



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

GISELE SILVA DE AQUINO

**DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR
EM SISTEMA SOB PALHADA**

GISELE SILVA DE AQUINO

**DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR
EM SISTEMA SOB PALHADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

Orientador(a): Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina

Londrina
2012

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

A657d Aquino, Gisele Silva de.
Desenvolvimento e produção de cana-de-açúcar em sistema sob palhada /
Gisele Silva de Aquino. – Londrina, 2012. 84 f. : il.

Orientador: Cristiane de Conti Medina
Dissertação (Mestrado Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2012.
Inclui bibliografia.

1. Cana-de-açúcar – Colheita – Teses. 2. Cana-de-açúcar – Produção – Teses.
3. Palha – Cana-de-açúcar – Teses. 4. Biomassa – Teses. 5. Solos – Manejo – Teses.
I. Medina, Cristiane de Conti. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de
Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 633.61

GISELE SILVA DE AQUINO

DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SISTEMA SOB PALHADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
– Graduação em Agronomia, da Universidade
Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina
Orientadora
UEL – Londrina - Pr

Prof. Dr. Mateus Carvalho Basílio de Azevedo
IAPAR – Londrina - Pr

Prof. Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi
UEL – Londrina - Pr

Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito
UEL – Londrina - Pr

Profa. Dra. Carmem Silvia Vieira Janeiro Neves
UEL – Londrina - Pr

Londrina, 24 de março de 2012.

*A Deus, por ter aberto as
portas, e mostrado o
caminho. Quem me
sustentou nos momentos
mais difíceis*

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Dra. Cristiane de Conti Medina, pela constante amizade, apoio e confiança em todas as etapas desse trabalho. Um exemplo de pessoa, a quem tive a honra de ter em meu caminho.

Aos professores: Dr. Osmar Rodrigues Brito, Dr. Gustavo Fregonezi e Dra Inês Fonseca que auxiliaram com muito carinho em todas as etapas deste trabalho, pelo companheirismo e amizade prestados.

A Usina de Bandeirantes Usiban, que com muito carinho nos recebeu e possibilitou a execução desta pesquisa.

Ao Sr. Valcir Palota, diretor técnico da usina, pela amizade, prestatividade e apoio durante todo o período de trabalho.

Aos técnicos Antônio Andrade e Julio Soares pela constante colaboração nas avaliações.

A todos os colaboradores da usina, que trabalharam nessa pesquisa com empenho e dedicação, sem os quais não seria possível essa realização.

Àqueles que de alguma forma me ajudaram na conclusão dessa pesquisa.

AQUINO, Gisele, S. **Desenvolvimento e produção da cana-de-açúcar em sistema sob palhada**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

Devido a restrições ambientais, falta de mão de obra e a busca por melhor eficiência, a colheita de cana-de-açúcar tende a ser mecanizada, fazendo com que grande quantidade de palhada esteja disponível nesse novo sistema. Há benefícios ao solo e à cultura proporcionado por esse resíduo. Entretanto, não foi abordado qual quantidade seria suficiente para promover tais benefícios e qual volume poderia ser usado em outros setores, como cogeração de energia e bioetanol. O objetivo do trabalho foi avaliar a quantidade mínima de palhada a ser mantida no campo de forma a otimizar a produtividade e o enraizamento da cana-de-açúcar. O experimento foi instalado em agosto de 2010, em Latossolo Vermelho eutrófico, em Bandeirantes, Pr. Foram avaliados os efeitos de seis tratamentos 0%, 25% (5 t ha⁻¹), 50% (10 t ha⁻¹), 75% (15 t ha⁻¹), 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e cana-queimada, sobre o IAF, o número, o diâmetro e o comprimento dos colmos, o peso verde, as características tecnológicas (Pol, Brix, pureza aparente, fibra, AR e ATR) e o enraizamento, na variedade SP80 1816. Para a parte aérea, foram quatro períodos de avaliação: 60, 180, 270 e 350 dias após o plantio (DAP). O enraizamento foi avaliado nas três primeiras datas, à 0,45 e 0,60 m de distância horizontal da touceira, nas profundidades de 0 – 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m. Foi verificada também a taxa de decomposição da palhada para cada tratamento, no final do ciclo. Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey. Não houve efeito significativo da palhada para diâmetro de colmos e características tecnológicas, em nenhum período avaliado. Entretanto, resultados positivos foram observados para IAF e número de colmos aos 180 e 270 DAP e para comprimento e peso dos colmos, aos 270 e 350 DAP, não evidenciando a influência negativa da palhada no desenvolvimento da cultura. Houve maior taxa de decomposição conforme aumentou a quantidade de palhada, sendo alcançados 80% para a dose 100% e 53% para a dose 25%. Houve efeito da palhada no sistema radicular, até a profundidade de 0,20 m, em ambas as distâncias, aos 180 e 270 DAP. O tratamento 50% promoveu os mesmos benefícios que os tratamentos 75 e 100%, em todas as variáveis analisadas, sendo a quantidade ideal para se manter à campo. A retirada da palhada, ou a aplicação da dose 25% foram prejudiciais à cultura, uma vez que resultaram em menor média em relação aos demais tratamentos. A palhada (igual ou acima da dose 50%) promoveu o melhor enraizamento na camada de 0 – 0,20 m que refletiu em maior produtividade da cultura.

Palavras-chave: Cana crua. Biomassa. Palha de cana. Colheita mecanizada. Resíduo.

AQUINO, Gisele, S. **Growth and productivity of sugar cane in the system under straw**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

Due to environmental constraints, lack of manpower and the search for better efficiency, the harvesting of sugar cane tends to be mechanized, causing large amount of straw is available in this new system. There are benefits to soil and culture provided by this residue. However, it was discussed what amount would be sufficient to promote these benefits and what volume could be used in other sectors, such as cogeneration and bioethanol. The objective of this study was to evaluate the minimum amount of trash being maintained in the field in order to optimize productivity and rooting of cane sugar. The experiment was installed in August 2010 in Oxisol in Girl Scouts, Pastor The effects of six treatments 0%, 25% (5 t ha⁻¹), 50% (10 t ha⁻¹), 75% (15 t ha⁻¹), 100% (20 t ha⁻¹) and sugarcane straw burning on the IAF, the number, diameter and length of the stems, the green weight, the technological characteristics (Pol, Brix, apparent purity, fiber, AR and ATR) and rooting in SP80 1816. For the shoot, there were four evaluation periods: 60, 180, 270 and 350 days after planting (DAP). Rooting was evaluated in the first three dates, at 0.45 and 0.60 m horizontal distance from the clump at depths from 0 to 0.10, 0.10 to 0.20, 0.20 to 0.40 and 0, 40 - 0,60 m. It was checked also the rate of decomposition of the straw to each treatment, at the end of the cycle. The results were subjected to analysis of variance and means compared by Tukey test. There was no effect of straw to stalk diameter and technological characteristics, in any study period. However, positive results were observed for LAI and number of stems at 180 and 270 DAP and length and weight of the stems, at 270 and 350 DAP, not showing the negative influence of straw on the development of culture. A greater rate of decomposition as increased the amount of dry matter, being achieved 80% to 100% dose and 53% to 25% dose. There was a significant straw in the roots, to a depth of 0.20 m in both distances at 180 and 270 DAP. The treatment promoted 50% the same benefits that treatments 75 and 100% in all variables, being the perfect amount to keep the field. The removal of straw, or the application of 25% dose were harmful to the crop as it resulted in a lower average compared to other treatments. The straw (dose equal to or above 50%) showed the best rooting in the 0 - 0.20 m which resulted in greater crop yield.

Key-words: Raw cane. Biomass. Sugarcane straw. Mechanical harvesting. Residue.

LISTA DE FIGURAS

Artigo A

- Figura 4.1** – Nível pluviométrico (mm) e Temperaturas máxima e mínima (oC) durante o período experimental 48
- Figura 4.2** – Umidade relativa do ar ocorrida durante período experimental..... 48
- Figura 4.3** – Taxa de decomposição da palhada, para os tratamentos 25% (5 t ha⁻¹), 50% (10 t ha⁻¹), 75% (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada, no final do ciclo da cultura, p<0,01. Agosto de 2011 54
- Figura 4.4** – Índice de Área Foliar aos 60,180,270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50 (10 t ha⁻¹), 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01 55
- Figura 4.5** – Número de colmos produzidos aos 60,180, 270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50 (10 t ha⁻¹), 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01 55
- Figura 4.6** – Diâmetro médio de colmos aos 60,180, 270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50 (10 t ha⁻¹), 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01..... 57
- Figura 4.7** – Comprimento médio de colmos aos 60,180, 270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50 (10 t ha⁻¹), 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01 57
- Figura 4.8** – Peso verde aos 60,180, 270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50(10 t ha⁻¹), 75(15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01 58
- Figura 4.9** – Fibra, Pureza Aparente, Pol, Brix, AR e ATR, obtidos no período de colheita, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹) 50, (10 t ha⁻¹) 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01. Agosto de 2011 60

Artigo B

Figura 5.1 – Nível pluviométrico (mm) e Temperaturas máxima e mínima (oC) durante o período experimental	70
Figura 5.2 – Umidade relativa do ar, ocorrida durante experimento	70
Figura 5.3 – Massa seca de raízes (mg) por cm ³ de solo, à distância 0,45 m da touceira (distância 1), aos 180 e 270 DPA, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m.....	74
Figura 5.4 – Massa seca de raízes (mg) por cm ³ de solo, à distância 0,70 m da touceira (distância 2), aos 180 e 270 DPA, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m.....	75
Figura 5.5 – Porcentagem média de distribuição de raízes, à distância 0,45 m da touceira (Distância 1), aos 180 DAP e 270 DAP, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m.....	79
Figura 5.6 – Porcentagem média de distribuição de raízes, à distância 0,45 m da touceira (Distância 2), aos 180 DAP e 270 DAP, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m.....	80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 CANA-DE-AÇÚCAR	13
2.2 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.....	14
2.3 COLHEITA DA CANA SEM QUEIMA.....	15
2.4 BIOETANOL.....	17
2.5 BIOELETRICIDADE	18
2.6 EFEITO DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA PRODUTIVIDADE.....	19
2.7 SISTEMA RADICULAR.....	27
3 REFERÊNCIAS	35
4 ARTIGO A – CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE- AÇÚCAR EM SISTEMA SOB PALHADA	42
4.1 RESUMO E ABSTRACT	43
4.2 INTRODUÇÃO	44
4.3 MATERIAL E MÉTODOS	46
4.3.1 Caracterização da Área.....	46
4.3.2 Instalação e Condução do Ensaio.....	48
4.3.3 Tratos Culturais	49
4.3.4 Variedade e Produção de Palhada.....	49
4.3.5 Análises de Produção Agrícola	50
4.3.5.1 Estudos de crescimento e produtividade.....	50
4.3.5.2 Número de folhas e índice de área foliar.....	50
4.3.5.3 Número, comprimento, diâmetro e massa verde de colmos	51
4.3.6 Análises de Produção Industrial	51
4.3.6.1 Brix	51
4.3.6.2 Pol	51
4.3.6.3 Teor de fibra	52
4.3.6.4 Açúcares totais recuperáveis (ATR).....	52
4.3.7 Análise estatística	53

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.5 CONCLUSÕES	61
4.6 REFERÊNCIAS	61
5 ARTIGO B – INFLUÊNCIA DA PALHADA NO ENRAIZAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	65
5.1 RESUMO E ABSTRACT	66
5.2 INTRODUÇÃO	67
5.3 MATERIAL E MÉTODOS	68
5.3.1 Caracterização da Área.....	68
5.3.2 Instalação e Condução do Ensaio.....	71
5.3.3 Tratos Culturais	71
5.3.4 Variedade	71
5.3.5 Avaliação Radicular.....	72
5.3.6 Análise Estatística	72
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5.5 CONCLUSÕES	81
5.6 REFERÊNCIA.....	81
6 CONCLUSÕES GERAIS	84

1 INTRODUÇÃO

Devido às restrições ambientais, a área de produção de cana-de-açúcar submetida à colheita sem despalha a fogo, vem aumentando consideravelmente no Brasil. Em 2007, a Única - União da Indústria de Cana-de-Açúcar e o governo do Estado de São Paulo assinaram um acordo voluntário, onde 89% das usinas instaladas nesse Estado, que é responsável por mais da metade da produção brasileira, se comprometeram a antecipar o cronograma de eliminação do corte com queima para 2014.

De 2003 a 2010, a área total do cultivo da cana disponível para a colheita no Estado de São Paulo saltou de 2,57 milhões para 5,23 milhões de hectares, sendo que na safra de 2009/2010, cerca de 60% da colheita nesse Estado, já é realizada sem queima (INPE, 2010).

O Paraná tem cerca de 590 mil hectares plantados e produção de 43 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, ocupando o quarto lugar no ranking da produção nacional, atrás de São Paulo, Minas Gerais e Goiás (CONAB, 2011).

Assim, em função da demanda interna e do volume previsível para exportação de etanol, o Brasil deverá ofertar aos mercados na safra 2012/2013, o equivalente a 610 milhões de toneladas de cana, gerando mais de 130 milhões de toneladas de palhada (UNICA, 2011).

Nesse novo sistema de colheita de cana, as folhas secas, os ponteiros e as folhas verdes são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta denominada palhada. Essa camada de material vegetal aumenta a infiltração de água no solo, diminui a erosão e a evaporação, melhora a estrutura do solo e aumenta a sua CTC. É, também, fonte de nutrientes para a macro e a microfauna do solo e para a própria cultura da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2003).

Valores variando de 10 a 30 t. ha⁻¹ de matéria seca da palhada têm sido encontrados nas regiões de produção da cana, incluindo cana planta e soqueira (TRIVELIN et al., 1996; GAVA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003, MELLO IVO et al., 2006). As diferenças são em função da variedade cultivada, da idade do canavial e ambiente de cultivo.

Esse volume de palha sobre a soqueira pode dificultar sua emergência, causando falha na rebrota (VASCONCELOS, 2002). Orlando Filho,

Macedo e Tokeshi (1994), encontraram redução de 52% da produtividade final, estudando a variedade SP71-6163.

A palha de cana-de-açúcar, além de ser produzida em grande quantidade, apresenta-se como uma matéria-prima barata e prontamente disponível como fonte de biomassa lignocelulósica renovável, que pode ser convertida a etanol (DAWSON; BOOPHATY, 2007) ou utilizada como fonte de geração de energia através da queima.

Assim, no que diz respeito à palhada, são necessários estudos sobre a quantidade que deve ser mantida no sistema de produção da cana-de-açúcar, para garantia da sua sustentabilidade, bem como a quantidade que poderá ser retirada do campo para geração direta de outros tipos de energia, visando o máximo aproveitamento no setor e a melhoria ambiental e financeira ao país, que enfrenta forte concorrência com outros países, como os Estados Unidos e a Índia. Acrescenta-se, ainda, a importância da avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar, uma vez que a compreensão dos fenômenos que ocorrem na parte aérea das plantas torna-se mais completa, quando também se entende o que ocorre abaixo da superfície do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma gramínea, monocotiledônea de porte ereto, e apresenta os seguintes estádios fenológicos: brotação e emergência, perfilhamento, crescimento e maturação dos colmos. A emergência do broto ocorre de vinte a trinta dias após o plantio. O broto surge acima da superfície do solo (chamado de colmo primário), rompe as folhas da gema e se desenvolve verticalmente. Esta fase depende da qualidade da muda, do ambiente de produção, da época e do sistema de plantio. Neste estágio ocorre, ainda, o enraizamento inicial (duas a três semanas após a emergência) e o aparecimento das primeiras folhas. Iniciam-se, então, o perfilhamento e a formação das touceiras. O perfilhamento é o processo de emissão de colmos por uma mesma planta, os quais recebem a denominação de perfilhos. Esse processo é regulado por hormônios e resulta no crescimento de brotos, que vão em direção à superfície do solo. Por meio desse processo, ocorre a formação da touceira da cana-de-açúcar. É importante destacar que a formação do sistema radicular da touceira é resultado do desenvolvimento das raízes de cada perfilho. No auge do perfilhamento, ocorre a total cobertura do solo pela folhagem das plantas e cada touceira possui o máximo de perfilhos que é altamente variável, dependendo das características genéticas de cada variedade (CASAGRANDE, 1991).

A partir do auge do perfilhamento, ocorre o crescimento dos colmos e um crescimento do sistema radicular vigoroso. Os colmos continuam o crescimento e desenvolvimento, ganhando altura e iniciando o acúmulo de açúcar na base. O crescimento é estimulado por luz, umidade e calor. Durante essa fase, as folhas mais velhas começam a ficar amareladas e secam. O crescimento do sistema radicular torna-se mais intenso nesse período, tanto nas laterais quanto em profundidade. A maior parte das raízes está nos primeiros quarenta centímetros de profundidade, sendo esta considerada a profundidade efetiva ou a zona principal no que concerne à absorção de água e nutrientes por parte da cultura, podendo variar conforme o manejo do solo. Ocorre, então, a definição da população final de colmos, variável em função das condições de solo e clima. A maturação inicia-se junto com o crescimento intenso dos colmos e o canavial pode atingir altura acima de três

metros. É válido mencionar, novamente, que o excesso de açúcar permanece armazenado na base de cada colmo. Quando as touceiras atingem altura igual ou superior a dois metros, nota-se o amarelecimento e a consequente seca das folhas que se encontram na altura mediana da planta, indicando que já está sendo depositado açúcar nessa região. A maturação final ocorre no período entre o outono e o inverno; com a presença de chuvas variáveis e temperaturas mais baixas, existe maior atividade de maturação e menor atividade de crescimento, sendo que há intenso armazenamento de açúcar. O momento de colheita é definido em função da variedade, época de plantio e consequente duração do ciclo, manejo da maturação e condições climáticas no ambiente (GASHO; SHIH, 1983).

Vários fatores interferem na produção e na maturação da cultura da cana-de-açúcar, sendo os principais a interação edafoclimática, o manejo da cultura e a cultivar escolhida, constantemente estudados sob diferentes aspectos. Como o Brasil possui grande extensão territorial, a cana-de-açúcar é cultivada em vários tipos de solos, que estão sob influência de diferentes climas, o que resulta em vários tipos de ambientes para a produção desta cultura (DIAS, 1997).

Além de matéria-prima para a produção de açúcar e álcool, seus subprodutos e resíduos são utilizados para cogeração de energia elétrica, fabricação de ração animal e fertilizante para as lavouras, havendo um aproveitamento praticamente completo da cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2010).

Assim, os produtos da cana, promovem o desenvolvimento econômico e ajudam de forma eficaz a suprir a necessidade de combustíveis limpos e renováveis no setor de transporte (UNICA, 2010).

2.2 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

A partir da crise energética da década de 1970 e das principais conferências sobre o meio ambiente, as questões sobre a eficiência da geração e do uso da energia foram intensificadas e ampliadas, considerando, principalmente, os seus impactos ambientais, buscando maior uso de fontes renováveis de energia, que possam contribuir para reduzir as emissões de CO₂. A Agenda 21 e o Protocolo de Quioto sugerem capacitação, educação e difusão do conhecimento técnico e científico, além da retomada da sustentabilidade, substituindo os combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia (LIMA; NATALENSE, 2010).

Neste sentido, a cana-de-açúcar tem mostrado grande eficiência, fazendo com que o Brasil e o mundo voltem suas atenções a essa cultura. A corrida de diversos países na busca de alternativas ao petróleo coloca o Brasil numa posição de vantagem, pois este apresenta as melhores condições de oferta de terra, clima e tecnologia para a produção de etanol em grande escala. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com mais de sete milhões de hectares plantados, com perspectiva de elevação da produção anual para um bilhão de toneladas, o que coloca o país na liderança mundial em tecnologia de produção de etanol. Isso se traduz pelos menores custos de produção de álcool e também de açúcar. No país, ela é plantada no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, o que permite dois períodos de safra (UNICA, 2010).

O mercado sucroenergético movimenta, atualmente, cerca de R\$ 40 bilhões por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a 2,35% do PIB brasileiro (EMBRAPA, 2010). Apenas na safra de 2010/11, o total de cana moída foi de, aproximadamente, 625 milhões de toneladas, com incremento de 10% em relação a safra 2009/10, o que corresponde a 62 milhões de toneladas a mais para moagem nesta safra. A produção de álcool foi de aproximadamente 28.500 bilhões de litros de álcool (CONAB, 2010), evidenciando a importância da cultura na economia do país.

