



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

JÉSSICA BARBIERI CARVALHO

**DECOMPOSIÇÃO DA PALHADA E SEUS EFEITOS NA  
PRODUÇÃO AGRÍCOLA E NA QUALIDADE INDUSTRIAL  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**JÉSSICA BARBIERI CARVALHO**

**DECOMPOSIÇÃO DA PALHADA E SEUS EFEITOS NA  
PRODUÇÃO AGRÍCOLA E NA QUALIDADE INDUSTRIAL  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada para obtenção ao título de mestre na Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, como Área de Concentração: Geração e caracterização de matéria prima.

Orientador: Prof. Dra. Cristiane de Conti Medina.

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Carvalho, Jéssica Barbieri.

Decomposição da palhada e seus efeitos na produção agrícola e na qualidade industrial da cana-de-açúcar / Jéssica Barbieri Carvalho. - Londrina, 2016.  
93 f. : il.

Orientador: Cristiane de Conti Medina.

Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2016.  
Inclui bibliografia.

1. Biomassa - Tese. 2. Sustentabilidade - Tese. 3. Produção agrícola - Tese. 4. Bioenergia - Tese. I. Medina, Cristiane de Conti. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. III. Título.

JÉSSICA BARBIERI CARVALHO

**DECOMPOSIÇÃO DA PALHADA E SEUS EFEITOS NA PRODUÇÃO  
AGRÍCOLA E NA QUALIDADE INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Mestre em Bioenergia. Área de concentração: Geração e caracterização de matéria-prima

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Profa. Dra. Carmen Luísa Barbosa Guedes  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Profa. Dra. Gisele Silva de Aquino  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 16 de dezembro de 2016.

Aos meus pais, Antônio e Terezinha,  
minha irmã Marcella, que sempre  
acreditaram na realização deste ideal, e  
me incentivaram em todos os momentos  
da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela oportunidade e o objetivo concluído em minha vida. Guiou-me até o final, foram momentos difíceis e de dúvidas: Será que vou conseguir? E a cada amanhecer uma nova oportunidade de seguir em frente, oferecida por ele.

A distância da família não foi nada fácil, porém um grande aprendizado. A minha mãe Terezinha Barbieri Carvalho pelo apoio, pelas conversas e por ser a minha fonte de inspiração, ao meu pai Antônio Sivaldo Carvalho (in memoriam), não sei nem descrever, e sim sentir a força que ele me transmite para superar os obstáculos, de uma coisa sei que estava presente em todos os momentos. A minha irmã Marcella como evoluímos juntas, diferentes experiências trocadas, e uma amadurecendo sempre com a outra. Pensamentos sempre positivos de que as coisas iriam dar certo, a toda força e carinho.

A toda minha família pelo apoio, mas em especial meu tio Wanderley e minha tia Cleide pela preocupação e ajuda, a minha irmã Thais Marques pelo incentivo.

Logo no início do mestrado já fui presenteada com uma orientadora a Dr (a): Cristiane de Conti Medina, e com a participação no Projeto PALHADA, no qual tenho muito orgulho.

A participação da minha orientadora em minha vida foi muito além do papel de só orientar, tínhamos a parte técnica das resoluções dos problemas ligados ao projeto de dissertação, mas me sentia com total liberdade de conversarmos sobre outros assuntos, à vida. Como nossas conversas me faziam bem, saía da sua sala renovada, verdadeira lição de vida e conquistas. Sinto-me muito lisonjeada em poder ter trabalhado com você nesses anos de mestrado, conhecimentos e amizade que levarei para vida.

Aos professores do programa Mestrado em Bioenergia e Agronomia, pelo conhecimento e dedicação. Em especial Osmar Rodrigues Brito, Gisele Silva Aquino e Helder Rodrigues pela compreensão, ensinamentos e idéias compartilhadas.

A Ana Cláudia Saladini minha verdadeira guia de Londrina, como me ajudou, incentivou e contribuiu em todos os sentidos. Sábia são as suas palavras.

Quantos momentos bons foram compartilhados no decorrer desses dois anos, a minha turma do mestrado em Bioenergia quantas viagens, matérias e reuniões, mas no final das contas ótimos momentos na companhia de todos, em especial à Cintia Santos Alves e Mariana Fontana, foram extremamente especiais, uma segunda família. É muito bom ver a maneira que estamos hoje, e ver a forma que amadurecemos, sei que ambas passaram por

momentos difíceis, mas continuam firme e forte, tenho orgulho disso. Amizade que vou levar para sempre.

A Cintia Santos Alves uma das irmãs que a vida me presenteou, companheira nos bons e maus momentos, parceirinha de anos já, e assim vamos permanecer.

Aos amigos do projeto Palhada Ana Carolina Benitez Cunha, Deise Akemi Omeri Kussaba; Jaime Higino dos Santos Junior; Lucas Augusto de Assis Moraes; Natália Zavateri, Rai Rigonatto Batista e Thiago Zorzenoni as experiências que compartilhamos que não foram poucas. As idas para Bandeirantes, momentos únicos ao lado de vocês, um melhor que o outro. Equipe boa a nossa não é mesmo? Pessoal bom de serviço, pela amizade, atenção e disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

E a minha parceira não só de projeto Ana Carolina Benitez Cunha, que felicidade á minha em ter você como amiga, e por ter compartilhado tantos momentos bons ao seu lado. Há nossas conversas sempre tão boas e motivadoras.

Sinto-me presenteada por Deus pelas pessoas que cruzaram meu caminho, tão boas, companheiras e amigas, em especial Marcela Mora, Thais Saqueto, entre outros, amizades que levarei para sempre no meu coração.

Ao Programa de Pós Graduação em Bioenergia, por me oferecer suporte técnico e a oportunidade de ingressar no mestrado.

A coordenadora professora Dra Carmen Guedes meus parabéns pela força e garra que demonstra ter para seguir em frente com o programa.

Aos técnicos de laboratório João Bonfim, Marcio Alves, João Machado dos Santos, Tânia Mara Sedemaka e Fernando Massaro, a ajuda em minhas análises e aos ensinamentos prestados.

A Usina de Açúcar e Álcool Bandeirantes (USIBAN), por abrir as portas para a implantação do projeto, e pela parceria no trabalho. A todos colaboradores da usina, que trabalharam nesse projeto com empenho e dedicação.

A Universidade Estadual de Londrina ao apoio e suporte técnico para o desenvolvimento deste trabalho

À Petrobras e a Capes pelo auxílio financeiro.

À Embrapa Meio Ambiente pela parceria.

A esta belíssima cidade, Londrina, e aos amigos que a mesma me apresentou, como valeu a pena cada momento, as amizades que conquistei, cada pessoa especial que passou pela minha vida.

A todos que tenham me auxiliado de alguma forma na realização deste trabalho, para que fosse concluído.

A todos, muito obrigada!

*“Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem se atreve”.*

Charles Chaplin

*“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”.*

Antonie Laurent de Lavoiser

*“Deixem seus méritos gravados na história de suas contínuas vitórias! A dificuldade no momento presente será a glória em seu futuro”.*

Daisaku Ikeda

CARVALHO, Jéssica Barbieri. **Decomposição da palhada e seus efeitos na produção agrícola e na qualidade industrial da cana-de-açúcar.** 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## RESUMO

O manejo de cana crua tem por finalidade eliminar a queima da cultura e a mobilização superficial do solo, bem como mantê-lo coberto com restos culturais. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de quantidades de palhada na produtividade da cana-de-açúcar, e determinar a qualidade industrial do caldo. O ensaio foi instalado em Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa pertencente à Usina de Açúcar e Álcool Bandeirantes, Bandeirantes - PR. Foram avaliados cinco tratamentos: 0, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) de palhada, com quatro repetições, em parcelas subdivididas no tempo, na qualidade industrial – Brix, Pol, Fibra, Pureza, Açúcares Redutores (AR) e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) da cana-de-açúcar, variedade SP80 1816, em quatro períodos: 210, 240, 270 e 350 dias após o corte (DAC) na produtividade da cultura. A produtividade foi avaliada na colheita, aos 350 DAC. No estudo de decomposição e liberação dos nutrientes para a cana, foi utilizada a metodologia dos sacos de nylon (*litter bags*). Determinou-se na palhada os macronutrientes (C, N, P, K, Ca, Mg, S) e Si. Foram realizadas seis coletas do material: aos 30, 60, 90, 150, 210 e 270 DAC, e uma coleta para análise inicial da palhada. Determinou-se ainda os teores de lignina, celulose e hemicelulose até os 210 dias. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5%. Em condições experimentais, não houve efeito significativo da presença da palhada em superfície nos parâmetros tecnológicos. A decomposição apresentou comportamento quadrático e não houve diferença significativa entre os tratamentos. As maiores porcentagens de liberação de C e N ocorreram no tratamento com 25% de palhada. As decomposições da hemicelulose e celulose foram superiores, quando comparadas à lignina. A liberação dos nutrientes apresentou correlação positiva com o tempo. Para P, K e Ca, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Para Mg, S e Si, os tratamentos de 25%, 75% e 25% foram, respectivamente superiores aos demais.

**Palavras-chave:** Biomassa. Sustentabilidade. Produção agrícola. Bioenergia.

CARVALHO, Jéssica Barbieri. **Decomposition of straw and its effects on agricultural production and industrial quality of sugarcane.** 2016. 93 p. Dissertation (Master's Degree in Bioenergy) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

### ABSTRACT

The management of raw cane is aimed at eliminating the burning of the crop and the superficial mobilization of the soil, as well as keeping it covered with cultural remains. The objective of this work was to evaluate the effect of straw quantities on sugarcane productivity and determine the industrial quality of the broth. The experiment was carried out in a clayey eutrophic Red Latosol, belonging to the Sugar and Alcohol Plant Bandeirantes, Bandeirantes - PR. Five treatments were evaluated: 0, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) four replicates, in time-subdivided plots, in industrial quality - Brix, Pol, Fiber, Purity, Reducing Sugars (RA) and Recoverable Total Sugars (ATR) of sugarcane variety SP80 1816 in four periods: 210, 240, 270 and 350 days after cutting (DAC) on crop yield. Productivity was evaluated at harvest at 350 DAC. In the study of decomposition and release of nutrients for cane, the methodology of nylon bags (litter bags) was used. The macronutrients (C, N, P, K, Ca, Mg, S) and Si were determined in the straw. Six collections of the material were carried out: at 30, 60, 90, 150, 210 and 270 DAC, and a collection for initial straw analysis. The lignin, cellulose and hemicellulose contents were also determined up to 210 days. The results were submitted to analysis of variance and the averages compared by the Tukey test at 5%. Under experimental conditions, there was no significant effect of the presence of straw on the surface of the technological parameters. The decomposition showed quadratic behavior and there was no significant difference between the treatments. The highest percentages of C and N release occurred in the treatment with 25% straw. The decomposition of hemicellulose and cellulose were higher when compared to lignin. The release of nutrients showed a positive correlation with time. For P, K and Ca, there was no significant difference between treatments. For Mg, S and Si, treatments of 25%, 75% and 25% were, respectively, superior to the others.

**Palavras-chave:** Biomass. Sustainability. Agricultural production. Bioenergy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b>	– Partes constituintes da cana-de-açúcar. ....	21
<b>Figura 2</b>	– Cana-de-açúcar colhida para produção de etanol e açúcar. ....	29
<b>Figura 3</b>	– Capacidade de produção de etanol celulósico por hectare. ....	37
<b>Figura 4</b>	– Imagem de satélite da área experimental. ....	40
<b>Figura 5</b>	– Delineamento experimental em blocos casualizados com cinco tratamentos e ....	41
<b>Figura 6</b>	– Parcela experimental da cana-de-açúcar, onde foi realizada a coleta dos colmos para a análise da qualidade industrial do caldo de cana-de-açúcar, 5º ciclo. Bandeirantes- PR. ....	42
<b>Figura 7</b>	– Colheita manual com despalha, 4º ciclo. Bandeirantes- PR. ....	46
<b>Figura 8</b>	– Instalação dos <i>litter bags</i> no campo, para o estudo de decomposição e liberação dos nutrientes da palhada sob a superfície do solo, 5º ciclo. Bandeirantes- PR. ....	47
<b>Figura 9</b>	– Distribuição da chuva e variações de temperaturas - máximas e mínimas durante o período de avaliações do ciclo da cana-de-açúcar, safra de 2014/15, Bandeirantes – PR. ....	51
<b>Figura 10</b>	– Porcentagem de decomposição da matéria-seca de diferentes quantidades de palhada, em função do tempo de deposição do <i>litter bag</i> na superfície do solo. ....	62
<b>Figura 11</b>	– Liberação do carbono ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar, durante 270 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo. ....	64
<b>Figura 12</b>	– Liberação do nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	66
<b>Figura 13</b>	– Porcentagem remanescente de celulose nos resíduos culturais de cana-de-açúcar, durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	68
<b>Figura 14</b>	– Porcentagem remanescente de hemicelulose nos resíduos culturais de cana-de-açúcar, durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	70

<b>Figura 15</b> – Porcentagem remanescente de lignina nos resíduos culturais de cana-de-açúcar, durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	72
<b>Figura 16</b> – Porcentagem de liberação do fósforo dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	74
<b>Figura 17</b> – Porcentagem de liberação do potássio dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	75
<b>Figura 18</b> – Porcentagem de liberação do Cálcio dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	76
<b>Figura 19</b> – Porcentagem de liberação do Magnésio dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	78
<b>Figura 20</b> – Porcentagem de liberação do Enxofre dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	79
<b>Figura 21</b> – Porcentagem de liberação do Silício dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. ....	80

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Sólidos solúveis (°Brix) da cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada em superfície do solo, no 5° ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.....	52
<b>Tabela 2</b> – Pol do caldo de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada na superfície do solo, no 5° ciclo. Bandeirantes – PR, 2015. ....	53
<b>Tabela 3</b> – Fibra de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada na superfície do solo, no 5° ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.....	54
<b>Tabela 4</b> – Pureza do caldo de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada em superfície do solo no 5° ciclo. Bandeirantes – PR, 2015. ....	55
<b>Tabela 5</b> – AR de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada em superfície do solo no 5° ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.....	56
<b>Tabela 6</b> – ATR de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada em superfície do solo ( $\text{kg t}^{-1}$ ), no 5° ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.....	57
<b>Tabela 7</b> – Toneladas de cana por hectare (TCH) aos 350 DAC, em relação à diferentes quantidades de palhada depositada na superfície do solo, no 5° ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.....	59
<b>Tabela 11</b> – Concentração de Celulose (%) dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar, 5° ciclo. Bandeirantes – PR.....	69
<b>Tabela 12</b> – Concentração de hemicelulose em (%) dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar, 5° ciclo. Bandeirantes – PR.....	71
<b>Tabela 13</b> – Concentração de lignina em (%) dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar, 5° ciclo. Bandeirantes – PR.....	73

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	17
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
3.1	CANA-DE-AÇÚCAR .....	18
3.1.1	Origem e expansão da cultura .....	18
3.1.2	Características botânicas e fisiológicas .....	19
3.1.3	Nutrição da cana-de-açúcar .....	22
3.1.3.1	Nitrogênio .....	22
3.1.3.2	Fósforo .....	23
3.1.3.3	Potássio .....	24
3.1.3.4	Enxofre .....	24
3.1.3.5	Silício .....	25
3.1.3.6	Cálcio e Magnésio .....	25
3.2	QUALIDADE INDUSTRIAL .....	26
3.2.1	Importância da Qualidade da Matéria Prima para Eficiência Industrial .....	26
3.3	PRODUÇÃO DE ETANOL .....	27
3.4	SISTEMAS DE COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	29
3.5	O PAPEL DA PALHADA NA SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR .....	32
3.6	COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	34
3.7	ETANOL CELULÓSICO .....	36
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	39
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	39
4.2	VARIEDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	39
4.3	INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	40
<b>5</b>	<b>AVALIAÇÕES A CAMPO</b> .....	42
5.1	QUALIDADE INDUSTRIAL .....	42
5.1.1	Leitura de Brix .....	43
5.1.2	Leitura sacarimétrica .....	43
5.1.3	Determinação da fibra da cana .....	43

5.1.4	Determinação da Pureza Aparente .....	44
5.1.5	Determinação dos Açúcares Redutores .....	44
5.1.6	Determinação do Açúcar Total Recuperável.....	44
5.2	PRODUÇÃO AGRÍCOLA.....	45
5.3	ESTUDO DA DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA VEGETAL .....	45
5.3.1	Caracterização química e avaliação da liberação de nutrientes da palhada da cana-de-açúcar .....	47
5.3.1.1	Determinação de fósforo .....	48
5.3.1.2	Determinação de potássio.....	48
5.3.1.3	Determinação de cálcio e magnésio .....	48
5.3.1.4	Determinação de enxofre .....	48
5.3.1.5	Determinação silício.....	48
5.3.1.6	Determinação de carbono e nitrogênio.....	49
5.3.2	Caracterização das fibras.....	49
5.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	49
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
6.1	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA .....	51
6.2	QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	52
6.3	PRODUTIVIDADE DOS COLMOS .....	57
6.4	DECOMPOSIÇÃO DA PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	59
6.5	MINERALIZAÇÃO DO C E DO N .....	62
6.6	COMPORTAMENTO DOS CARBOIDRATOS ESTRUTURAIS .....	66
6.6.1	Celulose.....	67
6.6.2	Hemicelulose.....	69
6.6.3	Lignina .....	71
6.7	PORCENTAGEM DE LIBERAÇÃO DE FÓSFORO, POTÁSSIO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E SILÍCIO.....	73
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é considerada a mais limpa do planeta. A agricultura representa 30% desta matriz, produzindo cerca de 68,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TED). Em grau de importância e contribuição para a matriz energética, a biomassa da cana-de-açúcar simboliza a segunda maior fonte de energia renovável, com 16,9%, tendo o etanol como combustível e o bagaço na cogeração de energia (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2016).

A área de produção de cana-de-açúcar submetida à colheita sem despalha a fogo vem aumentando consideravelmente no Brasil. Estimativas apontam que 80% das áreas mais produtivas do país estarão submetidas a este manejo até 2017, já que os produtores estão sendo estimulados pela legislação ambiental e pelo aumento na eficiência das colhedoras. Em maio de 2007, foi assinado um termo de ajuste de conduta entre o Governo do Estado de São Paulo – estado com a maior produção de açúcar e etanol (3,8 milhões de hectares e 343 milhões de toneladas) (AGRIANUAL, 2010) - e a Única, que regulamenta prazos progressivos para o aumento das áreas sem queima, determinando o ano de 2017 para o final dessa prática (UNICA, 2016).

Em áreas de cana planta e soqueiras submetidas à colheita sem despalha a fogo, são encontrados valores de 10 a 30 ha<sup>-1</sup> de matéria seca de palhada no solo, respectivamente (OLIVEIRA et al., 2002; MELLO-IVO et al., 2006).

A palhada que permanece na lavoura após a colheita mecanizada gera benefícios ao solo. Rica em nutrientes contribui para o sistema solo-planta, inibe a brotação de plantas daninhas, diminui as amplitudes térmica e hídrica do canavial e protege contra a desagregação das partículas e a compactação do solo (OLIVEIRA et al., 2002).

A palhada de cana-de-açúcar, além de ser produzida em grande quantidade, apresenta-se como matéria prima barata e prontamente disponível como fonte de biomassa lignocelulósica renovável, que pode ser convertida a etanol de segunda geração (DAWSON; BOOPHATY, 2007) ou utilizada como fonte de geração de energia através da queima. Grande esforço para a conversão do material lignocelulósico a etanol de segunda geração tem sido empreendido. Essa conversão acontece em duas fases principais, que são a hidrólise a açúcares redutores fermentáveis e sua posterior fermentação a etanol (SUNG CHENG, 2002).

Neste contexto, a implantação de tecnologias 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 consequente 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.

O aproveitamento completo da cana-de-açúcar com aprimoramento da colheita, além de contribuir para o balanço energético da usina, propicia aumento da biomassa ofertada para a produção do biocombustível. O mesmo hectare de cana, colhido mecanicamente, produz de 10 a 30 toneladas de palhada, possibilitando a produção de mais 287 litros de etanol de segunda geração. Com o total aproveitamento da glicose, aumenta-se em mais de três vezes a produção de etanol, sem aumento da área plantada (SANTOS et al., 2011).

Considerando-se a importância da palhada na indústria para produção de bioetanol e bioenergia, entende-se que são necessários estudos sobre os efeitos ocasionados por este resíduo a campo para a sustentabilidade do sistema solo-planta e otimização do sistema de produção de energia advindo do setor.

## 2 OBJETIVOS

Avaliar a dinâmica de decomposição da palhada de cana e seus efeitos na produção agrícola e na qualidade industrial de cana-de-açúcar submetida a quantidades de palhada, em Latossolo Vermelho eutrófico, encontrado na região de Bandeirantes - PR.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Quantificar a variação do estoque da matéria orgânica do solo sob diferentes proporções de palhada.

Quantificar a liberação de nutrientes pela palhada em função de doses e tempo de decomposição.

Determinar a produção agrícola e a qualidade industrial do caldo da cana-de-açúcar.

Avaliar o potencial das variáveis estudadas como indicadoras de sustentabilidade dos sistemas de produção da cana-de-açúcar, com ênfase na produção de bioenergia a partir da palhada.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 CANA-DE-AÇÚCAR

##### 3.1.1 Origem e expansão da cultura

Proveniente da Nova Guiné, a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) foi introduzida para o sul da Ásia, onde foi utilizada, como matéria prima, para a produção de xarope. O primeiro relato de produção de açúcar em sua forma sólida foi no ano de 1.500, conforme Mozambani et al., (2006).

A proliferação da cultura no norte da África e no sul da Europa deve-se aos árabes, na época das invasões. Nessa mesma época, os chineses a levaram para Java e Filipinas. As conquistas árabes no Ocidente expandiram a indústria da cana-de-açúcar nas regiões banhadas pelo mar Mediterrâneo. Houve ainda a tentativa de introdução da cultura na Grécia, na Itália e em algumas localidades da França; porém, a implantação não teve sucesso pelo clima desfavorável, já que a cultura é típica de climas tropicais e subtropicais, motivo pelo qual a planta não correspondeu às tentativas de cultivo (MOZAMBANI et al., 2006).

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é utilizado há quase cinco séculos. No Nordeste do país, tanto a produção agrícola, quanto a industrial era pequena, existindo cerca de milhares de pequenos engenhos. No final do século XIX, com a era da modernização agroindustrial, houve expansão no número de fornecedores de cana, e os pequenos engenhos se tornaram engenhos centrais, sendo a produção concentrada em maiores unidades produtoras (EINSENBERG, 1977).

No final do século XVI, nos estados da Bahia e de Pernambuco, existiam mais de uma centena de engenhos. Após 1.615, iniciou-se o cultivo de cana-de-açúcar em Planalto Paulista, com realce na região de Itu, no século XVII, que veio a se tornar o maior centro açucareiro do estado de São Paulo. Com o crescimento da agroindústria canavieira na região das Antilhas, a produção brasileira reduziu de importância em meados do século XVII, mas manteve seu mérito na atividade econômica, alavancada em 1933 com a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool, em que o biocombustível já era utilizado (MOZAMBANI et al., 2006).

