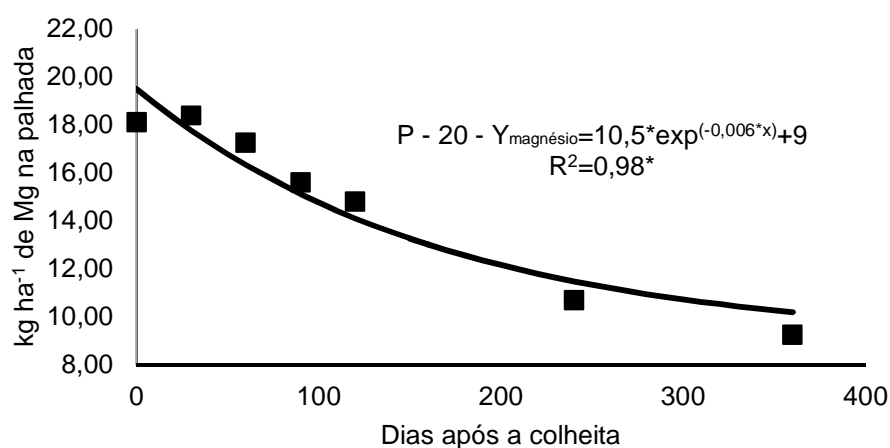
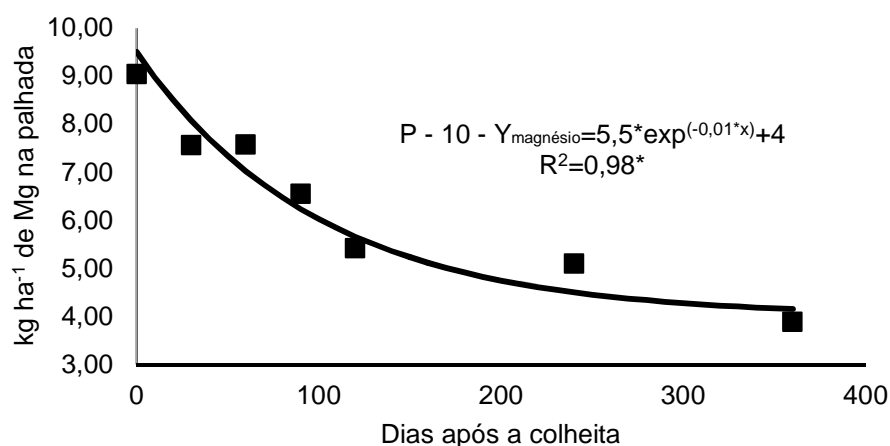


FIGURA 4.10- Modelo ajustado para mineralização do magnésio da palhada de cana-de-açúcar em três dosagens de matéria seca referentes a 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.

4.2.2 Efeito da ciclagem da palhada para o solo

As contribuições da deposição de material vegetal no solo podem variar conforme a estrutura do material e sua capacidade em degradar e liberar nutrientes. As condições climáticas entre novembro de 2010 a março de 2011 contribuíram para o maior incremento destes elementos no solo. Após este período, os incrementos se reduzem à taxas muito pequenas. No entanto, esses 120 dias foram capazes de contribuir com a fertilidade do solo, principalmente nas condições de maior aporte do material vegetal.

Os trabalhos de Oliveira et al. (1999a) e Urquiaga et al. (1991) constataam que o aporte da biomassa vegetal de cana-de-açúcar ao solo pode melhorar significativamente a fertilidade do solo, com aumento nos teores de nitrogênio total, magnésio, potássio, além de reduzir os teores de alumínio trocável na camada de 0 ó 20 cm de profundidade.

Os teores de cálcio do solo apresentaram significativa diferença com maior incremento observado nos tratamentos P ó 20 e P ó 30. Efeito também observado para o magnésio que sofreu pequena variação entre P ó 20 e P ó 30, mas ainda apresentaram maiores contribuições em relação aos tratamentos com a menor dose (P ó 10) e o tratamento referência com dose zero. A palhada foi capaz de reduzir o teor de alumínio presente no solo em 45% para o tratamento P ó 20 e em 60% no tratamento P ó 30, sendo esta a maior contribuição da biomassa na diminuição do teor deste elemento. A acidez potencial apresentou comportamento similar ao alumínio com a maior contribuição na redução de H+AL verificado em P ó 30 (TABELA 4.5).

TABELA 4.5 - Teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio + alumínio (H+Al), em 5 cm de solo submetido a diferentes doses de palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 aos 360 dias após a colheita nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.

