



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

LUCAS AUGUSTO DE ASSIS MORAES

**O SISTEMA CANA CRUA E SUAS IMPLICAÇÕES NAS  
PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO, NA  
NUTRIÇÃO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA**

LUCAS AUGUSTO DE ASSIS MORAES

**O SISTEMA CANA CRUA E SUAS IMPLICAÇÕES NAS  
PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO, NA  
NUTRIÇÃO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Manejo Sustentável do Solo) da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina.

Londrina  
2017

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

Moraes, Lucas Augusto de Assis.

O sistema cana crua e suas implicações nas propriedades químicas de um Latossolo, na nutrição e na produtividade da cultura. / Lucas Augusto de Assis Moraes. - Londrina, 2017.

102 f. : il.

Orientador: Cristiane de Conti Medina.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2017.

Inclui bibliografia.

1. palhada - Tese. 2. fertilidade - Tese. 3. cátions - Tese. 4. produtividade - Tese. I. Medina, Cristiane de Conti. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

LUCAS AUGUSTO DE ASSIS MORAES

**O SISTEMA CANA CRUA E SUAS IMPLICAÇÕES NAS  
PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO, NA NUTRIÇÃO E  
NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Manejo Sustentável do Solo) da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi  
Centro Universitário Filadélfia – UNIFIL

Londrina, 20 de Março de 2017.

Aos meus pais, Antônio Vadecy de Moraes e Maria Luzia de Assis Moraes...  
Anjos guiados por Deus, que o maior de seus ensinamentos é a Fé, a Honestidade e o Respeito;

As minhas irmãs, Aline Cristina de Assis Moraes e Julia Thaís de Assis Moraes...  
Amigas e companheiras para todas as horas;

Ao meu sobrinho e afilhado, João Lucas de Moraes Moraes...  
O presente de Jesus à nossa família, durante esta caminhada acadêmica.

A minha namorada, Beatriz Muller Gravello...  
Pela paciência, compreensão e companheirismo todos os dias.

## AGRADECIMENTOS

A Professora Dra. Cristiane de Conti Medina: orientadora, amiga e conselheira... Porto seguro em momentos agitação. Sua paciência e sabedoria garantiram o bom andamento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. João Tavares Filho, sinônimo de idoneidade e discernimento: *“Você anda para onde quer chegar. Traçar e seguir um objetivo é o princípio de tudo, Lucas!”*.

Ao Prof. Dr. Gustavo A. de F. Fregonezi: de longa data, sempre disposto a me atender e ajudar... Pessoa a quem admiro, de grande conhecimento, mas reconhecido por todos pela sua humildade e caráter.

Ao Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito: Decisivo na condução deste trabalho, o qual sempre se dispôs a me ajudar, independente da circunstância. Sempre comprometido com o desenvolvido do aluno, o meu muito obrigado.

A Profa. Dra. Inês Batista Fonseca: que mais uma vez, durante a minha trajetória acadêmica, foi decisiva no cumprimento de mais um trabalho.

Aos companheiros e amigos de pós-graduação: Adriana Silva Pereira, Thiago Zorzenoni, Jean Carlos de Oliveira, Raí Rigonato, Alex Figueiredo e Jéssica Barbieri... De artigos a cafés, sempre uma discussão produtiva.

Aos ex-graduandos, mas agora, Engenheiros Agrônomos: Ana Caroline Benitez Cunha, Jaime Higino Júnior, Deise Kussaba, Luiz Fernando e Natalia Zavatieri... Muito trabalho e gratidão.

A toda equipe de laboratório: Márcio Praxedes, João Machado e João Bonfim... O apoio e conhecimento de todos, foram fundamentais para a obtenção dos resultados deste trabalho.

Por fim, agradeço a toda equipe da Usina Bandeirantes, em nome do supervisor Agrícola Valdecir. A este, o meu abraço e obrigado.

MORAES, Lucas Augusto De Assis. **o sistema cana crua e suas implicações nas propriedades químicas de um latossolo, na nutrição e na produtividade da cultura.** 2017. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

## RESUMO

A adoção do sistema cana crua, tem proporcionado uma nova fonte de recursos econômicos às unidades sucroenergéticas, por meio da cogeração de energia elétrica e produção de etanol 2G, através da prática de recolhimento da palhada. Se por um lado o recolhimento da palhada representa ganhos financeiros, por outro, sua presença no campo concorre para proteção do solo contra erosão, sendo também fonte de matéria orgânica e nutrientes para a cultura. Assim, faz-se necessário a avaliação dos efeitos da palhada permanente na superfície do solo, decorrente a prática de recolhimento. Face ao exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as implicações de diferentes quantidades de palhada em superfície, nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutrófico, na nutrição vegetal e na produtividade, no 5º e 6º ciclos da cultura, respectivamente, 4ª e 5ª soqueira. O estudo foi realizado em área pertencente à Usina Bandeirantes, localizada no município de Bandeirantes-PR, em delineamento de blocos casualizados, composto de três repetições, com 5 diferentes quantidades de palhada, sendo estas (Mg Palhada ha<sup>-1</sup>): 0, 5, 10, 15 e 20. Avaliaram-se as propriedades químicas do solo, teores de macro e micronutrientes no tecido foliar e produtividade de colmos e açúcar (ATR). Os resultados apontam que quantidades crescentes de palhada em solo em socas subsequentes da cultura, favorecem teores de Carbono Orgânico Total, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SB, CTC Efetiva (t), CTC Potencial (T) e V. Por outro lado, o aumento das quantidades de palhada acarreta o desequilíbrio de bases a CTC(T), em função dos excessos da saturação por potássio (K%). Também foram observadas que as quantidades crescentes de palhada em dois ciclos da cana-de-açúcar, contribuem para teores foliares adequados de P, K e Mn, no entanto, ocasionam teores foliares inadequados de N, Cu e Zn. Para Ca e Mg, seus teores foliares, adequados ou inadequados, variam conforme a safra avaliada. E quanto à produtividade de colmos e açúcar (ATR), as diferentes quantidades de palhada mantidas no solo não apresentam efeitos estatísticos significativos. Conclui-se que permanência de quantidades crescentes de palhada em ciclos subsequentes da cultura no sistema cana crua, favorece a fertilidade do solo, bem como teores foliares adequados de P, K e Mn, e também não afeta a produtividade da cana-de-açúcar de 5º e 6º ciclo.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp. Palhada. Fertilidade. Cátions. Produtividade.

MORAES, Lucas Augusto De Assis. **the raw cane system and its implications on the chemical properties of a latosol, nutrition and productivity of culture.** 2017. 102 f. Dissertation (Master in Agronomy) - Londrina State University, Londrina, 2017.

## ABSTRACT

The adoption of the raw cane system has provided a new source of economic resources to the sugarcane plants, through the cogeneration of electric energy and the production of 2G ethanol, through the practice of collecting the straw. If on the one hand the straw harvesting represents financial gains, on the other hand, its presence in the field contributes to soil protection against erosion, being also a source of organic matter and nutrients for cultivation. Thus, it is necessary to evaluate the effects of the permanent straw on the soil surface, due to the practice of recollection. The objective of this work was to evaluate the implications of different amounts of surface straw on the chemical properties of an eutrophic Red Latosol, plant nutrition, and on the productivity and quality of the raw material in the 5th and 6th cycles of the crop respectively, 4th and 5th racks. The study was carried out in an area belonging to the Bandeirantes Plant, located in the city of Bandeirantes-PR, in a randomized complete block design, composed of three replicates, with 5 different quantities of straw (Mg Straw ha<sup>-1</sup>): 0, 5, 10, 15 and 20. Soil chemical properties, macro and micronutrient contents in leaf tissue and yield of stalks and sugar (ATR) were evaluated. The results indicate that increasing amounts of soil straw in subsequent soils favor the levels of Total Organic Carbon, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SB, Effective CTC (t), Potential CTC (T) and V. On the other hand, the increase of straw quantities leads to CTC (T) base imbalance due to excess potassium saturation (K%). It was also observed that increasing amounts of straw in two cycles of sugarcane contribute to adequate leaf contents of P, K and Mn, however, they cause inadequate foliar levels of N, Cu and Zn. For Ca and Mg, their adequate or inadequate leaf contents vary according to the harvest evaluated. Regarding yield of stalks and sugar (ATR), the different amounts of straw kept in the soil do not present significant statistical effects. It is concluded that persistence of increasing amounts of straw in subsequent cycles of the crop in the cane system favors soil fertility, as well as adequate leaf contents of P, K and Mn, and also does not affect the productivity of sugarcane of 5th and 6th cycles

**Key words:** *Saccharum spp.* Straw. Fertility. Cations. Productivity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Médias Históricas de Precipitação e Temperatura no município de Bandeirantes-PR, de 1976 a 2015.....	29
<b>Figura 2.</b>	Balanço Hídrico e Numero de Horas Luz (NHL = Média Histórica) no Município de Bandeirantes-PR de 1976 a 2015. ....	30
<b>Figura 3.</b>	Precipitações na Safra 2015 e 2016, versus a média histórica para os referidos meses. As setas em verde da esquerda para direita indicam os meses de colheita da 4 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> e 6 <sup>a</sup> safra, respectivamente. ....	30
<b>Figura 4.</b>	Precipitação acumulada nas Safras 2015 e 2016 em comparação a Precipitação Acumulada Histórica, em Bandeirantes-PR.....	31
<b>Figura 5.</b>	Balanço Hídrico na Safra 2015. Bandeirantes-PR.....	31
<b>Figura 6.</b>	Balanço Hídrico na Safra 2016. Bandeirantes-PR.....	31
<b>Figura 7.</b>	Número de Horas de Luz e soma dos Graus-Dias mensais, registrados nas Safras 2015 e 2016. ....	32
<b>Figura 8.</b>	Área experimental em delineamento de Bloco Casualizados com 3 repetições. ....	36
<b>Figura 9.</b>	Área útil de coleta de amostras de solo e foliares; correspondente ao retângulo central. Os números representam as linhas de cana.....	36
<b>Figura 10.</b>	Área concedida pela Usina Bandeirante, para implantação do experimento. Nos detalhes: 1) Área plantio do experimento; 2) Canais de Vinhaça próximos ao experimento; 3) Terraço; 4) Carreadores.....	36
<b>Figura 11.</b>	Quantificação da palhada remanescente A) separação da palhada remanescente e em decomposição; B) Pesagem da palhada remanescente.....	36
<b>Figura 12.</b>	Carbono Orgânico Total (COT) – Safra 2015: (A) Média de COT nas camadas amostradas; (B) Média de COT nas quantidades de palhada avaliadas. Safra 2016: (C) Média de COT nas camadas amostradas; (D) Média de COT nas quantidades de palhada avaliadas. ....	43
<b>Figura 13.</b>	Acidez Potencial (H+Al) – Safra 2015: (A) Teores de H+Al em função das camadas amostradas; (B) Teores de H+Al em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Teores de H+Al em função das camadas amostradas; (D) Teores de H+Al em função das quantidades de palhada. ....	45

<b>Figura 14.</b>	Acidez Ativa (pH) – Safra 2015: (A) pH, em função das camadas amostradas; (B) pH, em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Média de pH nas camadas amostradas; (D) Média de pH nas quantidades de palhada avaliadas. ....	48
<b>Figura 15.</b>	Teores de Fósforo (P-Melich 1) – Safra 2015: (A) Média dos teores de Fósforo nas camadas amostradas; (B) Média dos teores de Fósforo em função das quantidades de palhada no solo. Safra 2016: (C) Teores de Fósforo em função das camadas amostradas; (D) Teores de Fósforo em função das quantidades de palhada no solo. ....	51
<b>Figura 16.</b>	Teores trocáveis de Potássio (K <sup>+</sup> ) – Safra 2015: (A) Média dos teores de K <sup>+</sup> nas camadas amostradas; (B) Média dos teores de K <sup>+</sup> em função das quantidades de palhada no solo. Safra 2016: (C) Média dos teores de K <sup>+</sup> nas camadas amostradas; (D) Média dos teores K <sup>+</sup> em função das quantidades de palhada no solo. ....	54
<b>Figura 17.</b>	Teores trocáveis de Cálcio (Ca <sup>2+</sup> ) – Safra 2015: (A) Média dos teores de Ca <sup>2+</sup> nas camadas amostradas; (B) Média dos teores de Ca <sup>2+</sup> em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Teores de Ca <sup>2+</sup> em função das camadas amostradas; (D) Teores de Ca <sup>2+</sup> em função das quantidades de palhada. ....	56
<b>Figura 18.</b>	Teores trocáveis de Magnésio (Mg <sup>2+</sup> ) – Safra 2015: (A) Teores de Mg <sup>2+</sup> em função das camadas amostradas; (B) Teores de Mg <sup>2+</sup> em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Teores de Mg <sup>2+</sup> em função das camadas amostradas; (D) Teores de Mg <sup>2+</sup> em função das quantidades de palhada. ....	59
<b>Figura 19.</b>	Soma de Bases (SB) – Safra 2015: (A) Média dos valores de SB nas camadas amostradas; (B) Média dos valores de SB em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Valores de SB em função das camadas amostradas; (D) Valores de SB em função das quantidades de palhada. ....	61
<b>Figura 20.</b>	CTC Efetiva (CTC t) – Safra 2015: (A) Média dos valores de CTC(t) nas camadas amostradas; (B) Média dos valores de CTC(t) em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Valores de CTC(t) em função das camadas amostradas; (D) Valores de CTC(t) em função das quantidades de palhada. ....	62

<b>Figura 21.</b>	CTC Potencial (CTC-T) – Safra 2015: (A) Valores médios de CTC(T) nas camadas amostradas; (B) Valores médios de CTC(T) em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Valores de CTC(T) em função das camadas amostradas; (D) Valores de CTC(T) em função das quantidades de palhada. ....	64
<b>Figura 22.</b>	Valores de Saturação por Bases (V) – Safra 2015: (A) Valores da V em função das camadas amostradas; (B) Valores da V em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Valores médios da V nas camadas amostradas; (D) Valores médios da V em função das quantidades de palhada. ....	66
<b>Figura 23.</b>	Valores de Saturação de Potássio (K%) – Safra 2015: (A) K% em função das camadas amostradas; (B) K% em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Valores médios da K% nas camadas amostradas; (D) Valores médios da K% em função das quantidades de palhada avaliadas. ....	67
<b>Figura 24.</b>	Valores de Saturação de Cálcio (Ca%) – Safra 2015: (A) Valores médios de Ca% nas camadas amostradas; (B) Valores médios de Ca% em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Ca% em função das camadas amostradas; (D) Ca% em função das quantidades de palhada. ....	69
<b>Figura 25.</b>	Saturação de Magnésio (Mg%) – Safra 2015: (A) Valores de Mg% em função das camadas amostradas; ( B) Mg% em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Mg% em função das camadas amostradas; ( D) Mg% em função das quantidades de palhada. ....	70
<b>Figura 26.</b>	Diagnose foliar para Nitrogênio nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada. ....	75
<b>Figura 27.</b>	Diagnose foliar para Fósforo nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada. ....	75
<b>Figura 28.</b>	Diagnose foliar para Potássio nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada. ....	75
<b>Figura 29.</b>	Diagnose foliar para Cálcio nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada. ....	75

<b>Figura 30.</b>	Diagnose foliar para Magnésio nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada. ....	76
<b>Figura 31.</b>	Diagnose foliar para Manganês nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada. ....	77
<b>Figura 32.</b>	Diagnose foliar para Cobre nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada. ....	77
<b>Figura 33.</b>	Diagnose foliar para Zinco nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada. ....	77
<b>Figura 34.</b>	Produtividade, em Toneladas de Colmos ha-1 (TCH), para a Safra 2015 (5ª Ciclo, 4ª Soqueira) e para Safra 2016 (6ª Ciclo, 5ª Soqueira). ....	79
<b>Figura 35.</b>	Resultados da Produção de ATR (Açúcares Totais Recuperáveis por Toneladas de Colmos) para a Safra 2015 (5ª Ciclo, 4ª Soqueira) e para Safra 2016 (6ª Ciclo, 5ª Soqueira). ....	81