A lavoura da cana-de-açúcar se expandiu na região Sudeste nessa mesma época, em decorrência da decadência da lavoura cafeeira e do aumento da produção no mercado interno (SZMRECSÁNYI, 1979).

De acordo com Carvalho (2007), a cultura da cana-de-açúcar, ocupa 9% do cenário agrícola do país. É o terceiro maior cultivo de ocupação das áreas plantadas, estando atrás da soja e do milho.

O Centro-Sul e o Sudeste são as regiões de maior relevância na produção de cana-de-açúcar, responsáveis por mais de 85% da produção, sendo São Paulo o estado de maior produção nacional, com, aproximadamente, 62% da área plantada (NOGUEIRA, 2008).

A indústria canavieira conta com 371 usinas em atividade (ÚNICA, 2016), sendo processados de 600 a 700 milhões de toneladas de cana por safra. Com as inovações tecnológicas do plantio até a produção final (açúcar, etanol e bioeletricidade), que alavancaram o setor, este está sendo reconhecido mundialmente por sua eficiência produtiva (NOGUEIRA, 2008).

Os principais países produtores de cana-de-açúcar são: Brasil, Índia, China, Paquistão e México (FAO, 2009). A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar se tornou mais intensa logo após a crise do petróleo, em 1970, quando parte ponderável da matéria prima começou a ser absorvida para a produção de etanol (MOZAMBONI et al., 2006).

Responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo, o Brasil produz, aproximadamente, 47,84 milhões de toneladas do produto, e deve alcançar taxa média de aumento da produção de 3,25% até 2018/2019, o que corresponde a um acréscimo de 14,6 milhões de toneladas em relação ao período 2007/2008. Para as exportações, o volume previsto para 2019 é de 32,6 milhões de tonelada (CONAB, 2015).

### 3.1.2 Características botânicas e fisiológicas

A cultura da cana-de-açúcar pertencente à família Poaceae, e possui as seguintes características: inflorescência em forma de espiga, crescimento do caule acontece em forma de colmos, folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainhas abertas (DIOLA; SANTOS, 2010). O gênero *Saccharum* é composto por seis espécies: *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. sinense*, *S. barberi*, *S. edule*, monocotiledôneas com perfil ereto, que possuem as seguintes fases em seu desenvolvimento: brotação, emergência, perfilhamento, crescimento e maturação dos colmos (PURSEGLOVE, 1979).

A cultura canavieira é classificada como semi-perene, pois possibilita de cinco a seis colheitas, possuindo denominações como cana planta - que é o corte a partir das mudas, e soqueira - que são as colheitas seguintes (FREITAS, 2011). A cana apresenta metabolismo C4, comportando-se como uma cultura de alta taxa fotossintética, sendo eficiente no uso e resgate de CO<sub>2</sub>. Apresenta condições vantajosas em relação às altas intensidades luminosas, altas temperaturas e quantidades escassas de água, mesmo no período noturno, ocorre síntese dos açúcares (SEGATO et al., 2006).

A fase de emergência do broto ocorre de vinte a trinta dias após o plantio. O surgimento do broto, denominado colmo primário, ocorre com o rompimento da gema e seu desenvolvimento verticalmente. Essa fase está relacionada a diversos fatores, como: qualidade da muda plantada, época do plantio, sistema de plantio e ambiente de produção. O processo de emissão dos colmos em uma mesma planta é denominado perfilhamento, sendo formada, então, a touceira, sendo este um processo controlado por hormônios. O bom desenvolvimento e distribuição das raízes no sistema fasciculado ocorrem nessa mesma fase, no período de duas a três semanas após a emergência, com o surgimento das primeiras folhas (CASAGRANDE, 1991).

É importante ressaltar que a formação do sistema radicular é resultado de um bom desenvolvimento das raízes de cada perfilho. O solo fica coberto pela folhagem que as touceiras liberam, quando estão no final do perfilhamento. Os perfilhos variam em sua composição, dependendo das características genéticas que cada variedade possui (GASCHO, 1983).

Com o final da emissão dos perfilhos, ocorre o crescimento dos colmos e do sistema radicular vigoroso. Os colmos permanecem crescendo e se desenvolvendo, em formatos eretos, semieretos e decumbentes, ganhando altura e promovendo o acúmulo de sacarose em sua base, isso sendo motivado pela umidade, luz e calor. O sistema radicular, torna-se mais vigoroso, tanto em profundidade, quanto lateralmente. A grande maioria das raízes encontra-se na profundidade de 40 centímetros, sendo essa área de grande importância à absorção de água e nutrientes por parte da planta. O canavial pode alcançar uma altura média acima de três metros; o estabelecimento da população final dos colmos pode variar em função das condições ofertadas de clima e solo (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008).

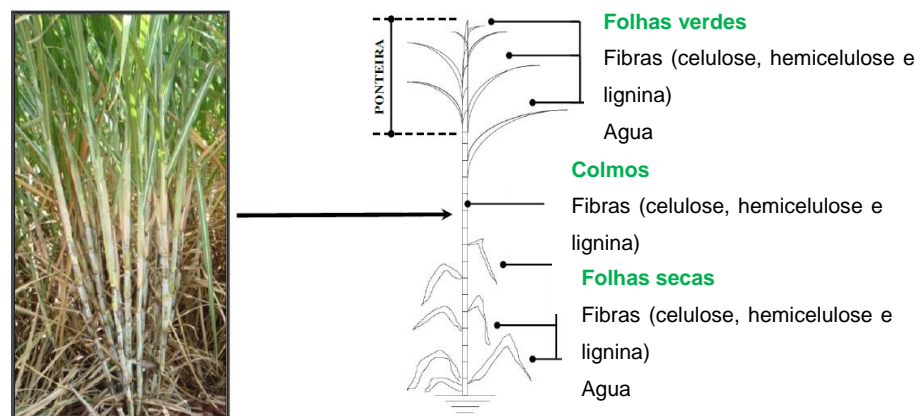
A maturação acontece junto com o crescimento acentuado dos colmos. Com as touceiras alcançando altura igual ou excedente a dois metros, percebe-se o amarelecimento e a seca das folhas, sendo isto um indício de que já está sendo depositado açúcar nesse local.

Entre o outono e o inverno, as estações menos chuvosas e com baixas temperaturas, acontece o final da maturação, promovendo maior acúmulo de açúcar. A cana deve ser colhida com maior teor de açúcar possível, e a colheita deve ser estipulada para ocorrer no maior pico de maturação possível, que varia de acordo com o sistema de cultivo adotado, variedade, região do cultivo e condições climáticas no ambiente (GASCHO, 1983).

No decorrer dos anos, com a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, um colchão de palhada é depositado sobre o solo, minimizando os impactos da radiação solar e das gotas de chuva (MIRANDA et al., 2011).

O colmo da cana-de-açúcar é constituído de 86 a 92% de caldo, sendo esse caldo constituído de 75 a 82% de água e de 18 a 25% de sólidos solúveis, que representam de 15,5 a 27% de açúcares e de 1 a 3% de não açúcares, caracterizados como impurezas inorgânicas (0,2 - 0,7%) e orgânicas (0,8 - 1,8%), formadas por ácidos, aminoácidos, gordura e corantes. É constituído também de 8 a 18% de fibras, que são compostas por celulose, lignina e hemicelulose (Figura 1). A porcentagem de sacarose nos açúcares varia de 12 a 18%; a de glicose está em torno de 0,2 a 1%; e de 0 a 0,5% a frutose. Quanto maiores os teores de sacarose, melhor para a indústria sucroalcooleira. Na palhada, a composição das fibras está em torno de 40% de celulose, 30% de hemicelulose e 25% de lignina (MARQUES et al., 2001).

**Figura 1** – Partes constituintes da cana-de-açúcar.



**Fonte:** Adaptado de Hassuani et al., (2005).

A indústria da cana-de-açúcar está em crescente desenvolvimento nos setores agrícola, tecnológico, produtivo e comercial, pelo amplo uso da planta, que tem como

principais produtos o açúcar e o etanol, e pelas melhorias nos processos reaproveitando os subprodutos como vinhaça, torta de filtro, bagaço e a palhada da cana-de-açúcar, entre outros (COSAN, 2010).

### 3.1.3 Nutrição da cana-de-açúcar

A adubação nas culturas tem por objetivo fornecer nutrientes necessários para o bom desenvolvimento da planta. A quantidade de cada nutriente pode variar, quando se fala em exigências nutricionais das plantas. Assim, tem-se os macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S, que são elementos exigidos em maiores quantidades (na unidade de quilogramas por toneladas), e os micronutrientes: B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, que são necessários em menores quantidades (na unidade gramas por quilogramas). Quando ocorre a deficiência de um determinado elemento, a produção é reduzida (PENATTI, 2013).

Fatores que prejudicam a formação a distribuição do sistema radicular, como a compactação no solo e o estreitamento entre os espaços da argila do solo, afetam diretamente a absorção de água e dos nutrientes pela planta, refletindo em menor produtividade (PENATTI, 2013).

#### 3.1.3.1 Nitrogênio

O canavial bem nutrido em nitrogênio apresenta-se verde e exuberante, uma vez que este nutriente estimula a brotação, o enraizamento e o desenvolvimento de perfilhos. A principal função do nitrogênio na cana-de-açúcar é a alongação dos entrenós, diretamente ligada ao desenvolvimento e à produtividade. A presença de nitrogênio favorece a absorção de cálcio (BITTENCOURT et al., 1986).

O déficit deste elemento na planta causa redução na produção. Os primeiros sintomas são identificados nas folhas mais velhas com o seu amarelecimento. As principais formas de absorção do nitrogênio são amônio ( $\text{NH}^{+4}$ ) e nitrato ( $\text{NO}^{-3}$ ), com preponderância para o nitrato, que é a forma mais rica do N-mineral do solo. A absorção do nitrogênio é feita pelas raízes e folhas; distribuído por toda a planta, é transformado em proteínas e derivados, como: aminas móveis, peptídeos, aminoácidos. A maior absorção de nitrogênio pelas plantas se dá entre os meses de outubro e março, em condições climáticas normais. Nesse período, ocorre a máxima liberação de água e energia, mas o auge da absorção é nos meses de

novembro a janeiro, independente de fatores externos, como a época de plantio ou o corte (OLIVEIRA, 2011).

O fornecimento do nutriente no início do ciclo, isto é, até os 90 dias, é fundamental, permanecendo a maior quantidade armazenada nas folhas verdes e raízes. Em seguida, passa a ser acumulado nos colmos, em maior quantidade nos nós, abaixo das gemas. Depois dos seis primeiros meses, o nitrogênio acumulado na planta decresce do alto para a base da planta, e com sua maturação migra para tecidos mais jovens para ser reaproveitado (VITTI et al., 2008).

### 3.1.3.2 Fósforo

O fósforo é o elemento que limita o crescimento de uma planta. Atua na fotossíntese, na respiração, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, e na formação do sistema radicular. No solo, possui pouca mobilidade e, na presença de cálcio, dá origem a compostos de pouca solubilidade. Toda absorção do fósforo pela planta ocorre através do contato com a raiz em sistema de difusão, que permite o transporte dos íons fosfatados da fase sólida do solo para a superfície das raízes, desde que disponível na solução solo. O fósforo faz parte de processos metabólicos da planta, como fornecedor de energia (ADP e ATP) e produção de sacarose. Presente no caldo da cana-de-açúcar, o fósforo tem efeitos positivos nos processos de clarificação, com a função de facilitar a decantação das impurezas, contribuindo para um açúcar de melhor qualidade, com maior valor agregado. (KORNDORFER, 2003).

Uma das características do fósforo é favorecer o aumento da eficiência no uso da água, bem como na absorção e no uso de outros nutrientes, oriundos de adubação ou do solo, propiciando o aumento da resistência à pragas (KORNDORFER, 2004).

Imóvel no solo, na planta o fósforo é um elemento móvel, cuja limitação promove diminuição no diâmetro dos colmos e encurtamento dos internódios, prejudicando a emissão dos perfilhos. Deste modo, possibilitando maior infestação de plantas daninhas (HUSZ, 1972).

Raj (1981) destaca que em diferentes regiões brasileiras a adubação fosfatada é a que favorece melhor retorno à produção.

### 3.1.3.3 Potássio

Na cultura de cana-de-açúcar, o potássio é um elemento essencial por fazer parte de diferentes compostos, inclusive de proteínas, e por estar presente na constituição de clorofila, ácidos orgânicos e hormônios vegetais (ORLANDO FILHO, 1983).

O potássio é um elemento ativador de enzimas e processos metabólicos relacionados à fotossíntese na planta. Uma pequena quantidade de potássio se encontra nas raízes, isso consequência da interceptação radicular. Sua aproximação às raízes ocorre, na maioria das vezes, pelo processo de difusão (movimentação de íons em uma fase aquosa estacionária, a curtas distâncias), e o remanescente por fluxo de massa (movimento de íons em uma fase aquosa móvel, de uma área de maior concentração para uma de menor concentração). Há ligação significativa entre a difusão do potássio e o potássio total que é absorvido pelas plantas, sendo o processo de difusão dependente da umidade do solo e do teor de potássio na solução solo. As propriedades do solo também afetam diretamente a absorção deste elemento (MENGEL; BRUNSCHWEIG, 1972).

Na planta, o potássio é um elemento muito móvel, com facilidade de ser redistribuído das folhas mais velhas para as folhas mais novas. Com isso, sua deficiência na planta acarreta uma clorose amarelo-alaranjada nas bordas e nas pontas das folhas, identificada primeiramente nas folhas mais velhas. A parte superior das nervuras pode apresentar manchas avermelhadas (SILVA, 1990).

### 3.1.3.4 Enxofre

A exigência da cana-de-açúcar em relação ao nutriente enxofre é alta, ficando atrás apenas do nitrogênio. Sua absorção pela planta é feita pelas raízes por fluxo de massa, na forma de  $S-SO_4^{2-}$ . Para uma produção de 100 t de colmos, a necessidade de enxofre é de até 50 kg (MALAVOLTA, 1997).

Na planta, mais especificamente no floema, sua mobilidade é pouca, e sua deficiência aparece nas folhas mais novas (clorose generalizada). Para a cultura da cana-de-açúcar, são poucos estudos envolvendo esse elemento, isso porque os subprodutos da cana como a vinhaça e torta de filtro apresentam boa concentração em sua constituição. A colheita mecanizada do canavial fornece a palhada, que, depositada sobre o solo, é fonte disponível de enxofre (PENATTI, 2013).

Há sinergia entre os elementos nitrogênio e enxofre, em especial por serem componentes de aminoácidos. O aumento da disponibilidade de nitrogênio ocasiona maior uso do enxofre pela cultura (VITTI et al., 2008).

Um estudo realizado em campo com aplicação de nitrogênio em cana soca, salientou o efeito sinérgico da adubação nitrogenada da cana-de-açúcar no maior acúmulo de nutrientes, principalmente o enxofre (VITTI, 2003).

#### 3.1.3.5 Silício

O silício é caracterizado como o segundo elemento de maior abundância na crosta terrestre, ficando atrás somente do oxigênio. Está presente no solo e disponível para as plantas na forma de  $H_4SiO_4$  – ácido monossilícico, com origens em processos de intemperização de minerais primários e secundários, como os argilo-silicatos (PENATTI, 2013).

Sua absorção pela planta é em forma de ácido monossilícico junto com a água, por fluxo de massa; seu acúmulo ocorre, principalmente, nas áreas de máxima transpiração (tricomias, espinhos etc). Na cana-de-açúcar, esse acúmulo é feito no joçal (espinho minúsculo presente nas folhas). As plantas denominadas acumuladoras de silício possuem teor foliar acima de 1%; as não acumuladoras, teor menor que 0,5% (MA et al., 2001).

Na cana-de-açúcar, as concentrações de silício são altas, podendo variar de 0,14% nas folhas mais jovens a até 6,7% nas folhas mais velhas. Korndorfer et al. (2002) encontraram diferentes teores de silício nas seguintes variedades: RB724554 (0,76%), SP79-1011 (1,04%) e SP71-6163 (1,14%). Presente na planta, o silício gera efeitos positivos, como: aumento da resistência à pragas, nematóides e doenças; diminuição na taxa de transpiração; e contribuição para maior eficiência fotossintética. É certo que a presença do elemento na cana-de-açúcar tem papel fundamental na produtividade (PREEZ, 1970).

#### 3.1.3.6 Cálcio e Magnésio

Presentes no solo, o cálcio e o magnésio são absorvidos pelas plantas na forma catiônica de  $Ca^{2+}$  e de  $Mg^{2+}$ . Entram em contato com a raiz a partir de processos de fluxo de massa e interceptação radicular; já na planta, o Ca é imóvel, sendo necessário no

crescimento ativo das raízes. O Mg é um elemento móvel na planta; por estar disponível no floema, é redistribuído das folhas velhas para outros órgãos da planta (BENEDINI, 1988).

Teores de cálcio considerados baixos são os de 0-3 mmol dm<sup>-3</sup>; médios, de 4-7 mmol dm<sup>-3</sup>; e altos, acima de 7 mmol dm<sup>-3</sup>. Já para o magnésio, os limites correspondentes são: 0-4 mmol dm<sup>-3</sup>, 5-8 mmol dm<sup>-3</sup>, e acima de 8 mmol dm<sup>-3</sup> (RAIJ et al., 1996).

## 3.2 QUALIDADE INDUSTRIAL

### 3.2.1 Importância da Qualidade da Matéria Prima para Eficiência Industrial

A formação da cana-de-açúcar é oriunda das raízes, flores e colmos (SEGATO, 2006). Os colmos são constituintes da parte aérea (acima do solo), formados por nós e entrenós. A atividade metabólica da planta ocorre em maior período nos nós, e os entrenós tem como prioridade o acúmulo de sacarose (SILVA NETO et al., 2011).

Com a extração do caldo a partir do colmo, diferentes fatores interferem na qualidade industrial desde a sua origem até a eficiência no processamento da cana. Os fatores intrínsecos (teor de sacarose, açúcares redutores, fibras, compostos fenólicos, amido e minerais) e os extrínsecos (terra, restos de cultura, pedra e plantas invasoras), podem comprometer a qualidade da matéria prima (FERNANDES, 2003).

Para a formação do caldo de cana, diferentes fatores exercem influencia sobre o mesmo, como: variedade, tipo e manejo do solo, adubação, estado de maturação da cana, forma de colheita, período entre a queima/corte até o processo de extração (SOUZA, 1988). O teor de sacarose é um dos principais aspectos de avaliação da produtividade em cana-de-açúcar, caracterizando-se também como um dos produtos de grande importância para a indústria. Sendo assim há necessidade de adequar alta produção de biomassa (colmos) a alto teor de sacarose no período de colheita. O objetivo dos pesquisadores que trabalham com melhoramento genético em cana-de-açúcar, é aumentar a produtividade e o teor de sacarose (SACHDEVA et al., 2012).

A qualidade industrial da cana-de-açúcar, anteriormente, era determinada pelo teor de sacarose aparente, caracterizado como Pol. Nos tempos atuais, a avaliação é mais extensa, envolvem características físico-química e microbiológica, aspectos que influenciam a recuperação deste açúcar na indústria e a qualidade final do produto. Uma série de parâmetros

permite avaliar a riqueza da cana e a qualidade da mesma para recuperação dos açúcares; os fatores que estão ligados à qualidade industrial são: Brix (teor de sólidos solúveis), Pol (sacarose aparente), PZA (pureza do caldo), ATR (açúcares recuperáveis totais), açúcares redutores, percentagem de fibra e tempo de queima/corte (BRANCO et al., 2010).

O teor de sólidos totais (açúcares, polissacarídeos, proteínas e minerais) líquidos no caldo, é expresso em °Brix. O caldo apresenta teores entre 15 e 25 °Brix, essa variação ocorre em função de fatores ambientais, época de colheita etc. A mensuração de sólidos solúveis aparente é expressa em percentual de uma solução pura de sacarose, é a mais usada na indústria sucroalcooleira (LEME JR.; BORGES, 1965; MARTUCCI, 1983).

A determinação da pureza é feita pela relação Pol/Brix x 100. Quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria prima para a recuperação do açúcar. Todos os elementos que representam atividade física podem intervir na Pol, como os açúcares redutores (glicose e frutose), os polissacarídeos e as diferentes proteínas. Para o início de uma colheita recomenda-se que a pureza esteja acima de 80% e no decorrer da safra, 85%. Uma variedade para ser considerada rica possui teor da sacarose maior que 14%, e a pureza do caldo maior que 85%. Quando o teor de sacarose está entre 12,5% e 14% e a pureza do caldo for menor que 82% são variedades médias. Abaixo desses valores são consideradas variedades pobres (FERNANDES, 2000).

Os açúcares recuperáveis totais (ATR) simbolizam a quantidade total de açúcares da cana (sacarose, glicose e frutose). O teor dos açúcares redutores (AR) é a quantidade de glicose e frutose do caldo (EMBRAPA, 2015).

A porcentagem de fibra na cana interfere na atividade de extração da moenda: quanto maior a porcentagem de fibra, menor o rendimento na extração. Porém, é importante ressaltar que variedades que contêm menor quantidade de fibras estão mais sujeitas a danos físicos, ataque de pragas e microrganismos, além da baixa produção de biomassa destinada à produção de energia (RIPOLI; RIPOLI, 2009)

### 3.3 PRODUÇÃO DE ETANOL

Em 1973, decorrente de um conflito entre Israel, Egito e Síria, houve o primeiro “choque do petróleo”, que culminou no aumento do preço dos combustíveis (MICHELLON et al., 2008). Este movimento pode ser considerado como o principal fator

que desencadeou a criação do Proálcool, iniciando-se o interesse por combustíveis renováveis com menor impacto ambiental, diminuindo as emissões de gases causadores do efeito estufa.

O Proálcool - Programa Nacional do Alcool - criado em 1975, é a expressão mais nítida e duradoura de um programa de substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis (CARVALHO; CARRIO, 2007). O Brasil foi o país pioneiro na utilização do etanol como combustível, e as tecnologias aqui desenvolvidas estão avançando cada vez mais, sendo aproveitadas por outros países, aumentando o interesse na produção de etanol (LIMA, 2010).

Com o surgimento do Proálcool, a cultura da cana-de-açúcar se expandiu, ocasionando aumento na produção das safras agroenergéticas. O programa apoiou, também, o uso do álcool no setor químico (MELO; FONSECA, 1981).

Com o uso do etanol, contribui-se para o meio ambiente, já que há menor taxa de emissão de gases poluentes, quando se compara com a queima da gasolina, que emite 89% mais CO<sub>2</sub>, sendo que as emissões geradas pelo etanol são reabsorvidas pela própria cana-de-açúcar no seu crescimento. Tendo em vista a crescente demanda mundial por energia renovável de baixo custo, o etanol pode ser considerado como o único combustível com capacidade de suprir essa necessidade (NOVACANA, 2016).