2011/2012:								
Fitomassa	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Al ³⁺		H+Al	
	mmol _c dm ⁻³							
P0	23,55	b	12,62	c	2,53	ab	32,50	ab
P ó 10	23,51	b	12,57	c	2,66	a	33,82	a
P ó 20	27,29	a	14,98	a	1,40	bc	29,60	bc
P ó 30	28,24	a	16,70	a	1,02	C	27,28	c
CV%	16,42		19,20		86,78		14,93	
DMS	2,95		1,91		1,15		3,22	

Médias seguidas por letras distintas na coluna difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Todos estes efeitos podem ser atribuídos ao maior aporte da biomassa ao solo considerando não apenas a quantidade, mas também as condições que foram capazes de proporcionar uma maior redução da amplitude térmica nas camadas superficiais do solo, aumento da atividade biológica, aumento na taxa de infiltração de água e menor taxa de evaporação, proporcionando uma degradação mais eficiente nos tratamentos com maiores dosagens.

Segundo Rosseto et al. (2008), o manejo sustentável para a cultura da cana-de-açúcar busca alternativas que englobam três estratégias para suprir a necessidade nutricional da cultura. São elas: o aumento do sistema radicular a fim de permitir maior longevidade ao canavial; aumento do teor de matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes; melhoria da eficiência e dos custos de adubação.

Não foi observada nenhuma contribuição da palhada da cana no teor de fósforo e enxofre, devido principalmente as características da biomassa, rica em carbono e muito pobre nestes elementos, gerando relações C:P e C:S que impossibilitaram sua liberação em um ciclo da cultura, conforme discutido anteriormente. Pequenos incrementos de N podem ser verificados para todas as dosagens de palha frente à dose referência com o solo sem palha. O teor de matéria orgânica foi maior nos tratamentos P ó 20 e P ó 30 apesar do moderado incremento, aproximadamente 5% de aumento em relação a dose zero, considerado normal diante do tempo de deposição e as condições climáticas a que foi submetido o material vegetal (TABELA 4.6).

TABELA 4.6 - Teores de fósforo (P), enxofre (S), nitrogênio (N) e matéria orgânica (MO), em 5 cm de solo submetido a diferentes doses de palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 aos 360 dias após a colheita nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.

Fitomassa	P		S		N		MO	
	mg dm ⁻³		mg kg ⁻¹		g dm ⁻³			
P0	5,65	ns	2,53	ns	1804,45	b	31,21	b
P ó 10	5,57	ns	2,43	ns	1863,24	ab	32,64	ab
P ó 20	5,85	ns	2,46	ns	1901,27	a	32,89	a
P ó 30	5,64	ns	2,43	ns	1860,85	ab	32,46	a
CV%	8,48		19,80		6,35		6,00	
DMS	0,34		0,34		82,67		1,36	

Médias seguidas por letras distintas na coluna difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ns: não significativo

Ciotta et al. (2003) avaliaram o acúmulo de matéria orgânica em um Latossolo Bruno durante 21 anos sob o sistema de plantio direto. Em comparação ao sistema

convencional, houve um incremento de carbono orgânico de 29% na camada de 0-6 cm. A taxa de decomposição média anual foi de aproximadamente 1%. Bayer e Scheneider (1999) observaram o acúmulo de matéria orgânica em sistema de plantio direto, em duas propriedades rurais no Rio Grande do Sul. A utilização deste sistema durante 3 e 7 anos resultou em um incremento de matéria orgânica entre 18 e 52% na camada de 0-10 cm, comparativamente ao solo sob preparo convencional há mais de 25 anos.

Na cultura da cana-de-açúcar, maiores incrementos no teor de matéria orgânica puderam ser observados por Wood (1999), o qual verificou um aumento de 14% no teor de carbono orgânico em um ano de degradação da palha. No segundo e quarto ano este valor se elevou para 20%. Neste caso, a condição climática da região de Tully na Austrália contribuiu sobremaneira para decomposição da biomassa de cana.

Bayer e Bertol (1999a) verificaram a contribuição da matéria orgânica nos teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e na capacidade de troca de cátions (CTC), em uma profundidade de 2-5 cm, comparativamente entre um sistema de plantio conservacionista e outro convencional.

Segundo Thorburn et al. (2000), em uma série de estudos conduzidos por 20 anos na cultura da cana-de-açúcar na Austrália, ocorreram aumentos significativos de carbono nos primeiros dois centímetros do perfil do solo, sendo que as concentrações desses resíduos em profundidades maiores que 5 cm demonstraram poucas diferenças. Bell et al. (2001) identificaram aumentos significativos no aporte de carbono advindo da fitomassa da cana nos primeiros 2,5 cm do perfil do solo em cana-soca, considerando ainda que há diferenças positivas para o tratamento com cana crua em relação a cana queimada.

Yadav et al. (1987) verificaram considerável aumento na produtividade da cana-de-açúcar, relacionando este efeito não apenas a liberação de macro e micronutrientes, mas também a melhoria da estrutura do solo devido a adição de carbono orgânico derivado da palhada.