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Relações entre as taxas de extração, ciclagem de nutrientes e equivalentes adicionados ao solo pela palhada da cana-de-açúcar no período de uma safra; proximamente de 10 a 11 meses.....	27
<b>Tabela 2.</b>	Meses de Plantio e Colheitas da área experimental, em Bandeirantes-PR. Em destaque, as safras avaliadas na presente pesquisa. ....	29
<b>Tabela 3.</b>	Análise granulométrica de solo – Latossolo Vermelho eutroférico, da área experimental (Abril/2015). ....	32
<b>Tabela 4.</b>	Análise Química de Solo fornecida pela Usina Bandeirantes, da área onde foi implantado o experimento (agosto/2010). ....	33
<b>Tabela 5.</b>	Esquema de distribuição de parcelas a campo em delineamento de Blocos Casualizados com 3 repetições.....	35
<b>Tabela 6.</b>	Valores referentes à análise de variância para as propriedades químicas do solo. ....	42
<b>Tabela 7.</b>	Análise de variância para os macronutrientes e micronutrientes nas duas safras avaliadas.....	72
<b>Tabela 8.</b>	Análise de variância para os resultados de produtividade, na Safra 2015 (5ª Ciclo, 4ª Soqueira) e Safra 2016 (6ª Ciclo, 5ª Soqueira). ....	79
<b>Tabela 9.</b>	Resultados da Análise Química de Solo para Safra 2015 (5º Ciclo, 4ª Soqueira).Bandeirantes-PR. ....	100
<b>Tabela 10.</b>	Resultados da Análise Química de Solo para Safra 2016 (6º Ciclo, 5ª Soqueira). Bandeirantes-PR. ....	101
<b>Tabela 11.</b>	Resultados dos teores de macro e micronutrientes aos 180 dias após o corte, para Safra 2015 (5ª Colheita, 4ª Soqueira) e Safra 2016 (6ª Colheita, 5ª Soqueira).....	102

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>A COLHEITA MECANIZADA DA CANA-DE-AÇÚCAR</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>IMPLICAÇÕES DA COLHEITA MECANIZADA</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>INFLUÊNCIA DA PALHADA NAS PROPRIEDADES DO SOLO</b> .....	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DA CANA-PLANTA</b> .....	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>PERÍODO DE PESQUISA</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>LOCALIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.1</b>	<b>CONDIÇÕES DE TEMPO DURANTE PERÍODO DE PESQUISA</b> .....	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>CONDIÇÕES EDÁFICAS</b> .....	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b>VARIEDADE UTILIZADA</b> .....	<b>34</b>
<b>3.5</b>	<b>DELINEAMENTO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>34</b>
<b>3.6</b>	<b>INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO</b> .....	<b>34</b>
<b>3.7</b>	<b>DEPOSIÇÃO DE PALHADA NA SUPERFÍCIE DO SOLO</b> .....	<b>35</b>
<b>3.8</b>	<b>AMOSTRAGENS</b> .....	<b>35</b>
<b>3.8.1</b>	<b>Amostragem de Solo para Avaliação da Fertilidade Química do Solo</b> .....	<b>35</b>
<b>3.8.2</b>	<b>Amostragem para Diagnose Foliar</b> .....	<b>37</b>
<b>3.9</b>	<b>ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE</b> .....	<b>37</b>
<b>3.10</b>	<b>ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ATR – AÇÚCAR TOTAL RECUPERÁVEL</b> .....	<b>38</b>
<b>3.11</b>	<b>PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS</b> .....	<b>38</b>
<b>3.11.1</b>	<b>Análises Químicas</b> .....	<b>38</b>
<b>3.11.1.1</b>	<b>Análises químicas de solo</b> .....	<b>38</b>
<b>3.11.1.2</b>	<b>Análises químicas dos tecidos foliares</b> .....	<b>39</b>
<b>3.12</b>	<b>METODOLOGIA ESTATÍSTICA</b> .....	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Carbono Orgânico Total (COT)</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Acidez Potencial (H+Al)</b> .....	<b>44</b>

4.1.3	Acidez Ativa (pH CaCl <sub>2</sub> ).....	46
4.1.4	Fósforo.....	49
4.1.5	Teores de Potássio: K <sup>+</sup> .....	53
4.1.6	Teores de Cálcio: Ca <sup>2+</sup> .....	55
4.1.7	Teores de Magnésio: Mg <sup>2+</sup> .....	58
4.1.8	Valores de Soma de Bases (SB) e CTC Efetiva( t ) .....	60
4.1.9	CTC Potencial( T ) .....	63
4.1.10	Saturação por Bases (V), Potássio(K%), Cálcio(Ca%) e Magnésio(Mg%).....	65
4.2	DIAGNOSE FOLIAR.....	72
4.2.1	Macronutrientes: N, P, K, Ca e Mg.....	72
4.2.2	Micronutrientes: Mn, Cu e Zn.....	76
4.3	PRODUTIVIDADE: TCH E ATR.....	78
5	CONCLUSÕES .....	82
5.1	PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO .....	82
5.1.1	Carbono Orgânico Total (COT) .....	82
5.1.2	Acidez Potencial (H+Al) .....	82
5.1.3	Acidez Ativa (pH CaCl <sub>2</sub> ).....	83
5.1.4	Fósforo.....	83
5.1.5	Teores de Potássio (K <sup>+</sup> ) .....	83
5.1.6	Teores de Cálcio (Ca <sup>2+</sup> ) .....	83
5.1.7	Teores de Magnésio (Mg <sup>2+</sup> ).....	84
5.1.8	Soma de Bases (SB) e CTC(t) Efetiva.....	84
5.1.9	CTC(T) Potencial .....	84
5.1.10	Saturação por Bases (V), Potássio(K%), Cálcio(Ca%) e Magnésio(Mg%).....	84
5.2	DIAGNOSE FOLIAR.....	85
5.3	PRODUTIVIDADE E ATR .....	86
6	REFERÊNCIAS .....	86

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas 15 safras, especificamente 2000/01 a 2014/15, a produção canavieira aumentou 146%, indo de 256.818 milhões de toneladas para 632.127 milhões. Neste mesmo período, as produções de açúcar e etanol alcançaram aumentos de 120% e 170%, respectivamente (UNICA, 2016). Apesar destes resultados expressivos e positivos, atualmente o cenário sucroenergético é de incerteza. Pois, se por um lado a produção aumentou 146%, o mesmo não se verificou para produtividade, com aumentos de apenas 20% (CONAB, 2016). Soma-se a este quadro, a estabilidade da demanda interna de açúcar e as condições adversas no mercado internacional. Já para o etanol, a falta de clareza de políticas públicas e a queda no preço do barril do petróleo, criam uma situação ainda mais problemática para este produto (VIAN et al. 2015).

Tais questões, aliadas à crise financeira de alguns grupos, como Renuka Brasil S/A e a Odebrecht Agroindustrial (NOVACANA, 2015), à queda acentuada de produtividade dos canaviais ao longo das safras (UDOP, 2015), e às recentes inovações tecnológicas, tanto na área agrícola, quanto na indústria – que obrigam o setor estar todos os dias sob constante aprendizado e aperfeiçoamento (UDOP, 2015), geram enormes desafios ao setor sucroenergético (VIAN et al. 2015). Dessa maneira, a busca por novas alternativas ou soluções que tragam aumento de produtividade e longevidade aos canaviais, e aumento no lucro das usinas, objetiva minimizar os efeitos negativos pelos quais passa o setor.

Com a aprovação da Lei nº 11.241/2002, que determinou o fim gradativo do emprego do fogo para colheita da cana-de-açúcar até 2031 no Estado de São Paulo (prazo este reduzido para 2017, em acordo firmado entre a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SMA/SP e a ÚNICA), intensificou-se a adoção do sistema de colheita mecanizada na canavieira. Segundo Belardo et al. (2015), a partir da aprovação da referida Lei, os percentuais de colheita mecanizada em São Paulo saltaram de 28% para 89%, entre 2000 e 2013; reduzindo-se assim o corte manual.

Nesse sistema, durante a operação de colheita, folhas secas, folhas verdes e ponteiros – em ordem decrescente de volume, são lançados sobre o solo. Estes resíduos acabam por formar uma cobertura morta, denominada “palhada” (MANECHINI, 1997).

A presença da palhada após a colheita trouxe novas realidades ao manejo agrônomo da cultura. Assim, muitas pesquisas até então realizadas, concentraram esforços para o estudo da influência das quantidades de palhada nas propriedades químicas, físicas e biológicas do

solo (OLIVEIRA et al., 2014); e na produtividade e qualidade da matéria prima vegetal (AQUINO, 2014; MARAFON et. al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016).

As principais vantagens de deixar palhada na superfície do solo são: proteção contra a erosão; aumentos da atividade microbológica, dos teores de matéria orgânica, da agregação das partículas, do volume de poros e da taxa de infiltração de água; melhorias nas propriedades químicas e na ciclagem de nutrientes; redução da amplitude térmica e da evaporação; e controle seletivo parcial de plantas infestantes (PENATTI, 2013; OLIVEIRA et al., 2014). Contudo, a presença da palhada também representa: crescimento dos riscos de incêndios; dificuldades nas operações de cultivo; elevação na incidência de pragas e doenças; e aumento na compactação do solo. Este último, em virtude do maior tráfego de máquinas durante operação de corte, carregamento e transporte da cana colhida mecanicamente.

No entanto, a permanência dos resíduos vegetais da cultura após a colheita mecanizada proporcionou ao setor sucroenergético promover uma fonte adicional de energia a matriz energética brasileira, a partir do recolhimento da palhada e também do bagaço (SOUZA, 2015). Além disso, ambos os resíduos vegetais podem ser utilizados para cogeração do etanol de segunda geração (2G) (FAPESP, 2012).

Com isso, uma nova linha de pesquisa foi aberta, para determinar a quantidade mínima de palhada a ser deixada no campo, liberando o excedente para ser usado na cogeração de energia elétrica e etanol 2G, sem prejudicar as propriedades do solo.

Esta questão é pertinente em âmbito nacional, haja vista que, de forma geral, os solos brasileiros são resultantes de elevado intemperismo, com predominância de argilominerais do tipo 1:1 e oxihidróxidos de Fe e Al, baixos teores de matéria orgânica e baixa fertilidade (PRADO, 2013). Dessa maneira, a manutenção da palhada sobre o solo pode ser uma forma de se melhorar a fertilidade do solo a médio e longo prazos.

O incremento na matéria orgânica do solo é o principal benefício da palhada (CANELLAS et al., 2003). O crescimento do teor de carbono orgânico total favorece a agregação do solo, que resulta em maior volume de poros e infiltração de água (CEDDIA et al., 1999; SOUZA et al., 2005b). Do mesmo modo, há, também, aumento da atividade microbiana, que contribui para mineralização e disponibilização de nutrientes essenciais à cultura (MENDOZA et al., 2000). Ademais, maiores teores de carbono orgânico correlacionam-se positivamente com aumentos da CTC; representando, assim, melhoria na fertilidade do solo (RAIJ, 1981).

Sendo assim, tem-se que a deposição da palhada sobre o solo pode ser uma alternativa ou solução para o aumento da margem de lucros nas unidades sucroenergéticas, num período

de médio à longo prazo. Tal questão, é motivada pelo fato de que, com a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, há ganhos de produtividade e qualidade da matéria prima vegetal; maior longevidade de canaviais, com quedas menos acentuadas de produtividade; e à redução no uso de insumos. Por outro lado, o recolhimento de quantidades excedentes de palhada do campo para cogeração de energia elétrica e ou de etanol, pode representar de imediato, elevação do lucro das usinas. Porém, a ausência ou pouca cobertura vegetal do solo, podem gerar com o tempo, processos erosivos e redução da fertilidade do solo, com consequentes reduções da produtividade do canavial e lucro das usinas.

Face ao exposto, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar efeitos de diferentes quantidades de palhada nas propriedades químicas do solo, na nutrição e na produtividade da cana-de-açúcar de 5º e 6º ciclos, cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A COLHEITA MECANIZADA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

O processo de mecanização da colheita da cana-de-açúcar teve início nas décadas de 30 e 50 do século XX, na Austrália. Nessa época, criaram-se as primeiras carregadoras de cana. No entanto, foi somente no fim da década de 50, que surgiram as colhedoras de princípio mecânico, combinando corte e transporte simultaneamente; sendo este princípio empregado nas colhedoras atuais (BRAUNBECK et al., 2008).

A partir de então, o corte da cana-de-açúcar passou a ter duas opções: manual ou mecanizado. Mas, apesar desta evolução, a cana-de-açúcar faz parte de um grupo de culturas perenes, como café e laranja, com mecanização tardia. Segundo Vian et al. (2014), esta mecanização tardia se deve á existência de mão de obra, farta e barata, que atualmente é escassa.

No Brasil, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar começou a ganhar força com o decreto de Lei Estadual 47.700, de 11 de março de 2003, que regulamentou a Lei Estadual 11.241, de 19 de setembro de 2002, determinando o fim gradativo da queimada na colheita da cana no Estado de São Paulo até 2031, em função do alto impacto causado na saúde humana e na poluição do meio ambiente. Em 2007, com a assinatura do Protocolo Agroambiental, acordo entre a UNICA e governo do Estado de São Paulo, reduziu-se este prazo para 2017.

Dessa forma, intensificou-se o processo de mecanização da colheita da cana-de-açúcar, ou colheita de cana-crua. Dados de Belardo et al. (2015) indicam que os percentuais de colheita manual e mecanizada no Estado de São Paulo, de 2000 a 2013, passaram de 72% e 28% para 11% e 89%, respectivamente, demonstrando o avanço da colheita mecanizada nas canavicultura.

Com o aumento da colheita mecanizada e a redução da queima, segundo a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA-SP, 2015), da safra 2006/07 à safra 2014/15, aproximadamente 5,7 milhões de toneladas de Gases de Efeito Estufa (GEE – metano e óxido nítrico) deixaram de ser emitidas; o que equivale à 100.000 ônibus circulando durante um ano.

## **2.2 IMPLICAÇÕES DA COLHEITA MECANIZADA**

A adoção da colheita sem despalha a fogo teve como consequências, a redução da mão de obra e o aumento do tráfego de máquinas nas lavouras. Contudo, a principal mudança está relacionada com a formação de uma camada de palhada na superfície do solo, normalmente denominada cobertura morta, pois nesse sistema de cana crua, durante a operação de colheita, vão sendo lançados sobre o solo, em ordem decrescente, folhas secas, folhas verdes e ponteiros (MANECHINI, 1997).

A quantidade de palhada formada após a colheita mecanizada, pode então oscilar entre 8,00 a 22,00 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> (MANECHINI, 1997; OLIVEIRA et al., 2003; CRISTOFFOLETI et al., 2007; DALBEN, 2015). Segundo Dalben (2015) estas variações na quantidade de palhada no campo ocorrem em função variedade plantada, do número de cortes do canavial, produtividade e época do ano; sendo que, quanto mais velho canavial maior a quantidade de folhas secas e melhor a despalha da cultura.