A produção do etanol de primeira geração é feita a partir da extração do caldo da cana-de-açúcar, seguida da fermentação. Na sequência, ocorre o processo de destilação, que é a separação do álcool e da água (MACEDO, 2005), podendo-se obter o etanol anidro, cujo teor de água mínimo é 99,6%, e o etanol hidratado, com teor de água de 5,6%. O uso do etanol hidratado é feito em automóveis *flex fuel* e a etanol; já o anidro é acrescentado à gasolina, sendo uma opção para diminuição das emissões e do consumo de petróleo (SZWARC, 2002).

Para ser comercializado, o etanol precisa contemplar algumas especificações, que estão estipuladas no Regulamento Técnico ANP nº 3/2011, algumas próprias para o etanol carburante hidratado (vendido como etanol nos postos de combustível), outras para o etanol anidro (em mistura à gasolina), e outras comuns a ambos. O teor alcoólico do etanol hidratado deve estar entre 95,1 e 96° INPM.

Para Pacheco (2011), no que diz respeito à produção de etanol, o Brasil encontra-se em posição de destaque, dominando a agricultura de energia e o mercado de biocombustíveis, sem ampliar a área desmatada ou reduzir a área já destinada para a produção

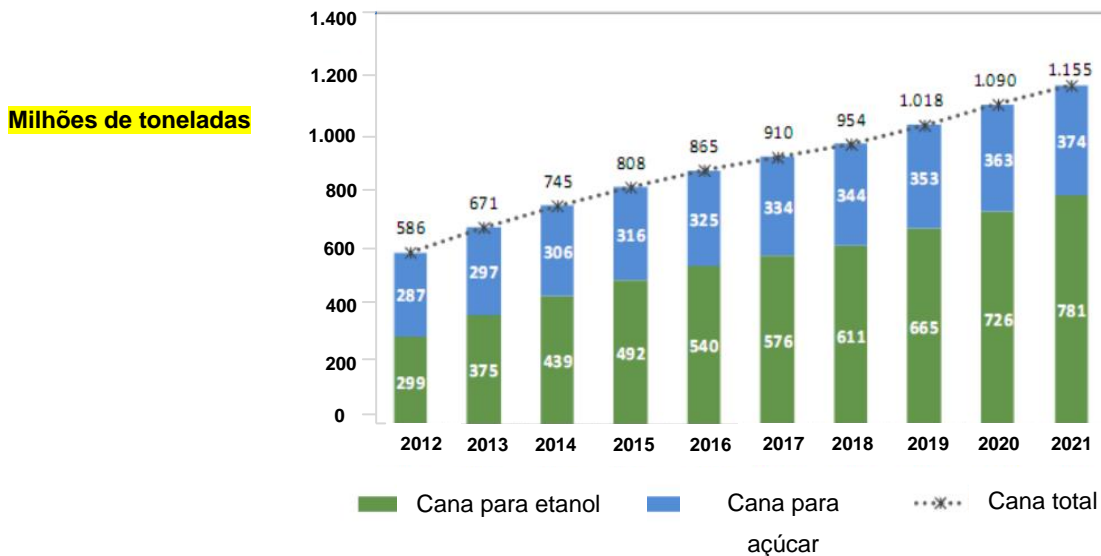
de alimentos. Na matriz energética, o Brasil é um exemplo de sustentabilidade, utilizando 46,8% de fontes renováveis, sendo que a média mundial é de 14% (EPE, 2011).

A demanda por etanol produzido a partir da cana-de-açúcar é cada vez maior no mercado interno, com crescente procura no mercado externo, contando com uma produção de 58,8 bilhões de litros até 2019, o dobro da produção registrada em 2008. O volume previsto para o consumo interno é de 50 bilhões de litros e para o consumo externo, de 8,8 bilhões (MAPA, 2015).

Com o aumento da produção de etanol, uma quantidade maior de cana-de-açúcar será destinada para a produção. Em 2012, o percentual da matéria prima utilizada era de 51%. Para 2021, está previsto um percentual de 67,6%, isso em função do aumento da demanda de etanol (LOPES, 2013).

A Figura 2 apresenta a projeção de produção de cana-de-açúcar e a expectativa de sua destinação final.

**Figura 2** – Cana-de-açúcar colhida para produção de etanol e açúcar.



**Fonte:** Adaptado de EPE/MME (2012).

### 3.4 SISTEMAS DE COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Para a colheita da cana-de-açúcar, são conhecidos dois sistemas: colheita mecanizada ou cana crua, e cana queimada, sendo que ambos os sistemas interferem na produção, na longevidade da cultura e nas características físicas, químicas e biológicas do solo (FURLANI et al., 1997).

O sistema de colheita da cana queimada traz como benefícios a facilidade do corte e a diminuição de acidentes de trabalho com os cortadores. Entretanto, como consequência, tem-se alta concentração de gás carbônico na atmosfera em um curto período de tempo, bem como perda de matéria seca, diminuindo o teor de matéria orgânica no solo. Assim, leis estaduais determinam prazo para o fim dessa prática, com interesse agrícola e ecológico. Hoje, uma das maiores preocupações mundiais com o meio ambiente é a emissão de gases poluentes, que contribuem para o efeito estufa. Nesse ponto, a queima da palha da cana-de-açúcar, promovendo a limpeza dos canaviais para a operação de colheita, é extremamente prejudicial, pois libera, principalmente, gás carbônico (CO<sub>2</sub>), bem como monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); além da poluição atmosférica causada pela fuligem e pela fumaça, causando danos à saúde da população e dos trabalhadores, que fazem o corte da planta (ANTUNES, 2015; AZANIA, 2015).

Em São Paulo, maior estado produtor de cana-de-açúcar, a Lei n.º 11.241, de 2002, proíbe a queima da cana-de-açúcar, controlando os canaviais para a despalha.

A lei exigiu que um plano fosse entregue a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), com adequações das áreas produtoras para a substituição total da queimada. De início, o prazo para as áreas de colheita mecanizada seria em 2021, e para a colheita manual, em 2031. Porém, com a gravidade do sistema, houve uma antecipação de prazos através do Protocolo Ambiental entre o Governo do Estado e a União das Indústrias de Cana-de-Açúcar (UNICA), no ano de 2007. Em 2014, as novas normas entraram em vigor, não podendo ser queimadas áreas com declividade de até 12%, sendo a colheita mecanizada da cana crua. O prazo máximo para a eliminação total da queimada é 2017; porém, no ano de 2016, 80% da queima serão eliminadas (NOVA CANA, 2016).

Para a total eliminação da queimada, assim como São Paulo, outros estados produtores de cana-de-açúcar instituíram novas leis. A Lei n.º 3.357, de 9/01/2007, determina que a queimada seja eliminada no período de 20 anos, em um valor crescente de 5% ao ano, no Estado do Mato Grosso do Sul, iniciando essa prática em 2006. Já em Goiás, a Lei n.º 15.384, de 23/11/2006, permite a redução crescente da queima, sendo que até 2028 a eliminação deve ser total (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROINDUSTRIAL, 2007).

Outros estados não adotaram a extinção total da queima, permitindo que ela ocorra de forma controlada; esse é o caso de Minas Gerais, segundo a Lei Estadual n.º 10.312/98. Em Alagoas e Pernambuco, principais estados produtores do Nordeste, não

existe legislação regulamentada (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROINDUSTRIAL, 2007).

No Estado do Paraná, o Decreto Estadual 10.068/2014, fixa diferentes medidas para a eliminação total da queima da palhada. Nas áreas mecanizáveis, o prazo máximo para a total eliminação é até 31 de dezembro de 2025. Já em áreas não mecanizáveis, com estruturas de solo que impossibilitam o uso de técnicas de mecanização, o prazo para o fim dessa prática é até dezembro de 2030 (NOVACANA, 2014).

No novo sistema de colheita mecanizada, permanecem sobre o solo folhas secas e verdes, bainha e ponteiros, formando uma cobertura vegetal, que varia de 10 a 30 Mg ha<sup>-1</sup> (TRIVELIN et al., 1996).

Segundo a Única (2007), mais de 100 milhões de toneladas de palhada são depositadas no solo. A tendência é que esse número aumente cada vez mais, conforme a adoção do novo sistema em diferentes áreas.

A preservação da cobertura vegetal contribui para a diminuição da erosão e aumento da matéria orgânica no solo, com manutenção da umidade, controle de plantas daninhas, diminuição no uso de herbicida e redução significativa das emissões de gás carbônico (BLAIR et al., 1998; BLAIR, 2000; VASCONCELOS, 2002).

Hoje, no Brasil, na região centro sul, principal produtora de cana-de-açúcar, 97% da área cultivada empregam o sistema de colheita da cana crua (ou mecanizada) (NOVACANA, 2015).

Em estudo realizado em um período de 50 dias em três áreas distintas, sendo a primeira sem cobertura vegetal, a segunda com 50% de palhada e a terceira com 100% de palhada, os pesquisadores observaram que os tratamentos cobertos por palha emitiram 400 quilos a menos de carbono (equivalendo a quase 1,5 mil quilos de gás carbônico) do que as áreas que não continham cobertura. Uma das explicações para essa ocorrência é que a presença da palhada no solo interfere na temperatura e umidade do sistema, fazendo com que a temperatura do solo diminua e a umidade aumente, diminuindo a oxigenação e preservando a matéria orgânica no solo (SCALA JÚNIOR, 2011).

Com a eliminação total da queima da palhada, novas tecnologias são desenvolvidas para a recuperação da biomassa, que será encaminhada para a produção de etanol ou para a cogeração de energia (MAGALHÃES & BRAUNBECK, 2010). Uma tonelada de cana-de-açúcar equivale de 1,2 a 2,8 EBP (equivalente a barris de petróleo). O

não reaproveitamento desta palhada ou a sua queima significa desperdício energético, agrícola e poluição ambiental (RIPOLI et al., 2000).

Segundo Magalhães & Braunbeck (2010), os sistemas de colheita mecanizada já são usados há cinquenta anos. O uso da mecanização total ou parcial na colheita da cana-de-açúcar se apresenta como a forma mais viável, tanto economicamente, quanto ambientalmente, com reaproveitamento da palhada. Faz-se necessário saber qual a quantidade de palhada que deve permanecer sobre o solo, sem prejuízos à soqueira seguinte, bem como quanto deve ser destinado para a produção de etanol de segunda geração e para a cogeração de energia.

### 3.5 O PAPEL DA PALHADA NA SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Azania et al. (2007), relatam sobre o uso de resíduos orgânicos na agricultura, e reforçam que os estudos são indispensáveis e atuais para diminuir o problema do excesso de resíduos gerados pela industrialização e pelo ser humano.

A decomposição da palhada está relacionada a alguns fatores, como: temperatura, condições ambientais, precipitação, evapotranspiração, aeração e umidade do solo (ZHANG et al., 2009).

Níveis altos de lignina, celulose e hemicelulose, a composição química exercem papel fundamental na decomposição da palhada e liberação de nutrientes no solo (MEIER et al., 2006).

O reaproveitamento da biomassa vegetal da cana-de-açúcar está relacionado com a qualidade do resíduo e com o nível de participação do nitrogênio decomposto a partir da biomassa (OLIVEIRA et al., 2002).

A palhada atua como fertilizante para a cultura, fornecendo elementos minerais ao solo e nutrientes para as plantas, podendo liberar de 40 a 120 kg de N ha<sup>-1</sup> em um ano (MEIER et al., 2006). Exerce papel extremamente importante em relação à proteção do solo contra erosão e aumento no sequestro de carbono, beneficiando cada vez mais o sistema. Acredita-se que a maioria dos nutrientes e o N estejam disponíveis no campo com o passar do tempo, contribuindo com a agricultura (VITTI et al., 2008).

Estudando a presença da palhada no solo, em um período de 11 meses, Buzolin (1997) constatou acréscimo disponível de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no solo e no caldo da cana-de-açúcar.

Já em relação à matéria seca, no começo era, em média, de 12 t ha<sup>-1</sup>, e, conforme a decomposição, passou para 4,2 t ha<sup>-1</sup> no final do ciclo. Observou também que a relação C:N foi elevada desde o começo até o final do ciclo, ocorrendo oscilações nos valores dos sais minerais, acontecendo isso em função da soqueira subsequente.

Segundo Orlando Filho et al. (1994), com a palhada depositada no solo e se decompondo no período de 365 dias, disponibiliza-se para o solo cerca de 85% do K, 44% do Ca e 39% do Mg que estavam contidos nesta após a colheita mecanizada.

Abramo Filho et al. (1993) elaboraram um dos trabalhos pioneiros em relação à decomposição da palhada e encontraram valores de 15 t ha<sup>-1</sup> de resíduo (peso seco de palhada) na variedade SP71-6163, composto de 69,7% de celulose, 19,2% de hemicelulose e 6,8% de lignina.

Franco et al. (2007) analisaram a quantidade de resíduos culturais da cultura canavieira e a liberação de nutrientes incorporados ao solo. O estudo aconteceu na Usina Santa Adélia, com a variedade SP 83-2847, e na São Martinho, com a variedade SP 85-5536, localizadas em Jaboticabal, São Paulo. A palhada que permaneceu no solo foi analisada quantitativamente, nas safras de 1998 a 2004. A quantidade de palhada encontrada foi de 28,9 e 16,7 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, gerando estoque de nutrientes, onde o N se destacou, com cerca de 200 kg ha<sup>-1</sup>, na Usina Santa Adélia. Nas duas usinas, esse estoque de nutrientes teve a seguinte ordem decrescente de grandeza: N > K > Ca > S > Mg > P, sendo que a palhada da Usina Santa Adélia tinha maior concentração de macronutrientes.

Com relação aos níveis de palhada que permanecem no solo, Yamaguchi et al. (2015), trabalhando com cinco níveis de palhada sobre o solo, 0, 25, 50, 75 e 100%, correspondente a 2,8; 5,7; 8,5 e 11,3 t ha<sup>-1</sup> constataram diferença na degradação dos maiores níveis (100% e 75%) para o menor nível (25%), que apresentou a menor porcentagem de degradação. O tratamento 25% apresentou queda de biomassa de 34% (passou de 2,8 para 1,8 t ha<sup>-1</sup>); já o tratamento 100% apresentou queda de 48% (passou de 11,3 para 5,9 t ha<sup>-1</sup>). Isso porque foi evidenciado incrementos na velocidade da decomposição com aumento da quantidade de palhada.

Fortes (2010), avaliando a degradação e a contribuição da palhada de cana-de-açúcar em termos de macronutrientes, observou que, após três ciclos, houve liberação de 31% do N; 23% do P; 92% do K; 54% do Ca e 7% do Mg. Com a finalidade de observar a contribuição da palhada para o solo e a planta, Oliveira et al. (2002) verificaram que a

decomposição de matéria seca foi, em média, de 15 a 18 t ha<sup>-1</sup>, e a liberação dos nutrientes foi, em média, de 55 kg ha<sup>-1</sup> de N, 130 kg ha<sup>-1</sup> de K, 60 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e 20 kg ha<sup>-1</sup> de Mg.

Resende et al. (2006) apontam que cerca de 10 t ha<sup>-1</sup> de palhada contém, entre os principais nutrientes, N (40-60 kg ha<sup>-1</sup>), S (15-30 kg ha<sup>-1</sup>) e C (4.500 kg ha<sup>-1</sup>), que entram no sistema e contribuem para a diminuição da adubação química.

Em relação ao reaproveitamento do N pela biomassa vegetal incorporada ao solo, no período de um ano, a resposta foi baixa, variando de 2 a 15% do N total que a biomassa continha. Esse reaproveitamento ocorre de maneira significativa se a quantidade de N for maior que 20 g kg<sup>-1</sup>. Se a relação do C:N for menor que 25, ocorrerá a decomposição, gerando maior liberação e absorção de nutrientes a partir das fontes orgânicas (GAVA et al., 2005).

Entre as vantagens que a palhada proporciona ao sistema solo-planta, a capacidade de troca catiônica do solo (CTC) é um dos fatores de maior relevância, pela retenção de íons positivos em seus constituintes, que, posteriormente, serão cedidos às plantas. A grande maioria dos solos brasileiros é pobre em matéria orgânica e em fertilidade; sendo assim, uma solução para o acúmulo de nutrientes é a utilização de resíduos vegetais (CUNHA et al., 2011). Faroni et al. (2003) constataram que, após um ano, de 40 a 50% da matéria seca da palhada permaneciam no solo.

Franchini et al. (2001), em relação ao pH do solo, constataram aumento com a presença da biomassa vegetal, decorrente da complexação do H<sup>+</sup> e do Al<sup>3+</sup> livres por compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e do aumento da saturação da CTC do solo pelos nutrientes Ca, Mg e K, adicionados via resíduo vegetal, o que diminui a acidez potencial e aumenta a absorção de nutrientes.

### 3.6 COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Desde o século passado, o bagaço da cana-de-açúcar é utilizado como matéria prima para a produção de ração animal, fertilizante e biogás, mas seu principal uso é a produção de energias térmica e elétrica, atraindo os olhares de empresas, que enxergam uma maneira de aproveitar o resíduo e de ampliar negócios. Do total de 438 usinas no Brasil, 129 já produzem energia elétrica para a venda em leilões públicos (UNICA, 2015).

A utilização da palhada e do bagaço da cana-de-açúcar para a cogeração de energia, é feita através da queima em caldeiras, gerando vapor e, posteriormente, energia.

Diferentes maneiras já foram estudadas para o recolhimento da biomassa no campo. Dentre as principais, estão: colheita integral da cana de açúcar, fardo prismático, fardo cilíndrico, picado a granel. Porém, o método com menor custo econômico e eficiente é o enfardamento (HASSUANI et al., 2005).

Um fator de grande importância é o período em que as usinas fornecem energia. Geralmente, a maioria das plantas de geração de bioeletricidade das usinas, produzem e comercializam toda a energia no período da safra, sendo vendida por meio do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou por meio do Ambiente de Contratação Livre (ACL). Sendo assim, no período da entressafra, a cogeração de energia não acontece, mesmo tendo potencial para estar produzindo. O período da safra se encontra entre os meses de abril a novembro, em torno de 220 a 240 dias de produção, com base na região Centro-Sul, que corresponde a 90% do processamento da cana-de-açúcar. A grande oferta da biomassa permite que as usinas mantenham os trabalhos mesmo no período da entressafra, fornecendo ainda mais energia limpa e renovável (CORRÊA NETO, 2001).

O método mais convencional empregado pelas usinas para a geração de energia é a geração a vapor, que utiliza, basicamente, um equipamento, a caldeira, setor da usina que requer muita atenção. A partir do vapor obtido, a energia é gerada, usada para aquecer e evaporar o caldo da cana em diferentes processos e para acionar as moendas. É a base da usina. O modelo mais usado pelas usinas de açúcar e álcool é o aquatubular, que tem por base a circulação da água por dentro dos tubos e os gases por fora destes. É o modelo mais empregado pelas usinas pela maior produção de vapor e alto rendimento térmico. O vapor é gerado a partir do aquecimento da água, e o combustível usado para alimentar a caldeira é a biomassa da cana-de-açúcar (FRANCO, 2011).

Segundo as pesquisas desenvolvidas pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), o aumento na geração e comercialização de energia elétrica pelas usinas é decorrente de vários fatores, como: uso total da biomassa lignocelulósica, aumento no período da geração de energia (safra e entressafra), redução no consumo de vapor no processo, uso de turbogeradores de condensação e utilização de caldeiras de alta pressão. A maior geração de energia elétrica a partir da cogeração se concentra nos períodos de estiagem. Já em 2013, o setor produzia mais para o Sistema Interligado do que para consumo próprio, produzindo 60% de energia para a rede e 40% para o uso próprio, sendo essa tendência cada vez maior.

Entre os anos de 2013 e 2014, o crescimento da oferta externa de cogeração de energia foi de 21%. Comparando-se os anos de 2014 e 2015, de janeiro a outubro, observa-

se que a produção aumentou 8,4%. Em relação à contribuição para a produção de energia, o setor sucroenergético tem sido extremamente importante e com grande significância na oferta ao Sistema Interligado. Em 2014, esta oferta foi de 20 mil GWh; isso significa uma economia de 14% da água nos reservatórios do Sudeste/Centro-Oeste (ÚNICA, 2015).

### 3.7 ETANOL CELULÓSICO

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE/MCT) elaborou um relatório sobre o Projeto Etanol, demonstrando que o Brasil alcançaria uma produção do biocombustível, que substituiria em 10% toda a gasolina consumida no mundo até o ano de 2025. Mas, para que esse volume seja atingido, são necessárias inovações tecnológicas em todo o ciclo produtivo da cana-de-açúcar. Para o crescimento da produção, surge a necessidade de aumento na produtividade do canavial, quando se pensa em termos de litros por hectare (CTBE, 2015).

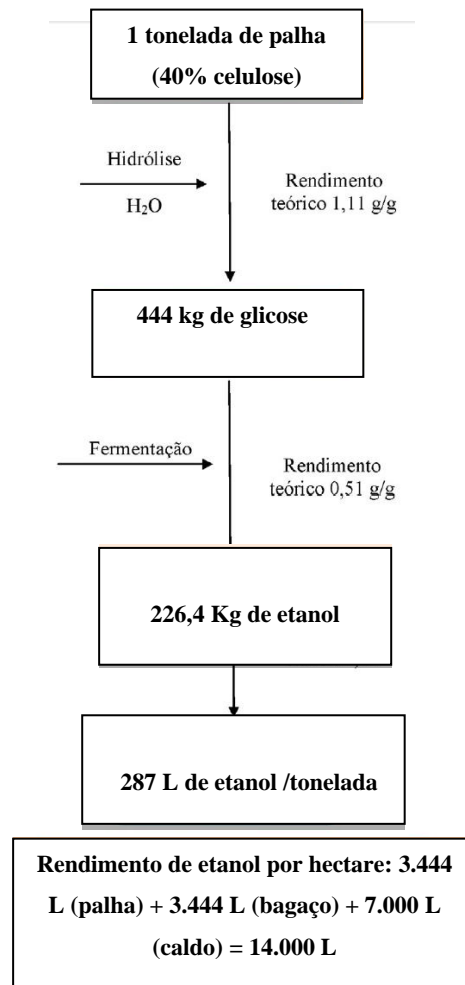
Os Estados Unidos da América detêm a maior produção de etanol, sendo o Brasil o segundo maior produtor, com os seguintes pontos positivos: diferentes variedades de cana-de-açúcar, processos industriais sofisticados, clima e disponibilidade de terras agricultáveis. Para Buckeridge et al. (2010), o Brasil precisa se manter competitivo no cenário atual, desenvolvendo novas tecnologias e formando profissionais qualificados. Segundo os autores, a produção de etanol a partir da biomassa da cana-de-açúcar é extremamente promissora.

Os fatores que interferem na comercialização do etanol celulósico são dificuldades técnicas operacionais, que incrementam o custo final do produto. No Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), a Biorrefinaria Virtual de Cana-de-açúcar (BVC) realizou simulações computacionais que estimam valores para a produção do etanol de segunda geração (2G), que será viável nas usinas em médio prazo, em 2020. Segundo cálculos da BVC, o custo atual para a produção do etanol 2G está em torno de R\$ 1,50 por litro, sendo que o etanol de primeira geração (1G) tem custo aproximado de R\$ 1,15. A médio prazo, o custo para a produção do etanol 2G diminuirá, chegando a R\$ 0,75, e, em mais alguns anos, R\$ 0,52. Com esse custo, o etanol 2G se mantém competitivo no mercado, mesmo que o preço do barril do petróleo chegue à U\$ 44 (CTBE, 2015).