No entanto, essa liderança e competitividade mundial não estão garantidas no médio e longo prazo, pois países como a Austrália e Tailândia têm custos de produção de açúcar não muito maiores e esse último país pode aumentar ainda mais sua produção total. Nesse sentido, Cortez (2010) aponta que, para continuar crescendo em condições competitivas, é imprescindível a realização de investimentos em pesquisas em todas as áreas do setor e enfatiza, ainda, a necessidade de maior conhecimento da cultura nesse novo sistema de produção de colheita sem despalha a fogo.

2.3 COLHEITA DA CANA SEM QUEIMA

A queima dos canaviais, antecedendo a colheita, é prática adotada nas diversas regiões canavieiras do Brasil e do mundo, com o objetivo de facilitar o corte e diminuir os acidentes de trabalho com os cortadores de cana. Essa prática está associada aos impactos ambientais, tais como: elevada emissão de gases na

atmosfera devido à queima; degradação dos solos e poluição dos centros urbanos. A recente tendência de adoção de práticas agrícolas que levem à maior sustentabilidade do sistema pressiona a agroindústria sucroalcooleira a rever seus processos, incluindo a colheita da cana sem queima prévia ou sem despalha a fogo. Assim, tanto nas áreas atuais como de expansão, esta tende a ser totalmente mecanizada, deixando a semimecanizada apenas para locais de grande inclinação e de difícil acesso para as colhedoras. E o artifício de pré-limpeza da cana com fogo deve ser completamente abolido nos próximos anos (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010)

Conforme acordo assinado em 2007 entre a UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar) e o governo do Estado de São Paulo, onde se concentra mais da metade da produção brasileira de cana-de-açúcar, o término da prática de colheita com queima deve ocorrer antes de 2014. Esses avanços estão fundamentados principalmente nas restrições impostas pela legislação de queima, falta de mão de obra, redução do custo em relação à colheita semimecanizada e à expansão do setor. Dessa forma, mais de 100 milhões de toneladas de palha estarão disponíveis nesse novo sistema, com tendência a elevar essa quantidade conforme se aumenta a colheita mecanizada no país (UNICA, 2010).

Além de contribuir para a diminuição da erosão, a manutenção da palha da cana-de-açúcar na superfície de plantações que adotam o sistema de colheita mecanizada – a chamada cana crua ou verde, contribui significativamente para a redução das emissões de carbono do solo para a atmosfera na forma de gás carbônico. Em experimento realizado ao longo de cinquenta dias em uma plantação que foi dividida em três áreas, sendo uma coberta por 50% de palha, a segunda por 100% do resíduo e a terceira sem palha, os pesquisadores observaram que as áreas cobertas por palha emitiram 400 quilos a menos de carbono (correspondente a quase 1,5 mil quilos de gás carbônico) do que as áreas onde a palha foi retirada. Uma das hipóteses do porquê a palha da cana-de-açúcar contribui para diminuir as emissões e reter o carbono do solo é que sua presença interfere nos ciclos de temperatura e umidade. Isso faz com que a temperatura no interior do solo caia e a umidade aumente, diminuindo a oxigenação e conservando a matéria orgânica no interior do solo (FAPESP, 2011).

É importante otimizar a palhada no solo, mas, também, conhecer qual a quantidade ideal para deixar sobre a soqueira a fim de utilizar o excedente

para etanol e cogeração de energia.

2.4 BIOETANOL

O relatório do Projeto Etanol, gerado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE/MCT), mostrou que o Brasil poderia produzir etanol suficiente para substituir 10% de toda a gasolina consumida no mundo em 2025. Para tanto, seria necessária uma produção de 205 bilhões de litros de etanol por ano. Para que um aumento desse porte na produção de etanol possa ser atingido, é preciso investir em ciência e tecnologia em todo o ciclo cana-de-açúcar. Um aumento expressivo na produção de etanol implica necessidade de um aumento substancial na produtividade do canavial em termos de litros por hectare (CTBE, 2011).

Existem diversos fatores que podem influenciar nesse aumento de produtividade, e um deles (talvez o mais expressivo) é a possibilidade de se utilizar toda a biomassa da cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de etanol, e não somente o caldo, como se faz atualmente. Estima-se que isso significaria um aumento na produção em 40% (LIMA; NATALENSE, 2010).

Dawson e Boophaty (2007) também ressaltam que o bagaço e a palhada de cana-de-açúcar, além de serem produzidos em grandes quantidades, apresentam-se como matéria-prima barata e prontamente disponível como fonte de biomassa lignocelulósica renovável. Grande esforço para a conversão do material lignocelulósico a etanol tem sido empreendido, na chamada segunda geração de etanol ou etanol celulósico. Essa conversão acontece em duas fases principais, que são a hidrólise a açúcares redutores fermentáveis e sua posterior fermentação em etanol. Além disso, pesquisas caminham para o desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar, que, além da sacarose, produzirão mais bagaço e mais palha, produzindo mais açúcar (energia) (SUNG CHENG, 2002).

Os três principais componentes da lignocelulose são a celulose, a hemicelulose e a lignina. A lignina é um polímero aromático que sela a celulose e a hemicelulose, conferindo ao material rigidez e resistência à umidade. A celulose e a hemicelulose são compostas por longas cadeias de moléculas de açúcar, que podem ser hidrolisadas para produzir monômeros. Alguns dos monômeros de açúcar, as hexoses, podem ser diretamente fermentados em etanol por leveduras

(LIMA; NATALENSE, 2010).

Neste contexto, a implantação de tecnologia para a utilização do bagaço e da palhada para produção de etanol parece ser irreversível. Quando o foco é o aumento de energia a partir da biomassa para substituição de combustíveis fósseis, com conseqüente redução de emissões de gases do efeito estufa, a utilização da palhada da cana-de-açúcar para geração de energia é apontada por Macedo (2005) como uma grande alternativa.

2.5 BIOELETRICIDADE

A palhada representa uma opção para aumentar a disponibilidade de biomassa para cogeração nas usinas. A maior parte das usinas brasileiras já iniciou um processo de otimização do balanço térmico das suas plantas industriais, com o objetivo de prepará-las para comercializar o excedente de energia elétrica cogerao. Quando o setor sucroalcooleiro alcançar toda a sua capacidade, poderá produzir 30 milhões de MWh/ano, o que representa 9% da energia gerada no Brasil em 2006 (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010).

Cada vez mais as empresas enxergam na geração de energia elétrica a partir da palha e do bagaço da cana uma alternativa sustentável de eliminar resíduos e atrair mais divisas. Das 438 usinas de cana existentes no Brasil, 129 já geram energia excedente para a venda em leilões públicos (UNICA, 2010).

Entre 2005 e 2010, o setor deu um salto na comercialização de energia. Passou do 1,1 milhão para 9,2 milhões de MWh, um acréscimo de 736% , o que corresponde a 3% do total da energia consumida no país, com a meta de atingir 15% do fornecimento de energia brasileira até 2020. O percentual significa, aproximadamente, 13.158 MW médio, o que equivale a três vezes a capacidade da polêmica usina hidrelétrica de Belo Monte, no Pará, a terceira maior do mundo, cuja garantia física instalada será de 4.571 MW médio, em 2019, quando estiver operando com capacidade total (CEISE, 2011).

A empresa Nova Fronteira Bioenergia anunciou investimento de 520 milhões em um projeto para transformar a Usina Boa Vista, no interior de Goiás, na maior produtora de etanol de cana-de-açúcar do mundo, além da produção de 600 mil MWh de energia elétrica excedente a partir do uso de palha e bagaço. A palha possui o dobro de capacidade de geração de energia, e, se utilizada para essa

finalidade, poderia acrescentar cerca de 50% no total de energia gerada pelo setor. Outra grande vantagem da bioeletricidade é servir como energia complementar à hidroeletricidade, nos meses de estiagem, de abril a novembro, quando os reservatórios costumam ficar com os níveis baixíssimos (UNICA, 2010).

Segundo Ripoli et al. (2000), uma tonelada de palhiço equivale a algo entre 1,2 e 2,8 EBP (equivalente barris de petróleo), sendo que, em 1 hectare de canavial, encontra-se entre 4 e 9 toneladas de palhiço (peso seco). Conseqüentemente, a não utilização desse palhiço significa desperdício energético.

Assim, com o conceito atual de “cana-energia”, onde se prevê uma forte expansão das áreas plantadas, fica em evidência a necessidade de estudos para que se aponte a quantidade adequada de palha que deve permanecer no campo, a fim de se obter o máximo benefício em termos agrônômicos ao solo e à cana-de-açúcar, e a quantidade de palha que pode ser disponibilizada para aproveitamento energético direto, uma vez que representa aproximadamente um terço da energia da cana-de-açúcar.

2.6 EFEITO DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR, PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA E QUALIDADE INDUSTRIAL (TECNOLÓGICA)

Após a colheita mecanizada, a palha que permanece sobre o solo forma uma densa camada de palhada, sendo a quantidade produzida dependente das características genéticas das variedades utilizadas, da idade e condições de cultivo.

Ripoli et al. (1991) e Abramo Filho et al. (1993) encontraram valores de 15 t ha^{-1} de resíduo (peso seco de palha e ponteiro) na variedade SP71-6163. Manechini (1997) estudou 3 variedades no estágio de 1º corte e idade de 16 meses, colhidas mecanicamente sem queima. Os resultados foram os seguintes para a palhada em peso seco: SP80-185 = $15,6 \text{ t ha}^{-1}$; SP79-1011 = $13,6 \text{ t ha}^{-1}$ e SP79-2233 = $15,0 \text{ t ha}^{-1}$. Figueiredo et al. (2002), pesquisando a variedade SP80-1842, 2º corte, também encontrou valores semelhantes de palhada remanescente da colheita da ordem de $14,75 \text{ t ha}^{-1}$ após o corte e $4,22 \text{ t ha}^{-1}$ no final do ciclo, um ano após a colheita. De maneira geral, esta camada de palhada pode atingir valores de 8 até 30 t ha^{-1} , oscilando em razão da variedade e idade do canavial (CHRISTOFFOLETI et al., 2007).

Esse “colchão” de palhada ocasiona mudanças nas condições químicas, físicas e biológicas do ambiente agrícola. Além disso, a manutenção da palhada de cana-de-açúcar sobre o solo também apresenta consequências sobre as infestações de pragas e doenças, de modo que frequentemente são descritas áreas com aumento na infestação de cigarrinha (*Mahanarva fimbriolata*), que se tem caracterizado como a principal praga em áreas de cana crua. Estes insetos são beneficiados pela maior manutenção de umidade junto ao solo, em decorrência do microclima criado pela palhada, podendo causar diminuição da produtividade final, conforme o nível de infestação (GUIMARÃES et al., 2008).

A brotação, a emergência e o crescimento das plantas também são influenciados pelas mudanças físico-químicas no ambiente de produção. Este fato ganha importância particular quando se considera que as variedades de cana-de-açúcar disponíveis atualmente foram desenvolvidas em sistema de cana queimada, de modo que cada variedade pode apresentar resposta diferente quanto à adaptabilidade às mudanças, não apenas em aspectos físicos, mas também quanto às particularidades do manejo (SOUZA et al., 2005a).

De modo geral, a brotação e o início do perfilhamento tendem a ser mais lentos sob a camada de palhada residual da colheita mecanizada do que na ausência desta. Isso se deve ao fato de que esse resíduo atua como barreira mecânica e, principalmente, como redutor da luminosidade para os primeiros perfilhos brotados, enquanto estes ainda estão sob a palhada, determinando redução do processo fotossintético inicial (VASCONCELOS, 2002). Existe também a possibilidade de que os compostos aleloquímicos liberados pela palhada, além de seus efeitos sobre as plantas daninhas, venham a causar intoxicação na própria cultura (VELINI; NEGRISOLI, 2000). Este fenômeno é conhecido como autoalelopatia. As variedades de cana respondem diferentemente à inibição causada pela palhada, na brotação e no perfilhamento inicial.

Tavares, Lima e Zonta (2010) avaliaram sistemas de preparo do solo e de colheita sobre o crescimento e a produtividade da cana planta, variedade SP79-1011. Os tratamentos consistiram em preparo convencional e cultivo mínimo em cana crua e cana queimada. Avaliaram o crescimento da cultura, o aporte de matéria orgânica e o rendimento da cana-de-açúcar. Concluíram que, com a manutenção da palhada na superfície, houve aumento no padrão de perfilhamento na fase intermediária e final da cultura, refutando a influência negativa da palhada na rebrota

e promovendo, ainda, maior altura aos 357 DAP. Após 16 anos de cultivo da cana-de-açúcar com e sem queima da palhada, os autores observaram maior produtividade de ponteiros, incrementando o rendimento dos colmos em cana crua.

Vasconcelos (2002), trabalhando com seis variedades e considerando as médias das segunda e terceira socas, constatou que a variedade IAC 86-2210 apresentou número estatisticamente igual de perfilhos em ambos os sistemas de colheita (crua mecanizada e queimada manual), a partir do primeiro bimestre após o corte. Contudo, a variedade RB 72-454 manteve em todo o ciclo de desenvolvimento maior número de perfilhos quando colhida após queima da palha. Esse mesmo autor salienta que a maioria das variedades apresenta menor perfilhamento sob palhada no início do desenvolvimento, mas iguala-se ao perfilhamento livre de palhada após alguns meses.

Quando a cana é colhida no início do inverno, a redução da temperatura do solo provocada pela palhada resulta em condição menos favorável à brotação das gemas. Timm (2002), estudando o efeito do manejo da palhada da cana-de-açúcar, verificou que a cobertura vegetal na superfície do solo reduziu as temperaturas médias na camada superficial do solo na ordem de 7 °C, evitando picos de temperatura na superfície durante o período inicial de estabelecimento da soqueira. A cobertura vegetal, contudo, afetou negativamente o desenvolvimento da cultura, reduzindo o número de colmos e seu peso úmido, em torno de 13%.

Porém, a palhada como cobertura representa também um importante papel de proteção ambiental, do ponto de vista de conservação do solo. A degradação dos solos pode ser considerada como um dos mais importantes problemas ambientais atuais. A erosão é uma das formas de degradação mais prejudiciais, uma vez que reduz, de forma irreversível, a capacidade produtiva das culturas, além de provocar assoreamento e poluição das fontes de água. As constantes evoluções genéticas das culturas somadas à adubação química mais intensa e controle de pragas mais eficiente, mascaram o impacto isolado da erosão e fazem com que ações mais efetivas não sejam promovidas para seu controle. A cobertura de palhada protege o solo em todas as fases do processo erosivo, pois absorve a energia cinética das gotas de chuva, diminui a velocidade do escoamento superficial e dificulta o deslocamento das partículas (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010).

Buzolin (1997) concluiu que a presença da palhada proporcionou o

aumento da disponibilidade do P_2O_5 no solo e, conseqüentemente, maiores teores de P_2O_5 no caldo. Com relação à decomposição da palhada, observou-se que a matéria seca passou de 11 a 13 t ha^{-1} no início para 4,0 a 4,4 t ha^{-1} no final do ciclo. A relação C/N foi alta do início ao final do ciclo, embora tenha ocorrido decréscimo ao longo do tempo e acréscimo dos valores dos elementos minerais, devido ao processo de decomposição: tendência de queda dos teores dos elementos minerais de uma soqueira para a soqueira subsequente. De acordo com Orlando Filho et al. (1998), após um ano de decomposição, são liberados para o solo 85% do K, 44% do Ca e 39% do Mg presentes na palhada de cana após a colheita mecanizada.

Abramo Filho et al. (1993) observaram que a variedade SP71-6163 apresentou produção de palhada de 15 t ha^{-1} ; desse valor, obtiveram a quantidade de nutrientes presentes, sendo: N = 0,48%, P = 0,04%, K = 0,37%, Ca = 0,24%, Mg = 0,11%, S = 0,08% e C = 37,55%. Manechini (1997) também quantificou os nutrientes presentes na palhada de três variedades deixada sobre o solo e encontrou em kg ha^{-1} : N (54,7), P (4,4), K (76,1), Ca (54,9), Mg (25,5) e S (15,1). Oliveira et al. (2003), estudando a contribuição da palhada da cana-de-açúcar no incremento de nutrientes no solo, obtiveram que a produção de matéria seca (15,6 a 18,5 t) teve acúmulo médio de N, K, Ca e Mg de 55; 130; 60 e 20 kg ha^{-1} , respectivamente. Resende et al. (2006) apontam que cerca de 10 t $ha^{-1} ano^{-1}$ de palhada, contém diversos nutrientes, dentre os quais se destacam N (40–60 kg ha^{-1}), S (15–30 kg ha^{-1}) e C (4.500 kg ha^{-1}), que entram no sistema e contribuem para a diminuição da adubação química.

Quanto ao pH do solo, foram observadas elevações com a adição de resíduos vegetais (FRANCHINI et al., 2001), decorrentes da complexação dos H^+ e Al^{3+} livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e do aumento da saturação da CTC do solo pelos Ca, Mg e K adicionados via resíduo vegetal, o que reduziria a acidez potencial e aumentaria a absorção de nutrientes.

Além dos efeitos favoráveis da presença da palhada não decomposta na superfície do solo, o material já decomposto também é benéfico. Em longo prazo, a decomposição da palhada aumenta os teores de matéria orgânica do solo, a qual tem um efeito condicionador de solo, pois, em função das suas características de estrutura orgânica, agrega as partículas, melhorando sua estrutura física.

Um dos efeitos mais significativos do aumento dos teores de matéria

orgânica no solo, proporcionado pela palhada, é o aumento da capacidade de troca cationica (CTC). Em linhas gerais, CTC é a capacidade que o solo possui de armazenar nutrientes para que esses sejam posteriormente utilizados pelas plantas. A maior parte dos solos brasileiros é pouco fértil e pobre em matéria orgânica. Assim, nesses solos, a principal forma de aumentar a capacidade de armazenamento de nutrientes é a partir do aumento da matéria orgânica.

Canellas et al. (2003) verificaram, na camada superficial do solo (0-0,20 m) que o teor de carbono variou de 13,13 g kg⁻¹, na cana queimada a 22,34 g kg⁻¹, durante um ciclo da cana crua, indicando a melhoria nos atributos químicos do solo com a colheita da cana crua, o que foi indicado também por Mendonza et al. (2000). Souza et al. (2005b) estudaram os efeitos da queima da cana-de-açúcar e da colheita mecanizada, com ou sem palhada, no solo. Encontraram maiores valores de matéria orgânica, estabilidade de agregados, macroporosidade e teor de água no solo e menores valores de resistência do solo à penetração e densidade do solo no sistema de cana crua sem incorporação da palhada em relação à cana queimada.

A proteção do solo conseguida com a presença de palhada em sua superfície tem um efeito igualmente positiva relacionada com a retenção de água. O uso sustentável dos recursos naturais significa reduzir e, no caso ideal, evitar o escoamento superficial, além de aumentar a eficiência da utilização da água e dos nutrientes. Estudos indicam redução na perda de água de, aproximadamente, 70% com o uso do plantio sob palhada (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010).

As maiores taxas de infiltração e retenção de água devido à palhada da cana-de-açúcar depositada sobre o solo tornam-se importante benefício para a cultura, uma vez que esta apresenta elevado consumo, necessitando de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca na planta. Maior retenção de água e de infiltração de água no solo, redução superior a 99% nas perdas de solo e 94% nas perdas de água, menores temperaturas máximas e flutuação térmica do solo, foram verificados por Freitas et al. (2004).

Rozeff (1995) ratifica às vantagens da cana crua em relação a retenção de umidade pela palhada, principalmente em locais com problemas de déficit hídrico, diminuindo a necessidade de irrigação e o maior conteúdo de açúcar nos colmos após a colheita, porque não ocorre perda por exsudação causada pela queimada, resultando em maior eficiência de cultivo. Andrade et al. (2002) também observou maior economia de água de irrigação em torno de 14%, no tratamento solo

coberto em relação ao sem palhada na superfície.

De um modo geral, em regiões canavieiras do Brasil e do mundo, onde a precipitação pluvial é pequena ou irregular, a presença da palhada sobre o solo também tem contribuído para elevar a produtividade da cana-de-açúcar (BALL-COELHO et al., 1993).