A quantidade de palhada sobre o solo foi já alvo de muitas pesquisas. Manechini (1997), desenvolvendo trabalho com 4 variedades, colhidas aos 16 meses de idade, verificou que o volume de palha após a colheita variou entre 10,45 a 15,67 Mg ha<sup>-1</sup>. O mesmo autor, com 3 variedades durante um ciclo agrícola, observou valores na ordem de 11,62 a 14,46 Mg ha<sup>-1</sup>. Por sua vez, Oliveira et al. (2003), em estudo com 10 variedades, obtiveram quantidades de palha de 11,48 a 18,45 Mg ha<sup>-1</sup>. Dalben (2014), avaliando 8 variedades, colhidas entre agosto e outubro de 2013, obteve resultados de 9,14 a 21,50 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada. Todos estes

resultados corroboram com a observação de Christoffoleti et al. (2007), que menciona volumes de palhada sobre o solo oscilando entre 8 a 20 Mg ha<sup>-1</sup>.

A presença da palhada após a colheita representa novas condições ao manejo agrícola da cultura. Embora os estudos da influência da palhada na relação solo-planta sejam recentes, as pesquisas sobre o tema iniciaram na década de 80. De Beer et al. (1983), na África do Sul, constataram aumento de 17% na produtividade em canaviais com 6 cortes, colhidos sem queima, em relação as áreas colhidas com utilização da queima; e que as diferenças de produção acentuavam em anos de déficit hídrico.

Em experimentos na Austrália, Mc Mahoon (1991) verificou que a cana crua apresentou produtividade de 8 a 13% maior em comparação à cana queimada. No entanto, em temporadas úmidas, às diferenças de produtividade não foram significativas. Também na Austrália, Wood (1991) relata que, em áreas com 15 anos de colheita sob cana crua, houve melhorias na produtividade e nas propriedades químicas do solo.

No Brasil, pesquisas sobre a influência da palhada na cultura também se iniciaram a fim de propor, principalmente, novas formas de manejo agrônomo e avaliar os efeitos da palhada na produtividade (PENATTI, 2013). O projeto “Cana-Crua” criado em 1991, pelo Centro de Tecnologia Canavieiro (CTC), teve por base estudar novas formas e localização dos adubos sob a palhada; controle de plantas infestantes; adaptação e manejo varietal; época de plantio e corte; e espaçamentos de plantio.

A respeito das vantagens e desvantagens da presença de palhada na superfície solo, Penatti (2013) em revisão bibliográfica, destacou como pontos positivos: proteção do solo contra erosão; aumento da infiltração da água no solo; redução da amplitude térmica do solo e na taxa de evaporação; aumento da umidade; condições favoráveis à atividade biológica e ciclagem de nutrientes; melhora nos atributos químicos, e controle seletivo parcial de plantas infestantes. Todavia, a palhada apresenta como pontos negativos: maior risco de incêndios, elevação na incidência de pragas e doenças, retardamento ou falhas na brotação das soqueiras e dificuldades nas operações de cultivo.

Além disso, Trivellin et al. (1995, 1996) ressaltam que a palhada reduz as taxas de eficiência dos adubos nitrogenados quando estes são aplicados sobre o palha, em função da volatilização destes adubos, podendo resultar em perdas de produtividade e econômicas. Vasconcellos (2002) indica que as falhas na brotação das soqueiras são decorrentes da palhada agir como barreira física à luminosidade. Assim, esta redução da luminosidade diminui o processo fotossintético e, conseqüentemente, retarda o crescimento e o

desenvolvimento inicial das plantas. De outra forma, passado a fase de emergência, a presença da palhada proporciona aumentos reflexão de luz a cultura.

Por outro lado, Souza et al. (2005b), citam ainda, que as variações de produtividade sob os sistema de cana crua, são em virtude das adaptações ecofisiológicas de variedades que foram melhoradas geneticamente e desenvolvidas sob o sistema de cana queimada. Deste modo, algumas variedades podem apresentar melhor ou pior adaptabilidade à colheita mecanizada.

O aumento da compactação em áreas de cana crua é outro aspecto negativo deste sistema de colheita. Devido às operações de corte, carregamento e transporte, chamada de “CCT”, envolverem consideráveis números de máquinas. O aumento do tráfego na lavoura submete o solo, principalmente das camadas mais superficiais, pressões que reduzem o espaço poroso e eleva sua densidade. Com isso, tem início o processo erosivo – selamento superficial e redução na taxa de infiltração, que favorecem a formação de enxurrada (TAVARES FILHO, 2014).

### **2.3 INFLUÊNCIA DA PALHADA NAS PROPRIEDADES DO SOLO**

A palhada da cana-de-açúcar é formada, principalmente, por C, O e H, e macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S. Manechini (1997), em 4 variedades, obteve as seguintes concentrações ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de macronutrientes: K = 76,00; Ca = 54,90; N = 54,70; Mg = 25,50; S = 15,10; e P = 4,40.

A composição da palhada exerce influência direta na sua decomposição. Moreira e Siqueira (2006) explicam que decomposição refere-se à quebra das moléculas orgânicas, geralmente polímeros, em moléculas menores (monômeros), que serão absorvidas pelas células microbianas. Enquanto que a mineralização é a transformação destes monômeros orgânicos, em moléculas inorgânicas. Dessa maneira, é pela mineralização que os nutrientes da palhada tornam-se disponíveis para cultura. A taxa de decomposição dos resíduos da palhada depende de fatores externos, como: temperatura, disponibilidade de água e oxigênio; e fatores internos: quantidades de carboidratos solúveis (sacarose e amido) e estruturais (hemicelulose, celulose, e lignina), e, principalmente, da relação C:N.

A relação C:N é destacada por Ng Kee Kwong et al. (1987) como sendo o mais importante fator para decomposição e mineralização dos restos vegetais. Resíduos vegetais com valores inferiores a  $18 \text{ g kg}^{-1}$  de N e C:N maior que 20, apresentam baixa taxa de

mineralização. Especificamente no caso da palhada de cana-de-açúcar, que contém em média de 390 a 450 g kg<sup>-1</sup> de C e de 4,6 a 6,5 g kg<sup>-1</sup> de N; portanto, uma relação C:N próxima a 100, favorecendo a baixa mineralização no período de um ano agrícola (TRIVELIN et al., 1995).

Contudo, adicionando-se uma fonte externa de nitrogênio, como ureia, pode-se aumentar a taxa de decomposição da palhada. Tal questão, foi avaliada por Vitti et al. (2008), em trabalho com a variedade SP81-3250, em Latossolo Vermelho escuro, textura argilosa. Os pesquisadores concluíram que adição de ureia promoveu uma redução de em média 60% na relação C:N, num período de 14 meses, devido ao aumento na taxa de decomposição do resíduo vegetal.

De outra forma, em solo arenoso – Latossolo Vermelho-Amarelo, Oliveira et al., (1999a) utilizando a variedade SP79-1011, relataram valores iniciais de matéria seca de palhada na ordem de 13,90 Mg ha<sup>-1</sup>. Após um ano, os autores verificaram redução de 22% na quantidade inicial; ou seja a decomposição da palhada em um ciclo reduziu a quantidade de palhada para 10,80 Mg ha<sup>-1</sup>. Quanto à mineralização e liberação de nutrientes, valores em ordem decrescente, foram: K = 84,85%; Ca = 44,00%; Mg = 38,46%; N = 17,19%; e S = 11,11%. Para a relação C:N, a redução foi de 30%.

Em outro experimento, Penatti et al. (1999), na safra 1998/99, observaram resultados semelhantes ao de Oliveira et al. (1999), com a variedade SP81-3250. A quantidade liberada pela decomposição da palhada foi de, em (g kg<sup>-1</sup>): K = 81,50; N = 22,25; Ca = 21,00; Mg = 9,75; S=9,00; e P = 5,00 – para valores médios de 4 tratamentos.

Comparando duas áreas, uma com 55 anos de colheita sem queima e outra com 35 anos sob queima, ambas com e sem aplicação de vinhaça, em Cambissolo Háplico eutrófico vertico, nas profundidade 0–20 cm e 20–40 cm, Canellas et al. (2003) concluíram que a manutenção da palhada em superfície por longo período é fonte de adição de matéria orgânica no solo. Sendo a adição de carbono orgânico pela palhada a responsável por alterar e melhorar as propriedades químicas e a fertilidade do solo.

Os mesmo autores ainda ressaltam a correlação positiva observada para o aumento da CTC efetiva em função dos acréscimos dos teores de carbono orgânico total no solo. Além disso, os autores destacam que a adição de resíduos orgânicos no solo (palhada + vinhaça) reduziu o Ponto de Carga Zero (PCZ), permitindo o aumento da disponibilização de cargas negativas e a CTC do solo, elevando a retenção de nutrientes catiônicos essenciais à cultura.

Em pesquisa semelhante, Mendoza et al. (2000) compararam dois sistema de colheita: crua e queimada, em colheitas realizadas de 1989 a 1994, em Argissolo Amarelo, textura arenosa. Verificaram após o período das colheitas, que o sistema de colheita de cana-crua

proporcionou incrementos nos teores de carbono orgânico total e magnésio, e aumento da biomassa microbiana. Quanto à cana queimada, relatam apenas elevação nos teores de P e K, provenientes das cinzas da queimada. Apesar disso, enfatizam que este resultado para cana queimada não deve ser encarado como positivo, uma vez que os nutrientes contidos nas cinzas são suscetíveis à lixiviação; reduzindo rapidamente os teores de K nas camadas superficiais do solo.

Em Paraguaçu Paulista–SP, sob Latossolo Vermelho, Souza et al., (2012), desenvolveram pesquisas comparando áreas de colheita sem queima e com queima, usando como referência uma mata nativa. Os pesquisadores constataram que, para a camada estudada (0,0 m – 0,20 m), os valores de pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , P, SB e V aumentaram, e os de  $\text{Al}^{3+}$  e m (%) diminuíram nas áreas colhidas sem queima. Atribuíram a estes resultados, ao aporte de nutrientes promovidos pela decomposição e mineralização da palhada.

Pesquisas de Cedia et al. (1999) indicaram que há alterações nas propriedades físicas do solo, em função dos sistemas de colheita empregados nas áreas, com cana-crua e cana-queimada. O estudo foi conduzido em Argissolo Amarelo distrófico, textura arenosa, de 1989 a 1994. Concluíram que a colheita sob cana queimada resulta em degradação das propriedades físicas do solo, caracterizadas pela redução do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água e pelo aumento da densidade do solo (Ds), na camada 0,0 – 0,05 m. Os autores apontam que a ausência de cobertura do solo, em função da queimada do canal, gera uma superfície livre sujeita ao impacto da gota da chuva, resultando em desagregação das partículas e selamento superficial. Somado a este processo, a queima da cana-de-açúcar causa destruição dos agregados do solo, favorecendo o aumento da compactação.

Também avaliando as propriedades físicas do solo Souza et al. (2005a) comparou, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura arenosa, sistemas de colheitas, cana-crua e cana-queimada; incluindo ambos os tratamentos, triturados e incorporada, e não triturada em superfície. Os resultados permitiram concluir que, com exceção da cana-queimada, houve melhorias nas propriedades físicas do solo, retratadas por aumento nos teores de carbono orgânico total; redução da resistência do solo à penetração e de densidade do solo; aumento no volume de poros; e aumento na estabilidade dos agregados.

No entanto, os pesquisadores deixam claro que os melhores resultados para as propriedades físicas ocorreram quando a palhada foi triturada e incorporada no solo. Isso porque, com a trituração da palhada, há aumento da área de superfície de contato entre solo-palhada-microrganismos, aumentando a atividade da macro, meso e microfauna. Desse modo,

pela ação dos microrganismos, há decomposição da palhada, resultando na formação de compostos orgânicos que agem na cimentação e na estabilização dos agregados, aumentando assim, os índices de estabilidade de agregados.

Estudando perdas de solo e nutrientes por erosão, em função de diferentes percentuais de cobertura do solo pela palhada (0, 50, e 100%), Martins Filho et al. (2009) relatam que em áreas com 50 a 100% de cobertura, são aquelas com menores perdas de nutrientes e erosão, uma vez que palhada evita o impacto da gota, e protege o solo contra o selamento superficial, impedindo a formação de enxurradas.

Em pesquisa a respeito do conhecimento atual sobre modificações nas propriedades dos solos de tabuleiro, cultivados com cana-de-açúcar, Oliveira et al. (2014) destacam os principais resultados obtidos até então, acerca das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo. Os autores enfatizam que a redução da degradação e a melhoria da qualidade do solo, são consequências da deposição da palhada da cana-de-açúcar em superfície, que contribui para o aumento nos teores de carbono orgânico total no solo. Quanto às propriedades biológicas, têm-se alterações positivas na camada 0,00 – 0,10 m, sendo constatados aumentos na atividade microbiana. Para as propriedades físicas, verificam-se melhores índices de estabilidade de agregados, em função do acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais. E, finalmente, para as propriedades químicas, elevação dos valores de pH e dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e P; e diminuição nos teores de  $\text{Al}^{3+}$ . Todas estas constatações se dão em função do aumento dos teores de matéria orgânica, proveniente da decomposição da palhada.

De maneira geral, como os solos brasileiros em sua maioria, são resultantes de alto intemperismo e, por isso, de mineralogia com predominância de argilas do tipo 1:1 e óxidos de Fe e Al. Logo, tem-se solos de baixa fertilidade. Sendo assim, a palhada sobre a superfície do solo, é uma fonte de matéria orgânica, principal responsável pelo aumento da qualidade do solo. Desse modo, deixar a palhada na superfície do solo pode ser uma forma técnica, prática e barata, para aumentar a fertilidade nas lavouras canavieiras, permitindo obter, em médio e longo prazos, maior produtividade e qualidade de matéria prima; longevidade de canavial; e redução nos custos dos produtos.

#### **2.4 FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DA CANA-PLANTA**

O solo possui propriedades que lhe permitem armazenar água e nutrientes; itens indispensáveis à vida (RAIJ, 2012). Estas duas condições são possíveis devido à dois

mecanismos: o primeiro refere-se à CTC (Capacidade de Troca Catiônica), que exerce a função de atrair, reter e disponibilizar os nutrientes essenciais às plantas na solução do solo e também, de diminuir a lixiviação destes nutrientes para camadas profundas não exploradas pelas raízes. E o segundo, esta relacionado aos poros, que permitem o armazenamento de água e a circulação de oxigênio, garantindo com isso, reações químicas importantes na disponibilização de nutrientes (TAVARES FILHO, 2014).

A diferença entre o solo e o regolito – rocha que da origem ao solo, é a presença da matéria orgânica. Produto da decomposição dos restos vegetais ou animais, a matéria orgânica – ou húmus, incorpora ao solo dois nutrientes não existentes no material de origem: carbono e nitrogênio (RAIJ, 2012), aumentando a reserva de nutrientes e a retenção de água.

A disponibilidade de nutrientes às plantas depende de muitos fatores, sejam eles relacionados ao solo, como: pH de solução, conteúdo de nutrientes da solução e capacidade da fase sólida suprir a solução; ou às plantas, como: taxa de absorção, desenvolvimento radicular e duração do ciclo fenológico. Além das condições climáticas e disponibilidade de outros nutrientes (MALAVOLTA, 2006; PRADO, 2011; RAIJ, 2011).

Para Raij (1984), um nutriente pode ser considerado disponível à cultura, quando este se encontra na solução do solo, bem como a uma parte deste nutriente na fase sólida, que pode passar para a fase líquida. Dessa forma, o equilíbrio existente entre as fases, pode reger a capacidade do solo em suprir as necessidades das plantas.

Entretanto, dentro deste contexto da fertilidade do solo e da sua capacidade em fornecer nutrientes as culturas, três fatores se destacam: composição mineralógica, pH da solução e teores de matéria orgânica. As interrelações destes fatores podem influenciar diretamente na fertilidade do solo e nos teores de nutrientes disponíveis.