A média da produção de cana-de-açúcar por hectare é de 85 toneladas; a quantidade de biomassa produzida a partir de uma tonelada de cana processada é cerca de 140

kg de palhada e de bagaço, ou seja, 12 toneladas cada por hectare. Com o aproveitamento da palhada e do bagaço para produção do etanol celulósico, haverá aumento na produção de etanol por hectare, que passará dos atuais 7.000 litros para 14.000 litros, dobrando a produção, sem necessidade de ampliação da área cultivada (Figura 3) (LEAL, 2007).

**Figura 3** – Capacidade de produção de etanol celulósico por hectare.



**Fonte:** Adaptado de Santos et al., 2011.

A forte ligação entre os elementos poliméricos da palhada e do bagaço (celulose, hemicelulose e lignina), e a disponibilização dos polissacarídeos como fonte de açúcares fermentescíveis para a produção de etanol celulósico, são prioridades nas áreas de pesquisa e desenvolvimento. Para otimizar a produção de etanol celulósico com eficiência e sustentabilidade, é necessária a interação de diferentes grupos de pesquisa, com

especializações em diferentes áreas, como tecnologia, fisiologia, genética, física e ecologia, entre outras (BUCKHERI et al., 2010). Para alcançar a viabilidade na produção de etanol celulósico, é necessário quebrar a parede celular das células que compõem a biomassa, há grandes expectativas depositadas na bioquímica de microrganismos (fungos e bactérias). (BUCKHERI et al., 2010).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O ensaio foi realizado em área pertencente à Usina de Açúcar e Álcool Bandeirantes (USIBAN), na cidade de Bandeirantes, localizada na região Norte do Paraná, à latitude de 23°06' S, longitude de 50°21' W e altitude de 440 m. A Figura 4 mostra uma imagem de satélite da área. Segundo a classificação climática de Köeppen, o clima da região é do tipo Cfa, com temperaturas médias máxima de 28,7 °C e mínima de 16,7 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão. A insolação média é de 7,10 h dia<sup>-1</sup>. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2006). De dezembro de 2014 a setembro de 2015, a precipitação foi de 1.314,30 mm.

### 4.2 VARIEDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

A variedade utilizada é uma das mais cultivadas no Centro-Sul do Brasil, a SP 80-1816, por apresentar boa emissão de perfilhos, acelerado crescimento vegetativo, com perfil ereto e fechamento regular nas entrelinhas; produtividade agrícola alta e alto teor de sacarose; com ausência de tombamento e florescimento. Uma boa opção para o corte mecanizado de cana crua (FERNANDES, 1991).

**Figura 4** – Imagem de satélite da área experimental.



**Fonte:** Google Earth.

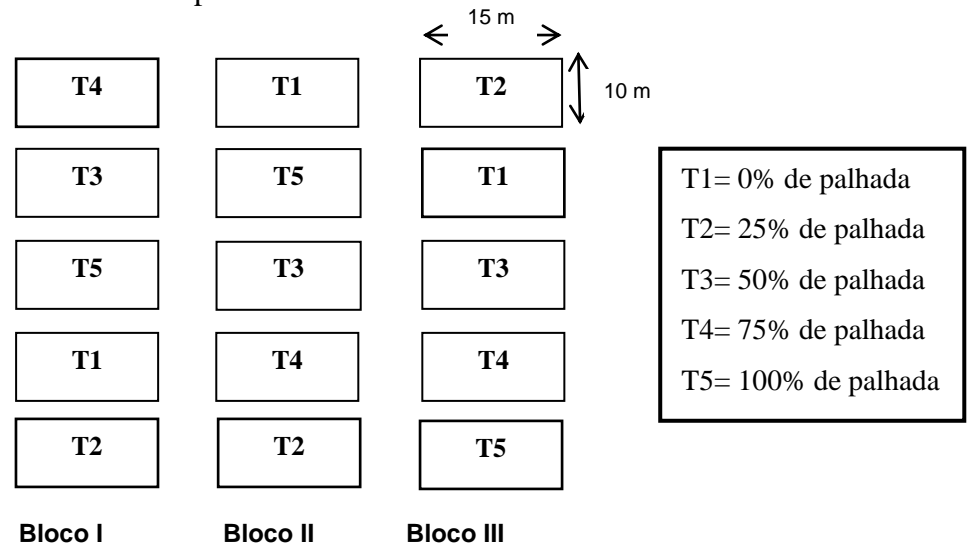
#### 4.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Há 65 anos, a área experimental vem sendo cultivada com cana-de-açúcar. Durante esse período, a colheita foi manual com despalha a fogo. As parcelas foram constituídas por 10 linhas de cana-de-açúcar, com 10 metros de comprimento e espaçamento entrelinhas de 1,50 m (Figura 5). A profundidade do sulco de plantio foi de 0,3 m,

Para o estudo da qualidade industrial, foram avaliados cinco tratamentos: 0 (T1), 25% (5 t ha<sup>-1</sup>) (T2), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>) (T3), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>) (T4) e 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) (T5) (Figura 5). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, totalizando 15 parcelas.

O estudo de decomposição e liberação dos nutrientes da palhada foi instalado em dezembro de 2014, na quarta soqueira (quinto ciclo), sendo avaliados quatro tratamentos 25% (5 t ha<sup>-1</sup>) (T2), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>) (T3), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>) (T4) e 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) (T5), respectivamente, de palhada, com delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, totalizando 12 parcelas.

**Figura 5** – Delineamento experimental em blocos casualizados com cinco tratamentos e três repetições, totalizando 15 parcelas.



Fonte: a própria autora.

## 5 AVALIAÇÕES A CAMPO

### 5.1 QUALIDADE INDUSTRIAL

Os aspectos tecnológicos - Brix, Pol, Fibra, Pureza, Açúcares Redutores (AR) e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), foram analisados aos 210, 240, 270 e aos 350 dias, coletando-se de 10 colmos por parcela, em três repetições. Após o corte, retiraram-se as folhas secas e verdes. O desponte deu-se na gema apical.

Para a coleta de dados foram consideradas as oito linhas centrais das parcelas experimentais, excluindo-se 0,50 m de cada extremidade da linha, obtendo-se 9 m<sup>2</sup> de área útil (Figura 6).

Após cada coleta, as amostras foram conduzidas ao Laboratório de Análises Químicas da USIBAN, para avaliação imediata dos aspectos tecnológicos, evitando-se perda por degradação.

**Figura 6** – Parcela experimental, 5º ciclo. Bandeirantes- PR.



**Fonte:** Aquino, 2010.

### 5.1.1 Leitura de Brix

A partir da moagem da cana-de-açúcar, foram determinados os sólidos solúveis (porcentagem de sólidos solúveis, em peso do caldo em °Brix), com auxílio de refratômetro digital de leitura automática, que possui correção automática de temperatura, e saída para impressora, sendo o valor final expresso a 20 °C.

É o parâmetro mais usado na indústria sucroenergética. Expressa a porcentagem dos sólidos solúveis contida em uma solução pura de sacarose (FERNANDES, 2003).

### 5.1.2 Leitura sacarimétrica

Após a clarificação do caldo, foi feita a leitura sacarimétrica do caldo em sacarímetro digital, automático, resolução de 0,01 °Z (um centésimo de grau de açúcar) e calibrado a 20°C, em comprimento de onda de 587 e 589,429 nanômetros, provido de tubo polarimétrico de fluxo contínuo e com saída para impressora de dados. Após cada leitura, o sacarímetro foi limpo com água destilada.

A Pol do caldo (S) (teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo) foi calculada pela seguinte equação (CONSECANA, 2006):

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

Onde:

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

B = Brix do caldo;

### 5.1.3 Determinação da fibra da cana

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

$$F = 100. (RS - RU. B) / 5. (100-B)$$

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<sup>2</sup>

#### 5.1.4 Determinação da Pureza Aparente

A pureza aparente do caldo (Q), definida como a porcentagem de Pol em relação ao Brix, foi calculada pela equação:

$$Q = 100 \times S \div B$$

Onde:

S = Pol do caldo;

B = Brix do caldo.

#### 5.1.5 Determinação dos Açúcares Redutores

O teor de Açúcares Redutores (AR) por cento, em peso de caldo, foi calculado pela equação:

$$AR \% \text{ caldo} = 3,641 - 0,0343 \times Q$$

Onde:

Q = Pureza aparente do caldo, expressa em porcentagem

#### 5.1.6 Determinação do Açúcar Total Recuperável

O Açúcar Total Recuperável (ATR) na cana foi calculado pela equação abaixo e seu resultado expresso em kg ha<sup>-1</sup>, seguindo a metodologia descrita pela CONSECANA (2003).

$$\text{ATR} = 9,5263 * \text{Pol (cana)} + (9,5 \text{ ARcana})$$

Onde:

ATR = (kg de açúcar/ t de cana)

9,5263 = Coeficiente estequiométrico para converter sacarose em açúcares redutores

Pol cana = (%)

9,05 = Coeficiente de recuperação para perda industrial de 8,8%

AR cana = (g 100 ml<sup>1</sup>)

## 5.2 PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Aos 350 DAC, foram obtidos os dados de produtividade de cana por hectare (TCH), com a coleta e pesagem dos colmos na área útil de cada parcela.

## 5.3 ESTUDO DA DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA VEGETAL

Para o estudo de decomposição da palhada e da liberação dos nutrientes para a cultura, foi utilizada a metodologia dos sacos de nylon – fibra sintética sendo está um polímero constituído de uma mistura de ácido adípico e hexametilendiamina, denominada *litter bags* (LUIZÃO & SCHUBART, 1987). Os sacos tinham malha de dois mm e dimensões de 0,20 x 0,23 m.

Após a colheita manual do quarto ciclo da cana-de-açúcar (terceira soqueira) (Figura 7), foi coletada a palhada, em três pontos aleatórios por parcela. Encaminhada ao laboratório, a palhada passou por pré-secagem em estufa a 65°C, para determinação da quantidade de massa seca inicial do material. Logo após, pesaram-se 20 g deste material, que foram colocados nos sacos de nylon e, em seguida, depositados no campo, num total de 480 sacos, sendo 40 por tratamento (Figura 8).

No tempo inicial (0), aos 30, 60, 90, 150, 210 e 270 dias após a instalação do ensaio, foram feitas as retiradas dos sacos de nylon (*litter bags*) do campo, em um total de sete retiradas no ano. As fibras foram analisadas até os 210 dias. Em cada data, foram retiradas 10 amostras por tratamento, sendo, em seguida, colocadas em sacos plásticos

individuais, que foram etiquetados e transportados ao laboratório. Em seguida, realizou-se a limpeza, a secagem, a pesagem e a picagem da matéria orgânica para posterior análise.

**Figura 7** – Colheita manual com despalha, 4º ciclo. Bandeirantes- PR.



**Fonte:** a própria autora.

**Figura 8** – Instalação dos *litter bags* no campo, para o estudo de decomposição e liberação dos nutrientes da palhada na superfície do solo, 5º ciclo. Bandeirantes-PR.



**Fonte:** a própria autora.

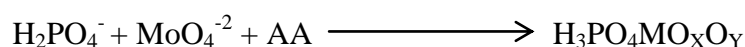
### 5.3.1 Caracterização química e avaliação da liberação de nutrientes da palhada da cana-de-açúcar

Logo após a colheita da terceira soqueira, e em cada período (0, 30, 60, 90, 150, 210 e 270), foram realizadas novas análises químicas para estimar a quantidade de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar liberados ao longo do tempo. Para os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, utilizou-se a digestão ácida, de acordo com a descrição de Malavolta (1997). Já o silício, foi determinado conforme descrito em Korndörfer et al. (2004). O nitrogênio e o carbono, foram determinados pelo método de combustão por via seca (Método de Dumas), por meio de um analisador elementar de carbono e nitrogênio (TruSpec CN LECO), a partir de 100 a 300 mg de amostra seca, moída e peneirada a 100 meshes (YAMAGUCHI et al., 2015).

#### 5.3.1.1 Determinação de fósforo

A determinação do fósforo foi feita pelo método de espectrofotometria com azul de molibdênio. Assim, o ânion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , em presença do ânion molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) em meio redutor (ácido ascórbico, estanho metálico ou cloreto estanhoso), origina um complexo de cor azul, cuja intensidade é proporcional à quantidade de fósforo. A leitura foi realizada no Espectrofotômetro marca: Micronal, modelo: AJX-1600.

A seguir, a reação química para a determinação do fósforo:



#### 5.3.1.2 Determinação de potássio

Para determinação do potássio, utilizou-se o fotômetro de chama marca: Micronal, modelo: B462.

#### 5.3.1.3 Determinação de cálcio e magnésio

A determinação de cálcio e magnésio foi feita em Espectrofotômetro de Absorção Atômica – EAA marca: GBC, modelo: 932-AA.

#### 5.3.1.4 Determinação de enxofre

O princípio do método de determinação do enxofre foi o de turbidimetria do sulfato.

#### 5.3.1.5 Determinação silício

O processo de extração de silício é feito através da oxidação da matéria orgânica, e a leitura foi realizada no Espectrofotômetro de Absorção Atômica marca: GBC, modelo: 932-AA.

### 5.3.1.6 Determinação de carbono e nitrogênio

As determinações de carbono e nitrogênio foram feitas por oxidação em via seca. Os extratos diluídos foram analisados no equipamento TOC - (Analisador Alimentar) marca: Thermo, modelo: NC-Soil.

### 5.3.2 Caracterização das fibras

As análises de fibra foram feitas em detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA), no sistema ANKON, como descrito por Berchielli (1996). Para os cálculos, foi utilizada a equação a seguir, proposta por Silva (1990).

$$\% \text{FDN} = (P3 - P2) / (P1 * MS) * 100 \quad \% \text{FDA} = (P4 - P2) / (P1 * MS) * 100$$

Onde:

P3 = peso final após a análise de FDN

P2 = peso do recipiente da amostra

P1\*MS = peso da amostra seca ao ar corrigido pelo teor de matéria seca da amostra

P4 = peso após análise de FDA.

Para análise de lignina, foi feita a digestão do resíduo de FDA, com ácido sulfúrico a 72%, com a função de remover a celulose e a hemicelulose, restando, assim lignina e matéria inorgânica.

Para o cálculo de celulose e hemicelulose, foram feitas as diferenças dos resíduos de FDA e FDN, e entre resíduos de FDA e lignina. Já a lignina foi calculada pela diferença entre o resíduo da digestão com o ácido e as cinzas, após queima em mufla a 500°C, por quatro horas.

#### 5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados referentes à qualidade industrial foram submetidos ao teste de Tukey a 5%, com uso de software Sisvar (Ferreira 2008).

Nos dados referentes à taxa de decomposição e liberação de nutrientes da palhada, foi aplicada análise de regressão e realizado teste de Tukey a 5%, com uso do software Sisvar (Ferreira, 2008).

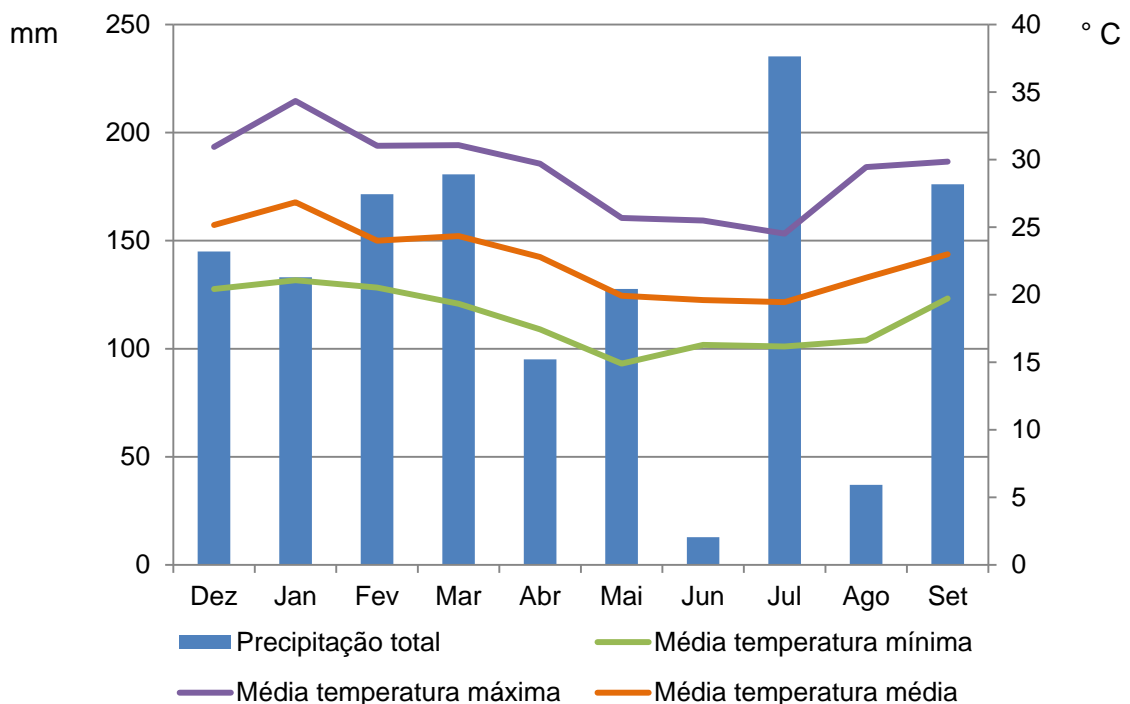
## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

No estágio de avaliação do experimento (4ª soqueira), houve disponibilidade hídrica durante todo o ciclo. Observa-se um volume total de 1315 mm de precipitação, de dezembro a setembro de 2014 (Figura 9). Segundo Brito (2006), o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar ocorre quando há disponibilidade hídrica entre 1200 a 1800 mm. Doorenbos e Kassam (1994) relataram que o consumo de água da cana-de-açúcar varia com o clima, com a disponibilidade hídrica e com o próprio ciclo de desenvolvimento da cultura, chegando a um consumo em torno de 1500 a 2500 mm. Estes autores mencionam, ainda, que a ocorrência de déficit hídrico no estágio inicial de cultivo afeta com maior gravidade a produção da cana, porque reduz o desenvolvimento radicular.

Segundo Benedetti (2014), a quantidade e a distribuição das chuvas no ciclo de produção da cana-de-açúcar são fatores aceleradores de todas as reações que influenciam a decomposição da palha depositada no campo após a colheita mecanizada da cana crua.

**Figura 9** – Distribuição da chuva e variações de temperaturas - máximas e mínimas durante o período de avaliações do ciclo da cana-de-açúcar, safra de 2014/15, Bandeirantes – PR.



Fonte: UENP, Bandeirantes – PR.

## 6.2 QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Na Tabela 1, são apresentados os resultados dos teores de sólidos solúveis, expressos em °Brix, contidos no caldo da cana-de-açúcar, em diferentes tratamentos e épocas de coleta. A variável época de coleta ( $p=0,00$ ) foi significativa, enquanto a % de palhada ( $p=0,60$ ) e a interação entre as duas variáveis ( $p=0,69$ ) não foram significativas.

Avaliando a % de palhada, na média geral, não houve diferença significativa entre os tratamentos. O Brix da cana-de-açúcar permaneceu crescente a partir da primeira avaliação, aos 210 DAC, até o período de colheita da cana-de-açúcar, aos 350 DAC, sendo que, quanto maior a maturação, maior o teor de sólidos solúveis.

Para uma boa qualidade industrial do caldo da cana-de-açúcar, quanto maior o °Brix, maior a proporção de sacarose. Mesmo sem diferença significativa, os tratamentos 25% e 75% de palhada obtiveram valores relativamente maiores, 21,36 e 21,10 aos 350 DAC.

**Tabela 1** – Sólidos solúveis (°Brix) da cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada em superfície do solo, no 5° ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.

% de palhada	210	240	270	350
0 (T1)	17,26 Aa	18,80 Aa	20,13 a	20,90 Aa
25 (T2)	17,93 Aa	17,63 Ab	19,40 Abc	21,36 Aa
50 (T3)	17,26 Aa	18,36 Aa	19,53 Abc	20,83 Aa
75 (T4)	17,53 Aa	18,16 Aab	19,80 Aa	21,10 Aa
100 (T5)	16,60 Aab	17,93 Ab	19,93 Aa	20,63 Ab
Média	17,32 d	18,18 c	19,76 b	20,96 a

\*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV) = 4,09%.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados dos teores de Pol (sacarose) contidos no caldo da cana-de-açúcar, em diferentes tratamentos e épocas de coleta.

A variável época de coleta ( $p=0,00$ ) foi significativa. Já a % de palhada ( $p=0,59$ ) e a interação entre as duas variáveis ( $p=0,58$ ) não foram significativas.

Os teores de sacarose aumentaram gradativamente nos diferentes períodos de coleta. O período que ocorreu maior concentração de sacarose foi aos 350 DAC. Entre os tratamentos, não foi evidenciada diferença significativa, com o máximo teor de sacarose

(15,97) obtido no tratamento contendo 25% de palhada, e o mínimo (15,27), no tratamento contendo 0% de palhada. Tal circunstância demonstra que a cultura possui boa adaptabilidade no sistema sob palhada.

**Tabela 2** – Pol do caldo de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada na superfície do solo, no 5º ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.

% de palhada	210	240	270	350
0 (T1)	13,03 Aa	13,66 Aa	15,16 Aa	15,27 Ab
25 (T2)	13,72 Aa	12,72 Ab	15,00 Aa	15,97 Aa
50 (T3)	13,11 Aa	13,56 Aa	14,69 Aa	15,44 Ab
75 (T4)	13,08 Aa	12,72 Ab	14,65 Abc	15,96 Aa
100 (T5)	12,37 Aab	12,86 Ab	14,86 Ab	15,56 Aa
Média	13,06 c	13,23c	14,87 b	15,64 a

\*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV) = 4,95%.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados da fibra da cana-de-açúcar, em diferentes tratamentos e épocas de coleta. A variável época de coleta ( $p=0,00$ ) foi significativa. A % de palhada ( $p=0,37$ ), e a interação entre as duas variáveis ( $p=0,74$ ) não foram significativas.

Os teores de fibra da cana-de-açúcar, no decorrer do quinto ciclo da cultura (quarta soqueira) apresentaram-se oscilantes, isso devido a quantidade de chuva. Segundo Ripoli (2004), a porcentagem de fibra recomendada para a cultura está entre 11 e 13%, valores obtidos nesse trabalho. Entretanto nota-se que, aos 350 DAC, os maiores valores de fibra (13,67 e 12,41), foram obtidos nos tratamentos que continham menores quantidade de palhada depositada sobre o solo (0 e 25%, respectivamente), e o menor valor foi observado no tratamento de 100% de palhada.

Orlando Filho (1983) apresentou resultados, mostrando que, quanto maior a proporção de água na planta, menor a quantidade de fibras na cana-de-açúcar, o que pode ser notado nesse trabalho, sendo que os tratamentos com maiores porcentagem de palhada (50%, 75% e 100%) sobre o solo, provavelmente, possuem maior umidade em relação aos tratamentos com menores quantidades de palhada (0 e 25%), em resultado ao alto índice pluviométrico anterior aos 350 dias após o corte.