O estudo realizado por Souza et al. (2006) verificou que a cana crua promoveu valores superiores de matéria orgânica no solo em uma profundidade 10 cm em relação a cana queimada. Segundo os autores, a cana crua foi capaz de aumentar a estabilidade de agregados, densidade do solo, microporosidade e o conteúdo de água em um Latossolo Vermelho de textura argilosa. Efeitos positivos nos atributos físicos de um perfil de 30 cm de solo, sob manejo de cana crua, também puderam ser constatados por Souza et al. (2005), em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, em

Jaboticabal-SP. Bayer e Mielniczuk (1999b) descrevem como os incrementos destes resíduos influenciaram de forma positiva nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Ainda é muito comum em alguns países a queima da cana para auxiliar no manejo da colheita. Em uma província da África do Sul, Dominy et al. (2002) constataram que o cultivo da cana queimada por aproximadamente 30 anos alterou o teor de carbono do solo que caiu cerca de 33 g kg^{-1} . Esse valor representou cerca de 60% do carbono contido no local de referência com vegetação nativa. A prática da queima reduziu não somente a manutenção e incremento das propriedades químicas do solo, mas também alguns atributos físicos, como a estabilidade de agregados foram prejudicados.

As dosagens de palhada referentes a 20 e 30 Mg ha^{-1} de fitomassa úmida (P ó 20 e P ó 30) apresentaram os maiores valores de pH, soma de bases e saturação por bases. O tratamento P ó 30 atingiu a maior CTC para todas as doses utilizadas no estudo (TABELA 4.7).

As determinações de pH em CaCl_2 apresentaram uma pequena contribuição na redução da acidez do solo nos tratamentos P ó 20 e P ó 30, não sendo suficiente para alterar sua classificação. Segundo Tomé Júnior (1997), a faixa de acidez alta fica entre 4,4 e 5,0 para o pH em CaCl_2 , e para atingir a faixa de acidez média esses valores ficariam entre 5,1 e 5,5. O tempo de decomposição da palhada pode ter sido a principal causa da menor contribuição na diminuição da acidez. Para estas doses, uma estimativa baseada na mesma proporção de aumento já permitiria mudança de faixa para um nível médio de acidez no segundo ano safra (TABELA 4.7).

TABELA 4.7 - Teores de pH, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%), em 5 cm superficiais de solo submetido a diferentes doses de palhada de cana-de-açúcar da variedade CTC 6 aos 360 dias após a colheita nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012.

Fitomassa	pH		SB		CTC pH 7,0		V	
	CaCl_2		$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$				%	
P ó 0	4,61	b	37,42	b	69,92	bc	53,40	b
P ó 10	4,62	b	37,36	b	71,18	ab	52,21	b
P ó 20	4,81	a	43,75	a	73,36	ab	59,56	a
P ó 30	4,88	a	46,93	a	74,22	a	63,11	a
CV%	3,36		16,50		7,35		12,10	
DMS	0,11		4,78		3,72		4,84	

Médias seguidas por letras distintas na coluna difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Canellas et al. (2003) verificaram os incrementos em um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico Vértico no sistema de colheita de cana crua e cana queimada com e sem aplicação de vinhaça. As maiores diferenças foram constatadas no sistema de cana crua para fósforo, potássio, cálcio, CTC efetiva e CTC potencial na camada de 0-20 cm. Apenas alguns micronutrientes foram acumulados em maior quantidade no tratamento que recebeu vinhaça.

Na metade oriental da ilha de Nova Guiné, Hartermink (1998) observou o comportamento nas mudanças das características químicas de um canavial cultivado durante 17 anos sob um Vertissolo. Ele constatou que o cultivo pouco contribuiu para aumentar os teor de nutrientes no solo, com efeitos na redução de pH, fosforo e potássio. Atribuiu a alta extração da cultura como causa da redução dos nutrientes e a mineralização da matéria orgânica, que contribui para acidificação e consequente elevação da acidez.

O efeito do manejo sobre os estoques de matéria orgânica está condicionado às características físicas e químicas do solo. Segundo Ciotto et al. (2003), também observado por Bayer et al. (1996), as consequências do aporte de matéria orgânica em Latossolos de textura muito argilosa e mineralogia oxídica, a mesma classe e geologia do solo utilizado neste estudo, apresentaram menor taxa de decomposição em relação a Argissolos de textura média e mineralogia caulinítica submetidos a sistema de plantio conservacionista. Segundo os autores, apesar de menos pronunciadas, essas taxas são suficientes para ocasionar aumento expressivo na capacidade de troca de cátions destes solos com predominância de argila de atividade baixa.

Contrário ao ocorrido no estudo anterior, Bayer e Bertol (1999a) desconsideram a comparação entre diferentes sistemas de produção (convencional, plantio direto e vegetação espontânea), pois os avaliaram ser relativamente recentes, com apenas dois anos entre a implantação e amostragem do solo, período extremamente curto para que estes sistemas possam diferenciar características químicas em solos de elevados índices de fertilidade. No entanto, é preciso diferenciar a cultura e o manejo, pois no caso da cana, a capacidade anual de produção de palhada é extremamente superior as culturas utilizadas nesse estudo.