Em experimento conduzido por Aude et al. (1993), verificou-se que a cobertura do solo por palhada de cana-de-açúcar teve efeito negativo na produtividade da cultura. Entretanto, efeito positivo da presença de palhada, foi relatado por Wood (1991) em relação à solos com boa taxa de drenagem, ou em regiões com precipitação pluvial insuficiente ou irregular. Ball Coelho et al. (1993) observaram que a manutenção da palhada sobre o solo causou aumentos de 43% na produção de matéria seca da cana-de-açúcar. Oliveira, Urquiaga e Boddey (1995) avaliaram a produção de um canavial da segunda até a sétima soqueira, encontrando diferença de 24% a mais na produção da cana crua em relação à cana queimada. Gava et al. (2001) avaliaram o crescimento da cana-de-açúcar a campo, com e sem palhada, ao longo do ciclo. Observaram que o acúmulo de matéria seca na parte aérea, nos diferentes estádios de crescimento e na colheita final da soqueira de cana-de-açúcar, não é alterado pela cobertura da superfície do solo por palhada. Tais resultados estão de acordo com os obtidos por Alvarez (1998), que não encontrou diferenças entre o crescimento de cana-de-açúcar com ou sem a presença da palhada, em dois ciclos vegetativos.

Alvarez e Castro (1999) também compararam o crescimento, ao longo de dois ciclos, da variedade SP 701143, colhida crua, mecanizada; e após queima, colhida manualmente. Concluíram que o desenvolvimento no primeiro ciclo de crescimento foi semelhante para cana crua e cana queimada. No início do segundo ciclo de crescimento, ocorreu maior desenvolvimento em cana crua; enquanto que, no final, o desenvolvimento foi maior em cana queimada. O perfilhamento da cana crua não apresentou diferenças significativas que confirmem a influência negativa da palhada na rebrota no primeiro ano. Observaram também diminuição do diâmetro, em cana colhida crua no primeiro e segundo ano. Os autores argumentam que essa diminuição pode estar relacionada com a constatação de que, sob menor luminosidade, os colmos são mais finos, uma vez que entre cana crua e cana queimada, nos dois anos, houve maior auto sombreamento em cana queimada que em cana crua, conforme dados de índice de área foliar. Houve

diminuição da altura no segundo ano para a cana crua, o que é atribuído ao ataque de cigarrinhas, observado em campo, uma vez que não houve correlação entre a altura e parâmetros climatológicos, nas datas com diferenças significativas em altura, entre os tratamentos, o que evidencia a não correspondência desses itens entre si. Porém, observaram que a altura da cana crua foi menor, mas com maior presença de folhas e maior número de colmos.

Watanabe, Fioretto e Hermann (2004) avaliaram, em condição de campo, o efeito da palhada ($8,8 \text{ t ha}^{-1}$) na variedade RB 855536. Observaram que apesar de não ter havido diferença significativa para o rendimento agrícola, apenas a manutenção da palhada sobre solo propiciou ganhos de 10 t ha^{-1} em relação à área sem palhada. Por outro lado, Basanta et al. (2002) observaram que o rendimento de colmos no tratamento colheita sem queima foi inferior em 8% e 13% em relação ao tratamento com queima, para segundo e terceiro cortes, respectivamente.

Campanhão (2003) observou que a presença ou não da palhada não apresentou efeito na produtividade agroindustrial ($\text{t sacarose aparente ha}^{-1}$) da soqueira da cana-de-açúcar e que a pureza do caldo foi maior no tratamento com cana colhida sem queima. No entanto, Braga et al. (1997) observaram que em diferentes variedades de cana-de-açúcar colhida sem queima e na manual queimada a semelhança na qualidade do caldo da cana-de-açúcar. Souza et al. (2005a) avaliaram o comportamento de 18 variedades de cana-de-açúcar submetidas a três sistemas de manejo da palhada: i. não triturada e sem cultivo; ii. não triturada e com cultivo; e iii. triturada e com cultivo. Observaram que a escolha de variedades mais adaptadas à colheita sem queima pode influenciar positivamente a maior produção de colmos e a qualidade do caldo. Esses autores verificaram ainda, que a trituração da palhada nos tratamentos com uso do cultivo da entrelinha com escarificador não foi importante na produção e na qualidade de colmos das soqueiras da cana colhida sem queima. Por outro lado, comparando a queima da cultura da cana-de-açúcar com as técnicas de colheita mecanizada com ou sem incorporação da palhada, Souza et al. (2005b) observaram que a incorporação contribuiu para a maior produção de colmos, sendo que, o tratamento sem incorporação, não diferiu do manejo com queima.

Campos et al (2008) avaliaram a influência de três manejos da palha no perfilhamento, acúmulo de biomassa fresca e produtividade da cana-de-açúcar,

variedade SP 832847. Observaram efeitos negativos da palhada em área total sobre as três variáveis, com redução de cerca de 10% na produtividade. Resultados semelhantes foram encontrados por Campos (2010), que avaliaram o perfilhamento, o acúmulo de biomassa fresca e a produtividade da soqueira de cana-de-açúcar (var. RB 855453) em três sistemas de manejo da palhada: em área total; 33% do solo descoberto; e 66% do solo descoberto. Observaram que a adoção de sistemas de manejo da palhada, após colheita de cana-de-açúcar sem queima, influenciou o acúmulo de biomassa fresca e a produtividade da cultura. Concluíram, ainda, que a manutenção da palhada em área total, após colheita sem queima, prejudicou o desenvolvimento da soqueira, que apresentou menor biomassa de perfilhos e redução na produtividade em torno de 16%, quando comparada com o tratamento com maior porcentagem de solo descoberto. O tratamento com 33% do solo descoberto não diferiu dos demais.

Costa et al (2011) avaliaram o crescimento e a produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. Mensalmente, o número de plantas, a altura, o índice de área foliar e o diâmetro do colmo, foram verificados iniciando-se aos 30 dias após o corte (DAC). A qualidade da matéria prima, a matéria seca e a produtividade foram avaliadas aos 360 DAC, quando ocorreu a colheita. Esses autores concluíram que, sob as mesmas condições de solo e clima, há respostas diferentes, conforme a variedade. Apenas o máximo perfilhamento ocorreu aos 90 DAC para todas as variedades. Todas as demais variáveis analisadas diferiram entre si nos componentes avaliados, confirmando, assim, a necessidade de estudos de comportamento das variedades nos diversos ambientes de produção.

Para as características tecnológicas da cana-de-açúcar, Resende et al. (2006), concluíram que manutenção da palhada no sistema não afetou de forma consistente o teor de Brix, Pol, Fibra de cana-de-açúcar, embora tenham influenciado, de forma positiva, a produção de açúcar, com o ganho de produtividade.

Gava et al. (2001), apontam que as variações na produtividade da cana-de-açúcar, em função da presença de cobertura do solo por palhada, verificadas na literatura, possivelmente estão relacionadas ao tempo de implantação do sistema sem queima, às condições termoídricas de cada região, à compactação do solo e à variedade da cana-de-açúcar.

A análise das consequências do cultivo da cana crua e da queimada, sob o ponto de vista ecofisiológico, pode equacionar questões que vêm sendo levantadas e para as quais há ausência de informação na literatura. Pode-se presumir, em todo caso, que a restrição promovida pela palhada à perda de água por evaporação possa, especialmente em regiões sujeitas à acentuada deficiência hídrica, contribuir para diminuir a queda de produção de um ciclo para outro. Em contrapartida, para as variedades de cana mais sensíveis aos efeitos negativos do palhada sobre a brotação e o perfilhamento, é possível que esta contribua para acentuar essa queda de produção, reduzindo a longevidade, especialmente se for deixado em área total. A quantificação desses possíveis efeitos residuais positivos e negativos do palhada sobre a longevidade dos canaviais são questões a serem respondidas mediante pesquisas futuras (SALVI, 2006).

2.7 SISTEMA RADICULAR

Até meados do século passado, as raízes foram consideradas a “metade oculta” dos vegetais, com significativa escassez de resultados de pesquisa nesse tema em todo o mundo. As razões para essa carência de dados são historicamente explicáveis pelas dificuldades metodológicas, pela própria inacessibilidade ao sistema radicular como objeto de experimentação, pela sua complexidade tridimensional e por sua marcada variabilidade espacial e temporal. Durante muitos anos, o tempo gasto nas atividades de quantificação do sistema radicular e as incertezas quanto aos resultados, constituíram fortes desestímulos ao trabalho com raízes (ZONTA et al., 2006). Atualmente, existe consenso acerca da importância de estudos das raízes *in situ* para o manejo das lavouras.

A distribuição de raízes de cana-de-açúcar é similar à de outras gramíneas tropicais, com declínio exponencial de biomassa em função da profundidade. Também apresenta considerável variabilidade na sua distribuição, particularmente em resposta à irrigação e impedimentos ao crescimento radicular, como compactação do solo ou alta umidade (SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005).

O sistema radicular da cana-de-açúcar é muito amplo e bem desenvolvido, do tipo fasciculado (BEAUCLAIR; SCARPARI, 2007). Em plantações comerciais de cana-de-açúcar, que são propagadas assexuadamente, o

desenvolvimento do sistema radicular é iniciado logo após o plantio de uma porção de colmo (tolete) com, no mínimo, uma gema lateral. As primeiras raízes formadas são as raízes dos colmos (toletes), que emergem de uma região radicular do nó, localizada acima da cicatriz da bainha da folha no colmo. As raízes do tolete podem emergir dentro de 24 h do plantio, embora diferenças em tempo exigidas para a emergência de raízes ocorram para as cultivares. Estas são finas e altamente ramificadas, sustentando o crescimento da planta nas primeiras semanas após a germinação. O segundo tipo de raízes são as dos perfilhos, que emergem da base do novo perfilho 5 a 7 dias após o plantio. São mais grossas e pontiagudas que as do tolete, que continuam crescendo por um período de 6 a 15 dias após o plantio; a maioria senescendo e desaparecendo por volta de 60 a 90 dias, conforme o sistema radicular do perfilho se desenvolve e torna-se responsável pelo suprimento de água e nutrientes para o perfilho em desenvolvimento. Por volta de três meses, as raízes do tolete compreendem menos de 2% da massa seca da raízes (SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005).

Nos primeiros 0,30 a 0,40 m do perfil do solo, concentram-se as raízes superficiais ou fibrosas, que são bem ramificadas e extremamente absorventes. As raízes de fixação atingem profundidades maiores, ultrapassando facilmente 0,50 m de profundidade. Finalmente, atingindo profundidades frequentemente maiores do que 5 metros, estão as raízes-cordão, as quais são muito importantes na absorção de água, e justificam a exigência de solos profundos para o cultivo da cana-de-açúcar (DILLEWIJN, 1952).

Após o corte da cana, o sistema radicular mantém-se em atividade por determinado tempo, sendo depois substituído progressivamente pelos sistemas radiculares dos perfilhos da soqueira, em processo lento e gradual (LUCCHESI, 2001). As raízes da soqueira são mais superficiais que as da cana-planta, pelo fato de os perfilhos das soqueiras brotarem mais próximo da superfície. Pelo mesmo fato, quanto maior o número de cortes, mais superficial o sistema radicular das soqueiras (BACCHI, 1983). Segundo Alvarez, Castro e Nogueira (2000), isso se deve ao ciclo mais curto da soqueira, à brotação mais próxima à superfície, e à maior susceptibilidade das raízes de cana soca a condições adversas do solo causadas pelo tráfego. De acordo com Beauclair e Scarpari (2007), esse fato pode ser determinante na decisão de reforma de um canavial e pode ser afetado pelos métodos de preparo nos diferentes tipos de solo.

O crescimento das raízes responde ao ambiente do solo, criando plasticidade na forma e no tamanho do sistema radicular (SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005). O tamanho e a distribuição do sistema radicular são afetados pela distribuição e disponibilidade da água do solo, causando diferenças na capacidade das plantações em explorar recursos mais profundos do solo.

De acordo com Vasconcelos (2002), não existe uma forma “perfeita” de avaliar raízes, pois a adequação de um método para o estudo do sistema radicular depende das condições “in situ”, e os resultados podem variar de acordo com a cultura ou variedade estudada e o seu manejo, e com o tipo de solo e as condições físico-químicas.

É impossível obter altos rendimentos se as raízes não encontrarem as condições favoráveis para seu pleno desenvolvimento. Assim, a necessidade de obter lucro também justifica o estudo do enraizamento da cana-de-açúcar, que consiste numa atividade agroindustrial de grande expressão, onde a máxima eficiência exigida não permite deixar de fora o conhecimento de parte tão importante (AZEVEDO, 2008).

Assim, o conhecimento do comportamento do sistema radicular da cana-de-açúcar em determinados manejos, permite a utilização racional das técnicas agrônômicas, como: o sistema e o espaçamento de plantio; a aplicação dos fertilizantes; as operações de cultivo; a drenagem dos solos; os sistemas de irrigação; o controle da erosão; o uso de culturas intercalares, entre outros.

Segundo Vasconcelos (2002), a morte ou renovação do sistema radicular não seria devida ao corte da cana, mas sim à condição hídrica a que a cultura está submetida em determinado período de desenvolvimento. Este autor constatou que, da segunda quinzena de outubro de 1999 a janeiro de 2000, houve grande disponibilidade hídrica, que resultou em grande desenvolvimento radicular. Num período posterior, houve déficit hídrico, condição na qual as plantas não conseguiram manter a grande quantidade de raízes novas desenvolvidas durante o período anterior, resultando em morte de raízes. Segundo Aguiar (1978), as raízes superficiais são as primeiras a morrerem durante o período de estiagem, e são também as primeiras a se renovarem durante o período chuvoso. Faroni e Trivelin (2004) também chegaram as mesmas conclusões, quando avaliaram as raízes ativas em cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho distrófico e observaram que épocas de seca podem provocar mortalidade de raízes, ocorrendo renovação

parcial das raízes num mesmo ciclo da soqueira quando o solo volta a ter umidade suficiente. Quando não houve deficiência hídrica severa, observaram que a quantidade de raízes vivas e ativas aumentou com o passar do tempo, após a colheita. Dias (1997) estudou a interação de seis cultivares de cana-de-açúcar em diferentes ambientes (solo x clima) e constatou que, em solo eutrófico, com variação textural no perfil e com regime hídrico não limitante ao desenvolvimento das plantas, todos as cultivares estudadas expressaram plenamente seus potenciais genéticos. Entretanto, em solo álico, sem variação textural no perfil e com elevada drenagem que conduziu a regime hídrico limitante, os cultivares estiveram muito aquém de seu potencial genético de produtividade.

Diversos autores associaram a dinâmica de desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar à disponibilidade de água no solo (VASCONCELOS, 2002, SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005;). Neste sentido, a manutenção sobre o solo da palhada resultante da colheita mecanizada proporciona um microclima caracterizado por elevada umidade relativa, restringindo a perda de água do solo por evaporação. Desta forma, o solo sob palhada apresenta maior disponibilidade hídrica do que o solo descoberto, principalmente em épocas de baixa precipitação pluvial; por isso, variedades com diferentes capacidades de desenvolvimento radicular e tolerância à seca reagem distintamente a essas condições, e esses fatores interferem na absorção de nutrientes e têm grande influência no desenvolvimento do sistema radicular (VASCONCELOS, 2002). Portanto, quanto maior o déficit hídrico, mais favorável tende a ser a manutenção da palhada sobre o solo.

A temperatura do solo também influencia o desenvolvimento das raízes. Em manejos onde a palhada permanece sobre o solo, sua temperatura é menor e pode diferenciar a quantidade de raízes em relação aos manejos que resultam em solo descoberto (VASCONCELOS; GARCIA, 2005).

Vasconcelos (2002), estudando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita - crua mecanizada e queimada manual, observou redução da amplitude térmica do solo e aumento do teor de água e de matéria orgânica no solo, no sistema de colheita da cana crua mecanizada. Verificou ainda que o elevado tráfego de máquinas e veículos de transbordo causou aumento da densidade do solo até a profundidade de 0,40 m, e redução de sua porosidade total, que podem restringir o

desenvolvimento radicular das culturas. O mesmo autor, trabalhando com seis variedades de cana, encontrou grandes diferenças entre variedades quanto à quantidade e à uniformidade de distribuição de raízes. O sistema de colheita (crua mecanizada ou queimada manual) não interferiu nas segunda e terceira soqueiras no total de matéria seca de raízes, considerando-se a média das camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m de solo; porém, exclusivamente na camada de 0-0,20 m, constatou-se maior desenvolvimento radicular da cana colhida crua mecanicamente; diferença que o autor atribuiu à maior umidade do solo sob palhada no período seco, maior teor em cálcio proveniente da decomposição das palhadas na superfície do solo, e maior teor de matéria orgânica proveniente da atividade microbiológica.

De acordo com Ball-Coelho et al. (1992), aproximadamente, 50% da massa seca das raízes ficam nos primeiros 0,25 m de profundidade; e 90% nos primeiros 0,60 m. Segundo Câmara (1993), a cana planta em idade de corte apresenta cerca de 70% do sistema radicular concentrado nos primeiros 0,50 m do solo, constituídos por raízes tipicamente fibrosas. Na soqueira, entre 62% e 69% da matéria seca de raízes localizam-se nos primeiros 0,50 m, com 38% a 48% das raízes vivas nos primeiros 0,30 m (BALL-COELHO et al., 1992). Já Korndörfer, Primavesi e Deuber (1989) estudaram a distribuição dos sistemas radiculares de cana-planta e cana-soca (variedades SP70-1143, SP71-799, SP71-6163, NA56-79 e RB72-5828) em um Latossolo Vermelho Amarelo álico, observando que, em cana-planta, 89 a 92% das raízes se situaram nos primeiros 0,30 m, e, em cana-soca, 85 a 92% das raízes se situaram nos primeiros 0,40 m, não sendo observadas diferenças significativas entre as variedades.

Estudando o crescimento de raízes de cana colhida com queima e sem queima, até a profundidade de um metro, Alvarez, Castro e Nogueira (2000) verificaram que 75% das raízes de cana colhida sem queima situaram-se nos primeiros 0,40 m de profundidade do solo no primeiro ano de análise e 70% delas concentraram-se nessa profundidade na avaliação de segundo ano. Já para cana colhida queimada, os valores foram de 72% de raízes nos primeiros 0,40 m no primeiro ano e de 68% no segundo ano. Medina et al. (2002) encontraram resultados semelhantes, quando avaliaram o enraizamento da variedade RB 785148, em Latossolo Vermelho eutroférico, até a profundidade de 0,50 m. Verificaram maior concentração de raízes na camada de 0 a 0,25 m. Estes resultados assemelham-se

aos obtidos por Medina (1993) quando avaliou o enraizamento da cana-de-açúcar, variedade IAC 48580, em Terra Roxa Estruturada distrófica. Costa et al. (2007), em avaliação da distribuição radicular vertical em Latossolo Vermelho Amarelo, das cultivares RB83-5486 e RB83-5089, verificaram que os primeiros 0,18 m de profundidade mostraram maior comprimento de raízes. A redução no comprimento radicular foi acentuada, quando se passou da profundidade de 0 – 0,18 para 0,18 – 0,36 cm. Já nas maiores profundidades, a redução no comprimento radicular não foi acentuada. Em Nitossolo Vermelho eutrófico, as mesmas cultivares apresentaram redução acentuada no comprimento radicular nas camadas mais profundas, exibindo menores valores em relação àqueles encontrados no Latossolo Vermelho Amarelo, sobretudo para o cultivar RB83-5486.

A distribuição horizontal de raízes de cana-de-açúcar pode ser influenciada pela posição em que é aplicada a adubação de soqueiras e pelo efeito do tráfego de máquinas e implementos. O acúmulo de nutrientes em determinado local no solo pode proporcionar maior crescimento de raízes, devido à maior disponibilidade de nutrientes. O efeito do tráfego de máquinas e implementos pode ocasionar maior compactação em locais específicos, que apresentarão condições desfavoráveis ao desenvolvimento radicular. Como o tráfego ocorre principalmente nas entrelinhas, maior compactação e menor quantidade de raízes são esperadas nesse local. Trabalhos mostraram efeitos do tráfego de máquinas nas linhas de cana (Vasconcelos, 2002; Faroni, 2005). Faroni (2005) encontrou 65% da quantidade de raízes de cana-de-açúcar na projeção das linhas e somente 18% na distância de 0,14 a 0,42 m. Alvarez, Castro e Nogueira (2000) também observaram maior quantidade de raízes bem próxima às linhas de cana.

Vasconcelos (2002) menciona que a quantidade e a distribuição de raízes de cana-de-açúcar mudam ao longo do tempo, devido às alterações naturais no clima e no solo e à ação antrópica. Esse autor encontrou diferença entre cultivares quanto à distribuição de raízes em profundidade no perfil do solo, afirmando que a maior quantidade de raízes em camadas mais profundas é atribuída à tolerância ao alumínio existente em determinados cultivares. Segundo esse autor, as alterações do ambiente edáfico devidas à presença da palhada sobre o solo podem alterar a dinâmica de cálcio e alumínio, dois elementos que exercem grande efeito no desenvolvimento do sistema radicular.