**Tabela 3** – Fibra de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada na superfície do solo, no 5º ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.

% de palhada	210	240	270	350
0 (T1)	10,16 Aa	13,66 Aa	11,09 Ab	13,67 Aa
25 (T2)	10,03 Aa	12,72 Ac	11,21 Aab	12,41 Aa
50 (T3)	9,68 Aa	13,56 Aa	10,99 Aab	12,03 Abc
75 (T4)	10,96 Aa	13,38 Aa	11,23 Aa	12,36 Ab
100 (T5)	9,58 Aa	12,86 Ab	11,56 Aa	11,85 Ac
Média	10,08 c	13,23 a	11,22 bc	12,46 b

\*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV) = 8,38%.

Na Tabela 4, são apresentados os resultados de pureza do caldo da cana-de-açúcar, em diferentes tratamentos e épocas de coleta. A variável época de coleta ( $p=0,00$ ) foi significativa. A % de palhada ( $p=0,72$ ) e a interação entre as duas variáveis ( $p=0,55$ ) não foram significativas.

Não se notou efeito significativo nos distintos tratamentos de palhada, diferentemente da Nova Cana (2015) que descreve que a colheita mecanizada simboliza aumento na quantidade de impurezas na cana-de-açúcar e prejudica a qualidade do produto. No período de coleta, a época que apresentou maior pureza foi aos 350 dias, seguido dos 270 sendo semelhantes estatisticamente.

Valsechi (1983) cita que a pureza se correlaciona inversamente com o teor de fibras; porém, não foi observada esta relação nesse trabalho. Ao iniciar a colheita, os valores padrões de pureza devem estar acima de 80%; no transcorrer da safra, superior a 85% (DELGADO; CESAR, 1977). Observa-se que todos os tratamentos avaliados se encaixam nas recomendações de valores acima de 80%, para que se realize o corte da cana-de-açúcar (Tabela 4).

**Tabela 4** – Pureza do caldo de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada em superfície do solo no 5º ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.

% de palhada	210	240	270	350
0 (T1)	86,38 Aa	85,46 Aa	87,53 Aa	88,91 Aa
25 (T2)	87,38 Aa	83,14 Aa	90,25 Aa	89,94 Aa
50 (T3)	86,23 Aa	85,94 Aa	87,31 Aa	87,61 Ab
75 (T4)	86,55 Aa	85,63 Aa	86,20 Ab	89,88 Aa
100 (T5)	85,16 Ab	83,52 Aa	87,32 Aa	88,79 Aa
Média	86,34 bc	84,74 c	87,72 ab	88,83 a

\*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV) = 2,55%.

Na Tabela 5, são apresentados os resultados dos açúcares recuperáveis (AR) da cana-de-açúcar, em diferentes tratamentos e épocas de coleta. A variável época de coleta ( $p=0,00$ ) foi significativa. A % de palhada ( $p=0,56$ ) e a interação entre as duas variáveis ( $p=0,507$ ) não foram significativas.

Os açúcares redutores (AR) da cana-de-açúcar permaneceram com médias bem semelhantes em todos os tratamentos. Em função disso, não foi observada diferença significativa entre eles. Viana et al. (2008) descrevem que os valores de AR% diminuem com o passar do tempo, que também foi verificado nesse trabalho. Souza et al. (2005) estudaram o manejo da cana colhida sem queima com colheita mecanizada, no sistema de palhada sem triturar e sem cultivo. Observaram que os valores de açúcares redutores (AR) foram sempre abaixo de 1,0%. No decorrer do presente estudo, todos os tratamentos avaliados permaneceram com AR abaixo de 1,0%. A época em que ocorreu menor concentração de AR foi aos 350 dias.

**Tabela 5** – AR de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada depositada em superfície do solo no 5º ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.

% de palhada	210	240	270	350
0 (T1)	0,59 Aa	0,60 Ab	0,55 Aa	0,48 Aa
25 (T2)	0,56 Aab	0,68 Aa	0,46 Ab	0,49 Aa
50 (T3)	0,60 Aa	0,59 Ab	0,55 Aa	0,54 Aa
75 (T4)	0,57 Aa	0,60 Ab	0,58 Aa	0,47 Aa
100 (T5)	0,65 Aa	0,66 Aa	0,55 Aa	0,50 Aa
Média	0,65 ab	0,66 a	0,54 b	0,50 c

\*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV) = 12,03%.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados dos açúcares totais recuperáveis (ATR) da cana-de-açúcar, em diferentes tratamentos e épocas de coleta. A variável época de coleta ( $p=0,00$ ) foi significativa. A % de palhada ( $p=0,61$ ), e a interação entre as duas variáveis ( $p=0,58$ ) não foram significativas.

Os açúcares totais recuperáveis fazem parte da constituição do pagamento da cana-de-açúcar e simbolizam todos os açúcares na forma de açúcares invertidos (ART - açúcares redutores totais), que são resgatados na indústria, sendo expresso em ( $\text{kg t}^{-1}$ ) de cana. A partir dos resultados obtidos na quarta soqueira (Tabela 6), nota-se que os tratamentos aplicados não tiveram influência sobre o ATR.

Conforme a Nova Cana (2015), a partir de 2010, as indústrias do Estado de São Paulo deixaram de receber, praticamente, 862 milhões de quilos de ATR, uma diminuição na receita de quase 400 milhões. Esse prejuízo foi devido à colheita mecanizada, que interfere de maneira negativa, com aumento das impurezas, no valor do ATR. Porém, nos dados obtidos desse trabalho, não foi observada essa redução, sendo que o tratamento que contém 75% de palhada forneceu  $156,29 \text{ kg t}^{-1}$  e 25%  $156,64 \text{ kg t}^{-1}$  de ATR, enquanto 0% de palhada obteve  $149,91 \text{ kg t}^{-1}$  aos 350 DAC, apesar de não se diferirem significativamente, sinalizando que a produção não é afetada pela presença da palhada no solo.

**Tabela 6** – ATR de cana-de-açúcar em relação à diferentes quantidades de palhada em superfície do solo ( $\text{kg t}^{-1}$ ), no 5º ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.

% de palhada	210	240	270	350
0 (T1)	129,54 Aab	135,63 Aa	149,38 Aa	149,91 Abc
25 (T2)	135,79 Aa	127,42 Ab	147,20 Aab	156,64 Aa
50 (T3)	130,40 Aab	134,56 Aa	145,06 Abc	152,01 Ab
75 (T4)	129,84 Aab	132,91 Aa	144,91 Ac	156,29 Aa
100 (T5)	123,84 Ab	128,55Ab	146,52 Ab	152,79 Aab
Média	129,88 c	131,81 c	146,61 b	153,14 a

\*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV) = 4,47%.

Os parâmetros tecnológicos estudados (Brix, Pol, fibra, pureza, AR e ATR) na qualidade industrial da cana-de-açúcar, não resultaram em diferença estatística entre os tratamentos avaliados. Maeda (2009) relata que a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar engloba uma série de aspectos, como variedade utilizada, condições climáticas, ciclo da cultura e aplicação de adubos. A junção desses aspectos limita o potencial da matéria prima para a produção de açúcar ou etanol.

Bonnie Junior (1993) apresentou pontos positivos da colheita de cana crua, como aumento no estoque de matéria orgânica no solo, diminuição de perdas de açúcar evitando a exsudação, redução nas emissões de gases poluentes, e conseqüentemente, menores impactos ambientais, proteção do solo contra erosão, lixiviação de nutrientes e preservação da umidade do solo por um período maior.

No presente trabalho, sendo o quinto ciclo de adoção do sistema de colheita de cana crua, não foi possível observar nenhuma influência da palhada nas variáveis industriais da cana-de-açúcar.

### 6.3 PRODUTIVIDADE DOS COLMOS

No que diz respeito à produtividade toneladas de cana por hectare (TCH) (Tabela 7), resultante do período final de avaliação, aos 350 DAC, não houve diferença significativa entre os tratamentos com palhada. Tal circunstância deve-se ao alto índice

pluviométrico no período do experimento, igualando a capacidade da palhada no aumento e conservação da umidade no solo, especialmente em períodos de estiagem.

Apesar de não haver diferença estatística, observa-se que os tratamentos que continham 50% (10 t ha<sup>-1</sup>) e 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) de palhada, proporcionam os maiores pesos de colmos por hectare (87,41 t ha<sup>-1</sup> e 80,99 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Já os tratamentos com menores quantidades de palhada, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>) e 0% (nenhuma porcentagem de palhada), resultaram em valores inferiores comparados aos tratamentos com maiores quantidades de palhada, com 72,10 e 72,6 t ha<sup>-1</sup>.

Aquino e Medina (2014) obtiveram resultados semelhantes, onde o tratamento que continha 50% de palhada depositada sobre o solo, alcançou uma produtividade média 25% maior do que os tratamentos 0 e 25% de palhada (86 e 82 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente), com 87,41 t ha<sup>-1</sup>.

A permanência da palhada no solo contribui para diferentes fatores, como umidade, temperatura e matéria orgânica no solo, aspectos que interferem na dinâmica de enraizamento e na produtividade (SOUZA et al., 2005; COSTA et al., 2011)

Segundo Aquino et al. (2015), a presença da palhada sobre o solo propicia um microclima dominado pelo equilíbrio de temperatura, alta umidade, diminuição da perda de água e maior disponibilidade hídrica, fatores que podem causar mudanças no sistema radicular, e assim sendo contribuir para reduzir a queda de produção, especialmente em períodos de estiagem. Tavares et al. (2010) e Aquino et al. (2016) estão de acordo com resultados que descrevem que a deficiência hídrica influencia a produtividade final da cana-de-açúcar. Tal fato não foi evidenciado nesse trabalho, porque em quase todos os períodos avaliados aconteceram excessos pluviométricos (mm), o que também foi constatado por Aquino (2016) em períodos de excesso de precipitação hídrica.

**Tabela 7** – Toneladas de cana por hectare (TCH) aos 350 DAC, em relação à diferentes quantidades de palhada depositada na superfície do solo, no 5º ciclo. Bandeirantes – PR, 2015.

% de palhada	TCH
0 (T1)	72,60 A
25 (T2)	72,10 A
50 (T3)	87,41 A
75 (T4)	75,56 A
100 (T5)	80,99 A
Média	79,02 A

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV= 14,04%.

Diferentes autores, como Aude et al. (1993) e Macedo (2003), relatam que a cobertura de palhada de cana-de-açúcar depositada sobre o solo ocasiona efeito negativo na produtividade, por consequência de dificuldades no decorrer das atividades de cultivo, adubação da soca e execução do controle seletivo de plantas daninhas, com aumento das populações de pragas que se alojam e se proliferam sob a palhada, gerando queda na produtividade da cultura. Diferentemente dos resultados obtidos por Ball-Coelho (1993), que verificaram que a presença da palhada sobre o solo ocasionou aumento de 43% de matéria-seca da cana-de-açúcar.

No presente estudo, apesar de não haver diferença significativa entre os tratamentos, o que contém 50% ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) favoreceu um aumento de 17% na produção, ou seja, um ganho de 14,81 toneladas de cana por hectare (TCH), quando comparado ao tratamento com 0% de palhada, e 17,5% o equivalente a 15,31 (TCH) no que se refere ao tratamento com 25% ( $5 \text{ t ha}^{-1}$ ) depositada sobre a superfície do solo

#### 6.4 DECOMPOSIÇÃO DA PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Os dados referentes à taxa de decomposição da matéria seca da palhada de cana-de-açúcar estão apresentados na Figura 10.

O período máximo de decomposição foi aos 201 (60%), 230 (55%), 219 (56%), 265 (63%) dias, respectivamente, tratamentos 25, 50, 75 e 100% de palhada, equivalente à perda de 2,09; 5,5; 8,4; 11,6 t ha<sup>-1</sup> de biomassa vegetal.

A porcentagem de decomposição em todos os tratamentos foi semelhante, provavelmente devido às condições pluviométricas durante o período de avaliação do experimento, com quantidade de água abundante durante todo o ciclo.

Quantidades mais elevadas de palhada na superfície do solo fornecem maior umidade e flutuação térmica mais baixa (TAVARES et al., 2010). Portanto, quanto maiores os teores de palhada sobre o solo, maior a umidade, formando um microclima que beneficia o crescimento de fungos, sendo mais rápida a decomposição da matéria orgânica (GLÓRIA et al., 2000). Porém, nesse estudo não se observou isso devido às condições pluviométricas durante o período de avaliação do experimento, com quantidade de água abundante durante todo o ciclo, que contribui para a decomposição da matéria seca independente da quantidade de palhada depositada no campo.

Aquino et al. (2016), avaliando a decomposição da palhada de cana-de-açúcar, na Usina Usiban, em Bandeirantes - Norte do Paraná, em 2010, observaram que, os tratamentos que continham 25 e 50% de palhada no campo, apresentaram porcentagem de 53 e 61% de decomposição, corroborando com os resultados desse estudo.

Os dados de decomposição obtidos nesse trabalho foram semelhantes aos apresentados por Coelho (2012), que avaliou a decomposição da palhada no Cerrado, em canavial Usina em Goiatuba, seguindo a mesma metodologia, onde 50% da decomposição da palhada ocorreram no período de 100 a 150 dias.

Faroni et al. (2003) conduziram experimento avaliando a degradação da palhada no período de dois anos, da Usina Iracema, com a cultivar SP 80-1842. Após um ano, a taxa de decomposição foi de 42 a 48%, valores inferiores comparados aos obtidos nesse trabalho. É importante ressaltar que a decomposição dos resíduos culturais depende da sua composição em teores de celulose, lignina.

Yamaguchi et al. (2015) conduziram um experimento na Fazenda São Rafael, pertencente à Usina São João, no município de Araras-SP. Observaram taxa de decomposição entre 65 e 75%, no período de 240 dias, semelhantes aos resultados obtidos nesse trabalho.

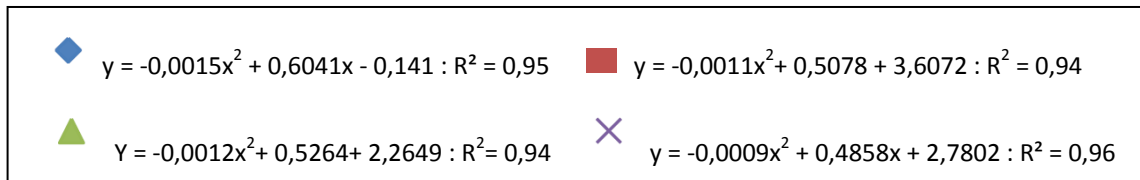
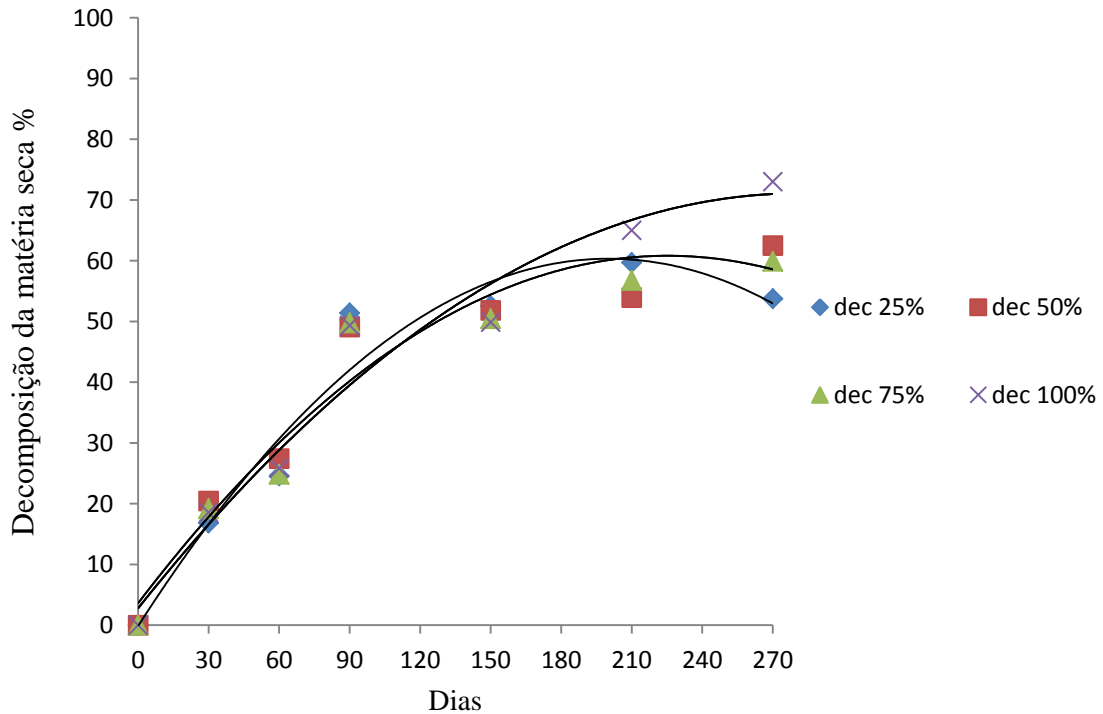
Vitti et al. (2008), trabalhando com a variedade SP 81-3250, em área da Usina São Martinho (Pradópolis –SP), após 14 meses, verificaram decomposição da palhada em torno de 70%, corroborando com os dados deste trabalho no tratamento 100% de palhada.

Fortes et al. (2010), conduzindo um experimento de decomposição da palhada de cana-de-açúcar, cultivar RB 85-5536, em quatro ciclos agrícolas, verificaram redução de 71% da palhada nas safras de 2005/2006. Em 2006/2007, a redução da palhada foi de 83%. Em função de o período estudado ser mais prolongado, a porcentagem de máxima de decomposição foi superior aos dados aqui obtidos.

Canellas et al. (2007) conduziram um experimento com o objetivo de avaliar o estoque e a qualidade da matéria orgânica no solo (MOS), em campo de Goytacazes, em um Cambissolo Háptico eutrófico vértico cultivado com cana-de-açúcar. Em uma situação, a cana-de-açúcar era cultivada 55 anos sem queima. Outra área era cultivada com queima e realizada a adição de vinhaça durante 35 anos. Nas áreas com preservação da matéria orgânica foram obtidos aumento no grau de aromaticidade e diminuição do grau de acidez da matéria orgânica, mudanças significativas no processo de humificação da MOS, sendo assim a sua qualidade foi em decorrência da preservação da palhada no solo. De acordo com os autores a queima dos resíduos vegetais para a despalha do canavial contribui para a oxidação da matéria orgânica no solo, resultando na diminuição no estoque de matéria orgânica com o decorrer do tempo.

Diversos pesquisadores como Faroni et al. (2003), Franco et al. (2007), Vitti et al. (2008) e Fortes et al. (2012), que trabalharam com a decomposição e liberação dos nutrientes a partir da palhada da cana-de-açúcar, obtiveram resultados variados; isso pode ser devido à aspectos metodológicos, como o período de avaliação, condições ambientais do local, variedade avaliada e idade do canavial.

**Figura 10** – Porcentagem de decomposição da matéria-seca de diferentes quantidades de palhada, em função do tempo de deposição do *litter bag* na superfície do solo.



## 6.5 MINERALIZAÇÃO DO C E DO N

Os períodos em que houve maior mineralização de carbono nos tratamentos 25%, 50%, 75% e 100% foram aos 198 (71%), 206 (68%), 223 (74%) e 225 (76%) dias, respectivamente.

O modelo que melhor explica a mineralização do carbono é o quadrático, (Figura 11). Pesquisadores como Oliveira et al. (1999), Vitti et al. (2008) e Fortes et al. (2012), que trabalharam com quantidades de palhada, também observaram que este é o melhor modelo a ser utilizado.

Yamaguchi (2015), avaliou diferentes quantidades de palhada depositada no campo, equivalentes a ( 2, 4, 8, 16 e 24 t ha<sup>-1</sup>), em dois ambientes distintos, com e sem

aplicação de vinhaça, no período de 2011 a 2013, com a cultivar RB-845210, na cidade de Araras – SP. Observaram porcentagem média de liberação de 70% no primeiro ciclo e de 95% no segundo ciclo, no tratamento sem adição de vinhaça. A alta porcentagem de liberação pode estar relacionada às condições pluviométricas, que foram altas durante o experimento (1573 mm). Semelhante a porcentagem de liberação de carbono (71%), no tratamento com 25% de palhada.

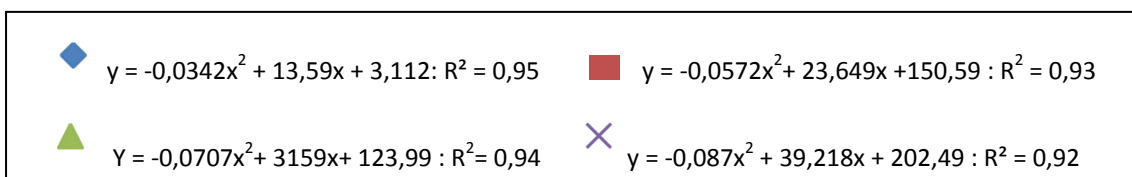
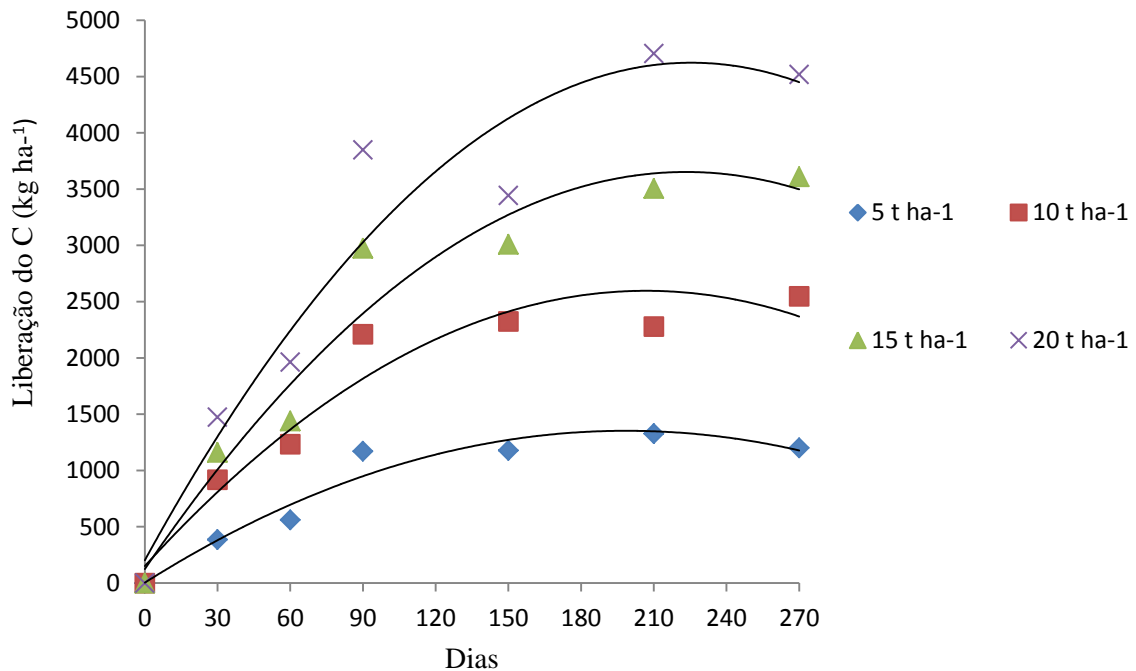
Dietrich (2014) no estado de Rio Grande do Sul, em cinco municípios, Porto Xavier, São Luiz Gonzaga, Salto do Jacuí, Santa Maria e Pelotas constatou liberações de 64%, 63% e 65% de carbono em três diferentes quantidades de palhada, equivalentes a 4, 8 e 12 t ha<sup>-1</sup>. Porcentagem de liberação semelhante ao presente estudo no tratamento que contém 50% de palhada (10 t ha<sup>-1</sup>).