A composição mineralógica define a alta ou a baixa CTC dos solos. A presença de argilominerais do tipo 2:1 (ex. esmectita, ilita, vermiculita e montmorilonita), pode determinar solos com alta atividade de argila, compreendendo solos de alta CTC – mais presentes em regiões temperadas. Argilominerais do tipo 1:1 ou oxídicos (ex. caulinita, gibbsita, goethita e Hematita), predominantes em regiões tropicais e semitropicais, determinam a formação de solos com baixa atividade de argila, deste modo, de baixa CTC (VIEIRA, 1988; PRADO, 2012). Sendo assim, baixa ou alta CTC correspondem à capacidade do solo em reter e trocar cátions simultaneamente, e por consequência, influenciar a fertilidade final do solo (SENGIK, 2003).

O pH é uma medida da atividade e, indiretamente da concentração de íons  $H^+$  em solução (FELTRE, 1991). Na solução do solo, não só os íons  $H^+$ , mas também os íons  $Al^{3+}$

são causadores da acidez (SOUZA et al., 2007). As variações do pH do solo têm grande importância, principalmente em solos com predominância de argilominerais 1:1 e óxidos de Fe e Al, que possuem cargas variáveis ou dependentes do pH. Solos com baixos valores de pH, proporcionam elevada adsorção de  $H^+$  e  $Al^{3+}$ , com isso resultando em carga líquida positiva, favorecendo a lixiviação de cátions e a fixação do fósforo (RAIJ, 1984; ALLEONI et al., 2009). À medida que se aumenta o pH, a solução vai se tornando mais alcalina, com maior concentração de  $OH^-$ , ocorrendo a dessorção de  $H^+$  e  $Al^{3+}$  dos sítios de troca catiônica, disponibilizando cargas negativas para sorção de cátions básicos essenciais as plantas ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ) (SPOSITO, 1989).

Por fim, os teores de matéria orgânica no solo podem influenciar a atividade microbiana, sendo a microbiota responsável pelos processos de decomposição e transformação dos restos vegetais e animais. Destes processos, tem-se a mineralização dos nutrientes, que os torna disponíveis às plantas, e também reações que favorecem a formação de compostos que auxiliam na agregação do solo, e na manutenção de espaços porosos, favorecendo o armazenamento de água para os vegetais (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Além destes aspectos relacionados à fertilidade do solo e disponibilidade de nutrientes, o conhecimento quanto às características do genótipo, isto é da cultura, é parte importante do manejo nutricional. Pois, cada planta possui características intrínsecas a sua genética, conferindo diferentes exigências para os diferentes nutrientes (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Com relação à cana-de-açúcar, por ser uma *Poacea* (SCARPARI; BECLAIR, 2010), possui uma característica genética que lhe proporciona baixa densidade de cargas de raízes ou, baixa capacidade de troca catiônica de raiz (CTCR) (FERNANDES; SOUZA, 2006). O que condiciona a cultura a ter maior preferência na absorção de íons monovalentes.

Orlando Filho et al. (1993), estudando a taxa de extração e exportação de nutrientes pela cana-de-açúcar, obteve resultados que indicam a seguinte ordem de exigência para macronutrientes:  $K > N > Ca > Mg > S > P$ . E, para micronutrientes:  $Fe > Mn > Zn > Cu > B$ . Analisando trabalhos publicados entre 1996 e 2007, em que os autores avaliaram a taxa de extração de nutrientes da cana-de-açúcar, Rossetto et al. (2010) constataram a seguinte ordem decrescente de extração para macronutrientes:  $K > N > Mg > Ca > S > P$ . Apesar dos resultados diferirem para extração de Mg e Ca, ambos trabalhos concordam que a maior exigência é de K e N; nutrientes absorvidos na forma de cátions e ânions monovalentes (MALAVOLTA, 1997), confirmando a preferência da cana na absorção de monovalentes, condicionada pela característica genética da cultura.

Mesmo que as taxas de extração de macro e micronutrientes sejam diferentes para cada nutriente, é necessário considerar que, para se alcançar altas produtividades da cultura da cana-de-açúcar, as quantidades mínimas exigidas para cada nutriente devem ser supridas, como já indicava Liebig, desde o século XVIII, com a chamada “Lei do Mínimo”, que infere que, havendo um nutriente em quantidade abaixo da necessidade mínima da cultura, este nutriente limitará a produtividade da cultura considerada.

Ademais, é preciso atentar para o equilíbrio de bases na CTC(T) do solo. Segundo Albrecht (1996), um solo equilibrado é aquele que contém em sua CTC(T) saturações de 50 a 65% de  $\text{Ca}^{2+}$ ; 10 a 15% de  $\text{Mg}^{2+}$ ; 3 a 5% de  $\text{K}^+$ ; 15 a 25% de  $\text{H}^+$ ; e 5% de outros íons.

Dessa forma, tendo-se em vistas estas questões, a respeito da fertilidade e nutrição da cultura, pode-se a partir das pesquisas realizadas até então, estimar a adição de nutrientes no solo pela palhada, assim como o seu potencial em suprir das necessidades nutricionais da cana-de-açúcar. A tabela 1 demonstra esta relação por meio da Taxa de Extração e Total Ano<sup>-1</sup> ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) mineralizado pela palhada.

Portanto, fica claro que a adição de macronutrientes pela palhada no período de uma safra é insuficiente para suprir as exigências da cultura. Com isso, demonstrando a necessidade de fontes externas a fim se evitar possíveis deficiências durante a safra.

Por outro lado é observado, especificamente para os teores de cátions básicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ), a superioridade nos valores de mineralização e adição ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do K em relação a Ca e Mg. Assim, expondo que a deposição da palhada no sistema cana crua, pode favorecer o desequilíbrio de bases na CTC(T) em função do mais rápido, e, maior aporte de K. Nisso reduzindo as saturações por Ca e Mg, e logo, gerando uma menor absorção destes nutrientes. Situação essa, que pode se agravar ainda mais, caso seja realizada a aplicação de vinhaça no solo (SORDI; MANECHINI, 2013).

Os maiores valores de K são decorrentes em virtude deste elemento ser o mais absorvido pela cultura em comparação a Ca e Mg, nesta ordem (VITTI et al., 2015). Além disso, o fato do K não estar associado a nenhum composto orgânico, acarreta a sua rápida liberação para o solo após o rompimento da membrana plasmática (MALAVOLTA, 2006). Já o Ca e Mg, por ser constituintes de compostos orgânicos de menor solubilidade, como parede celular e a clorofila, respectivamente, tem sua mineralização retardada (MEDA et al., 2003), e por isso uma menor adição num curto espaço de tempo.

De outra forma, com a presença da palhada na superfície do solo, há necessidade de alterações no manejo da adubação. Em razão da palhada apresentar baixa taxa decomposição, a adubação passa a ser realizada sobre o resíduo vegetal, o que pode vir a gerar perdas ou

**Tabela 1.** Relações entre as taxas de extração, ciclagem de nutrientes e equivalentes adicionados ao solo pela palhada da cana-de-açúcar no período de uma safra; proximamente de 10 a 11 meses.

		Nutrientes					
Unidade		N	P	S	Ca	Mg	K
----- Taxa de Extração -----							
<sup>1/</sup> Taxa de Extração	Kg 100 ton <sup>-1</sup>	<b>143</b>	<b>19</b>	<b>44</b>	<b>87</b>	<b>49</b>	<b>174</b>
----- Ciclagem de Nutrientes -----							
<sup>2/</sup> Palhada	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	54,70	4,40	15,00	54,90	25,50	76,00
<sup>3/</sup> Taxa de Mineralização	% Ano <sup>-1</sup>	18	67	11 a 68	44 a 57	39 a 68	85 a 93
<sup>3/</sup> Total Ano <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	<b>9,9</b>	<b>3,0</b>	<b>1,65 a 10,2</b>	<b>24,16 a 31,35</b>	<b>9,95 a 17,34</b>	<b>64,60 a 70,68</b>
----- <sup>4/</sup> Equivalentes adicionados ao solo -----							
	<sup>5/</sup> mg dm <sup>-3</sup>	4,95	1,50	0,83 a 5,1	12,08 a 15,65	4,98 a 8,67	32,30 a 35,34
	<sup>5/</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,008	0,004	0,002 a 0,01	0,06 a 0,08	0,04 a 0,07	0,08 a 0,09

Dados compilados a partir: <sup>1/</sup>Orlando Filho et al., 1993; <sup>2/</sup>Ramos e Rossetto (2014); <sup>3/</sup>Oliveira et al. 1999a, 1999b. <sup>4/</sup>Equivalentes para camada: 0 a 20 cm. <sup>5/</sup>Considerada as formas: N(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), cmol<sub>c</sub> = 620 mg dm<sup>-3</sup>; P(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), cmol<sub>c</sub> = 485 mg dm<sup>-3</sup>; S(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), cmol<sub>c</sub> = 480 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>, cmol<sub>c</sub> = 200,50 mg dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>, cmol<sub>c</sub> = 121,50 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>, cmol<sub>c</sub> = 391 mg dm<sup>-3</sup>.

reduzir a eficiência das adubações; em especial a nitrogenada, devido a sua volatilização. Neste caso, torna-se necessário atentar a escolha das fontes nitrogenadas a ser aplicadas nos canaviais (OTTO, 2008), devendo-se evitar aquelas com maiores suscetibilidades a volatilização.

Para a cana-planta, as recomendações são de altas doses de K e P, e pequenas de N. As menores doses de N na cana-planta são justificadas pelas reservas do tolete, contribuição da FBN e da mineralização do N da matéria orgânica. Por conseguinte, na soqueira, recomendam-se altas doses de N e K, e baixas doses de P. O aumento da dose de N é em virtude da menor atividade da FBN e da mineralização do N da matéria orgânica (VITTI et al., 2015).

Quanto à adubação com micronutrientes, Vale et al. (2008) observaram maiores respostas na aplicação de Zn, e Cu, e em alguns casos, respostas para Mn e Mo. Vitti et al. (2015) citam incrementos de produtividades, variando entre 4,2 a 20,6 Mg ha<sup>-1</sup>, com uso de Zn, Cu e Mo; as oscilações de produtividade estão associadas às diferentes respostas da cultura à adubação foliar, que dependem das características de cada variedade avaliada.

Embora estas informações sejam importantes para a nutrição da cana-de-açúcar, de nada valem se as coletas de solos e folhas não forem bem executadas. A amostragem de terra e folhas é uma etapa crítica do processo de construção ou manutenção da fertilidade do solo.

Raij et al. (2001) indica que: *“uma análise laboratorial suspeita, pode ser repetida. Porém, não há possibilidade de corrigir erros de uma amostra mal coletada”*.

Na cana-de-açúcar, recomenda-se para análise de solo, coleta de 15 amostras para a formação de uma amostra composta, em caminhamento zig-zag, nas entrelinhas da cultura (EMBRAPA, 2009). Segundo Vitti et al. (2015) as coletas de solo devem ser realizadas a 0,25 m aproximadamente da linha de plantio. Isso porque, amostras retiradas na linha de plantio tendem a superestimar os valores de P e K; enquanto aquelas retiradas no meio da entrelinha, podem superestimar teores de Ca, Mg, SB, CTC(T) e V, e subestimar teores de P e K (VITTI et al., 2015).

Na fase de implantação do canavial, sugere-se realizar amostragem de solo 3 a 4 meses antes do plantio (EMBRAPA, 2009). Tal antecedência é importante para se planejar possíveis ações na compra de insumos e de práticas corretivas e adubação. De outra forma, em cana-soca, recomenda-se que as amostragens de terra sejam realizadas logo após a colheita (VITTI et al., 2004). Essa rápida amostragem de solo tem por objetivo não só a prevenção de deficiências nutricionais, mas também está ligada à lógica de que, quanto maior o tempo transcorrido após a colheita, as operações de cultivo se tornam mais difíceis, devido ao crescimento e desenvolvimento da cultura (COLLETI, 2010).

Para diagnose do estado nutricional, que consiste em avaliar a capacidade extratora de nutrientes do solo pela própria cultura, utilizam-se as folhas por serem os órgãos vegetais que melhor refletem o estado nutricional da planta. Considerando as variações de nutrientes no solo (MALAVOLTA, 2006), recomenda-se a coleta da folha +1 (primeira folha que estiver com lígula totalmente aberta, “abraçando” o caule). Na cana-planta, indica-se fazer a coleta aos 6 meses após a brotação, e para cana-soca, 4 meses após o corte. Estes períodos correspondem às fases de maior desenvolvimento da planta (MALAVOLTA et al., 1997).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 PERÍODO DE PESQUISA**

O presente estudo foi conduzido de março/2015 a novembro/2016, correspondente às safras 2015 e 2016. Este período compreende os 5º e 6º ciclos, respectivamente, 4ª e 5ª soqueiras da cana-de-açúcar (Tabela 2).

**Tabela 2.** Meses de Plantio e Colheitas da área experimental, em Bandeirantes-PR. Em destaque, as safras avaliadas na presente pesquisa.

ATIVIDADE	Plantio / Colheita	Meses Após Colheita
Plantio	Agosto / 2010	
1º Ciclo → Colheita (Cana-planta)	Setembro / 2011	12
2º Ciclo → Colheita (1ª Soqueira)	Dezembro / 2012	15
3º Ciclo → Colheita (2ª Soqueira)	Outubro / 2013	10
4º Ciclo → Colheita (3ª Soqueira)	Outubro / 2014	12
<< 5º Ciclo → Colheita (4ª Soqueira) >>	<b>Outubro / 2015</b>	<b>12</b>
<< 6º Ciclo → Colheita (5ª Soqueira) >>	<b>Outubro / 2016</b>	<b>12</b>

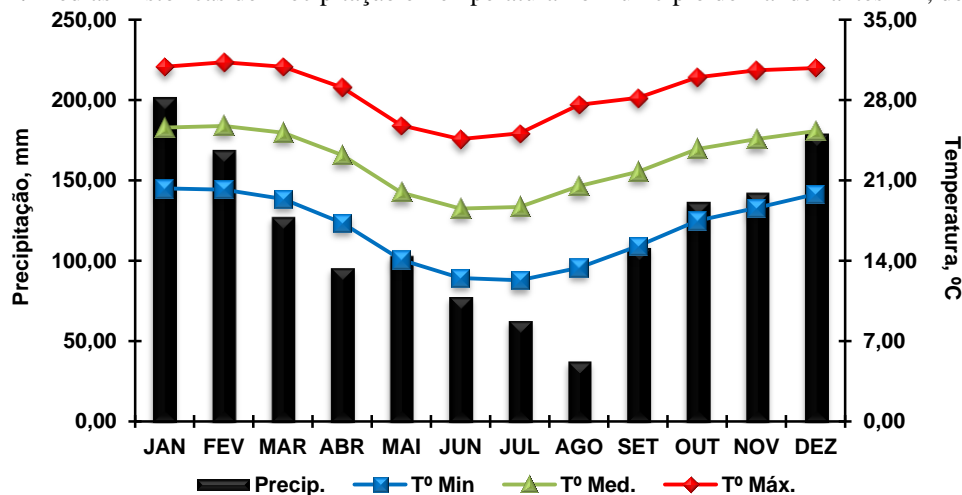
Fonte: Moraes, 2017.

### 3.2 LOCALIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

O estudo foi desenvolvido em uma área que pertence à Usina Bandeirantes – Açúcar e Alcool Bandeirantes S/A que fica no município de Bandeirantes-PR. A área experimental fica localizada a 23°5'14.04"S de latitude e a 50°20'45.05"O de longitude, e 440 metros de altitude.