Os teores de potássio do solo foram ajustados em modelos polinomiais lineares, quadráticos e cúbicos que permitiram explicar o comportamento deste elemento para as três doses de palhada e o tratamento referência com dose zero. Observa-se uma redução, aos 30 dias iniciais, no teor de potássio em P 60 e P 0 20. Neste mesmo período, os teores do nutriente nos tratamentos P 0 20 e P 0 30 se elevam, mostrando um efeito de maior liberação de potássio destas palhadas. Estes valores alteraram de $1,77 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para 2,28 e $2,59 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, em P 0 20 e P 0 30, respectivamente. Considerada a rápida liberação de potássio da palhada os efeitos no solo acompanham esta dinâmica, sendo que os tratamentos P 0 0, P 0 10 e P 0 20 praticamente se igualam aos 90 dias após a colheita. É possível observar que, após este período apenas a taxa de decomposição diária da palhada em P 0 30 continua reduzindo em maiores taxas e estes efeitos podem ser observados no solo que recebeu esta dosagem (FIGURA 4.11).

No entanto, o efeito em P 0 30 está ligado a maior capacidade em disponibilizar K para o solo devido a grande quantidade inicial de palha e não ao condicionamento da sua capacidade de degradação da biomassa vegetal. Os teores de K no solo apresentaram varrições entre os maiores valores iniciais e a quantidade final, para os tratamentos P 0 0, P 0 10, P 0 20 e P 0 30, de 48%, 62%, 62% e 47%, respectivamente. Se considerado o valor medido na primeira avaliação, esta variação se reduziria para 23% em P 0 30.

É possível constatar que os teores nos tratamentos de maior dosagem (P 0 20 e P 0 30) se elevam no período dos 30 dias iniciais, reduzindo posteriormente até, aproximadamente, 120 dias. O incremento de K nestas doses permitiria recomendar uma adubação potássica diferenciada, baseada no teor do elemento no solo (ESPIRONELO 1985; COPERSUCAR, 1988), reduzindo em aproximadamente 40 kg ha^{-1} , conforme proposto por Faroni et al. (2011) para o manejo de cana crua.

O conteúdo de K do solo é dependente do material de origem e da capacidade de degradação do material vegetal que em regiões temperadas apresentam melhores condições para aumento nos teores de K do solo em relação a regiões tropicais (SCHROEDER, 1978). Em solos intemperizados na região das ilhas de Fiji, na Austrália, foram identificados valores entre $0,44$ e $2,3 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de K cultivados com cana-de-açúcar por longo período. Os autores consideram baixos os valores de K, pois a cultura, nessas condições, necessitaria de um teor entre $6,4$ e $7,7 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de K para produzir 112 toneladas de cana por hectare (GAWENDER et al., 2002).

Yadav et al. (1987) atribuíram parte do acúmulo nos teores K de solo cultivados com cana devido à liberação deste elemento pela palhada que correspondeu entre 40 e 79 kg ha⁻¹ de K. Em condições de aplicação de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio, essa contribuição foi ainda maior com um efeito adicional de 15 a 32 kg ha⁻¹ de K. Canellas et al. (2003) observaram que o manejo de cana crua aumentou o teor de K no solo em relação a cana queimada. Estes valores foram 86% superiores na camada de 0-20 cm no sistema onde se preservou a biomassa vegetal.

Segundo Urquiaga et al. (1991), a manutenção da palhada de cana-de-açúcar aumentou de forma significativa os teores de magnésio e potássio do solo, além de reduzir os teores de alumínio em 40%. Esclarece que os teores de Mg e K estão diretamente relacionados à liberação gradual destes nutrientes pela mineralização da palhada que cobre o solo.