Robertson et al. (2007) na Austrália, relataram que alcançaram perdas de 84% a 98% de C após 12 meses de experimento. Os mesmos autores citam que aplicações de N-uréia e condições ambientais favoráveis no período do estudo, contribuíram para essa maior taxa de liberação.

Canellas et al. (2007) verificaram um decréscimo de 40% no estoque de C no solo, comparado à área sem a queima nas camadas superficiais, e de 35% nas camadas subsuperficiais. Isso indica que a preservação da matéria orgânica contribui com o aumento de nutrientes no solo, não só nas camadas superficiais.

Convém ressaltar que, em condições adversas, ocorrem diferenças na degradação da biomassa ao longo do tempo. Aspectos como temperatura, variedade utilizada, tipo e manejo do solo são predominantes na dinâmica e liberação dos nutrientes.

**Figura 11** – Liberação do carbono ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar, durante 270 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo.



O período máximo de liberação do nitrogênio da palhada para o solo (Figura 12) aconteceu aos 237 dias após a colheita, com 68% de liberação, 82 (39%), 248 (95%) e 193 (71%), nos respectivos tratamentos 25%, 50%, 75% e 100% de palhada.

Nota-se que a partir dos 90 dias, ocorre liberação do nitrogênio para o solo de maneira lenta no tratamento 25% de palhada, semelhante ao estudo de Gava et al. (2005), que afirma que a liberação do N a partir dos resíduos vegetais para a planta, aumenta a partir da segunda metade do ciclo da cultura, sendo uma fonte que contribui pouco para a nutrição da planta (Vitti et al., 2012), devido à concorrência dos microrganismos pelo nitrogênio (Meier et al., 2006).

Dietrich (2014) conduziu um experimento para avaliar a decomposição e a liberação do nitrogênio a partir da palhada, em cinco municípios no Rio Grande do Sul, de 2012 a 2013. Trabalhou com a variedade RB 956911, em quantidades equivalentes a 4, 8 e 12  $\text{t ha}^{-1}$ , no período de 360 dias. No final do experimento, a média de liberação nos cinco

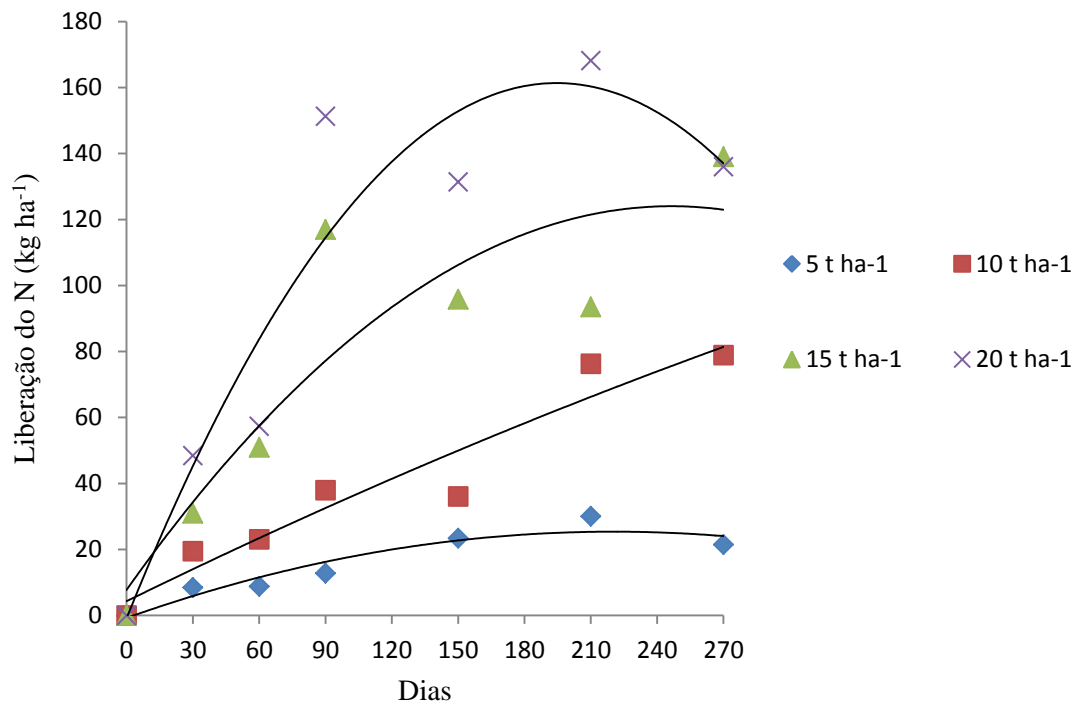
municípios e nos diferentes tratamentos foi de 16%, 13% e 15%. Resultados que corroboram com os pesquisadores Oliveira et al. (1999), Faroni et al. (2003); Gava et al. (2005), e Fortes (2010) trabalhando com a liberação de nitrogênio da palhada da cana-de-açúcar, verificaram que no período de um ano houve variação na liberação de 3 a 30%. Dados que diferem deste trabalho e de Conde, Penatti e Bellinaso (2005), que verificou em  $10 \text{ t h}^{-1}$ , liberação de 55% de nitrogênio.

Nos tratamentos que continham maiores quantidades de palhada houve maior liberação (95% e 71%) do nitrogênio para a planta semelhante aos obtidos por Robertson & Thorburn (2007), que verificaram, em 12 meses de avaliação, 77 a 95% de liberação do N em três diferentes ambientes.

Canellas et al. (2007) verificaram redução no estoque de N do solo com queima da palhada, de 35% nas camadas superficiais e de 20% na subsuperficial. Isso é esperado, sendo que a maior parte de N presente no solo se encontra nos compostos orgânicos (Camargo et al., 1999).

Vitti et al. (2008) relatam que a contribuição do nitrogênio para a cana-de-açúcar é pouco, já que o processo de liberação é lento. Sendo assim são necessários estudos contínuos sobre decomposição e liberação de nutrientes para resultados mais conclusivos.

**Figura 12** – Liberação do nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar.



$\diamond$ $y = -0,0005x^2 + 0,2376x - 0,7745$ : $R^2 = 0,91$	$\blacksquare$ $y = -0,0002x^2 + 0,3281x + 4,3013$ : $R^2 = 0,92$
$\blacktriangle$ $y = -0,0019x^2 + 0,9441x + 7,7158$ : $R^2 = 0,80$	$\times$ $y = -0,043x^2 + 1,6681x - 0,9309$ : $R^2 = 0,89$

## 6.6 COMPORTAMENTO DOS CARBOIDRATOS ESTRUTURAIS

O processo de decomposição nos resíduos vegetais ocorre na seguinte ordem: biodegradação rápida da maioria dos compostos hidrossolúveis e polissacarídeos; redução lenta de hidrossolúveis, fenólicos e hemicelulose; e aumento da concentração de lignina e proteínas (Correia & Andrade, 1999). Processo semelhante foi evidenciado neste trabalho.

### 6.6.1 Celulose

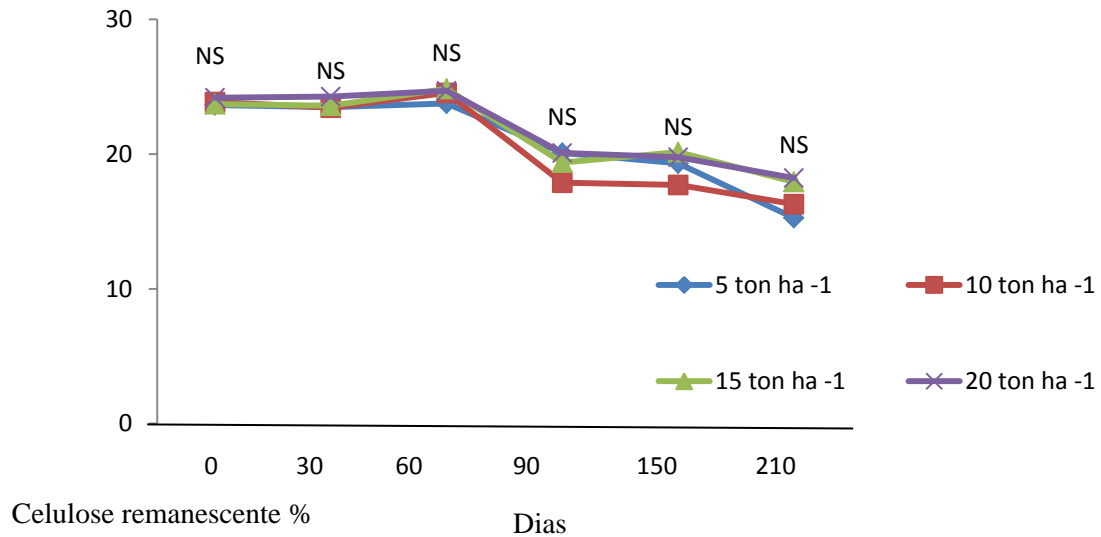
A celulose remanescente nos resíduos vegetais, expressa em porcentagem passou por fases distintas (Figura 13). Do início do experimento até os 60 dias, a concentração de celulose manteve-se estável.

Dos 60 aos 210 dias a decomposição máxima para os diferentes tratamentos foi de 35%, 30%, 25% e 24,5%. Faroni et al (2003) observaram decomposição de 71% de celulose no decorrer de um ano de experimento, valores superiores ao encontrado nesse trabalho. Uma das causas que justifica essa maior porcentagem de decomposição é a duração do período avaliado.

Os fatores que interferem na decomposição das fibras são precipitação e temperatura. Observa-se comportamento diferenciado no decorrer do experimento, devido às condições climáticas, que favoreceram maior decomposição em todos os tratamentos. Outro fator que colabora com a decomposição das fibras, além das condições ambientais, é a forma em que a celulose se encontra na parede dos resíduos vegetais (Sánchez, 2009), em grande parte na forma cristalina. Porém, uma pequena parte é formada de cadeias amorfas, o que representa uma maior facilidade à degradação enzimática (Pérez et al., 2002).

Perez et al. (2002) relatam que a celulose e a lignina estão entrelaçadas quimicamente por ligações cruzadas e por forças não covalentes, dessa maneira formando uma barreira, que provoca maior resistência aos microrganismos e acaba dificultando a decomposição dos compostos vegetais (Gressel, 2008; Pauly & Keegstra, 2008; Sánchez, 2009).

**Figura 13** – Porcentagem remanescente de celulose nos resíduos culturais de cana-de-açúcar, durante 20 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. NS: Não significativo pelo teste de Tukey a 5%.



A % de palhada e nem a interação entre as duas variáveis ( $p=0,98$ ) foram significativas.

Avaliando-se a % de palhada, na média geral, não houve diferença significativa ( $p=0,16$ ) entre os tratamentos. No período de coleta ( $p=0,00$ ), a época que ocorreu menor concentração de celulose, significando maior decomposição, foi aos 210 dias, seguido dos 150 e 90 dias, que foram semelhantes estatisticamente.

**Tabela 8** – Concentração de Celulose (%) dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar, 5º ciclo. Bandeirantes – PR.

% de palhada	0	30	60	90	150	210	Média
25 (T2)	23,63 Ab	23,48 Ab	23,76 Ab	20,08 Aab	19,31 Aab	15,26 Aa	20,92 A
50 (T3)	23,86 Ac	23,45 Abc	24,54 Ac	17,88 Aab	17,71 Aa	16,28 Aa	20,62 A
75 (T4)	23,71 Abc	23,59 Abc	24,83 Abc	19,37 Aab	20,14 Aab	17,94 Aa	21,59 A
100 (T5)	24,18 Ab	24,26 Ab	24,69 Ab	20,08 Aab	19,76 Aab	18,22 Aa	21,86 A
Média	23,82 b	23,69 b	24,42 b	19,27 a	19,23 a	16,92 a	

\*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV) = 14,26%.

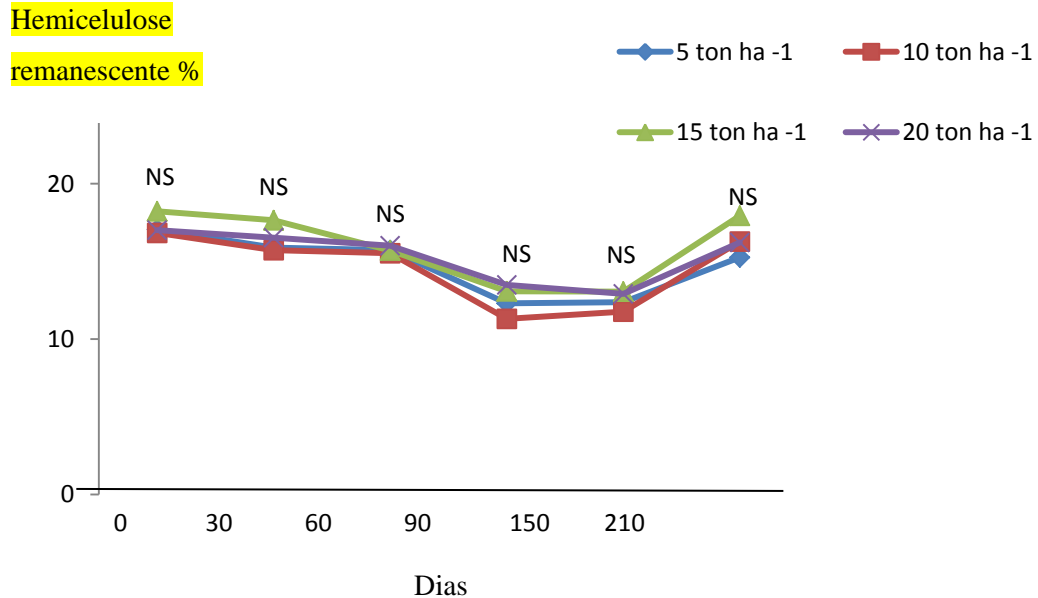
#### 6.6.2 Hemicelulose

Observa-se que a decomposição da hemicelulose até os 60 dias foi lenta. Após esse período houve, um declínio na concentração deste elemento nos resíduos culturais remanescentes da cana-de-açúcar (Figura 14).

A porcentagem máxima de decomposição para os tratamentos 25%, 50, 75% e 100% de palhada foram de 27%, 30%, 28% e 24%, no período de 150 dias. Após esse período, houve uma redução na decomposição, em decorrência da baixa concentração de hemicelulose, e as condições ambientais registradas no período de junho e agosto de 2015 (Figura 9).

Dietrechi (2014) constatou decomposição de 76%, 79% e 74% de hemicelulose, sob diferentes quantidades de palhada equivalentes a 4, 8 e 12 t ha<sup>-1</sup>. Valores semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2002), onde a porcentagem de decomposição foi de 81%. Já Faroni et al. (2003) verificaram decomposição de 60% após um ano de experimento, resultados superiores a este trabalho, ressaltando que o período avaliado por ambos autores foi de 360 dias e a avaliação final desse experimento foi aos 270 dias. Além disso, a composição química da palhada e as condições ambientais explicam as diferenças nas porcentagens de decomposição.

**Figura 14** – Porcentagem remanescente de hemicelulose nos resíduos culturais de cana-de-açúcar, durante 210 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar. NS: Não significativo pelo teste de Tukey a 5%.



Na figura 12, são apresentados os resultados da concentração de hemicelulose em (%) contida na palhada da cana-de-açúcar, nos diferentes tratamentos e épocas de coleta. As variáveis % de palhada ( $p=0,00$ ) e época de coleta ( $p=0,00$ ) foram significativas. E a interação entre as duas variáveis ( $p=0,40$ ) não foi significativa.

Avaliando-se a % de palhada, na média geral, o tratamento 50% contém menor concentração de hemicelulose, significando maior decomposição. Seguido do tratamento com 25%. O tratamento 100% de palhada foi semelhante estatisticamente aos tratamentos 25 e 50% de palhada, e ao que possuiu maior concentração de hemicelulose, ou seja, menor decomposição, o tratamento de 75% de palhada.

Entre os períodos da coleta, a época que ocorreu maior decomposição foi aos 150 dias, seguida dos 90 dias que foram semelhantes estatisticamente.

**Tabela 9** – Concentração de hemicelulose em (%) dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar, 5º ciclo. Bandeirantes – PR.

% de palhada	0	30	60	90	150	210	Média
25 (T2)	17,05 Ab	15,89 Aab	15,72 Aab	12,30 Aa	12,38 Aa	15,26 Aa	14,76 A
50 (T3)	16,83 Ac	15,72 Abc	15,53 Aabc	11,30 Aa	11,77 Aab	16,28 Aa	14,57 A
75 (T4)	18,23 Ac	17,65 Abc	15,70 Aab	13,08 Aa	13,06 Aa	17,94 Aa	15,94 B
100 (T5)	17,01 Abc	16,53 Aabc	16,01 Aabc	13,49 Aabc	12,91 Aab	16,22 Aa	15,36 AB
Média	17,25 b	16,45 b	15,74 b	12,54 a	12,53 a	16,92 a	

\*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV) = 15,83%.

### 6.6.3 Lignina

A lignina é tida como uma barreira de defesa química, que dificulta a penetração de microrganismos fitopatogênicos (Davis & Hahlbrock, 1987), e o ataque de insetos (Cooley, 1988), atuando na proteção das plantas contra os fatores bióticos e abióticos, provenientes do meio ambiente.

Observa-se um aumento da concentração de lignina durante o 210 dias de experimento (Figura 15). Diversos pesquisadores como Faroni et al., 2003; Singh et al., 2008; CGEE, 2009; Fortes et al., 2012, encontraram resultados semelhantes a este trabalho.

Coelho (2012), em experimento realizado na usina de Goiatuba-GO, com a variedade RB 867515, avaliando a decomposição da cana-de-açúcar em um período de 563 dias, constatou aumento na concentração de lignina até, aproximadamente, 500 dias, com uma pequena diminuição a partir deste momento, apontando resistência da lignina à decomposição. O mesmo foi verificado neste trabalho, porém em um período de 270 dias.

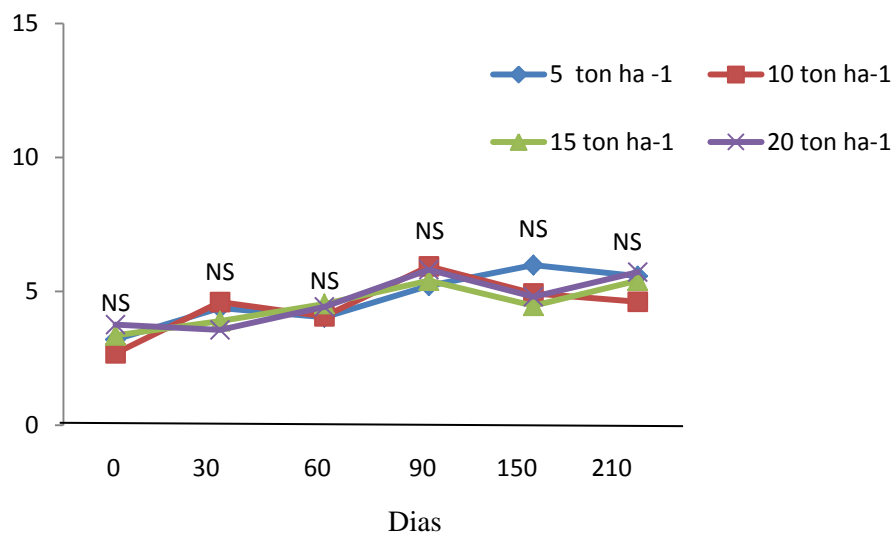
Um dos fatores que interferiu para a baixa decomposição da lignina foi à radiação solar. Austin & Ballaré (2010) realizaram um estudo para determinar a

fotodegradação da lignina em gramíneas perenes e obtiveram ligação direta entre a degradação da lignina e a radiação solar ( $R_2 = 0,92$ ). A menor capacidade de realizar a decomposição nesse experimento pode estar associada pelo sombreamento das plantas de cana-de-açúcar que estavam em crescimento vegetativo.

Silva et al. (2008) e Carvalho et al. (2008) verificaram maior decomposição em diferentes espécies de plantas, que continham menor concentração de lignina. No entanto, Aita & Giacomini (2003) não verificaram essa relação em plantas de cobertura, sinal que a lignina não pode ser usada de maneira isolada para prever a decomposição dos resíduos vegetais no solo.

**Figura 15** – Porcentagem remanescente de lignina nos resíduos culturais de cana-de-açúcar, durante 210 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar.

**Lignina remanescente %**



Na Tabela 13, são apresentados os resultados da concentração de lignina (%) contida na palhada da cana-de-açúcar, nos diferentes tratamentos e épocas de coleta.

A variável época de coleta ( $p=0,00$ ) foi significativa. A % de palhada (0,67) e a interação entre as duas variáveis ( $p=0,12$ ) não foram significativas. No período da coleta, a época de maior significância foi o inicial, com a menor concentração de lignina. Sendo que, no decorrer do tempo, a concentração de lignina aumentou.

**Tabela 10** – Concentração de lignina em (%) dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar, 5º ciclo. Bandeirantes – PR.

% de palhada	0	30	60	90	150	210	Média
25 (T2)	3,20 Aa	4,38 Aab	4,03 Aab	5,21 Aab	5,98 Ab	5,57 Ab	4,72 A
50 (T3)	2,69 Aa	4,60 Aab	4,07 Aab	5,93 Ab	4,92 Aab	4,61 Aab	4,47 A
75 (T4)	3,36 Aa	3,89 Aa	4,53 Aa	5,40 Aa	4,46 Aa	5,40 Aa	4,50 A
100 (T5)	3,76 Aab	3,56 Aa	4,42 Aabc	5,81 Aab	4,80 Aabc	5,72 Aabc	4,67 A
Média	3,25 a	4,11 ab	4,24 abc	5,58 d	5,04 bcd	5,32 cd	

\*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV) = 24,11%.

#### 6.7 PORCENTAGEM DE LIBERAÇÃO DE FÓSFORO, POTÁSSIO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E SILÍCIO

A liberação do fósforo foi melhor explicada pelo modelo linear (Figura 16), onde não foi evidenciada a taxa máxima de liberação entre tratamentos 25%, 50%, 75 e 100% de palhada, pelo fato do período avaliado não ter sido suficiente para encontrar o ponto máximo.