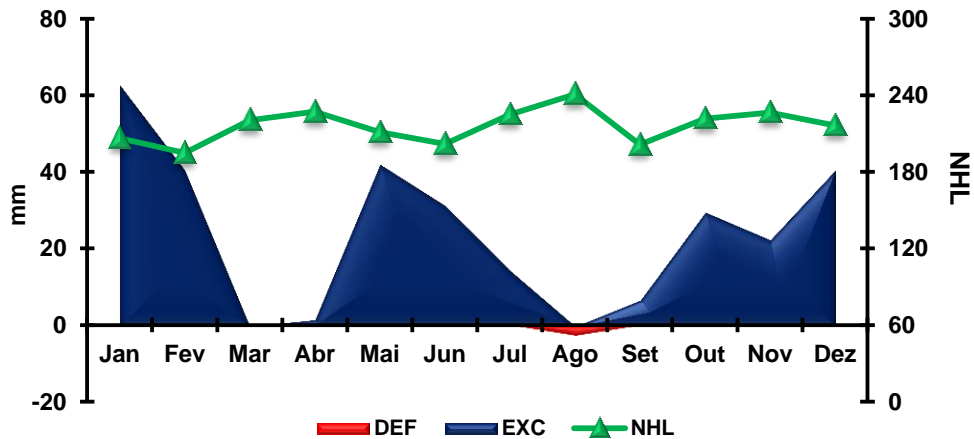
O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa – subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média no mês mais quente superior a 22 °C. Seus verões são quentes e a ocorrências de geadas são pouco frequente e as chuvas tendem se concentrar nos meses de verão e não há estação seca definida (IAPAR, 2014) (Figura 1). A figura 2 apresenta o balanço hídrico climatológico de Bandeirantes-PR para o período de 1976 a 2015; equivalente a 39 anos. Observa-se que, salvo os meses de julho e agosto, há excedente hídrico no solo na maior parte do ano.

**Figura 1.** Médias Históricas de Precipitação e Temperatura no município de Bandeirantes-PR, de 1976 a 2015.



Fonte: Moraes, 2017.

**Figura 2.** Balanço Hídrico e Numero de Horas Luz (NHL = Média Histórica) no Município de Bandeirantes-PR de 1976 a 2015.

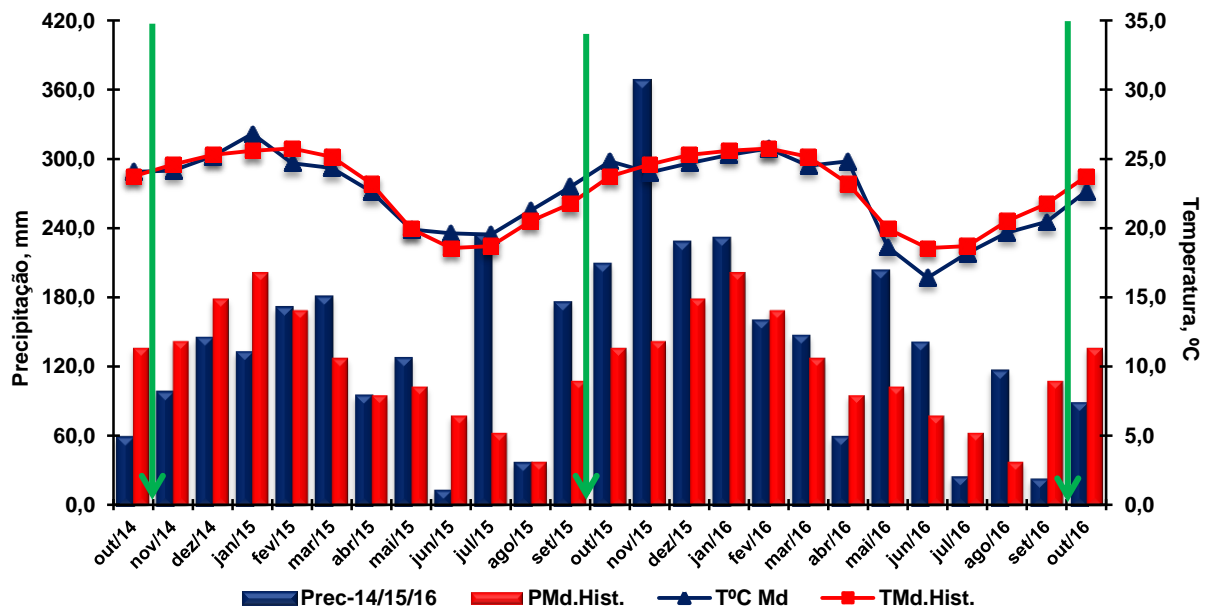


Fonte: Moraes, 2017.

### 3.2.1 CONDIÇÕES DE TEMPO DURANTE PERÍODO DE PESQUISA

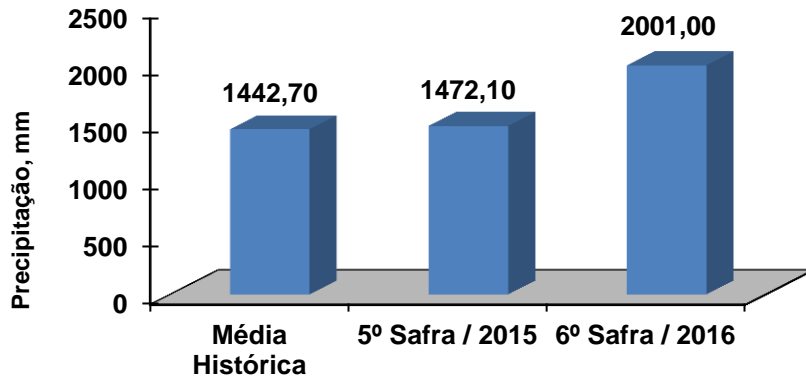
Durante o período da presente pesquisa, foram observadas precipitações acima e abaixo da média histórica nas duas safras (Figura 3), com acúmulo hídrico maior que a média histórica (Figura 4). Na safra 2015, foi verificada a presença de déficit hídrico na fase inicial de desenvolvimento da cultura, logo após a colheita do 4º ciclo (Figura 5). Na safra 2016 não houve déficit hídrico (Figura 6). De outra forma, nota-se também, que ambas as safras as temperatura mínimas e máximas, oscilaram entre 10 °C a 35 °C, respectivamente. Portanto, não condicionando um fator de estresse térmico à cultura (MARIN et al., 2009).

**Figura 3.** Precipitações na Safra 2015 e 2016, versus a média histórica para os referidos meses. As setas em verde da esquerda para direita indicam os meses de colheita da 4ª, 5ª e 6ª safra, respectivamente.



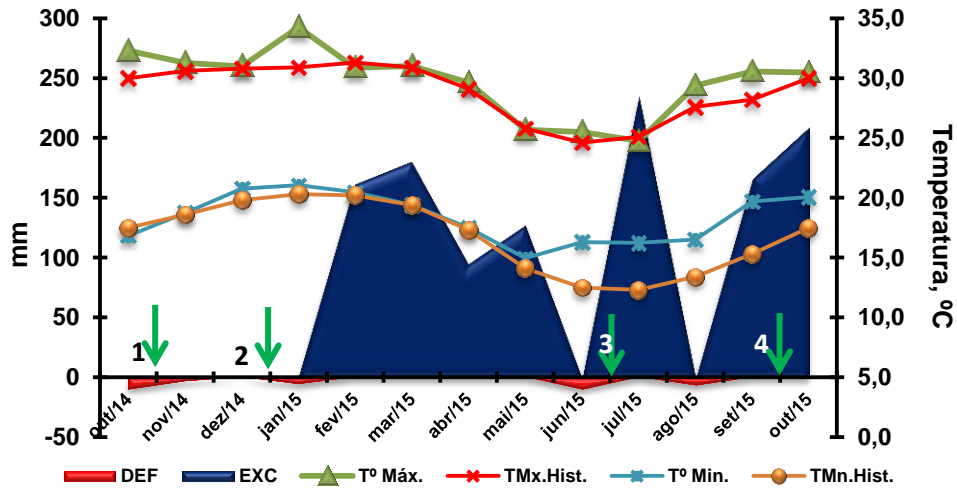
Fonte: Moraes, 2017.

**Figura 4.** Precipitação acumulada nas Safras 2015 e 2016 em comparação a Precipitação Acumulada Histórica, em Bandeirantes-PR.



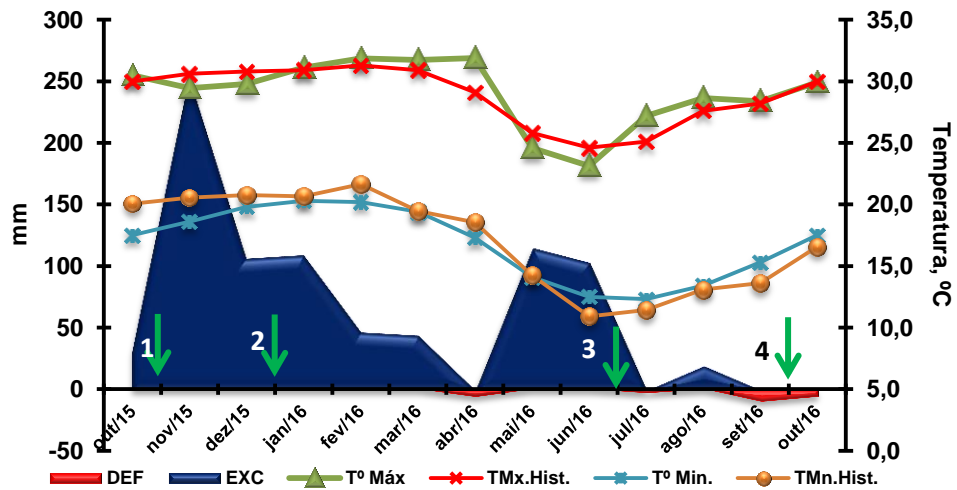
Fonte: Moraes, 2017.

**Figura 5.** Balanço Hídrico na Safra 2015. Bandeirantes-PR.



(1) Indica 30 Dias Após a Colheita (DAC); (2) 60 DAC; (3) 180 DAC; (4) 60 DAC.  
 Fonte: Moraes, 2017.

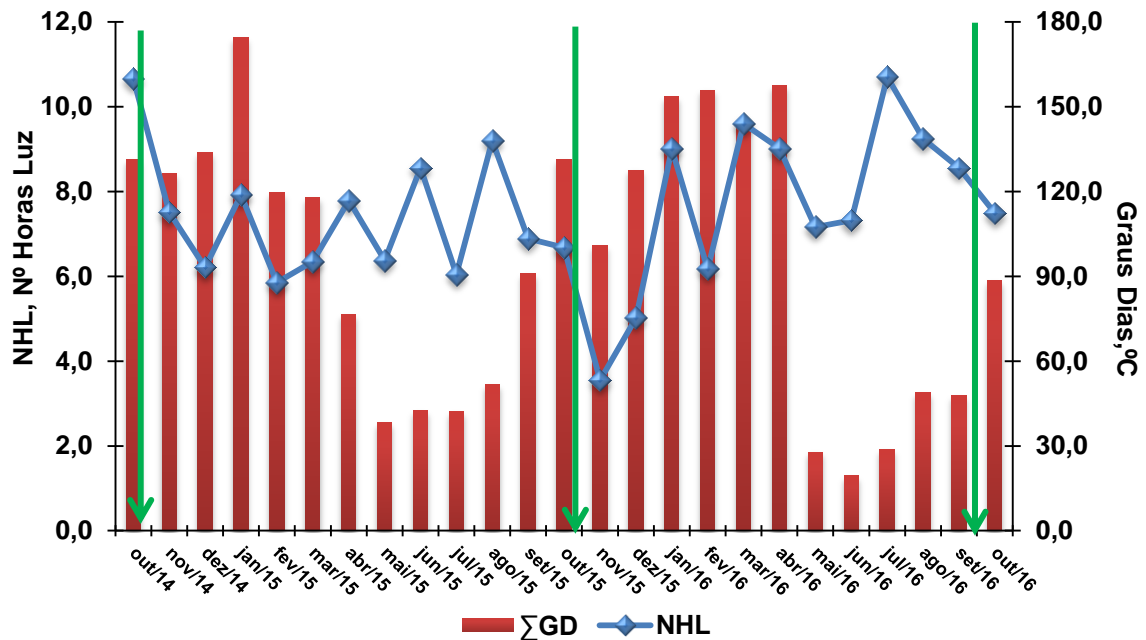
**Figura 6.** Balanço Hídrico na Safra 2016. Bandeirantes-PR.



(1) Indica 30 Dias Após a Colheita (DAC); (2) 60 DAC; (3) 180 DAC; (4) 60 DAC.  
 Fonte: Moraes, 2017.

Quanto ao número de hora de luz (NHL), esta não excedeu 12 horas (Figura 7), não favorecendo o florescimento da cultura (ARALDI et al., 2010).

**Figura 7.** Número de Horas de Luz e soma dos Graus-Dias mensais, registrados nas Safras 2015 e 2016.



As setas em verde, da esquerda para direita, indicam os meses de colheita da 4ª, 5ª e 6ª safras, respectivamente.

**Fonte:** Moraes, 2017.

### 3.3 CONDIÇÕES EDÁFICAS

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), textura muito argilosa (Tabela 3) (EMBRAPA, 2013). Este tipo de Latossolo caracteriza-se por ser solo muito intemperizado, de coloração vermelho-escura, profundo e de boa drenagem, com grande homogeneidade de características ao longo do perfil, e a estrutura é quase sempre do tipo forte pequena granular (IBGE, 2007). Além disso, esta classe de LVef é considerada de solos com elevada fertilidade química e potencial agrícola, devido alta saturação por bases, fósforo disponível e micronutrientes metálicos, como  $\text{Cu}^{+2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+/4+}$  (KER, 1997; PRADO, 2013).

**Tabela 3.** Análise granulométrica de solo – Latossolo Vermelho eutroférico, da área experimental (Abril/2015).

Argila	Silte	Areia
$\text{g Kg}^{-1}$		
668,80	160,90	170,30

**Fonte:** Moraes, 2017.



ao fósforo, nota-se teores acima de “Médios”, ou, seja valores cima de  $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ , mostrando não haver restrições para este nutriente.

### **3.4 VARIEDADE UTILIZADA**

A variedade de cana utilizada foi a SP80–1816. Lançada em 1996, pelo então Centro de Tecnologia da Copersucar, atualmente Centro de Tecnologia Canavieira – CTC, é uma variedade, que apenas ocupa 1,50% da área de cultivo, ocupando a 13ª posição dentre as 20 variedades mais plantadas na região Centro–Sul FERNANDEZ JÚNIOR, 2015).

Entretanto, apesar da pequena área de cultivo, é uma variedade quando plantada em solo de alta fertilidade e em região sem restrições hídricas se destaca pela produtividade e produção de sacarose (LANDELL, 2010). Segundo Arizono (2003), a SP80–1816 apresenta maturação média-precoce; portanto, recomendando-se que a colheita seja feita de junho a setembro. Além dessas características, apresenta ótima brotação de soqueira sob cana queimada ou crua, bom perfilhamento e raro florescimento.

### **3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL**

O delineamento empregado foi o de Blocos Casualizados (DBC), com três repetições e seis tratamentos (Tabela 5, Figura 8). As parcelas experimentais foram dimensionadas com 15 metros de largura e 10 metros de comprimento, totalizando  $150 \text{ m}^2$ , contendo 10 sulcos de plantio, espaçados a 1,50 m. (Figura 9). Entre cada bloco, o espaçamento foi de 4,0 m e, entre parcelas, 2,0 m.

### **3.6 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO**

A instalação do experimento ocorreu em de 20 de agosto de 2010, caracterizando, assim, plantio de cana de inverno (FURLANI; VOLTARELLI, 2015). Nessa época de plantio, que se estende de maio a agosto, a cultura tende a sofrer restrições em função da baixa disponibilidade hídrica.

No mês anterior ao plantio, foi realizada a gradagem da área, a fim de se romper camadas compactadas, objetivando facilitar a operação de sulcação e plantio, e desenvolvimento da cultura (Figura 10).