Em relação às características radiculares que podem ser

mensuradas, pode-se obter o comprimento radicular (m ou km de raízes), que determina o potencial de absorção de água e nutrientes do solo; a massa radicular (g ou kg), que determina o estoque total de matéria subterrânea e nutriente alocados; o volume radicular (cm^3 ou m^3) que determina o volume de solo explorado pelas raízes; a área radicular (cm^2 ou m^2), que determina a absorção de água e nutrientes do solo; o diâmetro radicular (mm), em estudos com associação com microrganismos, regulação do estresse hídrico e indicador da influência e resposta das condições de manejo do solo do solo (ZONTA et al., 2006); e a densidade de comprimento (cm^3 de raízes por cm^3 de solo) (CHOPART et al., 2008).

Alvarez, Castro e Nogueira (2000) realizaram 19 amostragens de raízes de cana-de-açúcar, durante dois anos de avaliação, em Latossolo Vermelho distrófico. A massa seca de raízes foi utilizada como parâmetro de comparação entre cana crua e cana queimada. A metodologia utilizada foi a do trado cilíndrico, com amostragem até 1 m de profundidade. No primeiro ano, a média foi de 0,27 g de raízes cm^{-3} para cana crua e queimada; no segundo ano, as médias foram de 0,28 g cm^{-3} de solo para cana crua e 0,23 g cm^{-3} de solo para cana queimada. Ao analisar os resultados das várias épocas de avaliação, foi observado que não houve aumento da massa de raízes proporcional ao tempo, com a quantidade de raízes variando aleatoriamente. Os dados apresentaram grande variabilidade e, em apenas três estádios avaliados no segundo ano, foram verificadas diferenças estatísticas, com maior massa seca para a cana queimada colhida manualmente. Em mesmo tipo de solo, Vasconcelos et al. (2002) encontraram resultado semelhante, com mais massa de raízes em cana queimada.

Azevedo (2008) durante dois anos, estudou o enraizamento da cana-de-açúcar comparando quatro métodos de avaliação de raízes: Monólito, Trado, Parede do Perfil, contando-se as raízes com uma grade, com posterior transformação dos dados em comprimento, e Parede do Perfil, observando-se imagens digitais, e três sistemas de manejo: plantio convencional; cultivo mínimo; e plantio direto. Foram avaliadas oito profundidades de solo, divididas de 0,10 m em 0,10 m (0-0,6 e 1,6-1,8 m), e três distâncias horizontais a partir da linha (0-0,23, 0,23-0,46 e 0,46-0,69 m). Verificou que os manejos foram iguais quanto à produtividade, ao enraizamento, à densidade e à porosidade do solo, e que a cana-de-açúcar apresentou quantidade de raízes estatisticamente igual durante os dois ciclos, apresentando em $\text{cm} \text{ cm}^{-3}$ até 1,8 m de profundidade, enraizamento

considerável. A cana-de-açúcar manteve enraizamento constante, ao contrário do que aconteceu com a parte aérea. Os métodos para quantificar as raízes foram equivalentes, à exceção da Parede do Perfil analisada por imagens digitais, que subestimou o comprimento de raízes nas camadas mais profundas.

3 REFERÊNCIAS

- ALCOPAR. Histórico de produção no Paraná. Disponível em: <http://www.alcopar.org.br/estatisticas/hist_prod_pr.php>. Acesso em: 13 out. 2011.
- ABRAMO FILHO, J.; MATSUOCA, S.; SPERANDIO, M. L.; ARCHETI, L. L.; RODRIGUES, R. C. D. Resíduo de cana crua. **Açúcar e Álcool**, v.13, n.67, p. 23-25, 1993.
- AGUIAR, S.F. **Observações sobre sistema radicular de cana planta (*Saccharum spp*)**. Jaboticabal: UNESP, Faculdade de Ciências Agrária e Veterinárias, 1978. 24 p.
- ANDRADE, R. S.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; CARVALHO, J. A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.35-38, 2002.
- ALVAREZ, I. A. **Comparação entre o desenvolvimento de cana crua e cana queimada em dois ciclos de crescimento**. 1998. 116 p. Dissertação (Mestrado) Piracicaba: Esalq, 1998.
- ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R.C. Crescimento da parte aérea de cana crua e queimada. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p. 1069-1079, 1999.
- ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.4, p. 653-659, 2000.
- AUDE, M. I. S.; MARCHEZAN, E.; DARIVA, T.; PIGNATARO, I. H. B. Manejo do palhicho da cana-de-açúcar: 1. Efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agrônômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.23, n.3, p.281-286, 1993.
- AZEVEDO, M. C. B. **Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar**. 2008. 101 p. Tese (Doutorado) Londrina: UEL, 2008.
- AZEVEDO, M. C. B.; CHOPART, J. L.; MEDINA, C. C. Sugarcane root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. **Sci. agric.** (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v.68, n.1, feb. 2011.
- BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.1004-1008, 1993.
- BASANTA, M. V. et al. Eficiência do uso de nitrogênio em relação ao manejo dos resíduos da cultura de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL – STAB, 8., 2002, Recife. **Anais....** Recife: STAB, 2002. p. 268-275.

BEAUCLAIR, E.G.F. de; SCARPARI, M.S. Noções fitotécnicas. In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: T. C. C. Ripoli, 2007. p. 65-73.

BLAIR, G.J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A.M.; BALL COELHO, B.; LARSEN, P.; TIESSEN, H. Soil carbon changes resulting from sugarcane trash management at two locations in Queensland, Australia, and in North-East Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.873-882, 1998.

BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research**, v.55, p.183-191, 2000.

BRAGA JÚNIOR, R.L.C. et al. Comparação entre métodos de colheita em ensaios de competição de variedades – mecânica sem queimar versus manual queimada. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA COPERSUCAR. 7., 1997. Piracicaba-SP. **Anais...**Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997. p.301-308.

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Avaliação tecnológica da mecanização da cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2010. p. 451-475.

BUZOLIN, P.R.S. **Efeitos da palha residual da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar**. 1997. 89 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1997.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 31-64.

CAMPANHÃO, J.L. **Manejo da soqueira da cana-de-açúcar submetida à queima acidental da palhada remanescente da colheita mecanizada**. 2003. 76 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2003.

CAMPOS, L. H. F.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; FORTES, C.; SILVA, J. S. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar (Var. SP83-2847) submetida a três manejos da palhada. **STAB**, v.26, n.6, p. 33-36, 2008.

CAMPOS, L. H. F. Sistemas de manejo da palhada influenciam acúmulo de biomassa e produtividade da cana-de-açúcar (var. RB855453). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, n.2, p. 345-350, 2010

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.

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

CEISE (Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucreenergético e Biocombustíveis). Usinas podem produzir novos 1.000 MW/ano de bioeletricidade. Disponível em: <<http://www.ceisebr.com/site/index.php/conteudo/visualizar/usinas-podem-produzir-novos-1.000-mwano-de-bioeletricidade>>. Acesso em: 05 out. 2011.

CTBE (Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol). Pesquisa de bioetanol ganha impulso com centro de pesquisa. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/comunicacao/exibir_clipping.php?chave=55>. Acesso em: 22 set. 2011.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CARVALHO, S. J. P.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E.; SILVA, J. E. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, v.26, n.3, p. 383-389, 2007.

CONAB. SAFRA 2010. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1_cana_10.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2010

CORTEZ, L. A. B. Etanol: um produto estratégico para o Brasil. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2010. p. 3-15.

COSTA, M. C. G.; MAZZA, J. A.; VITTI, G. C.; JORGE, L. A. C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos (1). **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.31. p.1503-1514, 2007.

COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D. T. R. G.; GONÇALVES, E. R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.3, p. 56-63, 2011.

DAWSON, L.; BOOPATHY, R. Use of post-harvest sugarcane residue for ethanol production. **Bioresource Technology**, v.98, p. 1695-1699, 2007.

DIAS, F.L.F. **Relação entre produtividade, clima, solos e variedades de cana de-açúcar, na região noroeste do Estado de São Paulo**. 1997. 61p. Dissertação (Mestrado) Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997.

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

EMBRAPA. Desempenho do setor sucroalcooleiro. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Desempenho_setor_sucroalcooleiro_000fl13u81y02wyiv80isprrhq47k6p.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2010.

FAPESP. The impact of tillage and harvest practices on soil CO₂ emission of sugarcane production areas, southern Brazil. Disponível em: <http://www.fapesp.br/pfpmcg/pfpmcg_scala.pdf>. Acessado em: 10 ago. 2011.

FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar pela técnica da diluição isotópica com ^{15}N . In: **FERTIBIO 2004**, Lages. Lages: SBCS; UDESC, 2004. 1 CD-ROM.

FARONI, C.E. **Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado) Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

FIGUEIREDO, P.A M et al.,. Rendimentos de colmos e açúcar e decomposição dos restos culturais da colheita mecanizada de cana crua, variedade SP80-1842, segunda soca, em função da aplicação da vinhaça, complementação nitrogenada e biológica. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, 8, Recife, 2002. **Anais...** Recife: STAB, 2002, p. 611-616.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, v.231, p. 55-63, 2001

FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.85-91, 2004.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.11, p. 1347-1354, 2001.

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

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GLÓRIA, N. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes pelos resíduos da colheita de cana-de-açúcar, colhida sem queimar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.19, n.1, p.30-33, 2000.

GUIMARÃES, E. R.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; FERRO, M. I. T.; RAVANELI, G. C.; SILVA, J. A. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia Agrícola**, v.65, n.6, p. 628-633, 2008.

HERMANN, E.R. **Desempenho vegetativo e produtivo de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a doses de calcário e de gesso**. 1997. 72 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

INPE. MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=2172>. Acesso 10 jun. 2010.

- KORNDÖRFER, G.H.; PRIMAVESI, O.; DEUBER, R. Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo LVA. Boletim Técnico **Copersucar**, Piracicaba, n.47, p. 32-36, 1989.
- LIMA, M. A. P.; NATALENSE, A. P. P. Necessidade de pesquisa básica para cana e etanol. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar** P&D para produtividade e sustentabilidade. 1 ed. São Paulo: Blusher, 2010. p. 150-170.
- LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de culturas extrativas**: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.
- MANECHINI, C. Manejo agrônomo da cana crua. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA – COPERSUCAR, 7, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar. 1997. p.307-327.
- MEDINA, C. C. **Estudo da aplicação de gesso, calcário e vinhaça na produção e enraizamento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp)**. 1993. 175 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Botucatu: UNESP, 1993.
- MEDINA, C. C.; NEVES, C. S. V. J.; FONSECA, C. B. F.; TORRETI, A. F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v.23, n.2, p. 179-184, 2002.
- MELLO IVO, W.M.P, SANTOS, J.R.; SANTIAGO, A.D.; PEREIRA, R.S.; SILVA, W.C.. Produção de palhada da cana-de-açúcar, em áreas de colheita de cana crua e queimada nos tabuleiros costeiros de Alagoas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 16. Aracaju, SE. **Anais...** Aracaju, SE: SBCS, 2006. CD-ROM.
- MENDONZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.201-207, 2000.
- OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.S.; BODDEY, R.M. La quema de la caña: efectos a largo plazo. **International Sugar Journal**, v.97, p.384-387, 1995.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P. C. O; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999.
- OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P.; MENDES, L. C.; DAMASCENO, C. M.; Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **STAB**, Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v.21, n.3, p. 30-31, 2003.
- ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja doutor do seu canavial. **Informações Agronômicas**, v.67, p.1-16, 1994.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; MURAOKA, T.; ZOTELLI, B. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. **STAB**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v.16, n.6, p. 30-33, jul./ago. 1998.

RESENTE, A. S. et al. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, p. 937-941, 2006.

RIPOLI, T.C.; MOLINA JUNIOR, W.F.; STUPIELLO, J.P.; NOGUEIRA, M.C.; SACCOMANO, J.B. Potencial energetico de residuos de cosecha de la caña verde. **STAB** Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.10, n.1, p. 22-28, 1991.

RIPOLI, T. C. et al. Energy potential of sugarcane biomass in Brasil. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p. 677-681, 2000.

ROZEFF, N. Harvest comparisons of green andburned sugarcane in Texas. **International Sugar Journal**, v.97, p.501-506, 1995.

SALVI, J.V. **Qualidade do corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2006. 89 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2006.

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

SOUZA, Z. M.; PAIXÃO, A. C. S.; PRADO, R. M.; CESARIN, L.G.; SOUZA, S.R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, v.35, n.5, p. 1062-1068, 2005a.

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

SUNG, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource Technology**, v.83, p.1-11, 2002.

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.32, n.1, p. 61-68, 2010.

TIMM, LUÍS CARLOS. **Efeito do manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. 2002. 115 p. Tese (doutorado) Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUÊS, J.C.S.; VICTORIA, R.L.;REICHARDT, K. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da quamônia- 15 N e uréia- 15 N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.89-99, 1996.

UNICA. Sustentabilidade. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode={5780707A-57AE-40F0-B180-C324A69D45B1}>>. Acesso em: 18 mai. 2010.

UNICA. Qual a expansão prevista para o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil nos próximos anos? Disponível em: <<http://www.unica.com.br/FAQ/>>. Acesso em: 15 out. 2011.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Jaboticabal: Faculdade de Ciências agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2002.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Cana-de-açúcar: ambientes de produção. Encarte técnico **POTAFOS** – Informações técnicas, Piracicaba, n.110, 2005. 32p.

VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Londrina: SBCPD, 2000. p. 148-165.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed) Nutrição mineral das plantas. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2006. p. 7-52.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; HERMANN, E. R. Propriedades químicas do solo e produtividade da cana-de-açúcar em função da adição da palhada de colheita, calcário e vinhaça em superfície (sem mobilização). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.25, n.2, p. 93-100, 2004.

WOOD, A.W. Management of crops residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil & Till. Res.**, v.20, p. 69-85, 1991.

4 ARTIGO A

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SISTEMA SOB
PALHADA**

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SISTEMA SOB PALHADA

4.1 RESUMO

As restrições ambientais, a falta de mão de obra e a busca por maior eficiência induzem a mecanização da colheita de cana-de-açúcar, fazendo com que grande quantidade de palhada esteja disponível nesse novo sistema. Há benefícios ao solo e à cultura proporcionado por esse resíduo. Entretanto, não foi abordado qual quantidade seria suficiente para promovê-los e qual quantidade poderia ser utilizada em outros setores, como cogeração de energia e bioetanol. O objetivo do trabalho foi avaliar a quantidade mínima de palhada a ser mantida no campo de forma a otimizar a produtividade da cana-de-açúcar. O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho eutroférico, em agosto de 2010. Foram avaliados, na variedade SP80 1816, o efeito de seis tratamentos (0, 25%, 50%, 75%, 100% e cana-queimada) sobre o IAF, número, diâmetro e comprimento dos colmos, peso verde, características tecnológicas (Pol, Brix, pureza aparente, fibra, AR e ATR), em quatro períodos: 60, 180, 270 e 350 dias após o plantio (DAP). Foi verificado, também, ao final do ciclo, a taxa de decomposição da palhada para cada tratamento. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey. Entretanto, resultado positivo foi observado para IAF e número de colmos aos 180 e 270 DAP e comprimento e peso dos colmos aos 270 e 350 DAP, refutando a influência negativa da palhada no desenvolvimento da cultura. A dose 50% promoveu os mesmos benefícios que as doses 75 e 100%, em todas as variáveis analisadas, sendo a quantidade ideal para se manter à campo. A retirada da palhada ou a aplicação da dose 25% foi prejudicial à cultura, uma vez que esta apresentou o menores médias em relação aos demais tratamentos. Houve maior taxa de decomposição com o aumento da quantidade de palhada, com valores de 80% para a dose 100% e 53% para a menor dose, 25%.

Palavras-chave: Resíduo agrícola. Cana crua. Palha de cana. Biomassa. Produção tecnológica.

ABSTRACT

Due to environmental constraints, lack of manpower and better efficiency, the harvesting of sugar cane tends to be mechanized, causing large amount of straw is available in this new system. Several authors have reported the benefits to soil and culture provided by this residue. However, it was discussed what amount would be sufficient to promote these benefits and how much could be used in other sectors, such as cogeneration and bioethanol. The objective of this study was to evaluate the minimum amount of straw in the field to be maintained in order to optimize the productivity of cane sugar. The experiment was installed in a soil classified as Oxisol. We evaluated the effect of six treatments (0, 25%, 50%, 75%, 100% and and cane burned) of the IAF, number, diameter and length of stems, green weight, technological characteristics (Pol, Brix, purity, fiber, AR and ATR) in four periods: 60, 180, 270 and 350 days after planting (DAP). It was also verified at the end of the cycle, the rate of decomposition of straw for each treatment. The results were subjected to analysis of variance and means were compared by F test There was a

higher rate of decomposition increased as the amount of straw, and reached 80% to 100% dose and 53% to 25% lower dose. There was no significant effect of straw for diameter of stems and technological characteristics, in any study period. However, positive results were observed for LAI and number of stems at 180 and 270 DAP. In length and weight of the stems 270 and 350 DAP, refuting the negative influence of straw on the development of culture. At the doses 50, 75 and 100% of the highest average straw occurred and did not differ for almost all variables that were significant. The dose 50% promoted the same benefits as the doses 75 and 100% in almost all variables, with the perfect amount to keep the field. The removal of trash, or the application 25% of the dose was detrimental to culture, since it had the lowest performance in relation to other treatments.

Key – words: Agricultural waste. Raw cane. Sugarcane straw. Biomass. production technology

4.2 INTRODUÇÃO

As principais áreas produtoras de cana-de-açúcar no Brasil já adotaram o sistema de colheita mecanizada, sendo que essa prática tende a aumentar tanto nas áreas atuais quanto nas de expansão, deixando a colheita semimecanizada apenas para locais de grande inclinação e de difícil acesso para as colhedoras. O artifício de pré-limpeza da cana com fogo deve ser completamente abolido nos próximos anos (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010).

Grande volume de palhada é produzido nesse novo sistema (UNICA, 2011); estima-se que a safra de 2011/2012 produziu mais de 130 milhões de toneladas de palhada, permanecendo no campo de 8 a 30 t ha⁻¹, oscilando em razão da variedade e da idade do canavial (CHRISTOFFOLETI et al., 2007).

A palhada pode ser utilizada na cogeração de energia, uma vez que possui o dobro de eficiência energética que o bagaço. Ambos poderão produzir o equivalente a 15% da energia gerada no Brasil, até 2020 (CEISE, 2011). Além disso, pode ser empregada como matéria prima para a produção do bioetanol. Estima-se que sua utilização, juntamente com o bagaço, produziria aumento na produção de etanol da ordem de 40% (LIMA; NATALENSE, 2010).

Dessa maneira há uma preocupação em se determinar qual a quantidade mínima de palhada que deve permanecer no campo, a fim de proporcionar maior produtividade da cultura e proteção ao solo.

Esse “colchão” de palhada que permanece no solo, ocasiona mudanças nas condições químicas, físicas e biológicas do ambiente agrícola, tais

como: aumento da umidade (fator considerado muito importante principalmente em locais com deficit hídrico), elevação dos teores de matéria orgânica, alterações na fertilidade e na temperatura, maior eficiência no controle da erosão, alteração na incidência de luz na superfície do solo, irregularidade de brotação sob palhada com possível queda da produtividade de variedades suscetíveis ao palhada (SILVA; COSTA; MARTINS, 2003; CHRISTOFFOLETI et al., 2007; CAVENAGHI et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2008).

Os benefícios obtidos com a palhada em superfície foram relatados por diversos autores, embora não tenha sido abordado qual quantidade seria suficiente para se obter essas melhorias. A quantificação da dose mínima de palhada a promover esses benefícios constitui importante informação, uma vez que pode ajudar na determinação da quantidade a permanecer a campo, para maior benefício da cultura e o quanto pode ser aproveitado em outros setores como cogeração de energia e produção de bioetanol, obtendo-se assim, a máxima eficiência na produção de energia obtida da cana-de-açúcar.

É importante salientar que, além das contribuições na fertilidade dos solos já descritas (BUZOLIN, 1997, FRANCHINI et al., 2001, RESENDE et al., 2006), a palhada como cobertura representa também um importante papel de proteção ambiental, do ponto de vista de conservação do solo. A degradação dos solos pode ser considerada como um dos mais importantes problemas ambientais atuais. A erosão é uma das formas de degradação mais prejudiciais, uma vez que reduz, de forma irreversível, a capacidade produtiva das culturas, além de provocar assoreamento e poluição das fontes de água. As constantes evoluções genéticas das culturas somadas à adubação química mais intensa e controle de pragas mais eficiente, mascaram o impacto isolado da erosão e fazem com que ações mais efetivas não sejam promovidas para seu controle. Segundo Braunbeck e Magalhães (2010), a cobertura de palhada protege o solo em todas as fases do processo erosivo, pois absorve a energia cinética das gotas de chuva, diminui a velocidade do escoamento superficial e dificulta o deslocamento das partículas. Assim, manutenção da palhada em superfície, constitui um manejo de grande importância quando se busca a sustentabilidade do sistema solo.