Até os 270 dias de incubação, em todos os tratamentos, a liberação variou de 65 a 70% de P. Os resultados obtidos diferem dos apresentados por Fortes (2010), que, após um ano de experimento agrícola, obteve 57% de liberação.

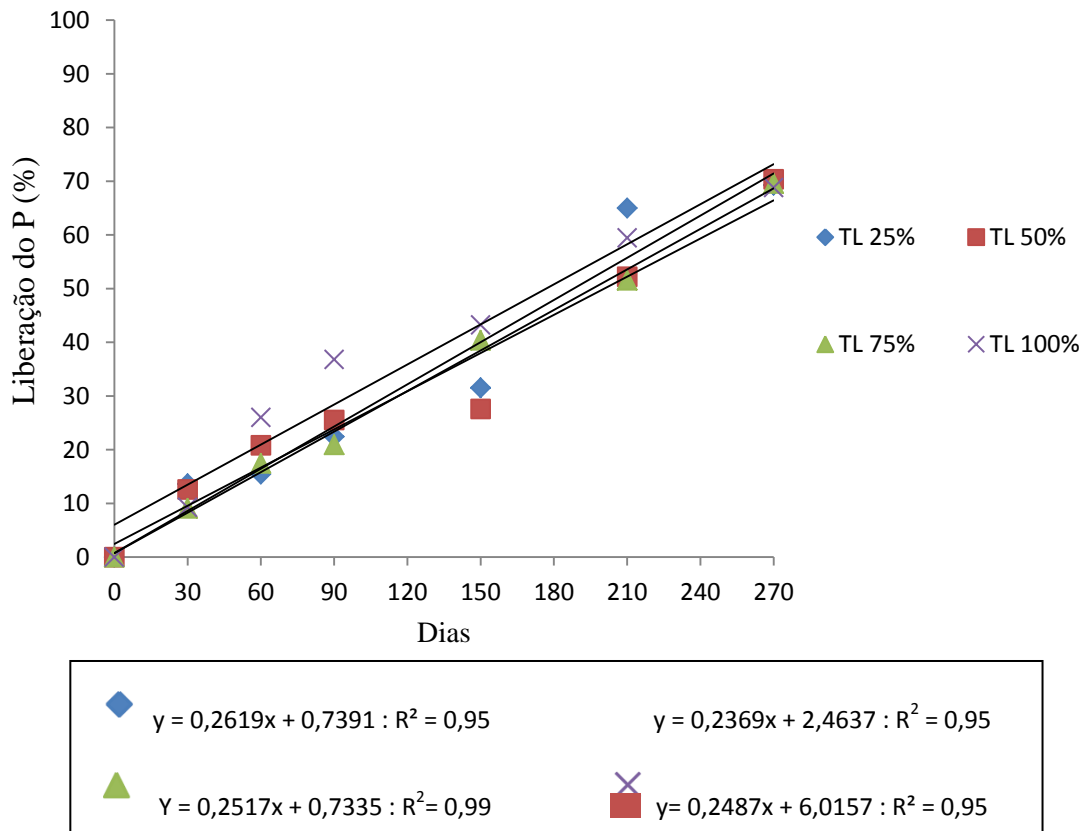
Oliveira et al. (2002), na região de Piracicaba - SP, no período de janeiro a novembro de 1997 na Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz, a palhada recebeu 1839 mm de água, com temperaturas máximas e mínimas de 28,4 e 15,5 °C, obtiveram uma média de 60% de liberação, valores inferiores comparados aos pontos observados nesse trabalho.

As diferenças nos teores de liberação estão ligadas às variedades estudadas e situações climáticas em cada experimento. Na literatura, encontra-se que nutrientes na forma

iônica ou ligados à composto de alta solubilidade, possuem liberação elevada, quando comparados ao fósforo, que se encontra fixado em estruturas orgânicas (OLIVEIRA et al., 2002).

O fósforo é um nutriente que, quando comparado ao nitrogênio e potássio, é de extrema importância para a cultura de cana-de-açúcar, exercendo papel fundamental para o metabolismo da planta (KORNDÖRFER, 2004).

**Figura 16** – Porcentagem de liberação do fósforo dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar.

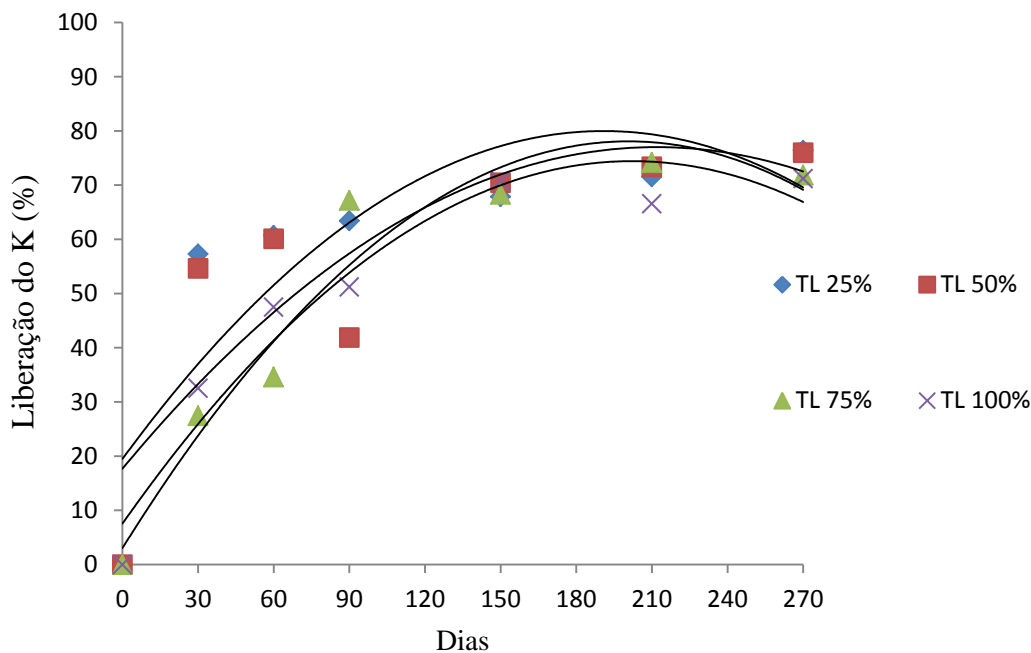


O modelo que melhor descreve a liberação do potássio a partir da palhada é o quadrático (Figura 17). A taxa máxima de liberação nos tratamentos 25%, 50%, 75% e 100% de palhada aconteceram aos 186 (79%), 215 (78%), 196 (76%), 206 (76%), respectivamente.

A alta porcentagem de liberação deve-se ao fato de que o elemento não é constituinte de nenhum composto orgânico na planta e está presente na forma iônica (MALAVOLTA et al., 1989).

Oliveira et al. (1999) verificaram liberação dos nutrientes da palhada da cana-de-açúcar nas safras de 1996 e 1997. Em relação ao potássio, houve liberação de 85% do elemento. Valores semelhantes foram obtidos nesse trabalho no tratamento 25% de palhada, em que a liberação do potássio aos 270 dias foi de 79%.

**Figura 17** – Porcentagem de liberação do potássio dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar.



$y = -0,0017x^2 + 0,634x + 19,485 : R^2 = 0,73$	$y = -0,0013x^2 + 0,5603x + 17,684 : R^2 = 0,71$
$y = -0,0019x^2 + 0,7479x + 3,0299 : R^2 = 0,94$	$y = -0,0016x^2 + 0,6618x + 7,5503 : R^2 = 0,94$

A liberação do cálcio presente na palhada de cana-de-açúcar foi melhor ajustada ao modelo quadrático (Figura 18). A taxa máxima de liberação nos tratamentos 25%, 50%, 75% e 100% de palhada ocorreu aos 211 (84%), 236 (81%), 228 (84%), 236 (78%), respectivamente.

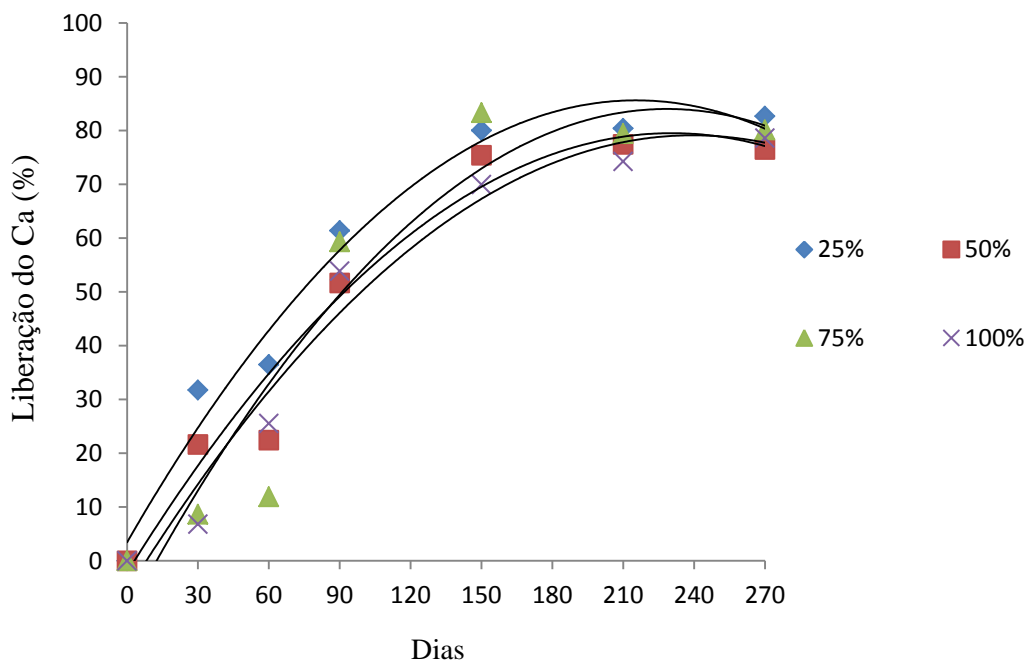
Benedetti (2014), estudando a decomposição e liberação dos nutrientes da palhada da cana-de-açúcar no período de um ano, Usina Boa Vista - GO observou que a disponibilização de cálcio nas quantidades de 10, 20 e 30 t ha<sup>-1</sup> de palhada atingiu valores de

55%, 72% e 32%, respectivamente, percentual inferior aos resultados obtidos nesse trabalho, no período de 270 dias.

Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (1999). Wood (1991) e Fortes (2010) relatam que encontraram valores entre 57% e 70% de liberação no período de onze meses. Citam, ainda que a liberação está ligada às condições climáticas favoráveis e à composição química da biomassa vegetal disponível ao solo, a cada colheita. Após 10 meses de avaliação da palhada de cana-de-açúcar em campo, Abramo Filho et al. (1993) constataram liberação de 46% de Ca.

Fortes (2010) conduziu um experimento, no qual o objetivo foi analisar o efeito da aplicação de N-uréia na decomposição e liberação dos nutrientes; observou que, no solo testemunha (sem aplicação de N), após um ano de experimento, a taxa de liberação foi em torno de 59% de Ca. Relata, ainda, que com a aplicação de N sobre a palhada, a taxa de liberação passou de 59% para 79% Ca.

**Figura 18** – Porcentagem de liberação do Cálcio dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar.



◆	$y = -0,0018x^2 + 0,7627x - 3,44 : R^2 = 0,89$	■	$y = -0,0015x^2 + 0,7087x - 2,1803 : R^2 = 0,96$
▲	$y = -0,0018x^2 + 0,8227x - 9,977 : R^2 = 0,90$	×	$y = -0,0015x^2 + 0,7084x + 5,6765 : R^2 = 0,96$

O melhor modelo que se ajustou para a avaliação da liberação de magnésio a partir dos tratamentos 25%, 50%, 75% e 100% de palhada foi o quadrático, (Figura 19). As porcentagens máximas de liberação do magnésio para os tratamentos de 25%, 50%, 75% e 100% foram observadas aos 229 (55%), 237 (52%), 262 (54%), 231 (45%), respectivamente.

O magnésio é um elemento que faz parte de compostos iônicos e moléculas solúveis, por isso sua menor taxa de liberação (Benedetti, 2014). O mesmo autor relata que, em seu estudo com doses de 10, 20 e 30 t ha<sup>-1</sup> de palhada, após uma safra, obteve liberações de 57%, 49% e 28% de magnésio. Resultado semelhante foi obtido nesse trabalho para o tratamento 25%, em que a liberação máxima foi de 55%, no período de 240 a 270 dias

Oliveira et al. (1999) realizaram um estudo conduzido no período de janeiro a novembro de 1997, com a variedade SP 80-1842 e constataram que a liberação do Mg foi superior a 60%; resultado semelhante ao obtido nesse trabalho com no tratamento 75%.

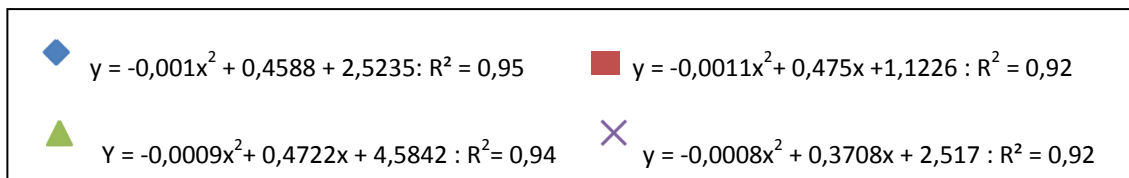
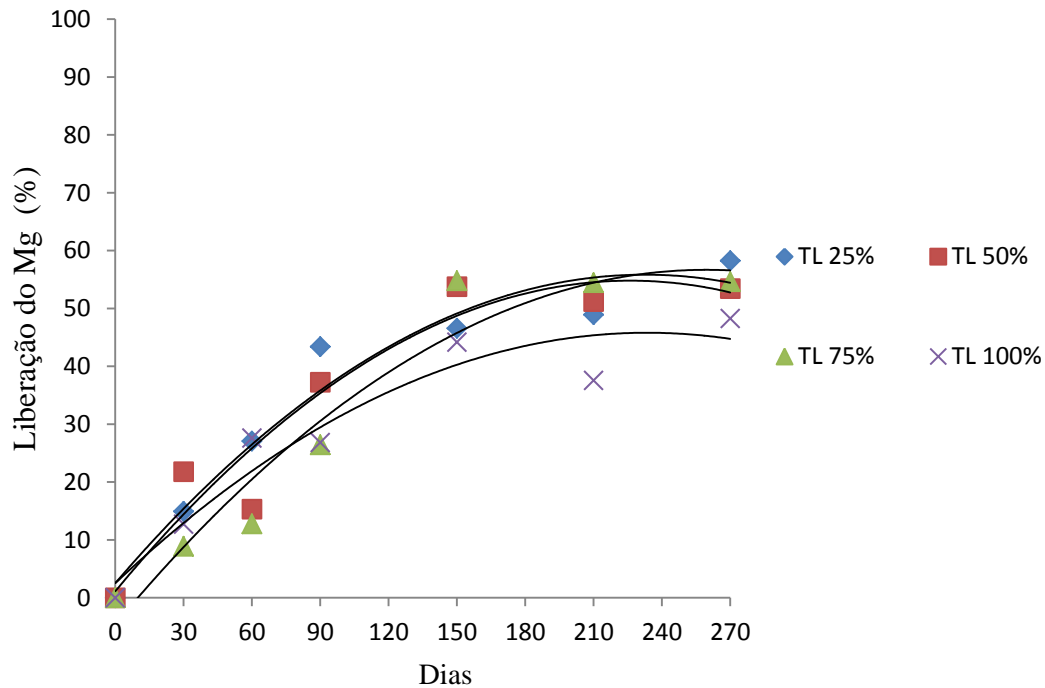
No tratamento 100% de palhada, a porcentagem de liberação foi menor, possivelmente, devido à maior quantidade de biomassa vegetal, que pode dificultar a entrada de oxigênio e, conseqüentemente, retarda o processo de degradação.

Benedetti (2014), em seu estudo com doses de 10, 20 e 30 t ha<sup>-1</sup> de palhada, após uma safra, obteve liberações de 57%, 49% e 28% de magnésio. Resultado semelhante foi obtido nesse trabalho para o tratamento 25%, em que a liberação máxima foi de 55%, no período de 240 a 270 dias.

Fortes et al. (2012) conduziram um estudo no estado de São Paulo com a cultivar RB 85-5536, em três safras, em que verificou liberação do magnésio a partir da palhada. Na safra de 2005/2006, a liberação foi de 43%, 2006/2007 de 45%. Na safra de 2007/2008 a liberação foi de 71%. Observou, ainda, que a palhada remanescente de colheitas anteriores e com maior contato com o solo foi capaz de liberar 80% de magnésio em um ano.

Spain e Hodgen (1994), em condições climáticas favoráveis como precipitação, temperatura, evapotranspiração, umidade e aeração do solo, encontraram liberação de magnésio próxima de 79%. Os mesmos autores citam que a liberação desse elemento foi fortemente influenciada por temperatura e umidade da biomassa vegetal.

**Figura 19** – Porcentagem de liberação do Magnésio dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar.



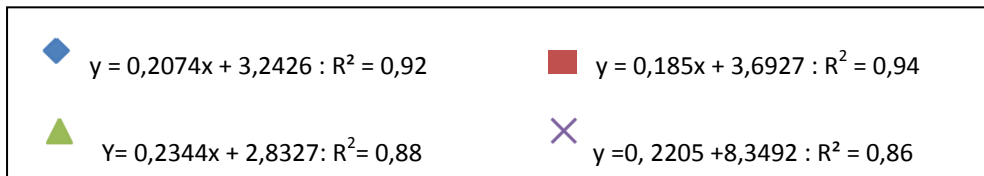
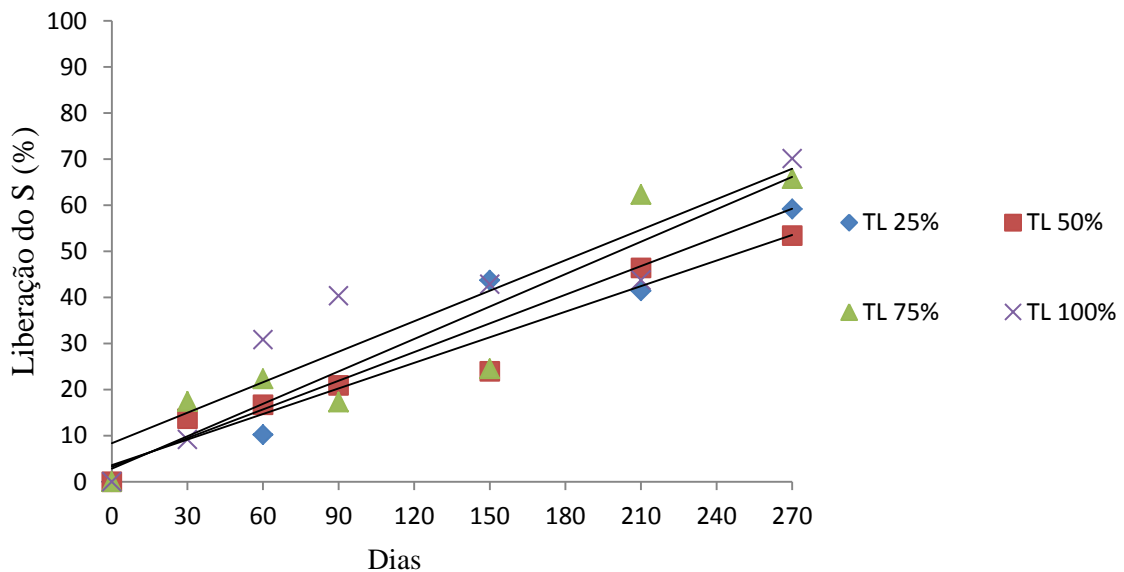
O modelo que melhor explica a taxa de liberação do enxofre nos diferentes tratamentos é o linear (Figura 20). Isso significa que o período máximo de avaliação não foi suficiente para evidenciar a porcentagem máxima de liberação do nutriente.

A taxa de decomposição nos tratamentos de 75% e 100% de palhada foi superior a 60% de liberação de enxofre. Valores semelhantes ao estudo de Oliveira et al (1999) realizado de janeiro a novembro de 1997, com a variedade SP 80-1842. Já Oliveira et al. (2002), analisando o comportamento da mineralização da biomassa da cana-de-açúcar, obtiveram resultados de 68% de liberação de enxofre no período de 11 meses. Em experimento instalado em Piracicaba - SP, esses autores observaram que, em 12 meses, a liberação foi de 60%, valores que corroboram com os pontos observados nos tratamentos de 25%, 50% e 75% no período de 270 dias.

É importante ressaltar que as diferenças na liberação do enxofre encontradas na literatura podem estar relacionadas ao método de coleta ou à maneira da aplicação do

material vegetal no campo. Para que ocorra a decomposição do resíduo vegetal e, conseqüentemente, a liberação dos nutrientes, é essencial a superfície de contato entre a palhada e o solo (FORTES, 2010).

**Figura 20** – Porcentagem de liberação do Enxofre dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar.



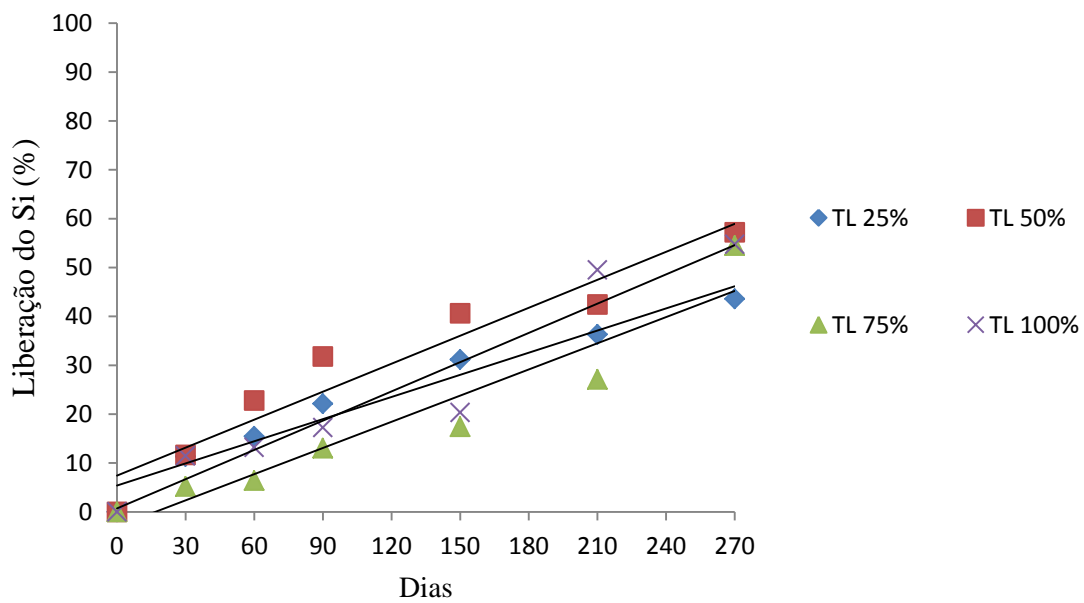
A liberação de silício foi melhor ajustada ao modelo linear para os diferentes tratamentos (Figura 21). Não foi possível calcular a liberação máxima devido à linearidade do modelo.