**Tabela 5.** Esquema de distribuição de parcelas a campo em delineamento de Blocos Casualizados com 3 repetições.

Quantidade de palhada na superfície do solo	BLOCOS					
	I		II		III	
---- Mg Palhada ha <sup>-1</sup> ----	PARC.	Qt.PS	PARC.	Qt.PS	PARC.	Qt.PS
0,00	1	15,00	1	5,00	1	5,00
5,00	2	25,00	2	0,00	2	15,00
10,00	3	20,00	3	20,00	3	25,00
15,00	4	10,00	4	25,00	4	10,00
20,00	5	0,00	5	10,00	5	20,00

Fonte: Moraes, 2017.

Os sulcos de plantio foram abertos com espaçamento de 1,5 m e 0,30 m profundidade. Posteriormente, procedeu-se o plantio manual de toletes. Após o plantio, aplicou-se 70,0 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro. A torta de filtro além de fornecer nutrientes, garante a manutenção da umidade do solo, possibilitando maior germinação da cultura em plantios de cana-de-inverno. (VITTI et al., 2015). Depois, no decorrer dos ciclos seguintes (Tabela 2), não foi mais empregada nenhuma outra fonte de nutrientes à cultura, na área experimental.

### 3.7 DEPOSIÇÃO DE PALHADA NA SUPERFÍCIE DO SOLO

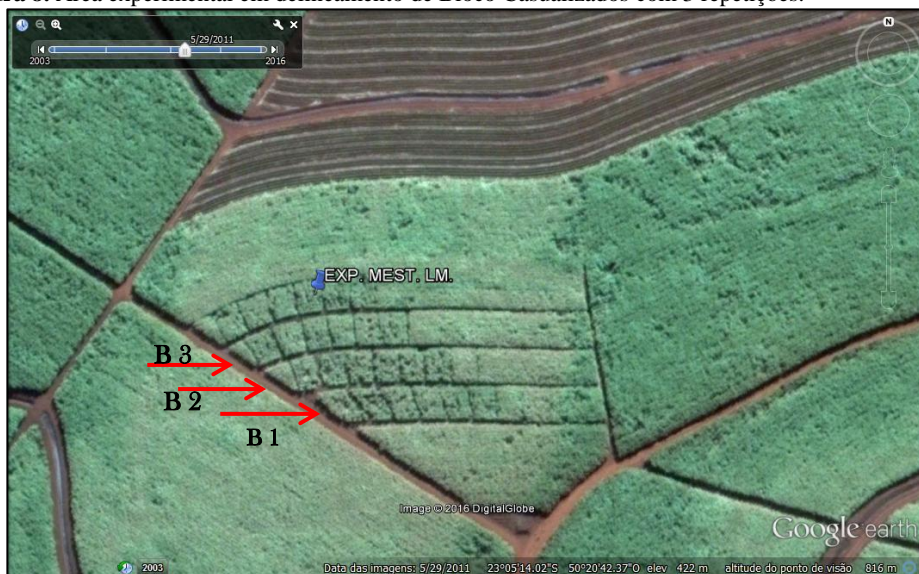
A palhada utilizada nos tratamentos foi retirada da safra anterior, de cada parcela. Quantificou-se a quantidade de palhada da colheita anterior, através da pesagem da palhada remanescente (Figura 11). Após, a palhada foi redistribuída manualmente nas parcelas, de acordo com os tratamentos.

### 3.8 AMOSTRAGENS

#### 3.8.1 Amostragem de Solo para Avaliação da Fertilidade Química do Solo

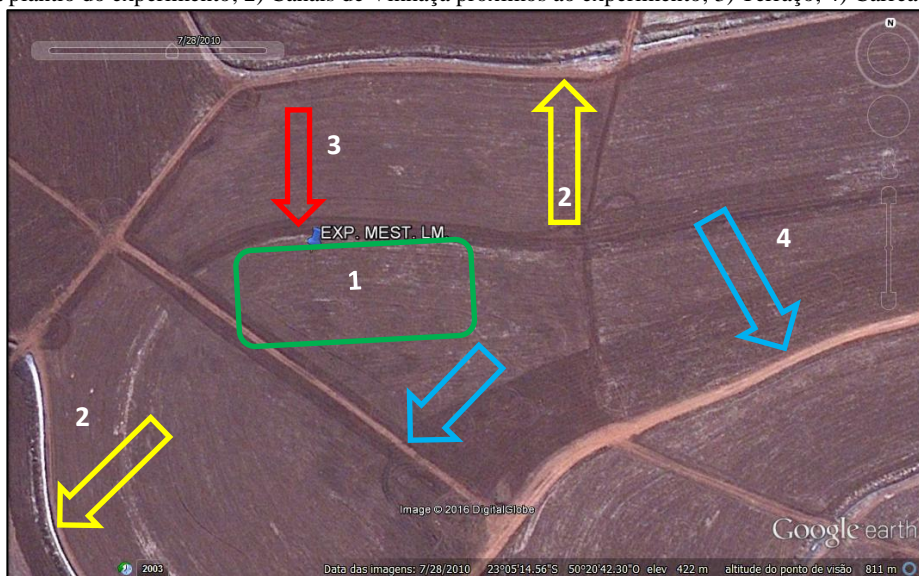
As amostragens para avaliação da fertilidade química do solo procederam-se segundo recomendações de EMBRAPA (2009). Pelo fato das amostragens terem sido realizadas em cana-soca, de 5º e 6º ciclo (Tabela 1), as coletas foram executadas a 0,25 m aproximadamente da linha de plantio. Isso porque as amostras retiradas nas linhas de plantio tendem a superestimar os valores de P e K, enquanto aquelas retiradas no meio das entrelinhas, podem superestimar teores de Ca, Mg, SB, CTC(t), CTC(T) e V, e subestimar teores de P e K (VITTI et al., 2015).

**Figura 8.** Área experimental em delineamento de Bloco Casualizados com 3 repetições.



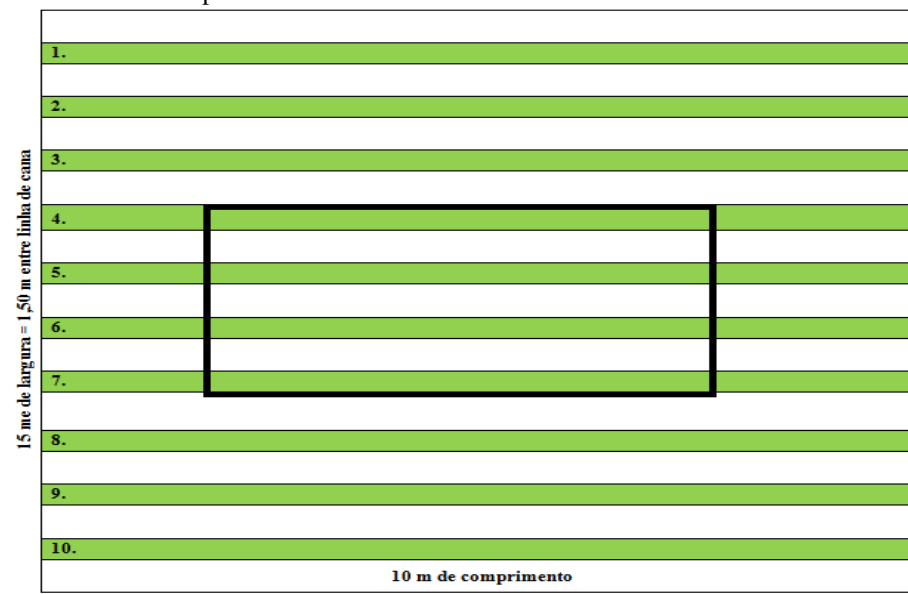
Fonte: Google Earth. Imagem de 29 de Abril de 2011.

**Figura 10.** Área concedida pela Usina Bandeirante, para implantação do experimento. Nos detalhes: 1) Área plantio do experimento; 2) Canais de Vinhaça próximos ao experimento; 3) Terraço; 4) Carreadores

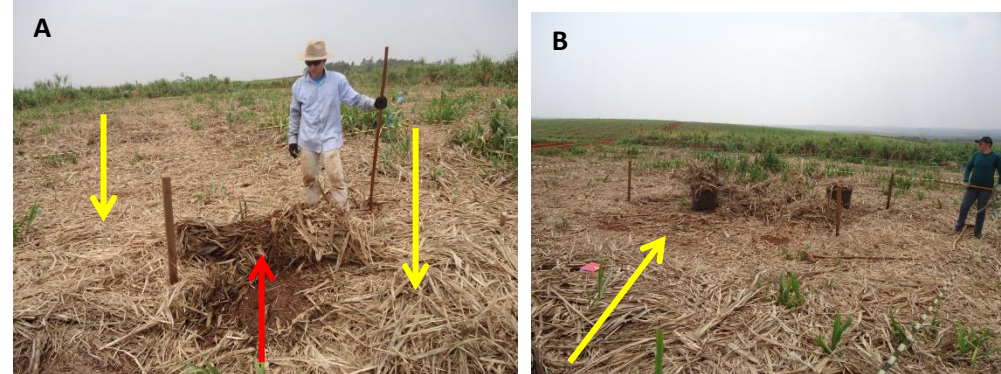


Fonte: Google Earth. Imagem de 28 de Julho de 2010.

**Figura 9.** Área útil de coleta de amostras de solo e foliares; correspondente ao retângulo central. Os números representam as linhas de cana.



**Figura 11.** Quantificação da palhada remanescente A) separação da palhada remanescente e em decomposição; B) Pesagem da palhada remanescente.



Setas amarelas indicam a palhada remanescente da colheita anterior, a seta vermelha a palhada em início de decomposição.

Fonte: Autor (08/10/2015).

Da mesma forma, também se atentou para que as amostragens fossem realizadas na parte central de cada parcela (Figura 9), procurando minimizar possíveis influências de carreadores e, ou, de outro tratamento.

As coletas foram realizadas em caminhamentos aleatórios, amostrando-se quatro camadas: 0–10 cm; 10–20 cm; 20–40 cm; e 40–60 cm. Foram utilizados dois trados do tipo holandês, um de caçamba de 0,10 m e outro de 0,20 m. Em cada parcela foram coletadas nove amostras por camada, totalizando-se 216 amostras. As amostras foram secas ao ar livre, destorroadas e peneiradas em malha de 2,0 mm (terra fina seca ao ar - TFSA).

### 3.8.2 Amostragem para Diagnose Foliar

As amostragens foliares para avaliação nutricional da cultura na safra 2015 e safra 2016, aconteceram nos dias 11 e 12 de junho de 2015, e 8 e 9 de junho de 2016, respectivamente, períodos próximos à fase de maior crescimento da cultura, seguindo recomendações de Vitti et al., (2006). Foi amostrada à Folha +1 (correspondente à primeira folha com a lígula totalmente aberta, “abraçando” o caule), coletando-se na parte central de cada parcela (Figura 9), 15 folhas, totalizando 45 folhas por tratamento.

Após a coleta, utilizaram-se apenas os 20 cm da porção média de cada folha, descartando-se a nervura central e armazenando o tecido foliar em sacos plásticos. Posteriormente, as folhas foram secas em estufa de circulação de ar, mantidas à temperatura constante de 55 °C até obtenção de massa constante. Depois foram moídas em moinho tipo Willey e acondicionadas em potes e armazenadas até o momento da realização das análises laboratoriais.

### 3.9 Estimativa de Produtividade

A estimativa de produtividade (toneladas de colmo por hectare) para safra 2015 foi feita mediante a colheita manual da cana de oito linhas centrais de cada parcela (Figura 9). Dessa forma, por meio da fórmula sugerida por Bidoia e Bidoia (2010, pag. 832) obteve-se os referidos valores de estimativa de produtividade.

$$\text{Ton. de Colmos por Hectare} = \frac{(\text{kg de colmos da parcela} * 10)}{NS * CS * ES}$$

Onde:

- NS = Número de Sulco (= 10);
- CS = Comprimento de Sulco em metros (= 10 m);

- ES = Espaçamento das entrelinhas, em metros (= **1,50 m**).

**OBS: Valores considerados para a presente pesquisa.**

Quanto à safra 2016, a estimativa de produtividade foi realizada por meio de amostragem. Colheu-se, manualmente, com desponte e despalha, três metros de cana das duas linhas centrais da área útil de cada parcela (Figura 9). Os colmos foram amarrados em feixes para pesagem (kg de colmos). Posteriormente, estimou-se este valor para área de cada parcela (150 m<sup>2</sup>), extrapolando-se estes resultados para TCH, por meio da fórmula de Landell (2010).

### **3.10 Estimativa da Produção de ATR – Açúcar Total Recuperável**

Para estimativa de ATR (Açúcares Totais Recuperáveis), em ambas as safras, foram utilizados os mesmos colmos usados na pesagem para estimativa de produtividade. No laboratório de análises tecnológicas da unidade sucroenergética foram feitas avaliações para ATR conforme metodologia CONSECANA (2006):

$$ATR = 10 \times PC \times 1,05263 \times 0,905 + 10 \times ARC \times 0,905$$

$$\text{ou, } ATR = 9,5263 \times PC + 9,05 \times ARC$$

Onde:

- 10 x PC = Pol por tonelada de cana;
- 1,05263 = coeficiente estequiométrico para a conversão da sacarose em açúcares redutores;
- 0,905 = coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 9, % ;
- 10 x ARC = açúcares redutores, por tonelada de cana

## **3.11 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS**

### **3.11.1 Análises Químicas**

#### **3.11.1.1 Análises químicas de solo**

As análises para avaliação da fertilidade química do solo para as safras 2015 e 2016, seguiram procedimentos recomendados por Pavan et al. (1992) e Embrapa (2009). Foram

realizadas as seguintes análises: Acidez Ativa ( $H^+$ ), determinada através de pH  $CaCl_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  por leitura utilizando-se peagâmetro; Acidez Potencial ( $H + Al$ ), por meio de solução SMP; Acidez Trocável ( $Al^{3+}$ ), extraída com  $KCl$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e determinada por titulação com  $NaOH$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e solução indicadora de Azul de Bromotimol; Teores trocáveis de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , também extraídos com  $KCl$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ , sendo determinados por titulação com  $EDTA$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , utilizando como indicador o Negro de Ericromo T (NET) para  $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]$  e especificamente para  $[Ca^{2+}]$ , o calcon. Para Fósforo disponível e teores trocáveis de  $K^+$ , usou-se a solução extratora Mehlich-1, determinando fósforo por leitura em espectrômetro a  $630 \text{ nm}$ , e  $K^+$  por fotômetro de chama.

Para determinação dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  na safra 2016, utilizou-se espectrofotometria de absorção atômica (EAA), ao invés de titulometria, como na safra 2015. Para tal procedimento, pipetou-se  $0,1 \text{ mL}$  da solução sobrenadante de  $Ca^{2+}$  ou  $Mg^{2+}$ , com posterior adição de  $4,9 \text{ mL}$  da solução de lantânio (La)  $0,1 \%$ . Após leitura das concentrações de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  nas respectivas soluções, determinou-se os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , transformando a leitura da EAA ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , multiplicada ao final pelo valor da diluição total.

Com os dados de ambas as safras, obtidos para Acidez Potencial ( $H+Al$ ), Acidez Trocável ( $Al^{3+}$ ) e teores de cátions básicos ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ), estimou-se a SB, CTC(t), CTC(T) e a Saturação por Bases (V), assim como os percentuais de cátions básicos na CTC(T): saturação por cálcio (Ca%), por magnésio (Mg%) e potássio (K%).

Para determinação do carbono orgânico total (COT), utilizou-se a metodologia de Walkley-Black. Pesou-se  $0,50$  gramas de TFSA e, em seguida, submeteu-se as amostras à oxidação com  $10 \text{ mL}$   $Cr_2O_7^{2-}$   $1M$ , seguida de adição de  $10 \text{ mL}$  de ácido sulfúrico. Após  $30$  minutos, acrescentou-se  $4 \text{ mL}$  de ácido fosfórico mais  $50 \text{ mL}$  de água destilada. Por fim, adicionou-se  $0,50 \text{ mL}$  de indicador a solução, e posteriormente, seguiu-se a titulação com  $FeSO_4$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ .