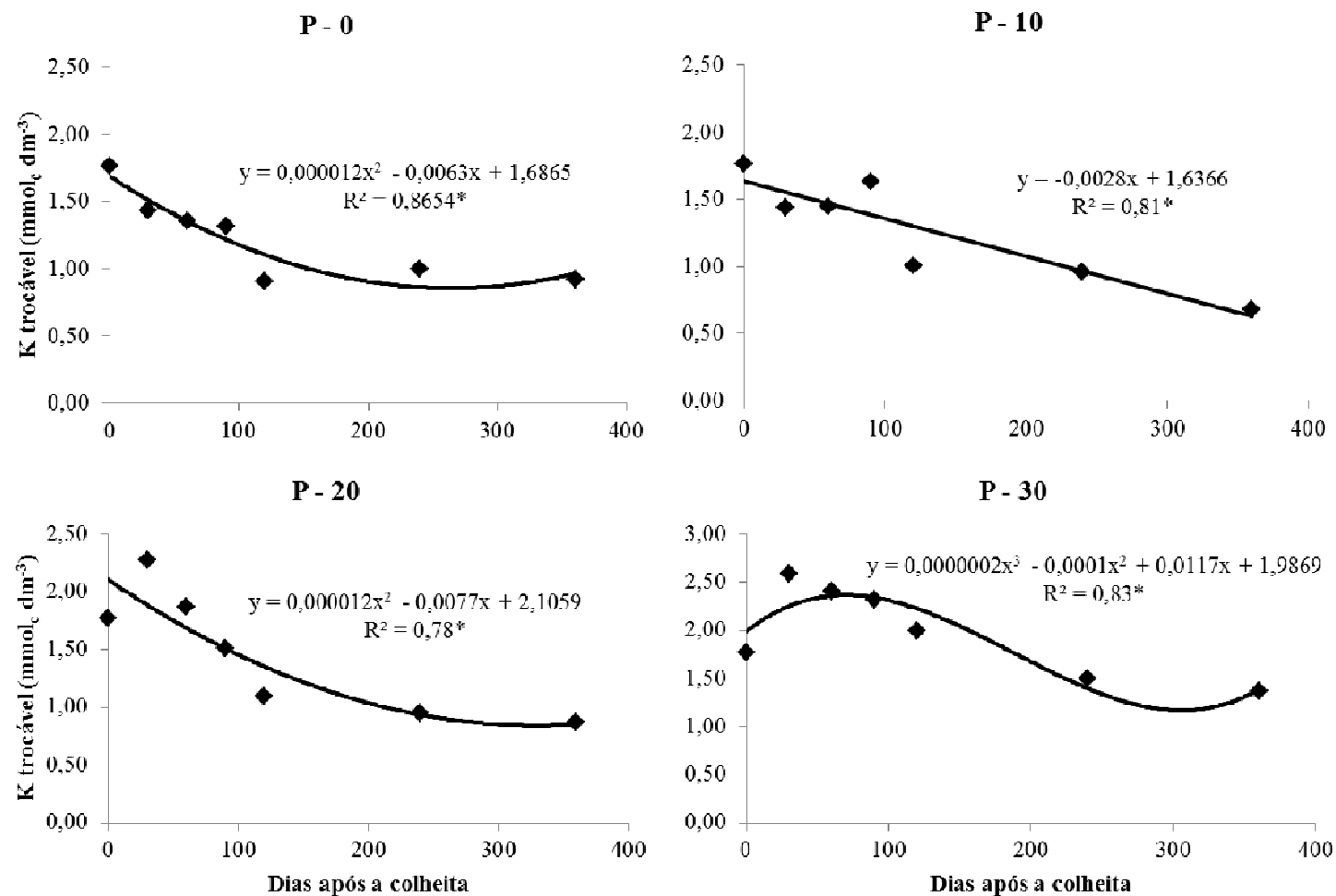


FIGURA 4.11- Modelos ajustados para teor de K trocável em solo submetido a quatro dosagens de matéria seca referentes a 0, 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de fitomassa úmida da variedade CTC 6 em seu 5º corte, avaliadas em 7 épocas nos anos safras 2010/2011 e 2011/2012. * Significativo pelo teste F a 5%.

5 CONCLUSÕES

- i* Os modelos exponenciais permitiram explicar o comportamento da decomposição da palhada de cana-de-açúcar que sofreu uma redução média em peso de matéria seca de 39% para as doses estudadas.
- ii* As fitomassas foram capazes de aportar grande quantidade de carbono orgânico ao solo com maior incremento observado para o tratamento P ó 20.
- iii* A relação C:N da palhada dos três tratamentos reduziram para aproximadamente 50% do seu valor inicial.
- iv* Os carboidratos estruturais: hemicelulose, celulose e lignina pouco se modificaram na estrutura do material vegetal com efeitos significativos na diminuição da hemicelulose.
- v* Os tempos de meia vida evidenciaram que a decomposição do material vegetal sofre influência não apenas da quantidade inicial do material, mas também de sua taxa de decomposição.
- vi* Não foram observadas liberações de N, P, S e Si, sendo constatado considerável acúmulo destes elementos na palhada de cana. Foram observadas liberações de K, Ca e Mg em todas as doses estudadas.
- vii* No solo, a palhada proporcionou o aumento nos teores de Ca, Mg, K, matéria orgânica (MO), soma de bases (SB) e percentual de saturação por bases (V%).

6 REFERÊNCIAS

- ABRAMO FILHO, J.; et al. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. **Alcool e Açúcar**, São Paulo, v. 67, p.23-25, 1993.
- ALVARENGA, R.C.; et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo, V.1, 2014. 152p.
- ASSIS, E.P.M.; et al. Atividade microbiana e decomposição da palha de sorgo sob aplicação de nitrogênio em plantio direto. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais..** Ribeirão Preto, São Paulo. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 29p, 2003. (CD-ROM)
- BALIEIRO, F. C.; et al. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 59-65, 2004.
- BASANTA, M. V.; et al. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, Piracicaba, v. 116, n. 1, p. 235-248, 2003.
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase a matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 687-694, 1999a.
- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. 1996. 241f. (Doutorado em Solos) Faculdade de Agronomia-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização**. Porto Alegre: Gênese, p. 9-26, 1999b.
- BAYER, C.; SCHENEIDER, N. G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.1, p.155-166, 1999.
- BELL, M.J., et al. Physical rehabilitation of degraded Krasnozems using ley pastures. **Australian Journal of Soil Research**. Australian, 35, 1093-1113. 1997.
- Bell, M.J., et al. Effect of compaction and trash blanketing on rainfall infiltration in sugarcane soils. **Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.** Australian 23, 161-167. 2001.
- BERDING, N.; ROACH, B. T. Germoplasm collection, maintenance and use. In: HEINS, D. J. (Ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier Press, p.143-210. 1987