Considerando esses aspectos, o objetivo desse trabalho foi avaliar a quantidade mínima de palhada a ser mantida no campo de forma a otimizar a produtividade da cana-de-açúcar.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1 Caracterização da Área e Condições Climáticas

O ensaio foi conduzido na Usina de Açúcar e Alcool Bandeirantes, localizada no município de Bandeirantes, à latitude de 23°06' S, 50°21' W e altitude de 440m. O clima predominante na região, baseado na classificação climática de Koeppen, é do tipo Cfa, com precipitações médias anuais de 1.300 mm, média de 30 mm no mês mais seco.

O solo é classificado como um Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2006).

Os resultados das análises químicas do solo encontram-se na Tabela 4.1. Segundo Tomé Júnior (1997), o solo fértil, com boas condições nutricionais, apresenta as seguintes saturações: de 3 a 5% de K; de 10 a 15% de Mg e de 50 a 70% de Ca. Observa-se que, até a profundidade de 0,60 m, os teores de Ca e Mg estão próximos da faixa considerada adequada para esses nutrientes.

O K apresentou saturação elevada (acima de 20%). Por outro lado, pode se considerar que pelo fato desse nutriente não se ligar a nenhum constituinte orgânico, é facilmente lixiviado, e, em ocasiões de chuva, sua concentração tenderá a baixar, alcançando a faixa adequada. De maneira geral, pode-se observar que o solo, não apresentou nenhum impedimento químico para o crescimento das raízes.

O teor de matéria orgânica apresentou-se médio, na camada de 0 – 0,10 e 0,40 – 0,50 e elevado nas camadas de 0,10 a 0,40 m de profundidade. A matéria orgânica, embora represente, em média, de 5% dos componentes sólidos, é responsável por cerca de 30% a 65% da CTC dos solos minerais, e mais de 50% da CTC de solos arenosos e orgânicos (MATOS et. al., 1994).

O fósforo apresentou teor médio (camadas 0 - 0,10 e 0,40 – 0,60 m) e alto (camadas 0,10 a 0,30 m), não apresentando restrição em nenhuma profundidade avaliada.

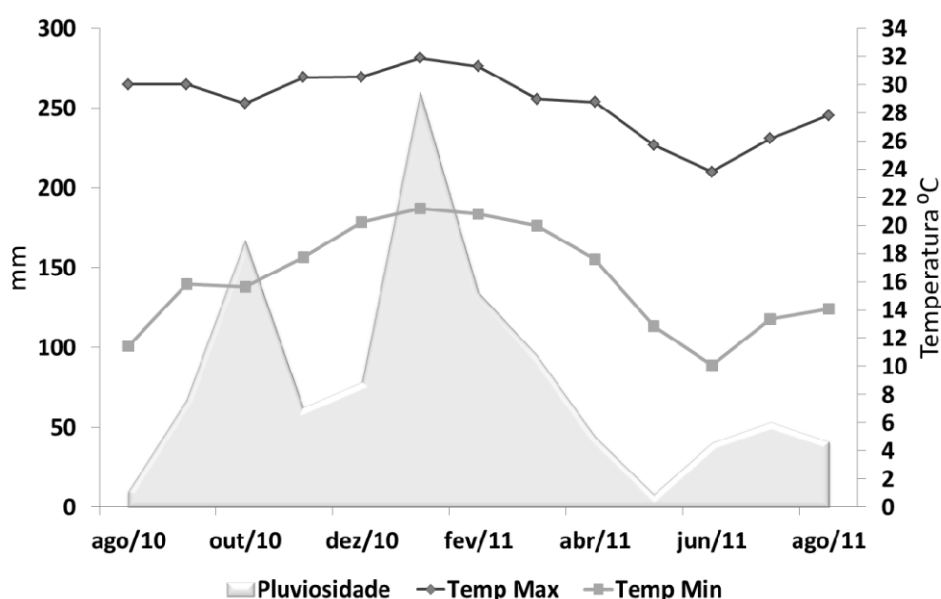
De acordo com a análise química da área, não houve necessidade de adubação química; apenas foi aplicada torta de filtro na quantidade de 70 t ha⁻¹. Nos anos anteriores era aplicada também vinhaça na dose de 150 m³.

As condições climáticas ocorridas durante o período experimental estão apresentadas nas figuras 4.2 e 4.3.

Tabela 4.1 – Resultado de análises químicas de solo, nas profundidades de 0 a 0,60 m. Agosto de 2010, Bandeirantes – PR, 2010.

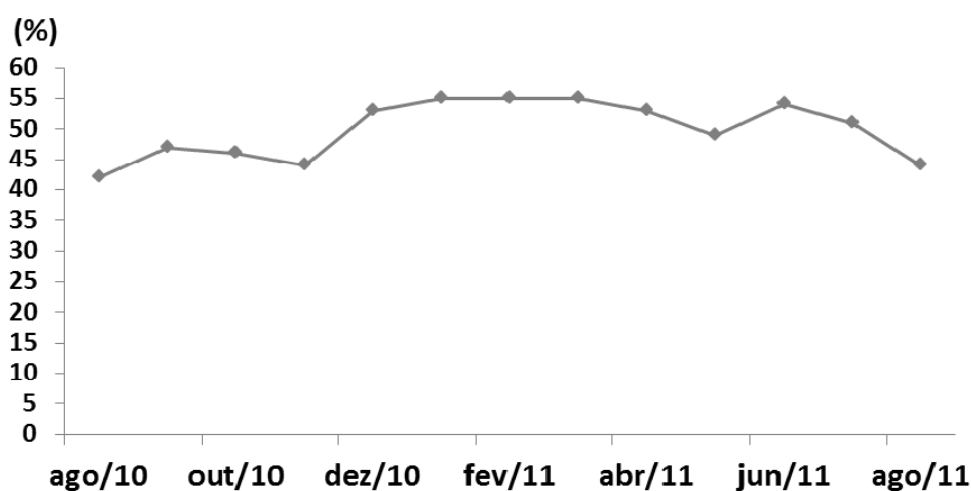
Prof. (m)	M.O g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	% Saturação			Bases
										Ca	Mg	K	
Cmol _c dm ⁻³													
0 – 0,10	26,8	5,4	8,6	2,50	7,8	1,7	3,1	12,0	15,1	51,6	11,2	16,5	79,4
0,10 – 0,20	41,6	5,9	71,3	3,60	7,9	1,9	2,9	13,4	16,3	48,5	11,7	22,1	82,3
0,20 – 0,30	34,9	6,1	31,0	3,70	8,0	2,1	3,0	13,8	16,8	47,6	12,5	22,0	82,1
0,30 – 0,40	30,9	6,2	5,1	4,60	8,1	2,1	2,2	14,8	17,0	47,6	12,3	27,0	86,9
0,40 – 0,50	37,6	6,3	9,0	4,20	7,3	2,0	2,4	13,5	15,9	45,8	12,6	26,4	84,8
0,50 – 0,60	28,2	6,3	5,3	3,20	6,1	2,1	2,4	11,4	13,8	44,2	15,2	23,1	82,7

Figura 4.1 – Nível pluviométrico (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) durante o período experimental.



Fonte: IAPAR, Bandeirantes – Pr.

Figura 4.2 – Umidade relativa do ar durante o período experimental.



Fonte: IAPAR, Bandeirantes – Pr.

4.3.2 Instalação e Condução do Ensaio

O experimento foi instalado em agosto de 2010.

Foram avaliados seis tratamentos: 0, 25% (5 t ha^{-1}), 50% (10 t ha^{-1}), 75% (15 t ha^{-1}), 100% (20 t ha^{-1}) de palhada, e mais um adicional com cana queimada (onde 100% da palhada foi queimada). As análises de parte aérea foram realizadas em 2 m lineares em uma linha e quatro repetições por tratamento.

O estudo foi conduzido durante um ciclo da cultura (1º ano) – cana-planta.

Cada parcela foi constituída de 10 linhas de cana-de-açúcar, com 10 metros de comprimento (10 linhas x 10 m), totalizando 100 m lineares e espaçamento de 1,5 m entrelinhas. A parcela útil considerada para a coleta dos dados foi composta de 6 fileiras centrais de 9 metros lineares, totalizando 54 metros lineares, deixando-se 0,50 m de cada extremidade e as 2 linhas laterais como bordadura. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com quatro repetições.

4.3.3 Tratos Culturais

A área onde se instalou o experimento é cultivada com cana-de-açúcar há 65 anos. Nesse período, foi empregado o método de colheita manual com despalha a fogo. Há um ano a usina tem empregado em algumas áreas a colheita mecanizada, sendo utilizada essa técnica também no local de pesquisa.

Os tratos culturais realizados antes do plantio foram: 1 gradagem pesada e 1 gradagem leve.

4.3.4 Variedade e Produção de Palhada

A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi a SP 80-1816, uma das variedades mais difundidas no centro sul do Brasil, por apresentar bom perfilhamento e regular fechamento de entrelinhas; alta produtividade agrícola; maturação precoce; alto teor de sacarose; baixo teor de fibra; tombamento ausente; florescimento e chochamento ausentes (FERNANDES, 1991).

A palhada utilizada nos tratamentos foi retirado de outro local, após colheita mecanizada, onde foram demarcadas parcelas com as mesmas medidas da área experimental. A quantidade de palhada produzida por essa variedade foi estimada a partir da pesagem da matéria seca de palhada contida em cada parcela, no local de origem de coleta da palhada. A palhada foi distribuída uniformemente, no local experimental, logo após o plantio, conforme a porcentagem de cada tratamento.

A porcentagem de decomposição foi avaliada em seis repetições

aleatórias, por tratamento, através da pesagem da palhada contida em 1 m², no início e no final do ciclo, após secagem em estufa até peso constante.

4.3.5 Produção Agrícola

4.3.5.1 Estudos de crescimento e produtividade

Foram colhidos 2 m lineares para análise, aos 60, 180, 270 dias após o plantio (DAP) e no momento da colheita (350 DAP). Nestas coletas, foram avaliadas as seguintes características: número de folhas, índice de área foliar, peso dos colmos verdes, número de colmos, comprimento e diâmetro médio de colmos. Aos 350 DAP, a obtenção do peso verde foi realizada através da coleta total da área útil das parcelas.

4.3.5.2 Número de folhas e índice de área foliar

O número médio de folhas verdes por perfilho, foi determinado por meio da contagem das folhas totalmente expandidas, com o mínimo de 20% de área verde, a partir da folha +1 (HERMANN; CÂMARA, 1999), em 2 m lineares.

O Índice de Área Foliar foi determinado através da coleta da folha TVD (top visible dewlap). A leitura foi realizada através de medidor de área foliar de bancada, marca LI - COR modelo LI 3100, cedido pelo IAPAR.

$$IAF = \frac{ATP}{AF}$$

ATP = área do terreno sombreada pela cultura;

AF = área foliar total das plantas

A área foliar por perfilho (AF) foi calculada por meio da contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições nas folhas +3, sendo obtidos desta forma, o comprimento e a largura da folha na porção mediana, segundo metodologia descrita por Hermann e Câmara (1999).

4.3.5.3 Número, comprimento, diâmetro e massa verde de colmos

Para a determinação do número de colmos por hectare, foram contados os colmos de 2 m lineares de cada parcela, sendo, então, 4 repetições por tratamento.

O comprimento (m) e o diâmetro (cm) médios dos colmos foram obtidos com auxílio de fita métrica e paquímetro, a partir da amostragem de 2 m lineares de cada parcela.

A massa verde foi obtida através da pesagem dos colmos dos 2 m lineares por parcela. Ao final do ciclo, realizou-se a coleta e pesagem dos colmos das 6 linhas centrais de 9 m de comprimento, deixando 0,50 m de cada extremidade como bordadura.

4.3.6 Produção Industrial

Ao final do ciclo, foram retirados 10 colmos de cada parcela para análises das características tecnológicas.

A qualidade tecnológica – Brix, Pol, fibra, pureza aparente e açúcares totais recuperáveis (ATR), foram determinadas neste material no momento da colheita.

4.3.6.1 Brix

No caldo extraído pela prensa, foi determinado o Brix (porcentagem de sólidos solúveis, em peso), sendo o valor final expresso à 20 °C.

Esse parâmetro é o mais utilizado na indústria de açúcar e álcool. Expressa a porcentagem peso/peso dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose, ou seja, mede o teor de sacarose na solução (FERNANDES et al., 2003).

4.3.6.2 Pol

A leitura sacarimétrica do caldo foi determinada em sacarímetro digital, automático, com resolução de 0,01 °Z (um centésimo de grau de açúcar) e

calibrado a 20 °C. A Pol do caldo (S) (porcentagem de sacarose aparente, em peso), foi calculada pela seguinte equação (CONSECANA, 2006).

$$S = LPol \times (0,2605 - 0,0009882 \times B)$$

LPol = leitura sacarimétrica do caldo clarificado com subacetato de chumbo;

B = Brix do caldo;

4.3.6.3 Teor de fibra

O teor de fibra foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Caldas (1998) e por Consecana (2003). O método consiste em calcular o teor de fibra da cana em porcentagem, pela equação

$$F = \frac{100 \times RS - RU \times B}{5 \times (100 - B)}$$

Onde:

F = fibra (%)

RU = peso do resíduo úmido

RS = peso do resíduo seco

B = Brix do caldo extraído com 1 minuto de prensagem a 250 kgf cm⁻²

4.3.6.4 Açúcares totais recuperáveis (ATR)

O açúcar total recuperável (ATR) na cana foi calculado pela equação abaixo e seu resultado expresso em kg Mg⁻¹, seguindo a metodologia descrita pela Consecana (2003).

$$ATR = 9,26288 \times Pol_{cana} + (8,8 \times AR_{cana})$$

Onde:

ATR = (kg de açúcar/ Mg de cana)

Pol cana = (%)

AR cana = (g 100 ml⁻¹)

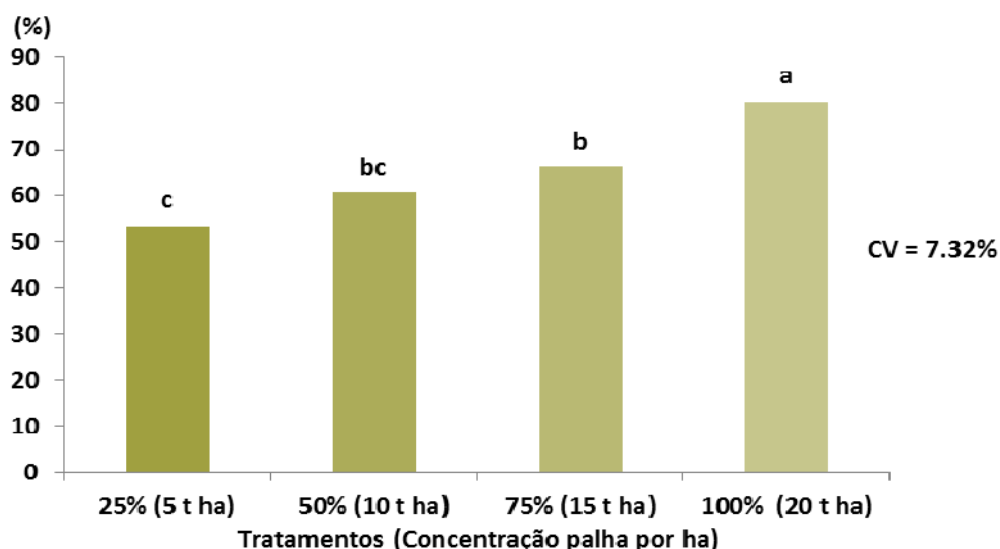
4.3.7 Análise estatística

A análise de variância ($\alpha = 0,01$ e $0,05$) foi realizada utilizando delineamento em blocos casualizados, com parcelas subdivididas no tempo e as médias comparadas pelo teste Tukey.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

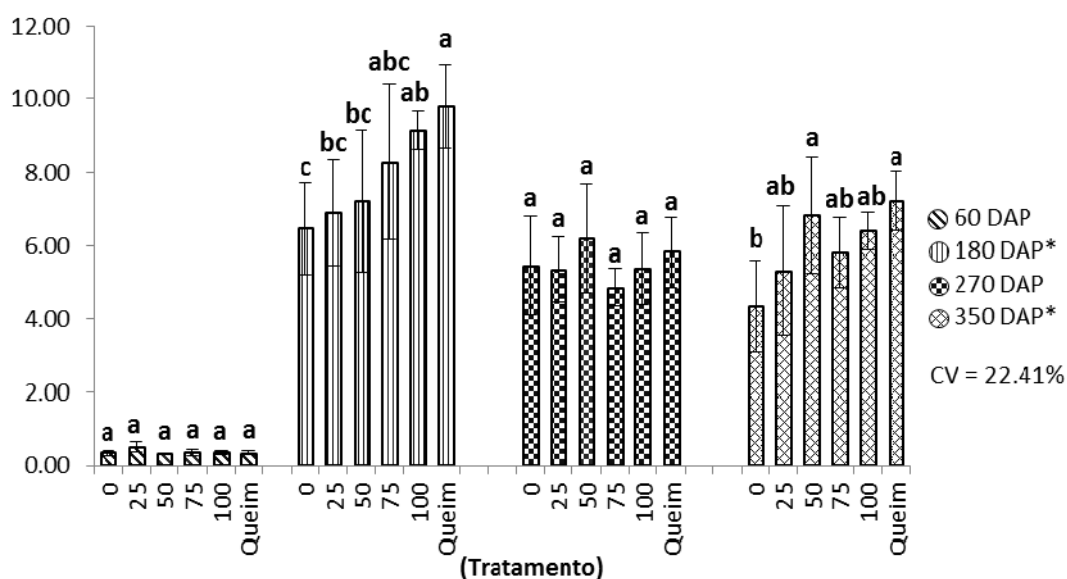
A produção média de palhada, avaliada no seu local de origem, foi de 20 t ha⁻¹. Na Figura 4.3 encontra-se a porcentagem de decomposição da palhada após um ciclo da cultura (350 dias). Pode-se observar que maiores valores foram obtidos para a dose 75 e 100% (15 e 20 t ha⁻¹, respectivamente) de palhada, passando de 20 para 3,9 t ha⁻¹, alcançando uma taxa de decomposição na ordem de 80%. Nota-se, ainda, que os menores tratamentos 25 e 50% de palhada (5 e 10 t ha⁻¹) foram as que apresentaram menores taxas de decomposição, 53 e 61%, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo fato de que a presença da palhada em superfície, proporciona maior estabilidade do microclima do solo, principalmente nas camadas superficiais, favorecendo a manutenção do ciclo hídrico e de nutrientes, que contribui com microbiota do solo, principalmente em períodos com déficit hídrico (FREITAS et al., 2004). Assim, quanto maior a quantidade de palhada no solo, maior a umidade nela retida, criando um microclima que favorece a proliferação de fungos e a decomposição mais rápida desse material (GLÓRIA et al., 2000). Oliveira et al., (1999), em sistema sob irrigação, também verificam redução de 80% na massa da palhada seca, após pesagem no início e após 11 meses a campo, confirmando os resultados obtidos neste trabalho.

Figura 4.3 – Taxa de decomposição da palhada, para os tratamentos 25% (5 t ha⁻¹), 50% (10 t ha⁻¹), 75% (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada, no final do ciclo da cultura, p<0,01. Agosto de 2011.



Na Figura 4.4, observa-se que houve efeito da palhada no índice de área foliar (IAF) aos 180 e 350 DAP. O maior desenvolvimento ocorreu aos 180 DAP, com posterior declínio. Nesse período de maior desenvolvimento da cultura, o tratamento cana queimada teve maior média e diferiu dos tratamentos com 0, 25 e 50% de palhada. O tratamento com 100% diferiu do tratamento com 0% de palhada, apresentando maior média. Aos 350 DAP, o tratamento com cana queimada e 100% de palhada diferiram apenas do tratamento com 0%.

Figura 4.4 – Índice de Área Foliar aos 60, 180, 270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50 (10 t ha⁻¹), 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01.