### 3.11.1.2 Análises químicas dos tecidos foliares

Inicialmente as amostras foliares foram submetidas à digestão via úmida, sulfúrica pra N e nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn. Posteriormente, os teores de N foram determinados pelo método da microdestilação Kjeldahl, com titulação através da solução de  $H_2SO_4$  ( $0,05N$ ). Quanto aos outros nutrientes, os teores de fósforos foram determinados por meio de espectrofotometria; K, através de fotômetro de chama; e Ca, Mg, Cu, Mn e Zn por

espectrofotometria de absorção atômica. Todas as análises seguiram recomendações segundo Malavolta et al. (1997).

### 3.12 METODOLOGIA ESTATÍSTICA

De posse dos dados relativos às safras 2015 e 2016, seguiram-se os testes estatísticos de forma independente para cada safra.

Inicialmente submeteram-se os dados aos testes de Homocedasticidade, pelo Teste de Hartley, e Normalidade, pelo Teste de Shapiro Wilk, para verificação de homogeneidade e normalidade dos mesmos, respectivamente. Atendo-se estes pressupostos, seguiram-se as análises de variância segundo critérios do Teste F a 10, 5 e 1% de significância.

Para as propriedades químicas, além do delineamento de blocos casualizados com 3 repetições, considerou-se como tratamentos uma distribuição em esquema fatorial 5 x 4, sendo os fatores principais constituídos pelas 5 quantidades de palhada (0, 5, 10, 15 e 20 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>) e as 4 camadas amostradas (0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm de profundidade). Sendo assim, o nível de significância considerado para efeito de interação entre os fatores principais foi de 25% ( $p < 0,25$ ), seguindo-se recomendações de Percin e Cargnellutti Filho (2008). Estes autores justificam esse nível de significância em virtude de níveis de significância restritos a 5% e 1%, acarretarem exclusão de resultados importantes, passíveis de discussão e até mesmo de conclusão. Dessa forma, um p-valor mais amplo de até no máximo 25%, proporcionaria tais discussões.

Ainda sobre os testes estatísticos para as propriedades químicas do solo, compararam-se os valores entre camadas (variável qualitativa) por teste de Tukey a 5%. E para avaliar os efeitos das quantidades de palhadas (variável quantitativa), empregou-se a análise de regressão polinomial.

Quanto aos dados de diagnose foliar e produtividade, em virtude destes serem dependentes em função das quantidades de palhada no solo (variável quantitativa), também foram submetidas a análise de regressão.

Todos os testes estatísticos foram executados com uso do software Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2011).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

#### 4.1.1 Carbono Orgânico Total (COT)

Para os teores de COT, as duas safras avaliadas não houve interação significativa entre fatores principais (Tabela 6). Também foi verificado, que independente da safra, os teores de COT ficaram em níveis considerados “Médios”, isto é, acima de  $1,17 \text{ dag kg}^{-1}$ , de acordo com Ribeiro et al. (1999).

Os maiores teores de COT foram observados nas camadas superficiais, 0–10 cm, e 10 – 20 cm, com decréscimos significativos em profundidade, em ambas as safras (Figuras 12A e 12C). Quanto a efeito das quantidades de palhada, obteve-se apenas para safra 2015, ajuste de regressão quadrática com ponto máximo estimado para a quantidade de  $9,22 \text{ Mg palhada ha}^{-1}$  (Figura 12B)

Em Latossolos argilosos, Correia e Alleoni (2011) e Signor et al. (2014), comparando os sistemas cana crua e cana queimada também verificaram que sistema cana crua favorece a concentração de COT nas camadas superficiais do solo. Já Luca et al. (2007), em estudo localizados em solos de textura argilosa (Latossolo Vermelho eutrófico) e arenosa (Argissolo Vermelho Amarelo e Nossolo Quartzarênico), constataram que, independente da textura, o sistema cana crua favorece maiores teores de COT em relação ao sistema cana queimada.

Sendo assim, a vista dos resultados das referidas pesquisas, bem como do presente estudo, percebe-se a contribuição do sistema cana crua para o incremento de COT nas camadas superficiais do solo. Dessa forma, a deposição dos resíduos vegetais passa a ser fundamental à canavicultura, haja vista sua influência positiva nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo; sobretudo em solos altamente intemperizados como, os do Brasil (RAIJ, 1984; DICK et al., 2009).

Os maiores teores de COT observados nas camadas superficiais, 0–10 e 10–20 cm (Figuras 12A e 12C), pode ser atribuído à maior atividade biológica, devido ao aporte de nutrientes pelos resíduos vegetais, somado as melhores condições de aeração, temperatura e luminosidade (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Além disso, é necessário considerar que, nas camadas superficiais, pode haver maior concentração de raízes (ALVARES et al., 2001; AQUINO et al., 2015). Com isso, através da

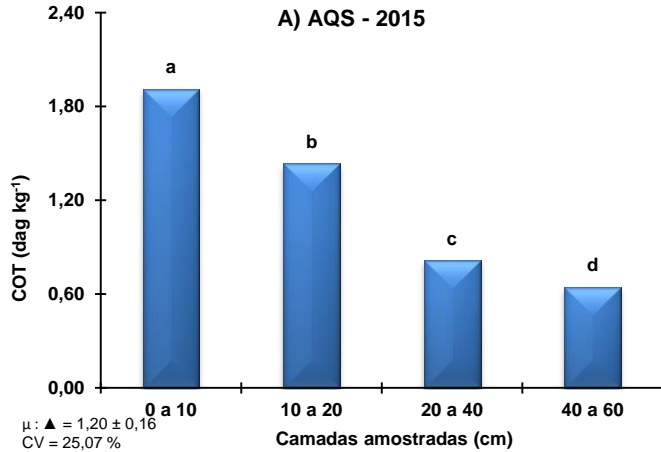
liberação de exsudatos orgânicos e pela senescência das raízes, elevam-se os teores de COT nestas camadas.

**Tabela 6.** Valores referentes à análise de variância para as propriedades químicas do solo.

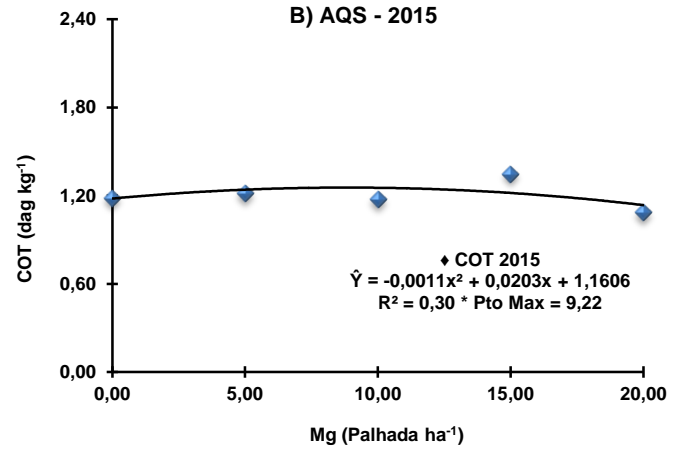
	Safra	Blocos	Qtd. Palhada	Profundidade	Interação: <sup>1</sup> /QPS x Profund.		<sup>2</sup> /CV (%) Geral	Méd. Geral	<sup>3</sup> /s(m) Geral
					Valor de p ( Pr > Fc )				
COT	2015	0,0000	0,0083 **	0,0000 **	0,4103 ns		25,07 Alt	1,20	0,0448
	2016	0,0453	0,2279 ns	0,0000 **	0,9697 ns		26,48 Alt	1,31	0,0495
H + Al	2015	0,0000	0,0037 **	0,0000 **	0,0510 °°		18,87 Md	3,97	0,0929
	2016	0,0000	0,0621 °	0,0000 **	0,0640 °°		20,51 Alt	4,12	0,0852
pH CaCl <sub>2</sub>	2015	0,0018	0,0078 **	0,0000 **	0,2501 °°		5,27 Bx	5,87	0,0362
	2016	0,0560	0,7263 ns	0,0000 **	0,7092 ns		20,51 Alt	4,12	1,6527
P-Disp.	2015	0,0198	0,0350 *	0,0000 **	0,4339 ns		61,91 Mt.Alt.	14,53	1,1457
	2016	0,0000	0,8761 ns	0,0000 **	0,0768 °°		61,17 Mt.Alt.	18,31	1,2175
K <sup>+</sup>	2015	0,0000	0,0000 **	0,0000 **	0,3453 ns		12,65 Md	3,39	0,0629
	2016	0,0000	0,9618 ns	0,2321 ns	0,3748 ns		49,46 Mt.Alt.	1,54	0,0622
Ca <sup>2+</sup>	2015	0,0000	0,0317 *	0,0000 **	0,7560 ns		12,35 Md	6,65	0,1117
	2016	0,0000	0,0051 **	0,0000 **	0,0379 °°		16,82 Md	5,48	0,1169
Mg <sup>2+</sup>	2015	0,0019	0,0002 **	0,0000 **	0,0010 °°		34,20 Mt.Alt.	1,24	0,0392
	2016	0,0000	0,8272 ns	0,0000 **	0,1033 °°		14,67 Md	1,51	0,0306
SB	2015	0,0001	0,0716 °	0,0000 **	0,8907 ns		9,12 Bx	11,28	0,1123
	2016	0,0000	0,0536 °	0,0000 **	0,1859 °°		15,53 Md	8,53	0,1584
t	2015	0,0001	0,0713 °	0,0000 **	0,8886 ns		9,10 Bx	11,30	0,1123
	2016	0,0001	0,0529 °	0,0000 **	0,1828 °°		15,54 Md	8,53	0,1587
T	2015	0,0002	0,1942 ns	0,0000 **	0,8208 ns		8,37 Bx	15,25	0,1771
	2016	0,0000	0,0859 °	0,0000 **	0,0939 °°		12,32 Md	12,65	0,2106
V	2015	0,0000	0,0022 **	0,0000 **	0,0859 °°		4,87 Bx	74,37	0,3589
	2016	0,0000	0,0478 °	0,6013 ns	0,2813 ns		7,74 Bx	67,28	0,4181
K(%)	2015	0,0000	0,0000 **	0,0000 **	0,1501 °°		12,76 Md	22,95	0,5350
	2016	0,0000	0,9088 ns	0,0000 **	0,3705 ns		44,90 Mt.Alt.	12,36	0,4808
Ca(%)	2015	0,0000	0,0000 **	0,0000 **	0,6162 ns		8,66 Bx	43,38	0,4040
	2016	0,1357	0,0048 **	0,0000 **	0,0028 °°		10,11 Md	43,04	0,3804
Mg(%)	2015	0,0032	0,0010 **	0,2698 ns	0,0014 °°		33,37 Mt.Alt.	8,04	0,2254
	2016	0,1281	0,2096 ns	0,0000 **	0,0341 °°		12,12 Md	11,89	0,1224

Fonte: Moraes, 2017. “ns”, ( \*\* ), ( \* ), ( ° ) e ( °° ): não-significativo e significativos a 1, 5, 10 e 25 % pelo Teste F, respectivamente. <sup>1</sup>/QPS = Quantidade de Palhada no Solo; <sup>2</sup>/CV = Coeficiente de Variação, classificado segundo critérios de Pimentel Gomes (2000): 0 a 10 % = Baixo (Bx); 10 a 20 % = Médio (Md); 20 a 30 % = Alto (Alt); e, > 30 % = Muito Alto (Mt.Alt.). <sup>3</sup>/s(m) = Erro Padrão da Média.

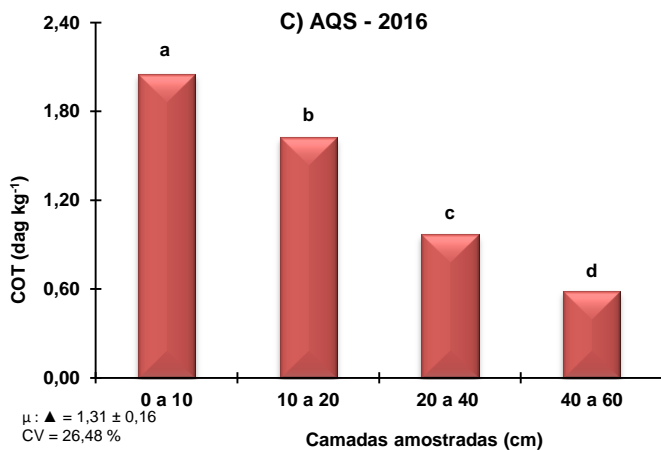
**Figura 12. Carbono Orgânico Total (COT) – Safra 2015:** (A) Média de COT nas camadas amostradas; (B) Média de COT nas quantidades de palhada avaliadas. **Safra 2016:** (C) Média de COT nas camadas amostradas; (D) Média de COT nas quantidades de palhada avaliadas.



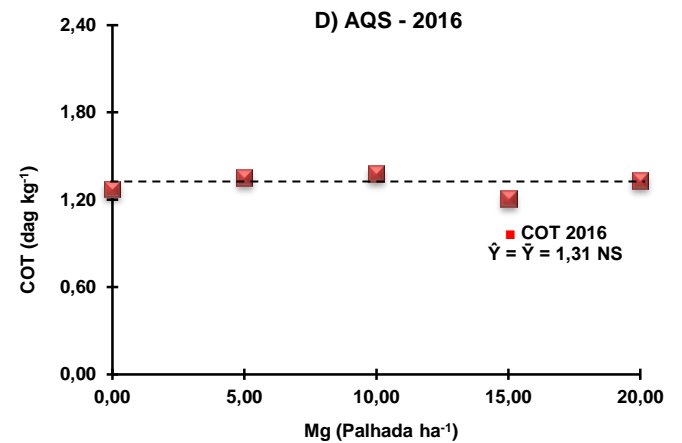
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

(°), (\*) e (\*\*); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F.  $\mu$  = média aritmética;  $\blacktriangle$  = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

Ademais, as condições de solo argiloso (Tabela 2) e o não revolvimento do solo são fatores que também concorrem para os teores médios de COT no solo (Figura 12A e 12C). A textura argilosa, por acarretar maior retenção de cátions (VIERA, 1988; ALLEONI et al., 2009), favorece a formação de complexos organo-metálicos, contribuindo para a estabilização da fração orgânica, garantindo a manutenção do COT no solo (ZINN et al., 2005). Já o não revolvimento, reduz a superfície de ataque da microbiota e da oxidação, protegendo a matéria orgânica (CASTRO FILHO et al., 2002)

Sobre a relação quadrática de ponto máximo, igual a 9,22 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> entre as quantidades de palhada e os teores de COT, constatadas na safra (2015) (Figura 12B), isto vem a expor os incrementos de COT no solo em função do aumento das quantidades de palhada. Com a permanência da palhada, o carbono antes incorporado ao resíduo vegetal retorna ao solo pelos processos de ciclagem (BRADY; WEIL, 2013). Assim, através da decomposição e mineralização os teores de COT aumentaram até o ponto de máxima (Figura 12B).

De outro modo, após o ponto de máxima, as maiores quantidade de palhada devem possivelmente, ter reduzido o potencial redox, diminuindo a decomposição da palhada. No entanto, esta diminuição não pode ser caracterizada como um ponto negativo, pois em razão do processo de decomposição da palhada ser contínuo ao longo das safras subsequentes (FORTES et al., 2012; RAMOS et al., 2016), a adição de carbono será uma consequência (POTRICK et al., 2014).