Porém, a liberação do silício a partir dos pontos observados aos 270 dias de coleta nos tratamentos 50%, 75% e 100% de palhada variaram de 55 a 60%. Já no tratamento que continha menor quantidade de palhada, a liberação observada foi de 45%.

O potencial de remoção do silício pela cana-de-açúcar é alto. Segundo Korndorfer (2004), para a produção de 100 t de colmo, a cana pode retirar 300 kg ha<sup>-1</sup> de silício. Ross et al. (1974) citam uma remoção de até 408 kg ha<sup>-1</sup> de Si para uma produtividade de apenas 74 t ha<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar (folhas + colmos). Essa remoção pela cultura pode

ocasionar aumento na produtividade, em razão de deficiência sintética, resistência ao ataque de pragas e doenças e maior tolerância ao estresse hídrico em épocas de baixa umidade de solo. Apesar do silício não ser considerado um elemento essencial para a cultura da cana-de-açúcar, é o mais absorvido pela cultura, seguido por potássio, nitrogênio, cálcio e magnésio (TISDALE et al., 1993).

**Figura 21** – Porcentagem de liberação do Silício dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 270 dias de avaliação em decomposição na superfície do solo, sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar.



$y = 0,151x + 5,3814 : R^2 = 0,95$	$y = 0,1907x + 7,4388 : R^2 = 0,92$
$Y = 0,1786x - 2,9874 : R^2 = 0,90$	$y = 0,1996x + 0,701 : R^2 = 0,92$

## 7 CONCLUSÃO

Para as condições de ensaio, a palhada deixada no solo, não afeta negativamente a produtividade da quarta soqueira de cana-de-açúcar. Aliada às condições de precipitação adequada, a manutenção da palhada não afeta os parâmetros da qualidade industrial - Brix, Pol, fibra, pureza, AR e ATR da cana-de-açúcar.

A porcentagem máxima de decomposição da palhada (63%) ocorreu no tratamento 100% de palhada. A liberação máxima dos nutrientes C (65%) e N (95%) ocorreu no tratamento com 100% de palhada. Para K, Ca, Mg, o tratamento que mais se destacou foi 25% de palhada, com 79%, 84% e 55% de liberação, aos 270 DAC. Para os nutrientes P, S e Si, não foi possível observar a porcentagem máxima de decomposição em função do comportamento linear.

A porcentagem de liberação de hemicelulose e celulose apresentam oscilações em relação ao tempo. A decomposição e a liberação dos nutrientes aumentam conforme o período de incubação, sendo que as porcentagens máximas e os maiores pontos observados de liberação ocorrem a partir dos 200 dias.

O comportamento da decomposição e liberação dos nutrientes, aliados à produtividade da lavoura na quarta soqueira, indica que a quantidade ideal de palhada que deve permanecer sobre o solo, e que contribui para as qualidades físicas e químicas do mesmo é 50%. Dessa maneira contribui-se para o aumento na produtividade e aumento na geração de energia ou produção de etanol 2G, sem aumento na área plantada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.C.D.; MARCHETTI, L.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana cru. **Álcool & Açúcar**. São Paulo, n. 67, p. 23-25, 1993.

AGRIANUAL. **Anuário estatístico da agricultura**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2010.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.601-612, 2003.

ANTUNES, J.F.G.; AZANIA, C. A. M.; AZANIA, A. A. P. M. **Impactos ambientais das queimadas de cana-de-açúcar**. Pelotas: Grupo Cultivar, 2015. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/artigos/impactos-ambientais-das-queimadas-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C.; MENEZES JUNIOR, A. O.; PASINI, A.; BRITO, O. R.; CUNHA, A. C. B.; SANTOS JÚNIOR, J. H.; KUSSABA, D. A. O.; ALMEIDA, L. F. Impact of harvesting with burning and management of straw on the industrial quality and productivity of sugarcane. **African Journal of Agricultural Research**, Kenya, v.11 n. 28, p. 2462-2468, 2016.

AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C.; PORTERA JUNIOR, A. L. P., SANTOS, L. O., CUNHA, A. C. B., KUSSABA, D. A. O., ... & SANTIAGO, A. D. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 12, p. 1150-1159, 2015.

AQUINO, G.S.; MEDINA, C. C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 3, p. 173-180, 2014.

AUDE, M.I.S.; MARCHEZAN, P.L.; DARIVA, T.; PIGNATARO, L.H.B. Manejo do palhicho da cana-de-açúcar: efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agronômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.23, p.281-286, 1993.

AUSTIN, A.T.; BALLARÉ, C.L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v.107, p.4618-4622, 2010.

AZANIA, C. A. M.; AZANIA, A. A. P. M.; ROLIM, J. C.; PIZZO, I. V.; SCHIAVETTO, A. R. Dinâmica e controle de corda-de-viola em cana-de-açúcar. **Boletim Informativo Notesalq**, Piracicaba, v.16. p. 3, maio, 2007.

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

BENEDETTI, M. M. **Palhada de cana-de-açúcar em condições de cerrado**: decomposição e disponibilidade de nutrientes. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

BENEDINI, M. S. Recomendação de calcário para a cultura de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia COPERSUCAR, 1988. p. 99-102.

BITTENCOURT, V.C.; FAGANELLO, B. F.; SALATA, J. C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.5, n.1, p. 26-33, 1986.

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**, Lismore, 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**, Amsterdam, v.55, p.183-191, 2000.

BONINE JÚNIOR, P. A. Colheita mecanizada em cana-de-açúcar viabilidade operacional e econômica. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro, 1993. p. 186-191.

BRANCO, R.V.; SILVA, H. F.; SILVA J. D.R.; MARQUES, M.O. Variáveis tecnológicas de nós e entrenós de cana-de-açúcar (cultivares IACSP94-2101, IACSP93-3046 e IACSP94-4004). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA USP, 18., Piracicaba, 2010. p. 1-4.

BRITO, A.S. **Balço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2006. 82p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BUCKERIDGE, M. S.; SANTOS, W. D.; SOUZA, A. P. As rotas para o etanol celulósico no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. p. 365-370.

BUCKERIDGE, M. S. Parede celular. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2008. p. 165-181.

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. 98f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal.

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

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999.

CANELLAS, L.P.; BALDOTTO, M.A.; BUSATO, J.G.; MARCIANO, C.B.; MENEZES, S.C.; SILVA, N.M.; RUMJANEK, V.C. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 331-340, abr., 2007.

CARVALHO, A.M. de; BUSTAMANTE, M.M. da C.; SOUZA JUNIOR, J.G. de A.; VIVALDI, L.J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2831-2838, 2008.

CARVALHO, E. **Perspectivas da agroenergia**. São Paulo: ÚNICA, 2007.

CARVALHO, S. P.; CARRIJO, E. L. de O. **A produção de álcool: do Proálcool ao contexto atual**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIEDADE RURAL: SOBER: Conhecimentos para Agricultura do Futuro, 45., 2007, Londrina.

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

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil**. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <<http://www.nipe.unicamp.br/2013/docs/publicacoes/bioetanol-combustivel-uma-oportunidade-para-o-brasil.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

COELHO, M.C. **Avaliação da dinâmica de decomposição da palhada da cana-de-açúcar em solo do cerrado**. Brasília, DF, 2012.

COOLEY, P. D. Effects of plant growth rate and leaf lifetime on the amount and type of anti-herbivore defense. **O ecologia**, Berlin, v. 74, p. 531-536, 1988.

CONAB. **Conjuntura de produtos agropecuários**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_09\\_16\\_14\\_19\\_58\\_conjuntura\\_agropecuaria\\_de\\_pernambuco\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_16_14_19_58_conjuntura_agropecuaria_de_pernambuco_2016.pdf)>. Acesso em: 20 março. 2015.

CONDE, A.J.; PENATTI, C.P.; BELLINASSO, I.F. Impacts on soil. **Biomass power generation**. Sugar cane bagasse and trash. CD-ROM. Piracicaba: PNUD-CTC, 217 p. (Série Caminhos para Sustentabilidade), 2005.

CORRÊA NETO, V. **Análise de viabilidade da co-geração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural**. 2001. 174f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 197-225.

COSAN, 2010 **Relatório de Sustentabilidade**. Disponível em: <[http://ri.cosan.com.br/fck\\_temp/20\\_2/file/relatorio\\_sustentabilidade\\_2010.pdf](http://ri.cosan.com.br/fck_temp/20_2/file/relatorio_sustentabilidade_2010.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2015.

COSTA, C.T.S.; FERREIRA, V.M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D.T. da 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, jul.-set., 2011.

CTBE - CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL. **Bioetanol ganha impulso no centro de pesquisa**. Disponível em: <<http://ctbe.cnpem.br/inovacao/portifolio-tecnologias/>>. Acesso em: 18 out. 2015.

CTBE - CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL. **Etanol celulósico deve ser economicamente viável em 2020**. Disponível em: <http://ctbe.cnpem.br/etanol-celulosico-deve-ser-viavel-2020/>. Acesso em: 22 nov. 2015.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A.D.; FERREIRA, E. P. B; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, 2011.

DAVIS, K. R.; HAHLBROCK, K. Induction of defense responses in cultured parsley cells by plant cell wall fragments. **Plant physiology**, Lancaster, v. 84, n. 4, p. 1286-1290, 1987.

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

DELGADO, A.A.; CÉSAR, M.A.A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Sertãozinho: Zanini S/A equipamentos pesados, 1977. v.1.

DIETRICH, G. **Decomposição e liberação do nitrogênio de cana-de-açúcar em função do ambiente e quantidade de palha**. 2104. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Editora UFV. 2010. p. 25-49.

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

EISENBERG, P. L. **Modernização sem mudança: a indústria açucareira em Pernambuco, 1840-1910**. Rio de Janeiro: Paz & Terra, Unicamp, 1977.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

EMBRAPA. **Qualidade da matéria prima**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_138\\_22122006154842.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html)>. Acesso em: 23 out. 2015.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2016: ano base 2013**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2012. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2013.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf)>. Acesso em: 15 Ago. 2016.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional**: Rio de Janeiro, EPE, 2011.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Faostat**. 2009. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 2 set. 2015.

FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; MANZONI, C.S.; PENATTI, C.P.; TRIVELIN, P.C.O. Degradação da palhada 15N de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003. Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, SBCS, 2003.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria canavieira**. 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na Agroindústria da cana de açúcar**. Piracicaba: STAB, 2000.

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

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

FORTES, C. **Produtividade de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e da decomposição da palhada em ciclos consecutivos**. 2010. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in São Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.42, p.189-198, 2012.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ, F.V.; CABRERA, M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, The Hague, v. 31, n. 1, p.55-63, 2001.

FRANCO, H. C. J; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 32, 2007.

FRANCO, J. A. **Sistemas de controle ineficientes em usinas de açúcar e etanol**. Ilha Solteira: Laboratório de Pesquisa em Controle /Faculdade de Engenharia - UNESP, 2011.

FREITAS, L. de. **Influência de fragmentos florestais nativos sobre os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de solos cultivados com cana-de-açúcar**. 2011. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP. 2011.

FURLANI NETO, V. L.; RIPOLI, T.C.; VILA NOVA, N.A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhiço remanescente de colheita mecânica. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.15, p.24-27, 1997.

- GASCHO, G. J. Sugarcane. In: TEARE, I D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relation**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Balanço do nitrogênio da uréia e da palha de cana no sistema solo-cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.7, p.689-695, 2005.
- GLÓRIA N.A.; MATTIAZZO M.E.; OLIVEIRA FC.; OLIVEIRA L.M.C.P. Decomposition and release of nutrients by the waste of sugarcane crop, harvested without burning. **STAB – Sugar, alcohol and Subproducts**, Piracicaba, v. 19, n. 1, p.30-33, 2000.
- GRESSEL, J. Transgenics are imperative for biofuel crops. **Plant Science**, Limerick, v.174, n. 3, p.246-263, 2008.
- HASSUANI, S. J.; VERDE LEAL, M. R. L.; MACEDO, I. C. **Biomass power generation: sugarcane bagasse and trash**. Project BRA/96/G31 PNUD – CTC. Piracicaba: Unipress Disc Records do Brasi, 2005. (Série Caminhos para Sustentabilidade).
- HUSZ, G.S. **Sugarcane cultivation and fertilization**. Ruhr-Stuchkstoff, A. G. Bochum, E. Germany, 1972.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROINDUSTRIAL. **Idea News**. Ribeirão Preto, 2007.
- KONDORFER, G. H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana de açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 1, p.6 -9, 2002.
- KORNDORFER, G. H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M. E.; BUZETTI, S. (Coord.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas, 1**. Piracicaba: Potafós, 2004. p. 291-305.
- KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ ICIAG/ UFU, 2004. (Boletim Técnico, 2).
- KORNDORFER, G. H. Fósforo na cultura da cana de açúcar. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** São Pedro: POTAFOS, 2003. p. 291-305.
- LEAL, M. R. L. V. The potential of sugarcane as an energy source. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 26., 2007, Durban, South Africa.
- LEME JR.; BORGES, J.M. **Açúcar de cana**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1965.
- LIMA, M. A. P. A necessidade da pesquisa básica para cana e etanol. In: CORTEZ, Luís Augusto Costa. **Bioetanol de cana-de-açúcar para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. p. 152-155.
- LOPES, F. C. D. **Estudo de viabilidade do uso do palhiço para geração de energia na entressafra de uma usina sucroenergética**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Fundação Getúlio Vargas – EESP, São Paulo. 2013.

LUIZÃO, F.J.; SCHUBART, H.O.R. Litter production and decomposition in a Terra-firme Forest of Central Amazonia. **Experientia**, Araraquara, v. 43, n. 3, p. 259-265, 1987.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E., KORNDORFER, G. H., SNYDER, G. **Silicon in Agriculture**. New York: Elsevier Science, 2001. p. 17-39.

MACEDO, I.C. **Emissões de Gases do Efeito Estufa e emissões evitadas na produção e utilização de cana-de-açúcar, açúcar e álcool no Brasil**. Piracicaba: Centro de tecnologia Coopersucar, 2005.

MACEDO, N.M.; BOTELHO, P.S.M.; CAMPOS, M.B.S. Controle químico de cigarrinha-da-raiz em cana-de-açúcar e impacto sobre a população de artrópodes. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.21, p.30-33, 2003.

MAEDA, A. S. **Adubação nitrogenada e potássica em socas de cana-de-açúcar com e sem queima em solos de cerrado**. 2009. 110 f. Tese (Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Colheita de cana-de-açúcar e palha. In: MAGALHÃES, P. S. G. (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. p. 466-474.

MALAVOLTA, E. Função dos nutrientes na planta e qualidade dos produtos agrícolas. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1., 1989, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira: FEIS/UNESP/ANDA/ POTAFOS, 1989. p. 42.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar**: produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP: Funep, 2001.

MARTUCCI, E.T. **Tecnologia do açúcar de cana**. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1983.

MEIER, E. A.; THORBURN, Peter J. K.; WEGENER, M. K.; BASFORD, K. E. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 75, p. 101-114, 2006.

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., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBCS, 2006.

MELO, F. H. de; FONSECA, E. G. **Proálcool, energia e transportes**. São Paulo: Pioneira: FIPE, 1981.

MENGEL, K.; VON BRUNSCHWEIG, L. C. The effect of soil moisture upon the availability potassium and its influence on the growth of young maize plants (*Zea mays* L.). **Soil Science**. Madison, v. 114, n. 2, p. 142-148, 1972.

MICHELLON, E.; SANTOS, A.A.L.; RODRIGUES, J.R.A. Breve descrição do Proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIEDADE RURAL: SOBER, 2008, Rio Branco.

MIRANDA, J. M.; RIGONI, M. V.; SILVEIRA, F. T. Associação da crotalária com adubação orgânica e mineral na produtividade da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.6, p.948-953, 2011.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; MATTIUZ, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et. al. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. p. 11-18.

NOGUEIRA, L. A. H.(Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

NOVACANA. **Benefícios em usar o etanol. Redução de Poluentes**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/beneficios/>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

NOVACANA. **Colheita mecanizada reduz ATR da cana-de-açúcar, mas diminui mão-de-obra**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/colheita/colheita-mecanizada-reduz-atr-cana-diminui-mao-de-obra-020215>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

NOVACANA. **CTC: Mecanização deve alcançar 97% dos canaviais no centro-sul do país**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/safra/ctc-mecanizacao-97-canaviais-210515/>>. Acesso em: 20 set. 2015.

NOVACANA. **Produção de Cana-de-açúcar no Brasil e mundo**. Disponível em: <<http://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo>>. Acesso em: 22 out. 2016.

NOVACANA. **Queimada controlada deve ser eliminada no Paraná até 2030**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/colheita/queimada-controlada-eliminada-pr-070414/>>. Acesso: 14 fev. 2016.

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

OLIVEIRA, M.W.; BARBOSA, M.H.P.; MENDES, L.C.; DAMASCENO, C.M.; Matéria seca e nutrientes da palhada em dez variedades de cana-de-açúcar. **STAB**, Açúcar, Álcool e subprodutos, Piracicaba, v.21, n.3, p. 30-31, 2011.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; KINGSTON, G.; BARBOSA, M.H.P.; VITTI, A.C. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 24., Cairns. **Proceedings...** Cairns: D.M. Hogarth, 2002. p.40.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil**. Rio de Janeiro: IAA/ PLANALSUCAR, 1983.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja doutor do seu canavial. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 67, p. 1-16, 1994.

PACHECO, T. F. **Produção de Etanol: primeira ou segunda geração**. 2011. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

PAULY, M.; KEEGSTRA, K. Cell-wall carbohydrate and their modification as a resource for biofuels. **Plant Journal**, Oxford, v.54, p.559-568, 2008.

PENATTI, C. P. **Adubação de cana-de-açúcar: 30 anos de experiência**. Itu (SP): Ottoni, 2013.

PÉREZ, J.; MUÑOZ-DORADO J.; RUBIA, T. de la; MARTINEZ, J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose, and lignin: an overview. **International Microbiology**, Madrid, v.5, p.53-63, 2002.

PREEZ, P. The effect of silica on cane growth. **Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association**, v. 44, p.183-188, 1970.

PURSEGLOVE, J.W. **Tropical crops: monocotyledons**. London: Longman, 1979.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosforo, Instituto Internacional da Potassa, 1981.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, Fundação IAC, 1996.

RESENDE, A.S.; XAVIER, R.P.; OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant Soil**, The Hague, v. 281, n. 1, p. 339-351, 2006.

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA JR., W. F.; RIPOLI, M.L. C. Energy potential of sugarcane biomass in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.4, p. 677-681, 2000.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba, 2009.

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

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Decomposition of sugarcane harvest residue different climatic zones. **Australian Journal of Soil Research**, Australian, v.45, p.1-11, 2007.

ROSS, L.; NABABSING, P.; CHEONG, W.Y. Residual effect of calcium silicate applied to sugarcane soils. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, Durban, v. 15, p. 539-542, 1974.

SACHDEVA, M.; BHATIA, S.; BATTI, S. K. Sucrose accumulation in sugarcane: a potential target for crop improvement. **Acta Physiologiae Plantarum**, Warszawa, v. 33, n. 5, p. 1571-1583, 2012.

SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology Advances**, Oxford, v.27, p.185-194, 2009.

SANTOS, A.F.; QUEIRÓZ, J. H. de, COLODETTE, J. L.; FERNANDES S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha da cana de açúcar para produção de etanol. **Química nova**, São Paulo, v.35, n. 5, p 1004-1010, 2011.

SCALA JÚNIOR, Newton La. **The impact of tillage and harvest practices on soil CO2 emission of sugarcane production areas, Southern Brazil**. Fapesp, 2011. Disponível em: <[http://www.fapesp.br/pfpmcg/pfpmcg\\_scala.pdf](http://www.fapesp.br/pfpmcg/pfpmcg_scala.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2015.

SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 47-56.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C. F.M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et. al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. p. 19-36.

SILVA NETO, H.F.; MARQUES, M.O.; SILVA, J.D.R.; TASSO JÚNIOR, L.C. Limitações e avanços tecnológicos na indústria da cana-de-açúcar. **Jornal Dia de Campo**, 2011. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=23420&secao=Artigos%20Especiais>>. Acesso em: 8 nov. 2015.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 1990.

SILVA, G.T.A.; MATOS, L.V.; NÓBREGA, P. de O.; CAMPELLO, E.F.C.; RESENDE, A.S. de. Chemical composition and decomposition rate of plants used as green manure. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, p.298-305. 2008.

SINGH, P.; SUMAN, A.; TIWARI, P.; ARYA, N.; GAUR, A.; SHRIVASTAVA, A.K. Biological pretreatment of sugarcane trash for its conversion to fermentable sugars. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v.24, p.667-673, 2008.

SOUZA, J. **Estudo da eficiência de alguns polielitrólitos utilizados na clarificação do caldo de cana**. 101 f. 1988. Dissertação (Mestrado em Agronomia). - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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

SPAIN, A. V.; HODGEN, M. J. Changes in the composition of sugarcane harvest residues during decomposition as a surface mulch. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 17, n. 3, p. 225-231, 1994.

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

SZMRECSÁNYI, T. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930 - 1975)**. São Paulo: Hucitec, 1979.

SZWARC, A. **A opção pelo veículo flex fuel**. São Paulo: UNICA, 2002. Disponível: <<http://www.unica.com.br/colunas/3938741920338419546/a-opcao-pelo-veiculo-flex-fuel/>>. Acesso: 30 jun. 2015.

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. Agronomy**, Maringá, v. 32, p. 61-68, 2010.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. J.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1993.

TRIVELIN, P. C. O.; RODRIGUES, J. C. S.; VICTORIA, R. L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia- 15 N e uréia- 15 N aplicado ao solo complementemente com a vinhaça. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 89-99, fev. 1996.

UENP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ. **Estação Agrometeorológica de Bandeirantes** - PR. Disponível em: <<http://www.uenp.edu.br/tempo/>>. Acesso em: 5 jul. 2016.

UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Relatório Sustentabilidade**. 2016. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/sustentabilidade>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

VALSECHI, O. A. Pagamento de cana pelo teor de sacarose: o sistema implantado em São Paulo. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 101, n. 1-3, p. 32-39, 1983.

VIANA, R. D. S.; SILVA, P. H.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; GUIMARÃES, E. R.; BENTO, M. Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 65-71, 2008.

VITTI, A. C. **Adubação nitrogenada de cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: manejo e efeito na produtividade**. 2003. 114 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo.

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; BOLOGNA-CAMPBELL, I. Enxofre. In: DINARDO- MIRANDA, L. L.; VASCONCELLOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 323-330.

VITTI, A. C.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FERREIRA, D. A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C. E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 3, p. 287-293, 2012.

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

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

YAMAGUCHI, S. C. **Decomposição da palha de cana-de-açúcar em função da quantidade aportada e da aplicação de vinhaça**. 68 f. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2015.

ZHANG, D.; HUI, D.; LUO, Y.; ZHOU, G. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems global patterns and controlling factors, **Journal of Plant Ecology**, Oxford, v.1, n. 2, p. 85-93, 2008.