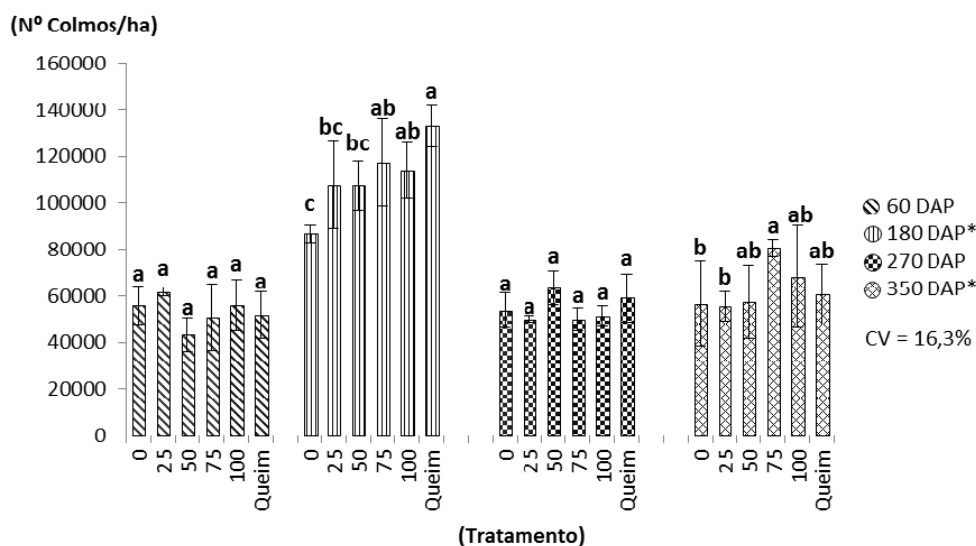
Estes resultados concordam com os de Ido (2003) e Oliveira et al. (2007), que apontam o maior crescimento da parte área de cana-de-açúcar nos meses de janeiro a março, devido às adequadas condições de temperatura e precipitação pluviométrica. Farias et al. (2007) também verificaram que a cultura passa por uma fase de declínio em termos de IAF máximo, após os 180 dias em cana soca. Ramesh (2000) relata que, passada a fase de intenso crescimento, a cultura diminui o gasto de energia na produção de folhas verdes. Nesse período de máximo desenvolvimento, os maiores valores observados estiveram entre 8 e 10. Para Chang (1968), o valor do IAF ideal deve situar-se entre 9 e 12 e, segundo Leme et al. (1984), maiores valores durante o ciclo de desenvolvimento estariam relacionados com a maior produção final de colmos, uma vez que a folha é a estrutura responsável pela produção da maior parte dos carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

Os valores relativamente baixos de IAF aos 60 DAP, são devido às condições climáticas desfavoráveis enfrentadas no período inicial de desenvolvimento da cultura, conforme pode ser observado nas Figuras 4.1 e 4.2.

Houve efeito positivo da palhada na produção de colmos (Figura 4.5) nos mesmos períodos ocorridos para o IAF (180 e 350 DAP). Os tratamentos 75, 100% de palhada e cana queimada diferiram do tratamento com 0% de palhada, apresentando as maiores médias, aos 180 DAP. Aos 350 DAP, o tratamentos com

75% de palhada apresentou maior média, diferindo do tratamento com 0 e 25% de palhada, não evidenciando a influência negativa da palhada na brotação. Tavares, Lima e Zonta, (2010) avaliando os efeitos da cana crua e queimada, concluíram que, com a manutenção da palhada na superfície, houve aumento no número de colmos, corroborando com o presente trabalho. Alvarez e Castro (1999) compararam o crescimento, ao longo de dois ciclos de cana-de-açúcar, variedade SP 70–1143 colhida crua mecanizada e após queima colhida manualmente, e também não verificaram resultado negativo da palhada no número de colmos.

Figura 4.5 – Número de colmos produzidos aos 60, 180, 270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50 (10 t ha⁻¹), 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. $p < 0,01$.



Não houve efeito dos tratamentos no diâmetro dos colmos (Figura 4.6), em nenhum período avaliado. Entretanto, maior comprimento (Figura 4.7) foi observado no período de colheita (350 DAP), para os tratamentos com 50, 75 e 100% de palhada, que não diferiram entre si, concordando com os resultados obtidos por Alvarez e Castro (1999), que também compararam o crescimento, ao longo de dois ciclos de cana variedade SP 70 –1143, colhida crua, mecanizada, e de cana após queima, colhida manualmente, não encontrando diferenças significativas. Contudo, esses autores não verificaram diferença em relação à altura dos colmos, divergindo do presente trabalho.

Figura 4.6 – Diâmetro médio de colmos aos 60,180, 270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50 (10 t ha⁻¹), 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01.

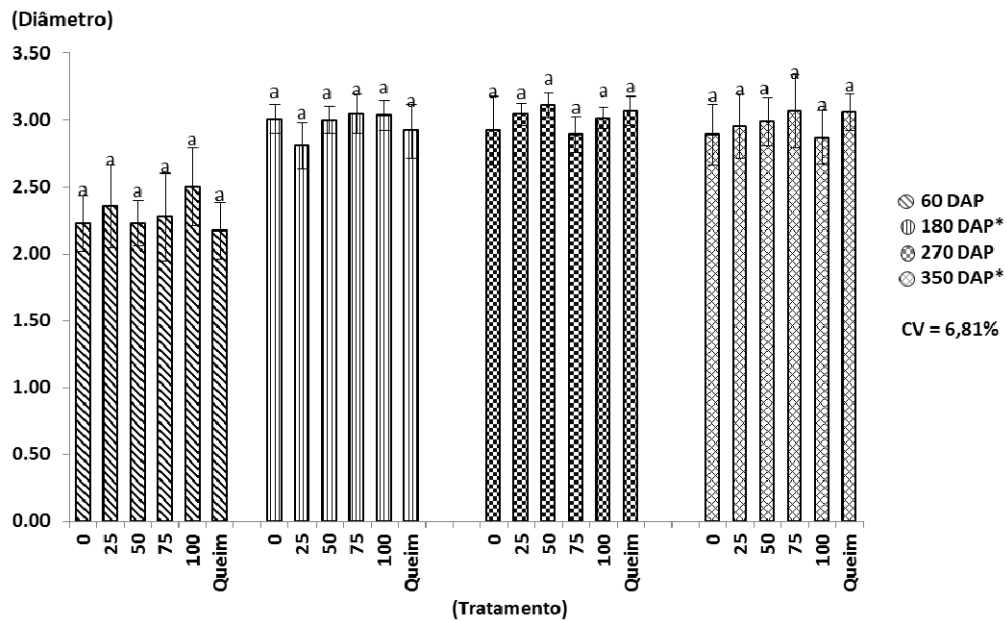
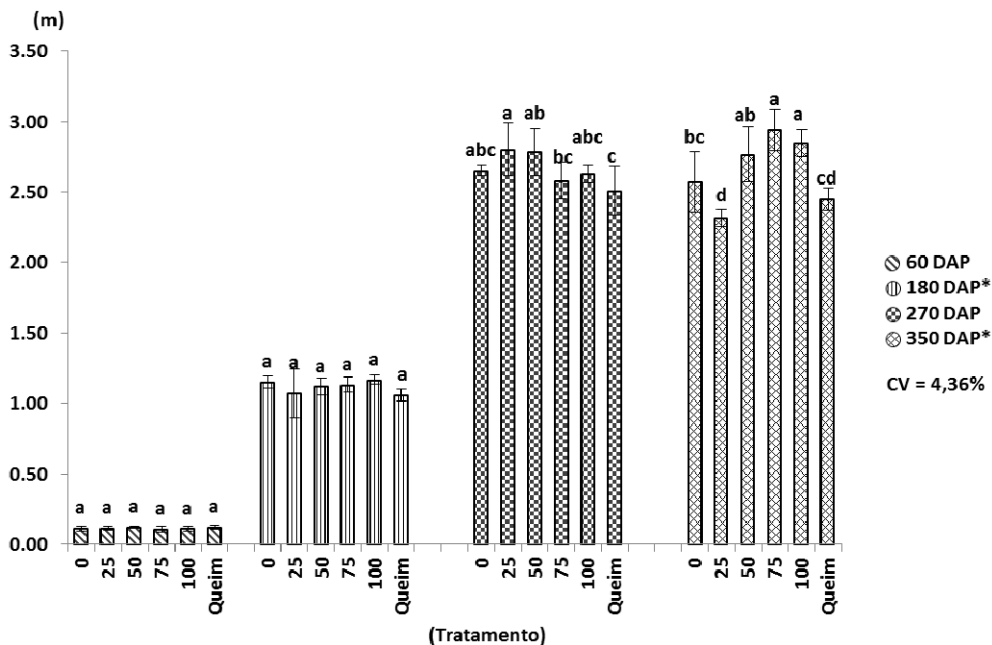


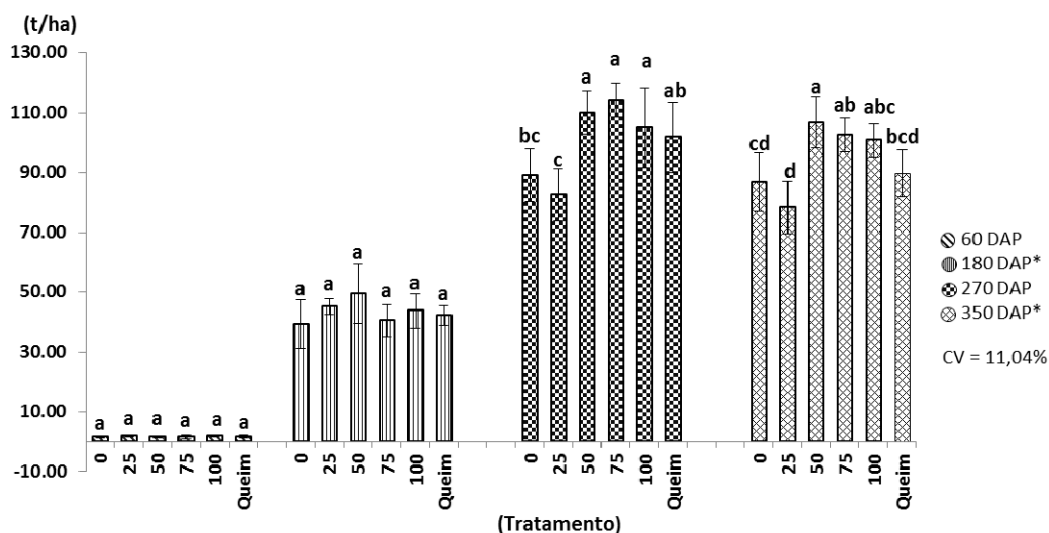
Figura 4.7 – Comprimento médio de colmos aos 60,180, 270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50 (10 t ha⁻¹), 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01.



Os tratamentos com 50, 75, 100% de palhada e queimada não diferiram entre si e proporcionaram aumento médio na TCH (tonelada de cana por hectare) (Figura 4.8), na ordem de 23 t ha⁻¹ em relação ao tratamento com 0 e 25% de palhada (108 e 85 TCH, respectivamente), aos 270 DAP. Aos 350 DAP, na

colheita, os tratamentos com 50, 75 e 100% tiveram as maiores médias, com ganhos de 22 t ha⁻¹ no peso verde em comparação aos tratamentos com 0 e 25% de palhada (104 e 82 TCH, respectivamente). Watanabe, Fioretto e Hermann (2004) avaliaram, em condição de campo, o efeito da palhada (8,8 t ha⁻¹) na variedade RB 85-5536. Observaram que, apesar de não ter havido diferença significativa para o rendimento agrícola, apenas a manutenção da palhada sobre solo propiciou ganhos de 10 t ha⁻¹ em relação à área sem palhada.

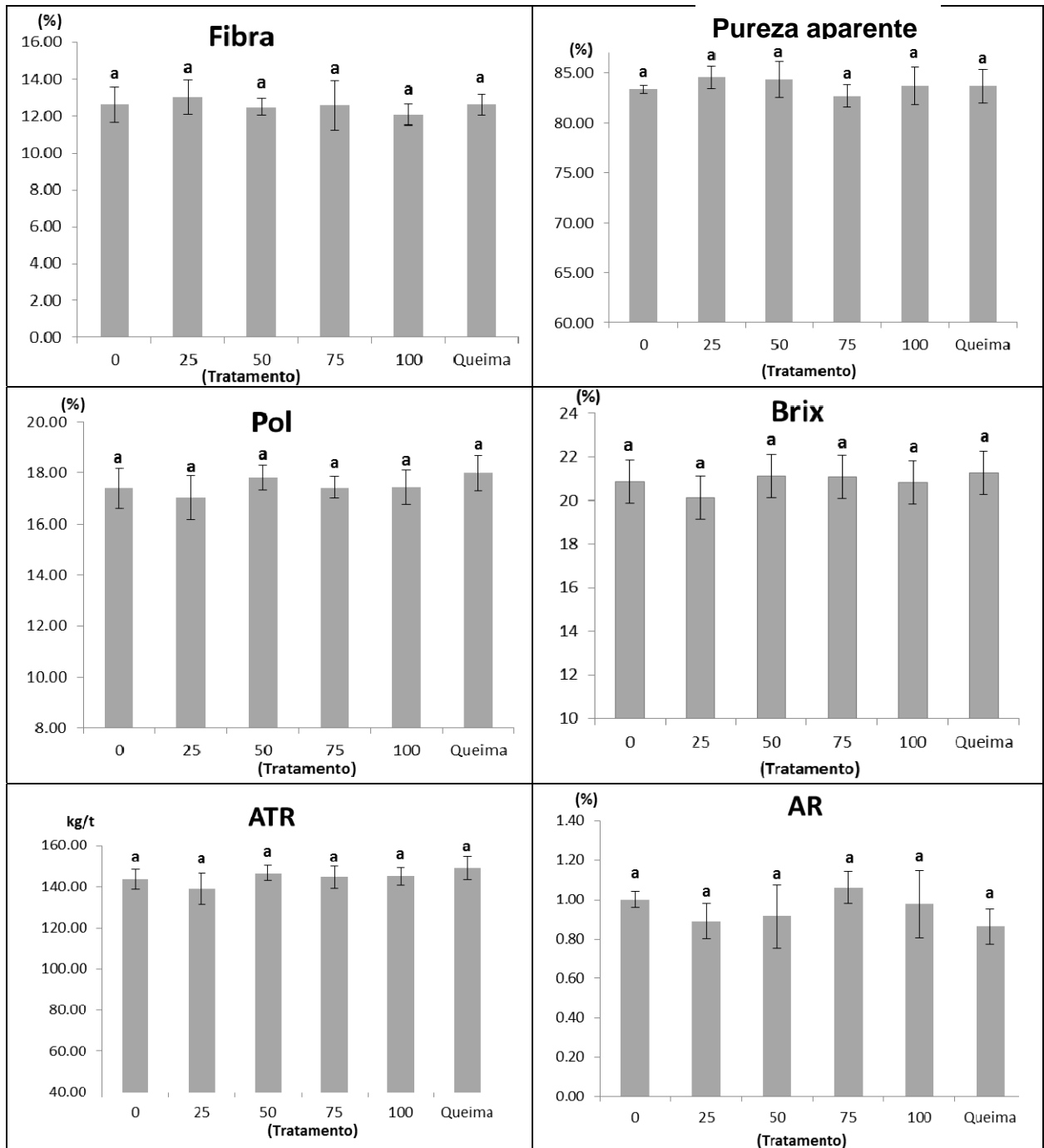
Figura 4.8 – Peso verde aos 60, 180, 270 e 350 DAP, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹), 50 (10 t ha⁻¹), 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01. p<0,01.



Pode-se inferir, então, que os maiores valores obtidos para os componentes IAF, número e peso de colmos (Figuras 4.2, 4.5 e 4.8, respectivamente) não estariam ligados à maior umidade ou menor temperatura que a palhada proporciona (VASCONCELOS, 2002), mas, provavelmente, à liberação de nutrientes, uma vez que o tratamento com cana queimada, além de não diferir das médias com 75 e 100% de palhada, ainda apresentou média ligeiramente maior para o IAF (180 e 350 DAP) e produção de colmos (350 DAP). Na queima da palhada ocorre volatilização do N e S, respectivamente na forma de N₂ e SO₂. O restante dos nutrientes permanecem nas cinzas, que podem ser facilmente perdidos pelo vento, ou arrastados pelo escoamento. A porcentagem média de aproveitamento dos macronutrientes após a queima é de: N = 50 a 60%, P₂O₅ = 20 a 30% e K₂O = 57 a 67% (EMBRAPA, 2012).

As características tecnológicas (fibra, pureza, brix, Pol, AR e ATR) foram estatisticamente iguais para todos os tratamentos (Figura 4.9). Esse resultado pode ser devido ao período avaliado de apenas um ciclo. Campanhão (2003) também observou que a presença ou não da palhada, durante um ciclo da cultura, não apresentou efeito na qualidade tecnológica (t sacarose aparente ha^{-1}) da soqueira da cana-de-açúcar. Semelhantemente, Resende et al. (2006) concluíram que manutenção da palhada no sistema não afetou de forma consistente os teores de Brix, Pol, Fibra de cana-de-açúcar, embora tenha influenciado, de forma positiva a produção de açúcar com o ganho de produtividade, concordando com os resultados obtidos nesse trabalho.

Figura 4.9 – Fibra, Pureza Aparente, Pol, Brix, AR e ATR, obtidos no período de colheita, para os tratamentos 0, 25 (5 t ha⁻¹) 50, (10 t ha⁻¹) 75 (15 t ha⁻¹) e 100% (20 t ha⁻¹) de palhada e queimada. p<0,01. Agosto de 2011.



4.5 CONCLUSÕES

- Para as condições do ensaio, conclui-se que:
- Quanto maior a porcentagem de palhada maior a sua taxa de degradação.
- A manutenção de palhada em superfície não é prejudicial ao desenvolvimento da cultura.
- A retirada total da palhada ou a manutenção de 25% da palhada resultam em menor produtividade.
- A manutenção de 50% da palhada em superfície é suficiente para melhoria da produtividade.
- Pode-se retirar 50% da palhada sem prejuízos à cultura.
- As características tecnológicas não são afetadas pela palhada.

4.6 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R.C. Crescimento da parte aérea de cana crua e queimada. **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.1069-1079, 1999.

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Avaliação tecnológica da mecanização da cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2010. p.451-475.

BUZOLIN, P.R.S. **Efeitos da palha residual da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar**. 1997. 89 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1997.

CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras**. Maceió: Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas, 1998. 423 p.

CAVENAGHI, A. L.; ROSSI, C. V. S.; NEGRISOLI, E.; COSTA, E. A. D.; VELINI, E. D.; TOLEDO, R. E. B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v.25, n.4, p. 831-837, 2007.

CEISE (Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroenergético e Biocombustíveis). Usinas podem produzir novos 1.000 MW/ano de bioeletricidade. Disponível em: <<http://www.ceisebr.com/site/index.php/conteudo/visualizar/usinas-podem-produzir-novos-1.000-mwano-de-bioeletricidade>>. Acesso em: 05 out. 2011.

CHANG, J. **Climate and agriculture**: in ecological survey. Chicago: Aldine, 1968, p.304.

CONSECANA. Manual de Intruções. 5 ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar . **Açúcar e Álcool** do Estado de São Paulo, 2006. 111p.

CONSECANA. Manual de instruções. 4. ed. Piracicaba, 2003. 115 p.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CARVALHO, S. J. P.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E.; SILVA, J. E. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, v.26, n.3, p. 383-389, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2012.

FARIAS, C. H. A. et al. Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na paraíba. **Revista Caatinga (Mossoró,Brasil)**, v.20, n.4, p.45-55, 2007.

FERNANDES, A. C. Terceira geração de variedades de cana-de-açúcar. São Paulo: **Copersucar**, 1991. 27 p. (Boletim técnico).

FERNANDES, A.M. et al. Composição químico-bromatológica de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp* L.) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.4, p.977-985, 2003.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, v.231, p. 55-63, 2001

FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.85-91, 2004.

GLÓRIA, N. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes pelos resíduos da colheita de cana-de-açúcar, colhida sem queimar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.19, n.1, p.30-33, 2000.

GUIMARÃES, E. R.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; FERRO, M. I. T.; RAVANELI, G. C.; SILVA, J. A. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia Agrícola**, v.65, n.6, p. 628-633, 2008.

HERMANN, E.R. & G.M.S. Câmara. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB**, v.17, p. 32-34, 1999.

IDO, O.T. **Desenvolvimento radicial e caulinar, de três variedades de cana-de-açúcar, em Rizotron, em dois substratos**. 2003. 141 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2003.