- BOER, C.A.; et al. Biomassa e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 32, p.843-851, 2008
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n.2, p.369-374, 1990.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C do; MELLO, F.A.F de. Influência da cobertura morta sobre a umidade de um solo cultivado com cafeeiro. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 17, p. 239-246. 1960.
- BRESSIANI, J. A.; et al. Melhoramento genético da cana-de-açúcar. **In: ENCONTRO SOBRE TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO**, N 23°, Piracicaba, SP. Anais. p. 52-64, 2006.
- BRITO, A.S. **Balanco de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2006. 82f. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Faculdade de Agronomia - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba.
- CALDEIRA, D.S.A; RODELLA, A.A. Influência da temperatura na degradação de compostos orgânicos no solo (compact disc). **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Resumos**. Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.
- CALEGARI, A.; et al. **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. 346p.
- CAMPOS, D. C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono**. 2003. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) ó Faculdade de Agronomia. Escola Superior de Agricultura õLuiz de Queiroz, ESALQ, Piracicaba.
- CANELLAS, L.P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 935-944, 2003.
- CARVALHO, D.M. **Caracterização físico-química e polpação etanol/soda do bagaço e da palha de cana-de-açúcar**. 2012. 150f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CASSMAN, K.G.; MUNNS, D.N. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture temperature, and depth. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.6, p.1233- 1237, 1980
- CERETTA, C.A.; et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, p.49-54, 2002.

CIOTTA, M.N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 06, p.1161-1164, 2003.

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Recomendações de adubação para a cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba ó SP, **Cadernos Copersucar**, Série Agronômica 17. Copersucar, 1988, 26p.

CORNELISSEN J.H.C. An experimental comparison of leaf decomposition rates in a wide range of temperate plant species and types. **Journal of Ecology**. England, v. 84, n. 04, p.573-582. 1996.

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 11-17, 2004.

DE-MARIA, I.C.; DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão em cana-de-açúcar. **Revista Stab**, Piracicaba, v. 17, p. 20-21, 1998.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, 1985.

DINARDO-MIRANDA, L.L et al. **Cana-de-açúcar**. Instituto Agronômico, Ribeirão Preto, 2008. 882 p.

DOMINY, C.; et al. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. **Biology and fertility of soils**, South Africa, v. 36, n. 5, p. 350-356, 2002.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA ó EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997.212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA ó EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA ó EMBRAPA. Informação Tecnológica. **Manual de métodos de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Informação Tecnológica. 2009. 627p.

ESPIRONELO, A. Cana-de-açúcar. In: QUAGGIO, J.A; HIROCE R.; CANTARELLA. H. "BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, AD; TRANI, PE Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 1985. p. 10-50. *Boletim técnico* 100.

FARONI C. E. **Eficiência agronômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana de açúcar**. 2008. 84f. Tese

(Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ, Piracicaba.

FARONI, C. E.; et al. Degradação da palha (15N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos. In Congresso Brasileiro de Ciência do solo. **Anais...** (Vol. 29). Ribeirão Preto: Universidade Estadual de São Paulo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2003 (CD-ROM)

FARONI C.E.; et al. **Nutrição e adubação mineral da cana-de-açúcar ó Safra 10/11.** Relatório Técnico de P&D. Centro de Tecnologia Canavieira. Piracicaba-SP. 2011. 96p.

FERREIRA D.F.; SISVAR: um programa para análise e ensino de estatística. Revista Symposium, Lavras, v. 6, p.36-41, 2008.

FORTES, C.; et al. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. Biomass and Bioenergy, **Elsevier**, Amsterdam, v. 42, p. 189-198, 2012.

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 57, n. 1, p.25-29. 2000.

FRANCO, H.C.J.; et al. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 04, p. 669-674, 2007a.

FRANCO, H.C.J.; et al. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 8, n. 8, p. 3.6, 2007.

GAVA, G.J.C.; et al. Balanço do nitrogênio da ureia e da palha de cana no sistema solo-cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 689-695, 2005.

GAWANDER, J. S.; et al. Potassium studies on some sugarcane growing soils in Fiji. **The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences**. Fiji, v. 20, n. 1, p. 15-21, 2002.

GENTIL, L.V.B. **202 perguntas e respostas sobre biocombustíveis.** Ed. Senac. Brasília. 2011. 324 p.

GRAHAM, M. H.; et al. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal of Soil Science**, South Africa, v. 53, n. 4, p.589-598, 2002.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J. Organic matter status and the size, activity and metabolic diversity of the soil microbial community in the row and inter-row of sugarcane under burning and trash retention. **Soil Biology and Biochemistry**, South Africa, v. 38, n. 1, p.21-31, 2006.