LEME, E. J. A; MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. **Cadernos Planalsucar**, v.2, p. 3-22, 1984.

LIMA, M. A. P.; NATALENSE, A. P. P. Necessidade de pesquisa básica para cana e etanol. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar P&D para produtividade e sustentabilidade**. 1 ed. São Paulo: Blusher, 2010. p. 150-170.

MATOS, A.T.; FONTES, M.P.F.; JORDÃO, C.P. & COSTA, L.M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.379-386,1996.

MENDONZA et al. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.24, n.1, , p. 201-207, 2000.

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

OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P.; MENDES, L. C.; DAMASCENO, C. M.; Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.21, n.3, p. 30-31, 2003.

OLIVEIRA, R.A. et al. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.2, p. 71-76, 2007.

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

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.185, n.2, p. 83-89, 2000.

SILVA, J. R. V.; COSTA, N. V.; MARTINS, D. Efeito da palhada de cultivares de cana-de-açúcar na emergência de *Cyperus rotundus*. **Planta Daninha**, v.21, n.3, p. 375-380, 2003.

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.32, n.1, p.61-68, 2010.

TOMÉ JÚNIOR, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

UNICA. Qual a expansão prevista para o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil nos próximos anos? Disponível em: <<http://www.unica.com.br/FAQ/>>. Acesso em: 15 out. 2011.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; HERMANN, E. R. Propriedades químicas do solo e produtividade da cana-de-açúcar em função da adição da palhada de colheita, calcário e vinhaça em superfície (sem mobilização). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.25, n.2, p. 93-100, 2004.

5 ARTIGO B

INFLUÊNCIA DA PALHADA NO ENRAIZAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR

INFLUÊNCIA DA PALHADA NO ENRAIZAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR

5.1 RESUMO

A colheita de cana-de-açúcar no Brasil tende a ser mecanizada, fazendo com que grande quantidade de palhada esteja disponível nesse novo sistema. Diversos autores relataram os benefícios ao solo e à cultura proporcionados por esse resíduo. Entretanto, não foi abordado qual quantidade seria suficiente para promover tais benefícios e qual volume poderia ser usado em outros setores, como cogeração de energia e produção de bioetanol. A obtenção de alta produtividade é impossível de ser alcançada se as raízes não encontrarem condições favoráveis para o seu desenvolvimento. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a quantidade mínima de palhada a ser mantida no campo para o melhor desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar. O experimento foi instalado em solo classificado como Latossolo Vermelho eutrófico. Foram avaliados os efeitos de seis tratamentos: 0, 25%, 50%, 75%, 100% de palhada e cana queimada, aos 180 e 270 dias após o plantio. Foram retiradas amostras na horizontal a 0,45 e 0,70 m de distância da touceira, nas profundidades de 0 – 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey. Houve efeito da palhada no sistema radicular até a profundidade de 0,20 m, em ambas as distâncias, aos 180 e 270 DAP. A dose 50% promoveu os mesmos benefícios que as doses 75 e 100%, sendo a quantidade ideal para se manter à campo.

Palavras-chave: Sistema radicular. Resíduo. Cana crua. Biomassa.

INFLUENCE OF STRAW IN ROOTING OF CANE SUGAR

Abstract

The harvesting of sugar cane in Brazil tends to be mechanized, causing large amount of straw is available in this new system. Several authors have reported the benefits to soil and culture brought about by this residue. However, it was discussed what amount would be sufficient to promote these benefits and what volume could be used in other sectors, such as cogeneration and bioethanol production. The high productivity is impossible to achieve if the roots do not find favorable conditions for their development. The objective of this study was to evaluate the minimum amount of trash being maintained in the field for better root development of sugar cane. The experiment was conducted on soil classified as Oxisol. The effects of six treatments: 0, 25%, 50%, 75%, 100% residue and burned sugarcane, at 180 and 270 days after planting. Samples were taken horizontally at 0.45 and 0.70 m away from the clump at depths from 0 to 0.10, 0.10 to 0.20, 0.20 to 0.40 and 0.40 - 0, 60 m. The results were submitted to ANOVA and means compared by Tukey test. There was a significant straw in the root zone to a depth of 0.20 m in both distances at 180 and 270 DAP. The dose 50% promoted the same benefits as the doses 75 and 100%, and the perfect amount to keep the field.

Key – words: root system. Residue. Sugarcane. Biomass.

5.2 INTRODUÇÃO

As principais áreas produtoras de cana-de-açúcar no Brasil, já adotaram o sistema de colheita mecanizada, sendo que essa prática tende aumentar tanto nas áreas atuais quanto nas de expansão (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010).

Segundo Christoffoleti et al. (2007), a palhada que permanece no solo após a colheita pode atingir valores de 8 até 30 t ha⁻¹, oscilando em razão da variedade e idade do canavial. Essa camada de resíduo gera alterações físicas, químicas e biológicas no ambiente agrícola, podendo interferir na dinâmica de enraizamento e, conseqüentemente, na produtividade final.

Entre essas alterações, destaca-se: aumento e estabilização da umidade, elevação dos teores de matéria orgânica, alterações na fertilidade e temperatura, maior eficácia no controle da erosão e a interferência sobre a incidência de luz na superfície do solo (CHRISTOFFOLETI et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2008).

O sistema radicular de cana-de-açúcar representa um importante componente de estudo, pois desempenha papel essencial para a regeneração das soqueiras após a colheita. Segundo Smith; Inman-Bamber; Thorburn, (2005), o crescimento das raízes responde ao ambiente do solo, que influencia na forma e no tamanho do sistema radicular, sendo que, quanto maior o enraizamento, maior a capacidade de exploração de água e nutrientes.

Segundo Vasconcelos (2002), a morte ou renovação do sistema radicular não seriam devidas ao corte da cana, mas sim à condição hídrica a que a cultura está submetida em determinado período de desenvolvimento. Neste sentido, a palhada resultante da colheita mecanizada mantida sobre o solo forma um microclima caracterizado por elevada umidade relativa, restringindo a perda de água do solo por evaporação. Esses fatores interferem na absorção de nutrientes e têm grande influência no desenvolvimento do sistema radicular.

O estudo do comportamento do sistema radicular permite a escolha do sistema de manejo que possibilite maior eficiência de absorção de água e nutrientes pelas raízes, contribuindo para minimização da queda de produção de um ciclo para outro. Para Azevedo (2008) é impossível obter altos rendimentos se as raízes não encontrarem as condições favoráveis para seu pleno desenvolvimento.

Considerando esses aspectos, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da palhada mantida no solo sobre o enraizamento da cana-de-açúcar.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

5.3.1 Caracterização da Área e Condições Climáticas

O ensaio foi conduzido na Usina de Açúcar e Álcool Bandeirantes, localizada no município de Bandeirantes, à latitude de 23°06' S e 50°21' W 440m. O clima predominante na região, baseado na classificação climática de Koeppen, é do tipo Cfa, com precipitações médias anuais de 1.300 mm, média de 30 mm no mês mais seco.

O solo é classificado como um Latossolo Vermelho eutrófico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2006).

Os resultados das análises químicas do solo encontram-se na Tabela 5.1. Segundo Tomé Júnior (1997), o solo fértil, com boas condições nutricionais, apresenta as seguintes saturações: de 3 a 5% de K; de 10 a 15% de Mg e de 50 a 70% de Ca. Observa-se que, até a profundidade de 0,60 m, os teores de Ca e Mg estão próximos da faixa considerada adequada para esses nutrientes.

O K apresentou saturação elevada (acima de 20%). Por outro lado, pode-se considerar que pelo fato desse nutriente não se ligar a nenhum constituinte orgânico, é facilmente lixiviado, e, em ocasiões de chuva, sua concentração tenderá a baixar, alcançando a faixa adequada. De maneira geral, pode-se observar que o solo, não apresentou nenhum impedimento químico para o crescimento das raízes.

O teor de matéria orgânica apresentou-se médio, na camada de 0 – 0,10 e 0,40 – 0,50 e elevado nas camadas de 0,10 a 0,40 m de profundidade. A matéria orgânica, embora represente, em média, de 5% dos componentes sólidos, é responsável por cerca de 30% a 65% da CTC dos solos minerais, e mais de 50% da CTC de solos arenosos e orgânicos (MATOS et. al., 1994).

O fósforo apresentou teor médio (camadas 0 - 0,10 e 0,40 – 0,60 m) e alto (camadas 0,10 a 0,30 m), não apresentando restrição em nenhuma profundidade avaliada.

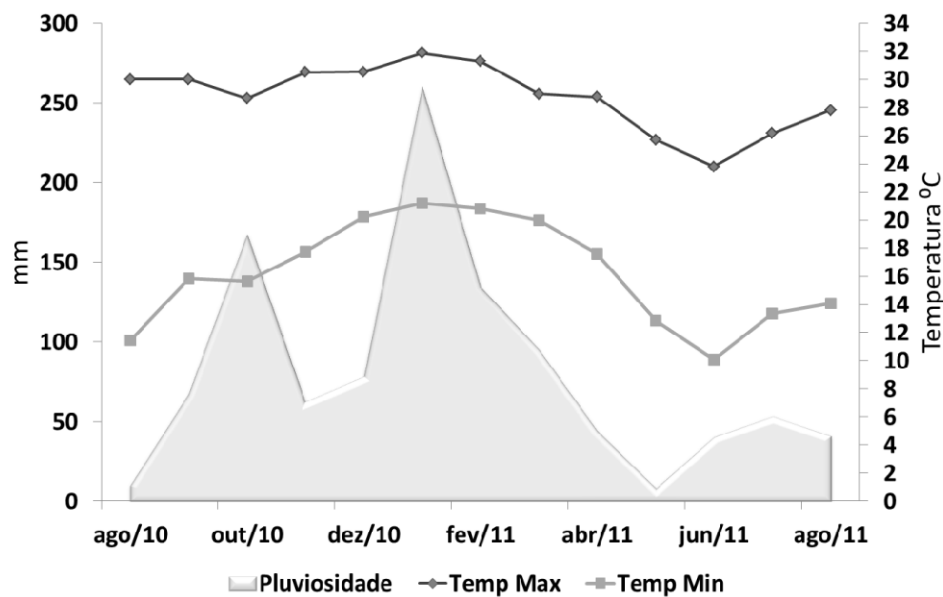
Tabela 5.1 – Resultado de análises químicas de solo, nas profundidades de 0 a 0,60 m, Bandeirantes – PR, 2010.

Prof. (m)	M.O g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	% Saturação			Bases
										Ca	Mg	K	
0 – 0,10	26,8	5,4	8,6	2,50	7,8	1,7	3,1	12,0	15,1	51,6	11,2	16,5	79,4
0,10 – 0,20	41,6	5,9	71,3	3,60	7,9	1,9	2,9	13,4	16,3	48,5	11,7	22,1	82,3
0,20 – 0,30	34,9	6,1	31,0	3,70	8,0	2,1	3,0	13,8	16,8	47,6	12,5	22,0	82,1
0,30 – 0,40	30,9	6,2	5,1	4,60	8,1	2,1	2,2	14,8	17,0	47,6	12,3	27,0	86,9
0,40 – 0,50	37,6	6,3	9,0	4,20	7,3	2,0	2,4	13,5	15,9	45,8	12,6	26,4	84,8
0,50 – 0,60	28,2	6,3	5,3	3,20	6,1	2,1	2,4	11,4	13,8	44,2	15,2	23,1	82,7

De acordo com a análise química da área, não houve necessidade de adubação química; apenas foi aplicada torta de filtro na quantidade de 70 t ha^{-1} . Nos anos anteriores era aplicada também vinhaça na dose de 150 m^3 .

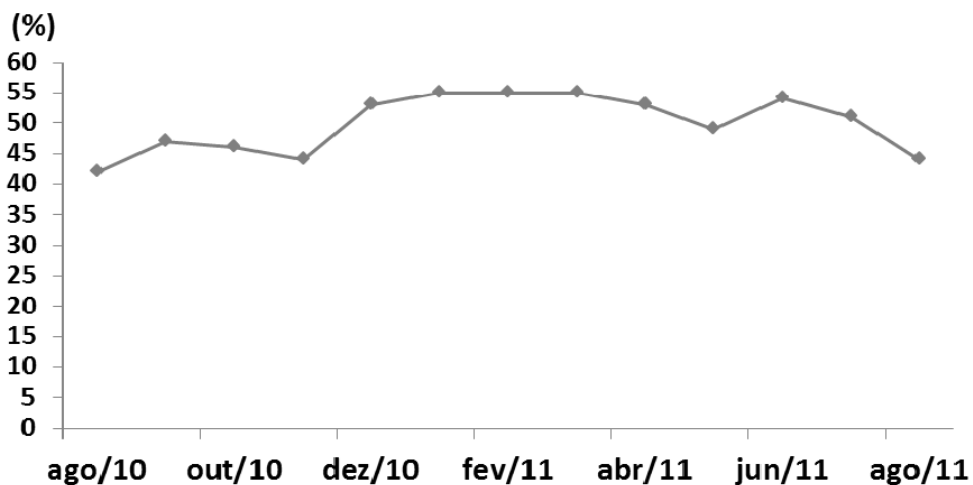
As condições climáticas ocorridas durante o período experimental estão apresentadas nas figuras 5.1 e 5.2.

Figura 5.1 – Nível pluviométrico (mm) e Temperaturas máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$) durante o período experimental.



Fonte: IAPAR, Bandeirantes – Pr.

Figura 5.2 – Umidade relativa do ar durante o período experimental.



Fonte: IAPAR, Bandeirantes – Pr.

5.3.2 Instalação e Condução do Ensaio

O experimento foi instalado em agosto de 2010.

Foram avaliados seis tratamentos: 0, 25% (5 t ha⁻¹), 50% (10 t ha⁻¹), 75% (15 t ha⁻¹), 100% (20 t ha⁻¹) de palhada, e mais um adicional com cana queimada (onde 100% da palhada foi queimada). As análises de parte aérea foram realizadas em 2 m lineares em uma linha e quatro repetições por tratamento.

O estudo foi conduzido durante um ciclo da cultura (1º ano) – cana-planta.

Cada parcela foi constituída de 10 linhas de cana-de-açúcar, com 10 metros de comprimento (10 linhas x 10 m), totalizando 100 m lineares e espaçamento de 1,5 m entrelinhas. A parcela útil considerada para a coleta dos dados foi composta de 6 fileiras centrais de 9 metros lineares, totalizando 54 metros lineares, deixando-se 0,50 m de cada extremidade e as 2 linhas laterais como bordadura. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com quatro repetições.

5.3.3 Tratos Culturais

A área onde se instalou o experimento é cultivada com cana-de-açúcar há 65 anos. Nesse período, foi empregado o método de colheita manual com despalha a fogo. Há um ano a usina tem empregado em algumas áreas a colheita mecanizada, sendo utilizada essa técnica também no local de pesquisa.

Os tratos culturais realizados antes do plantio foram: 1 gradagem pesada e 1 gradagem leve.

5.3.4 Variedade e Produção de Palhada

A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi a SP 80-1816, uma das variedades mais difundidas no centro sul do Brasil, por apresentar bom perfilhamento e regular fechamento de entrelinhas; alta produtividade agrícola; maturação precoce; alto teor de sacarose; baixo teor de fibra; tombamento ausente; florescimento e chochamento ausentes (FERNANDES, 1991).

A palhada utilizada nos tratamentos foi retirado de outro local, após

colheita mecanizada, onde foram demarcadas parcelas com as mesmas medidas da área experimental. A quantidade de palhada produzida por essa variedade foi estimada a partir da pesagem da matéria seca de palhada contida em cada parcela, no local de origem de coleta da palhada. A palhada foi distribuída uniformemente, no local experimental, logo após o plantio, conforme a porcentagem de cada tratamento.

5.3.5 Avaliação Radicular

A avaliação do sistema radicular foi realizada aos 180 e 270 dias após o plantio (DAP) na área útil das parcelas. Aos 60 DAP, não foram encontradas raízes, em função das condições climáticas adversas. Para tanto, foram utilizados cilindros metálicos com 0,074 m de diâmetro e 0,10 m de comprimento, resultando em um volume de 0,00043 m³ (AZEVEDO, CHOPART, MEDINA, 2011). Estes foram cravados com auxílio de um esticador hidráulico.

O volume de raízes foi avaliado horizontalmente, a 0,45 e 0,70 m de distância da linha de plantio, nas profundidades de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m, em 12 repetições por tratamento. Posteriormente, as amostras foram levadas ao Laboratório de Imagens, do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina.

Cada amostra foi colocada em um balde plástico com água e agitado; a água e as raízes em suspensão foram vertidas em uma peneira de malha de 2,0 mm. Essa operação foi repetida até não haver mais raízes.

Todas as raízes retidas nas peneiras foram coletadas e levadas à estufa a 65 °C até peso constante. Depois de secas, foram pesadas em balança de precisão, resultando em mg de raízes por cm³ de solo, em cada profundidade.

5.3.6 Análise Estatística

A análise de variância ($\alpha = 0,01$ e $0,05$) foi realizada utilizando delineamento em blocos casualizados, com parcelas subdivididas no tempo e as médias comparadas pelo teste Tukey.

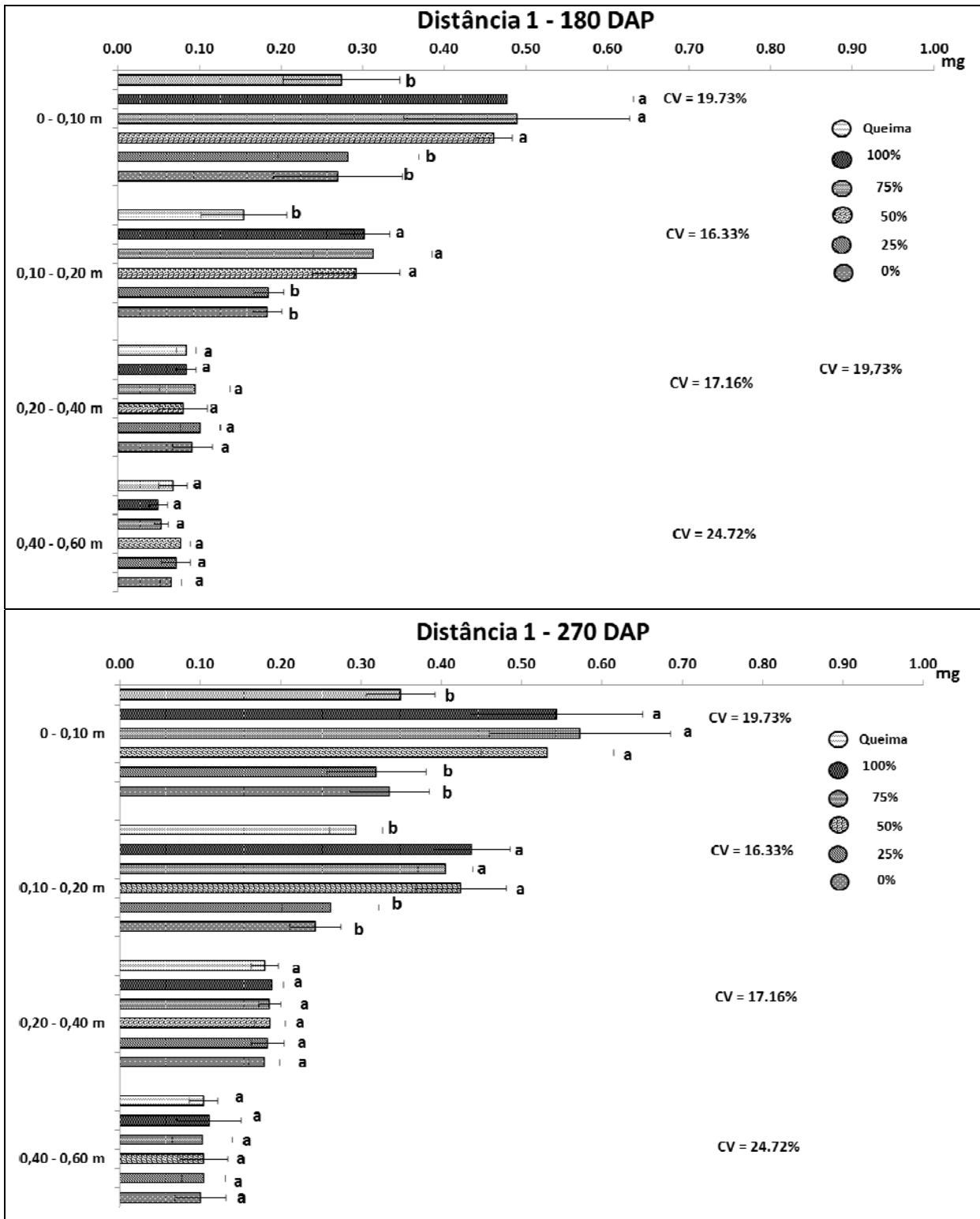
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cana planta, aos 60 DAP, apresenta menor quantidade de raízes que a cana soca, pois seu sistema radicular inicia o desenvolvimento no momento do plantio. Além disso, a alta temperatura verificada no período de plantio, a baixa pluviosidade e umidade do ar, entre os meses de agosto e setembro (Figura 5.1 e 5.2), podem ter contribuído para ausência de raízes nesse período, concordando com Vasconcelos (2002). A deficiência hídrica representa um dos principais fatores de limitação à brotação e ao crescimento das raízes, reduzindo também a massa total do sistema radicular.

Observa-se na distância horizontal 1 (Figura 5.3), que houve efeito da palhada no sistema radicular até a profundidade de 0,20 m. Tanto aos 180 quanto aos 270 DAP, observou-se maior massa de raízes nos tratamentos com 50, 75 e 100% de palhada, que apresentaram médias superiores às demais e não diferiram entre si. A dose 25% de palhada não foi suficiente para promover alterações, em nenhuma profundidade, não diferindo dos tratamentos com 0% de palhada e cana queimada. Para a distância 2 (Figura 5.4), pode-se observar os mesmos resultados apresentados na distância 1. Houve aumento na quantidade de raízes, aos 270 DAP nas profundidades 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m, na distância 1 (Figura 5.3), para todos os tratamentos indicando maior aprofundamento do sistema radicular. Para a distância 2 (Figura 5.4), esse efeito ocorreu somente na camada 0,40 – 0,60 m. Segundo Vasconcelos (2002), em condições de déficit hídrico, há aumento de raízes nas camadas mais profundas, pois a manutenção da umidade por mais tempo nessas camadas proporciona menor resistência à penetração das raízes mais novas.

O resultado significativo da palhada no primeiro ano de cultivo, pode ser devido à baixa pluviosidade e às altas temperaturas, que promoveram uma baixa umidade do ar (em torno de 50%), em todo o período de avaliação (Figura 5.2).

Figura 5.3 – Massa seca de raízes (mg) por cm³ de solo, à distância 0,45 m da touceira (distância 1), aos 180 e 270 DPA, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m.



Esses fatores têm grande influência no desenvolvimento do sistema radicular e tiveram seus efeitos atenuados a partir da dose 50% de palhada, que contribuiu para a manutenção da umidade do solo.

Alvares, Nogueira e Castro (2000) avaliaram os efeitos do manejo de cana crua e queimada no enraizamento em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico. Não verificaram diferença significativa tanto no primeiro quanto no segundo ano de cultivo, até a profundidade de 0,60 m, diferindo do presente trabalho. Esta ausência de efeito da palhada, pelos autores, pode ser devido ao genótipo, idade e ao ambiente de produção em que executaram a avaliação. Verificou-se que, em ambos os anos, a umidade relativa do ar esteve acima de 80% em, praticamente, todos os meses. Sob condições climáticas não muito estressantes às plantas, é provável que o efeito da palhada não seja imediato, diferindo de regiões ou períodos que apresentam condições menos favoráveis, como no presente trabalho, em que a umidade relativa do ar esteve em torno de 50% em todos os meses.

Vasconcelos (2002), trabalhando com seis variedades de cana durante dois anos, avaliou a matéria seca de raízes, em cana crua e queimada, considerando as camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m de solo. Exclusivamente na camada de 0-0,20 m, constatou maior desenvolvimento radicular da cana colhida crua mecanicamente, corroborando com o presente trabalho. O autor atribuiu essa diferença entre os tratamentos à maior umidade do solo sob palhada no período seco, maior teor em cálcio proveniente da decomposição das palhadas na superfície do solo, e maior teor de matéria orgânica proveniente da atividade microbiológica sobre a palhada.

A maior taxa de infiltração e retenção de água no solo, além de menores temperaturas, devido à palhada da cana-de-açúcar depositada em sua superfície, tornam-se importante benefício para a cultura, uma vez que a morte ou a renovação das raízes está diretamente ligada a esses fatores, necessitando de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca na planta. (VASCONCELOS, 2002, FARONI e TRIVELIN, 2004, VASCONCELOS e GARCIA, 2005). Estudos indicam uma redução na perda de água do solo de aproximadamente, 70% com o uso do plantio sob palhada (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010). Além disso, diversos autores verificaram que conforme a palhada se decompõe, libera nutrientes para o solo contribuindo para a fertilidade do mesmo (ABRAMO FILHO et al. 1993;

MANECHINI, 1997; FRANCHINI et al. 2001; OLIVEIRA et al. 2003) e, conseqüentemente, para um melhor enraizamento.

A distribuição das raízes, apresentou-se similar a de outras gramíneas tropicais (Figuras 5.5 e 5.6), com declínio exponencial de biomassa em função da profundidade e, com certa variabilidade na sua distribuição, particularmente em resposta à disponibilidade hídrica e impedimentos ao crescimento radicular, como compactação do solo (SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005).

A profundidade efetiva foi de 0,20 m para a distância 1 (Figura 5.5), aos 180 DAP. Após período de deficiência hídrica (abril e maio), não se manteve a mesma quantidade de raízes nessa profundidade, passando para 0,28 m aos 270 DAP. Para a distância 2 (Figura 5.6), a profundidade efetiva foi de 0,34 m aos 180 DAP e 0,40 m aos 270 DAP, confirmando os dados obtidos por Vasconcelos (2002). Essa é uma característica do sistema radicular da cana-planta, que explora mais intensamente as camadas mais superficiais do solo, se comparada à soqueira (VASCONCELOS, 2002; FARONI, 2005). Sampaio et al. (1987) constataram que 75% das raízes encontravam-se nos primeiros 0,20 m de profundidade do solo, corroborando com o presente trabalho. Já Alvarez (2000), encontrou 75% de raízes nos primeiros 0,40 m, em Latossolo Vermelho distroférico, indicando a variabilidade das respostas da planta, conforme o ambiente em que se situa.

A maior infiltração e umidade no solo proporcionados pela palhada (VASCONCELOS, 2002), principalmente nas camadas superficiais (0 – 0,20 m), favorece maior quantidade de raízes nesse local. Esses benefícios tornam-se ainda mais importante, por possibilitar o desenvolvimento das raízes em períodos de menor disponibilidade hídrica e altas temperaturas, justamente na profundidade em que ocorre maior concentração das mesmas.

Medina et al. (2002) encontraram resultados semelhantes ao presente trabalho, quando avaliaram o enraizamento da variedade RB 785148, em Latossolo Vermelho, até a profundidade de 0,50 m. Verificaram que há maior concentração de raízes na camada de 0 a 0,25 m. Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Medina (1993), sobre o enraizamento da cana-de-açúcar em Terra Roxa Estruturada distrófica. Costa et al (2007) em avaliação da distribuição radicular vertical em Latossolo Vermelho Amarelo, dos cultivares RB83-5486 e RB83-5089, também verificou que os primeiros 18 cm de profundidade mostraram maior

comprimento de raízes. A redução no comprimento radicular foi acentuada quando se passou da profundidade de 0–0,18 para 0,18–0,36 m.

Conforme pode-se constatar, é uma característica natural da cana-de-açúcar ter maior concentração de raízes na camada 0 – 0,20 m. Esta camada, por ser superficial é vulnerável às condições climáticas, que por sua vez, influencia o sistema radicular que é instável e dependente desse fator, fazendo com que a cultura apresente forte queda na produção em situações desfavoráveis de ambiente. Dessa maneira, a utilização de um manejo que propicie maior estabilidade nessa camada, resultará em um sistema radicular mais desenvolvido, que conseqüentemente contribuirá para atenuar a queda de produção da cana-de-açúcar em condições climáticas adversas.

Os benefícios obtidos com a palhada em superfície foram relatados por diversos autores, embora não tenha sido abordado qual quantidade é necessária para se obter essas melhorias. Observando as figuras 5.3 e 5.4, pode-se constatar que o tratamento 50% de palhada promoveu o mesmo efeito para o enraizamento que os tratamentos 75% e 100%. A quantificação da melhor dose de palhada, constitui importante informação, uma vez que pode-se presumir a quantidade mínima a permanecer no campo para maior benefício da cultura e o quanto pode ser aproveitado em outros setores como cogeração de energia e produção de bioetanol, maximizando assim, a eficiência na produção de energia obtida da cana-de-açúcar.

Figura 5.5 – Porcentagem média de distribuição de raízes, à distância 0,45 m da touceira (Distância 1), aos 180 DAP e 270 DAP, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m.

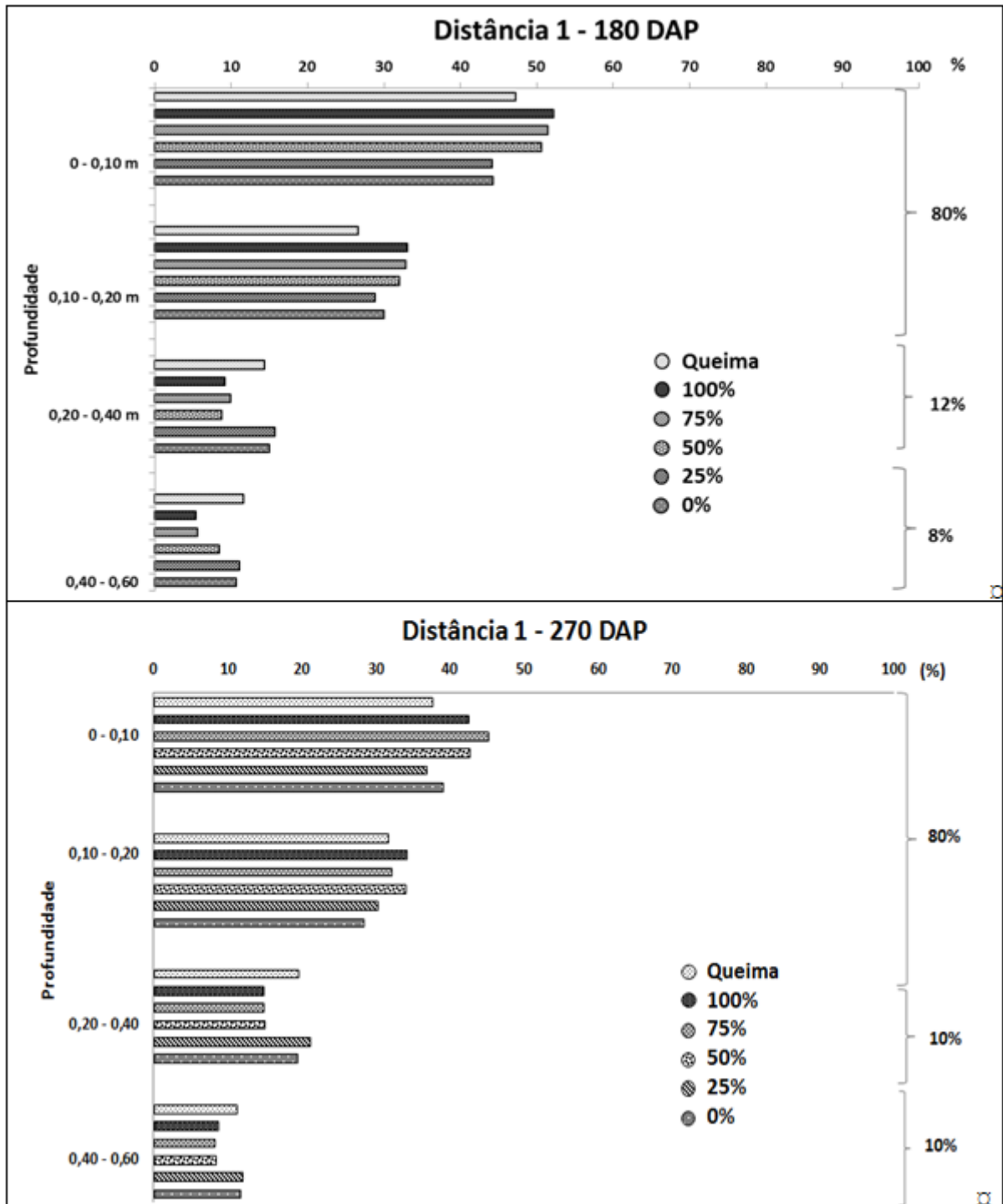
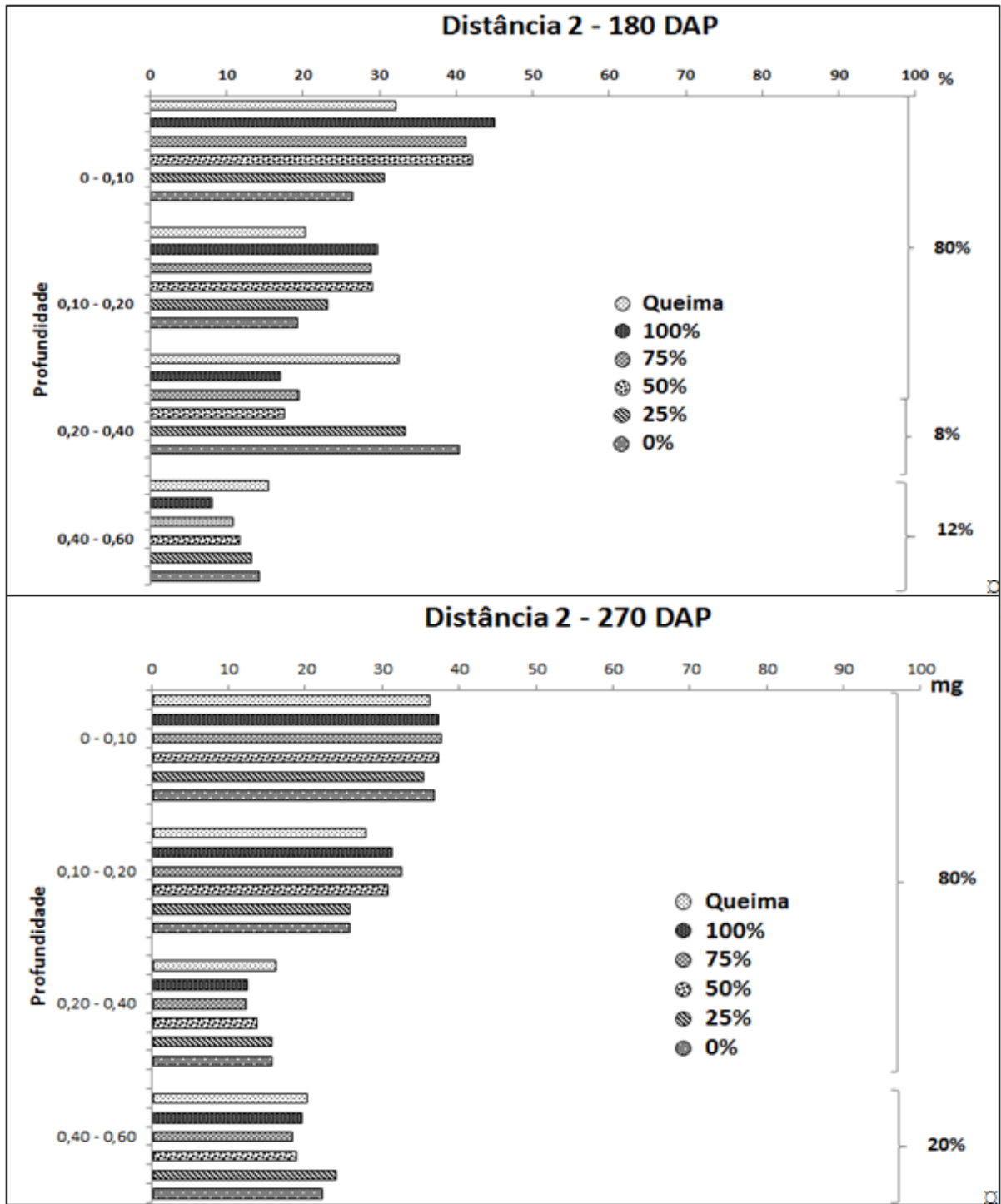


Figura 5.6 – Porcentagem média de distribuição de raízes, à distância de 0,70 m da touceira (distância 2), aos 180 e 270 DAP, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m.



5.5 CONCLUSÕES

Segundo as condições do experimento:

- As doses 50, 75 e 100% de palhada aumentaram a massa de raízes até a profundidade de 0,20 m.
- A dose 50% de palhada promoveu os mesmos benefícios ao enraizamento que as doses 75 e 100% de palhada, sendo a melhor dose a ser mantida a campo.
- A profundidade efetiva para a distância 1 foi de 0,28 m e 0,40 m para a distância 2, aos 270 DAP.

5.6 REFERÊNCIA

ABRAMO FILHO, J.; MATSUOCA, S.; SPERANDIO, M. L.; ARCHETI, L. L.; RODRIGUES, R. C. D. Resíduo de cana crua. **Açúcar e Álcool**, v. 13, n. 67, p. 23-25, 1993.

ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 653-659, 2000.

AZEVEDO, M. C. B. **Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar**. 2008. 101 p. Tese (Doutorado) Londrina: UEL, 2008

AZEVEDO, M. C. B.; CHOPART, J. L.; MEDINA, C. C. Sugarcane root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. *Sci. agric.* (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 68, n. 1, Feb. 2011.

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Avaliação tecnológica da mecanização da cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2010. p. 451-475.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CARVALHO, S. J. P.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E.; SILVA, J. E. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 383-389, 2007.

COSTA, M. C. G.; MAZZA, J. A.; VITTI, G. C.; JORGE, L. A. C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos (1). **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.31. p.1503-1514, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar pela técnica da diluição isotópica com ^{15}N . In: **FERTIBIO** 2004, 2004, Lages. Lages: SBCS; UDESC, 2004. 1 CD-ROM.

FARONI, C.E. **Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado) Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

FERNANDES, A. C. Terceira geração de variedades de cana-de-açúcar. São Paulo: **Copersucar**, 1991. 27 p. (Boletim técnico).

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, 231:55-63, 2001

FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.85-91, 2004.

GLÓRIA, N. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes pelos resíduos da colheita de cana-de-açúcar, colhida sem queimar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 19, n. 1, p.30-33, 2000.

GUIMARÃES, E. R.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; FERRO, M. I. T.; RAVANELI, G. C.; SILVA, J. A. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia Agrícola**, v. 65, n. 6, p. 628-633, 2008.

MANECHINI, C. Manejo agrônômico da cana crua. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA – COPERSUCAR, 7, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar. 1997. p.307-327.

MATOS, A.T.; FONTES, M.P.F.; JORDÃO, C.P. & COSTA, L.M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.379-386,1996.

MEDINA, C. C. **Estudo da aplicação de gesso, calcário e vinhaça na produção e enraizamento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1993. 175 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Botucatu: UNESP,1993.

MEDINA, C. C.; NEVES, C. S. V. J.; FONSECA, C. B. F.; TORRETI, A. F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 179-184, 2002

OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P.; MENDES, L. C.; DAMASCENO, C. M.; Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, Vol. 21, nº 3, p. 30-31, 2003.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 185, n. 2, p. 83-89, 2000.

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

TIMM, LUÍS CARLOS. **Efeito do manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. 2002. 115 p. Tese (doutorado) Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

TOMÉ JÚNIOR, J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 p. Tese (Doutorado) Jaboticabal: Faculdade de Ciências agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2002.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Cana-de-açúcar: ambientes de produção. Encarte técnico **POTAFOS** – Informações técnicas, Piracicaba, n.110, 2005. 32p.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Para as condições do ensaio, conclui-se que:

- Quanto maior a porcentagem de palhada maior a sua taxa de degradação.
- A manutenção de palhada em superfície não é prejudicial ao desenvolvimento da cultura.
- A retirada total da palhada ou a manutenção de 25% da palhada resultam em menor produtividade.
- A manutenção de 50% da palhada em superfície é suficiente para melhoria da produtividade.
- Pode-se retirar 50% da palhada sem prejuízos à cultura.
- As características tecnológicas não são afetadas pela palhada.
- As doses 50, 75 e 100% de palhada aumentaram a massa de raízes até a profundidade de 0,20 m.
- A dose 50% de palhada promoveu os mesmos benefícios ao enraizamento que as doses 75 e 100% de palhada, sendo a melhor dose a ser mantida a campo.
- A profundidade efetiva para a distância 1 foi de 0,28 m e 0,40 m para a distância 2, aos 270 DAP.
- Pode-se retirar 50% da palhada sem prejuízos à cultura.