GREENWOOD, D. J. Effect of oxygen distribution in the soil on plant growth. **Root Growth**. Phenum Press, New York, p.83-98, 1969.

GREGORICH, E.G.; et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Canadian, v. 74, p.367-385. 1994.

HAYNES, R.J.; BEARE, M.H. Aggregation and organic matter storage in mesothermal, humid soils. In: Carter, M.R., Stewart, B.A. (Eds.), *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. CRC Lewis, **Boca Raton**, p. 213-263. 1996.

HARTEMINK, A.E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. **Geoderma**, New Guinea, v. 85, n. 4, p.283-306, 1998.

IBGE ó Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da produção Agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Rio de Janeiro, IBGE-CDDI, v.26 n.1 p.1-83, 2013

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET - BDMEP - **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2013.

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 29 set. 2013.

JANZEN, H. H.; KUCEY, R. M. N. C, N and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. *Plant and Soil*, Canada, v. 106, n. 1, p. 35-41, 1988.

JENKINSON, D.S.; AYANABA, A. Decomposition of carbon-14 labelled plant material under tropical conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.41, p.912-915, 1977.

JENSEN, L.S.; et al. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. **Plant and Soil**, Denmark, v. 273, n. 1-2, p. 307-326, 2005.

JOAQUIM, A.C.; et al. Potencial e manejo de solos cultivados com cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., Piracicaba, 1994. **Anais...** Piracicaba, Centro de Tecnologia Copersucar, p.1-10. 1994

JOAQUIM, A.C.; BELLINASSO, I.F. **Caracterização climática para a cultura da cana-de-açúcar**. Relatório técnico, Piracicaba, Anais. Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira. 2009. 40 p.

JOAQUIM, A.C.; et al. **Sistema de manejo agronômico sustentável**. Relatório técnico, Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira. 2013. 135 p.

KORNDÖRFER, G.H.; et al. Termofosfato como fonte de silício para a cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 19, n. 1, p.34-36, 2000.

KORNDÖRFER, G. H.; et al. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, GPSi/ ICIAG/UFU, 2004. 34p. (Boletim Técnico, 2)

KORNDÖRFER, G.H.; et al. Papel do silício na produção da cana-de-açúcar. **STAB Açúcar e Alcool**, Piracicaba, v.21, p.6-9, 2002.

KUMAR, K.; GOH, K.M. Nitrogen release from crop residues and organic amendments as affected by biochemical composition. Commun. **Soil Science and Plant Analysis**. USA, University of Minnesota, 34, 2441-2460. 2003.

KWONG, N.G.K.; DEVILLE, J. Residual fertilizer nitrogen as influenced by timing and nitrogen forms in a silty clay soil under sugarcane in Mauritius. **Fertilizer research**, Netherlands, v. 14, n. 3, p. 219-226, 1987.

LAL, R.; LOGAN, T.J. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; LEVINE, E. & STEWART, B.A., eds. Soil management greenhouse effect. **Boca Raton**, CRC Press, p.293-307, 1995

LETEY, J.; et al. Effect of duration and timing of low oxygen on shoot and root growth. **Agronomy Journal**. Madison, v. 54, n. 1, p.34-37, 1962.

LUCA, E.F.; et al. 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, v. 32, n. 02, p. 789-800, 2008.

MANECHINI, C. Manejo agrônomo da cana crua. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA COPERSUCAR. 7., 1997, Piracicaba-SP. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997. p.309-327.

MALAVOLTA, E.; et al. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p .

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource technology**, United Kingdom, v. 83, n. 1, p. 37-46, 2002.

NOVO, M.C.S.S.; et al. Efeito da palha de cana-de-açúcar e do tamanho do tubérculo na brotação e no desenvolvimento da parte aérea de tiririca. **Bragantia**. Campinas, v. 65, n. 1, p.97-107. 2006.

OLIVEIRA, M.W.; et al. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, 1999a.

OLIVEIRA, M.W.; et al. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999.

PELÁ, A.; et al. Avaliação da resistência à decomposição de dez espécies de plantas de cobertura visando o plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.10, p.26- 33, 1999.

PENATTI, C. P.; MANECHINI, C. J. A. **Adubação nitrogenada e potássica em cana-soca**. Relatório interno Copersucar ó RT1078. Copersucar, Piracicaba, 2002. 18p.

PENATTI, C.P.; et al. **Adubação com nitrogênio e potássio em cana planta (safra 2002/2003)**. Relatório interno Copersucar ó RT1022. Copersucar, Piracicaba-SP. 2003. 12p.

- PERES, J.G.; et al. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p.875-886, 2010.
- PERES, J.G.; et al. Coeficiente de cultura (Kc) para cana-de-açúcar: ciclo cana-soca. **Revista Alcool e Açúcar**, n. 62, p.34-42, 1992.
- RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 1983. 16 p. (IAC. Circular, 63)
- REZENDE, C.P.; et al. Litter deposition and disappearance in Brachiaria pastures in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, New Jersey, Springer, v. 54, p.99-112, 1999.
- ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Decomposition of sugarcane harvest residue in different climatic zones. **Australian Journal of Soil Research**, Australian, v. 45, p.1-11. 2007.
- ROLIM, G.S.; et al. Climatic classification of Köppen and Thornthwaite systems and their applicability in the determination of agro climatic zoning for the State of São Paulo, Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p.11-20, 2007.
- ROSSETTO, R.; et al. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agrônomicas, POTAFOS**, Piracicaba, n.124, p.8-13, 2008.
- SANTOS, F. A.; et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para a produção de etanol. **Química Nova**, Viçosa, v. 35, n. 5, p.1004-1010, 2012.
- SARAIVA, O. F.; TORRES, E. **Estimação da cobertura do solo por resíduos culturais**. Londrina: EMBRAPA/CNPq, 1993. 4 p. (EMBRAPA/CNPq).
- SCHROEDER, D. 1978. Structure and weathering of potassium containing minerals. In: **Congress of the International Potash Institute**. Bern, Switzerland. v.11, p.43-63, 1978.
- SEGATO, S.V.; et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2006. 415 p.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1990. 166p.
- SILVA NETO, H. F. et al. Avaliação de cultivares de cana-de-açúcar em relação à produção de palhada e potencial controle de plantas daninhas. XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. **Anais...** Ribeirão Preto. P 1805-1809. 2010
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC; ABEAS; Lavras, 1988. 236p.
- SMITH, J.H.; DOUGLAS, C.L. Wheat straw decomposition in the field. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.35, p.269-272, 1971.

- SOUZA, H.A.; et al. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar¹. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 658-663, 2012.
- SOUZA, Z.M.; et al. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Revista Científica**, Jaboticabal, v.34, p.31-38, 2006.
- SOUZA, Z.M.; et al. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p.271-278, 2005.
- SPAIN, A. V.; HODGEN, M. J. Changes in the composition of sugarcane harvest residues during decomposition as a surface mulch. **Biology and fertility of soils**, Australia, v. 17, n. 3, p. 225-231, 1994.
- SPSS. v.17.0.0. **SPSS**. Chicago, Illinois, 2008. CD-ROM
- SUCKLING, P.W.; MITCHELL, M.D. Variation of the Koppen C/D climate boundary in the central United States during the 20th century. **Physical Geography**, Stockholm, v. 21, p.38-45, 2000.
- TEIXEIRA, C.M.; et al. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.34, n.2, p. 497-506, 2010.
- THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, Colombia, v. 25, n. 10, p. 1351-1361, 1993.
- THORBURN, P.J.; et al. Long term changes in soil carbon and nitrogen under trash blanketing. **Proc. Aust. Soc. Sugarcane Technol.** Australia, v.22, p.217-224, 2000.
- THORBURN, P.J.; et al. Modelling decomposition of sugar cane surface residues with APSIM6Residue. **Field Crops Research**, Australia, v. 70, n. 3, p.223-232, 2001.
- TIAN G.; et al. An index for assessing the quality of plant residues and evaluating their effects on soil and crop in the (sub-)humid tropics. **Applied Soil Ecology**. v.2, p.25-32. 1995.
- TIMM, L.C. **Efeito de manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. 2002, 115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) ó Faculdade de Agronomia. Escola Superior de Agricultura õLuiz de Queirozõ, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.
- TORRES, J.L.R.; et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p.609-618, 2005.

TORRES, J.L.R.; et al. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, p.421-428, 2008.

TRIVELIN, P.C.O.; et al. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; et al. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.636-646, 2002.

UNICA ó União das Indústrias de Cana-de-Açúcar. **FAQ ó perguntas frequentes**. 2013. Disponível em:< <http://www.unica.com.br/faq/>>. Acesso em: 08 abr. 2013a.

UNICA ó União das Indústrias de Cana-de-Açúcar. **Acompanhamento quinzenal. Posição até 16/02/2014**. 2014. Disponível em:<<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=63>> Acesso em: 10 fev. 2014.

URQUIAGA, S.; et al. **A importância de não queimar a palha na cultura de cana-de-açúcar**. EMBRAPA-CNPBS, Rio de Janeiro, 6p.1991. (Comunicado Técnico)

VITTI, A. C.; et al. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 32, p.2757-2762, 2008.

VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: manejo e efeito na produtividade**. 2003. 114f. (Doutorado em Agronomia) ó Faculdade de Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WIEDER, R.K. & LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, United State, v. 63, n. 6, p.1636-1642, 1982.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G.P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 11, p.1191-1197, 1997.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil and Tillage Research**, Australia, v. 20, n. 1, p.69-85, 1991.

YADAV, D.V.; et al. Recycling of nutrients in trash with N for higher cane yield. **Biological Wastes**, England, v. 20, n. 2, p. 133-141, 1987.