#### 4.1.2 Acidez Potencial (H+Al)

Para acidez potencial (H+Al), verificou-se que, independente da safra avaliada, seus teores foram exclusivamente dominados por íons H. Isso porque, os teores Al<sup>3+</sup> apresentaram valores extremamente baixos ou até mesmo nulos.

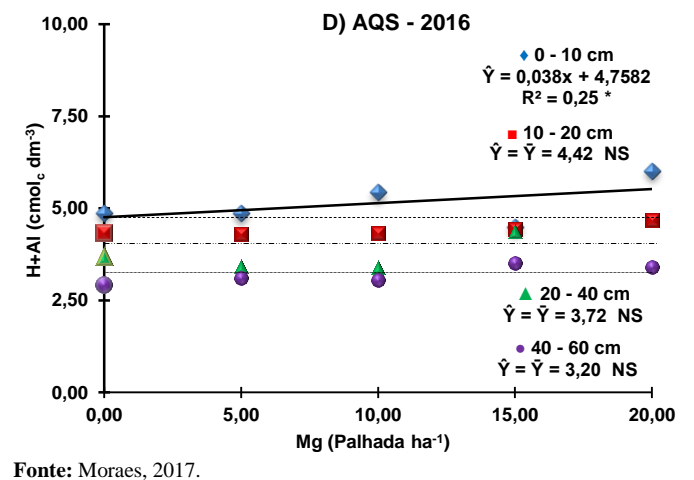
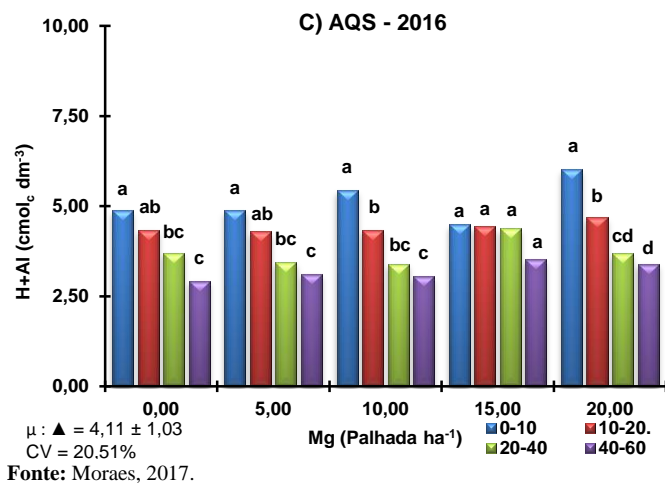
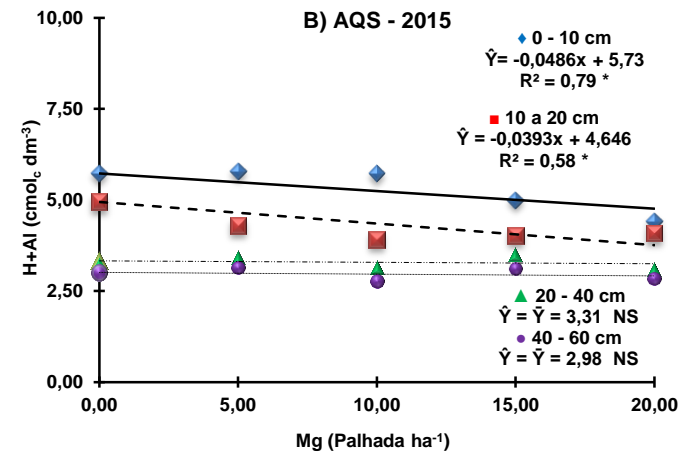
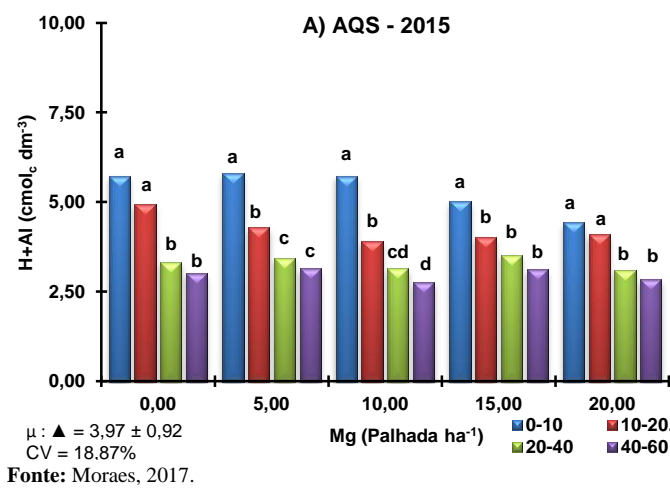
Tanto para a safra 2015, quanto para a safra 2016 (Tabela 6), houve interação significativa entre os fatores principais, com diminuição significativa da acidez potencial em função do aumento da profundidade (Figuras 13-A e 13-C). Quanto ao efeito de quantidades de palhada, na safra 2015, houve aumento linear nas camadas superficiais de 0–10 e 10–20 cm (Figura 12-B), enquanto na safra 2016, foi observada redução relação linear para a camada 0–10 cm (Figura 12-D); portanto, uma relação inversa daquela observada na safra 2015.

Em áreas com mais de cinco décadas de cultivo de cana-de-açúcar, colhidas com e sem queima em Cambissolo Háplico vértico, textura média-arenosa, Canellas et al. (2003) também constataram que, nas áreas com a manutenção da palhada, a acidez potencial foi maior nas camadas superficiais. Da mesma foram, Mendonza et al. (2000), em Argissolo Vermelho, textura arenosa, verificaram que, sob cana crua, houve acréscimos a acidez potencial sob os sistema cana crua em relação à cana queimada.

Por outro lado, Orlando Filho et al. (1998) observaram que os maiores teores de acidez potencial ocorreram nas camadas subsuperficiais, 20–40 cm, em Latossolo Vermelho eutrófico. Os autores atribuíram estes resultados às operações de subsolagem, que, dessa

maneira, colaboram para oxidação da matéria orgânica e, por consequência, a geração de íons  $H^+$ .

**Figura 13. Acidez Potencial (H+Al) – Safra 2015:** (A) Teores de H+Al em função das camadas amostradas; (B) Teores de H+Al em função das quantidades de palhada. **Safra 2016:** (C) Teores de H+Al em função das camadas amostradas; (D) Teores de H+Al em função das quantidades de palhada.



(°), (\*) e (\*\*); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F.  $\mu$  = média aritmética;  $\blacktriangle$  = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

Os maiores teores de acidez potencial nas camadas superficiais, 0–10 cm e 10–20 cm, em ambas as safras (Figuras 13-A e 13-C), são decorrentes da maior deposição de resíduos vegetais e acúmulo de matéria orgânica nestas camadas. Assim, a concentração de compostos orgânicos tende a gerar reações produtoras de íons  $H^+$ , através da decomposição e mineralização destes compostos como indicado por Dick et al. (2009).

Sendo assim, por meio da oxidação biológica e também devido à respiração das raízes, moléculas de  $\text{CO}_2$  são liberadas na solução do solo. Dessa maneira, o  $\text{CO}_2$  em reação com  $\text{H}_2\text{O}$ , produz o  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , que quando dissociado, gera  $\text{CO}_3^{2-}$  e íons  $\text{H}^+$  (BRADY; WEIL, 2013). Além disso, a mineralização da matéria orgânica libera compostos nitrogenados e de enxofre, que também, quando oxidados produzem  $\text{H}^+$  (SOUZA et al., 2007). Da mesma forma, a dissociação dos grupos funcionais orgânicos, como carboxílicos e fenólicos, são geradoras de íons  $\text{H}^+$  a solução do solo, contribuindo para acidez potencial (MEURER, 2012).

Nas camadas de 0–10 cm e 10–20 cm, da safra 2015, associa-se a esta diminuição ao aumento linear da saturação por bases (V) nestas mesmas camadas (Figura 22-B). Dessa forma, há adsorção de cátions básicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) e redução na adsorção de íons  $\text{H}^+$ . Contudo, é necessário notar que a diminuição da acidez potencial em função do aumento das quantidades de palhada, contraria a tendência de acidificação do solo pelas reações produtoras de  $\text{H}^+$  decorrente da decomposição do material orgânico. Fomenta-se que os resultados tenham relação com as condições ambientais presentes na safra 2015, como a presença déficit hídrico logo após a colheita da 4ª safra (Figura 5).

Após períodos desfavoráveis à atividade microbiológica, o retorno das chuvas, deve ter ocasionado elevação da taxa decompositora dos microrganismos. Com isso, possivelmente, as menores quantidade de palhada favoreceram um maior potencial redox, contribuindo para decomposição aeróbica, e também para geração de íons  $\text{H}^+$  no solo.

Para o ajuste linear crescente da camada 0–10 cm, na safra 2016 (Figura 13-D), em função do aumento das quantidades de palhada, este aumento da acidez potencial é relacionado à redução linear da SB nesta camada (Figura 19-D). Assim, a desorção de cátions básicos acaba por elevar a acidez potencial, como constatado.

Por outro lado, esta relação linear crescente da acidez potencial em função da manutenção da palhada de uma safra para outra evidencia a continua decomposição da palhada em ciclos subsequentes da cultura (Figura 13-D). Portanto, o que propicia reações produtoras de íons  $\text{H}^+$  e aumento da acidez potencial no solo.

#### 4.1.3 Acidez Ativa (pH $\text{CaCl}_2$ )

Sobre acidez ativa (pH  $\text{CaCl}_2$ ), observou-se nas duas safras avaliadas, que a manutenção da palhada contribuiu para a faixa de pH de 5,1 a 5,6 e 5,6 a 6,0, consideradas “Médias” a “Baixa”, nas camadas superficiais, 0–10 cm e 10–20 cm, respectivamente. E de “Baixa” a “Muito Baixas” (> 6,0) nas camadas subsuperficiais 20–40 cm e 40–60 cm, respectivamente,

de acordo com critério de Raij et al., (1996). Dessa maneira, mesmo que a faixa de adaptação da cana-de-açúcar seja de 4,5 a 8,5 (RAIJ, 2013), ressalta-se que estando o pH em faixas mais próximas da neutralidade, eleva-se a disponibilidade de nutrientes favorecendo a adequada nutrição da cultura (SOUZA et al., 2007).

Para a safra 2015, houve interação dos fatores principais (Tabela 6), com acréscimos significativos de pH em profundidade (Figura 14-A), e ajuste de regressão linear positiva nas camadas de 0–10 e 10–20 cm, em função do aumento da quantidade de palhada no solo (Figura 14-B). E quanto à safra 2016, verificou-se apenas efeito das camadas amostradas (Tabela 6), e da mesma forma que na safra 2015, com acréscimos significativos de pH em profundidade (Figura 14-C).

Estes resultados divergem dos obtidos por Silva e Ribeiro (1998). Os autores verificaram que em Latossolo Amarelo argiloso, com mais de dois anos de cultivo de cana-de-açúcar o pH oscilou em torno 4,2; enquanto nas áreas com 18 e 25 anos de cultivo, o pH decresceu em profundidade.

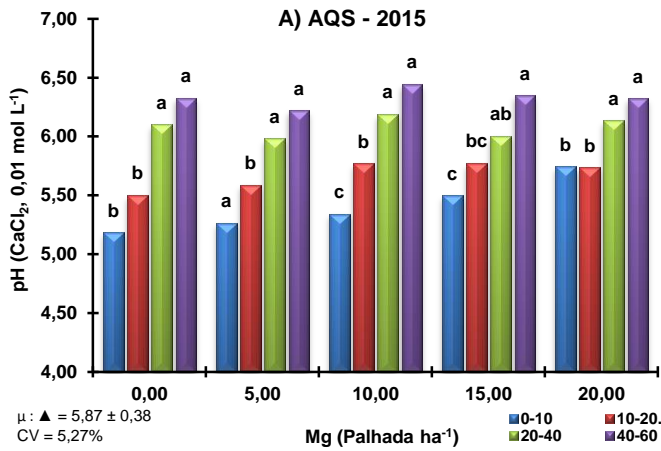
Por outro lado, os resultados do presente trabalho estão de acordo com Ciota et al. (2003) e Almeida et al. (2008). Ambos os autores em Latossolos argilosos sob sistema semeadura direta, observaram aumento do pH em função da profundidade, atribuindo este aumento acidificação produzida pela decomposição dos resíduos vegetais nas camadas superficiais do solo.

A elevação significativa do pH em profundidade nas safras avaliadas (Figuras 14-A e 14-C), deve-se à redução da concentração de material orgânico nas camadas subsuperficiais, 20–40 e 40–60 cm, assim, diminuindo a atividade de íons  $H^+$ . Além disso, o aumento da saturação por bases (V) em profundidade também acarreta elevação do pH (Figuras 22-A e 22-C).

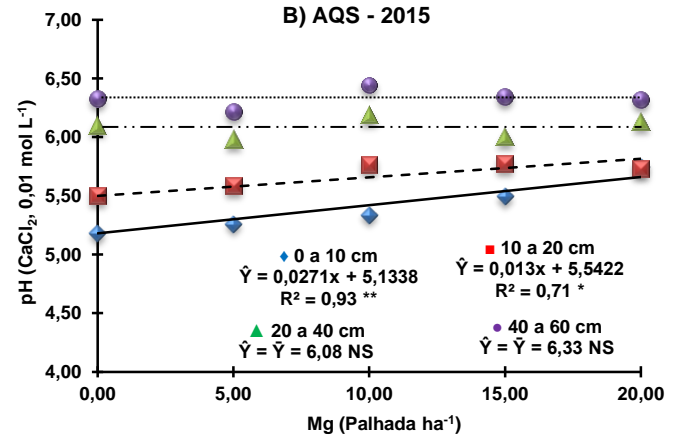
O aumento do pH nas camadas superficiais de 0–10 e 10–20 cm, na safra 2015 (Figura 14-B), relaciona-se a redução linear da acidez potencial (Figura 13-B) e o aumento da saturação por bases (V) (Figura 22-B) nestas mesmas camadas. Entretanto, de outra forma, esta elevação do pH resultante da adição e manutenção da palhada, pode evidenciar o potencial deste resíduo vegetal em neutralizar a acidez ativa do solo (Miyazawa et al., 1993; Dieh et al., 2008; Fioretto et al., 2009).

Pelo fato da cana-de-açúcar absorver uma grande quantidade de cátions (FIORETTO et al., 2009), paralelamente há uma extrusão de prótons  $H^+$ , que, por conseguinte, favorece o aumento da concentração de  $OH^-$  e elevação do pH celular acima de 7,3 (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Desse modo, a planta, a fim de manter sua

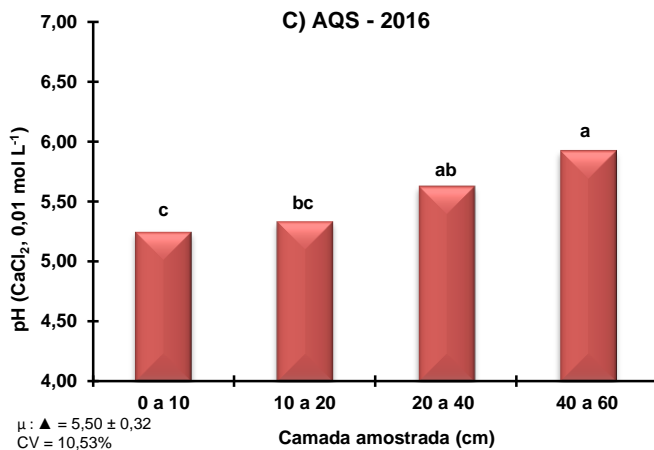
**Figura 14. Acidez Ativa (pH) – Safra 2015:** (A) pH, em função das camadas amostradas; (B) pH, em função das quantidades de palhada. **Safra 2016:** (C) Média de pH nas camadas amostradas; (D) Média de pH nas quantidades de palhada avaliadas.



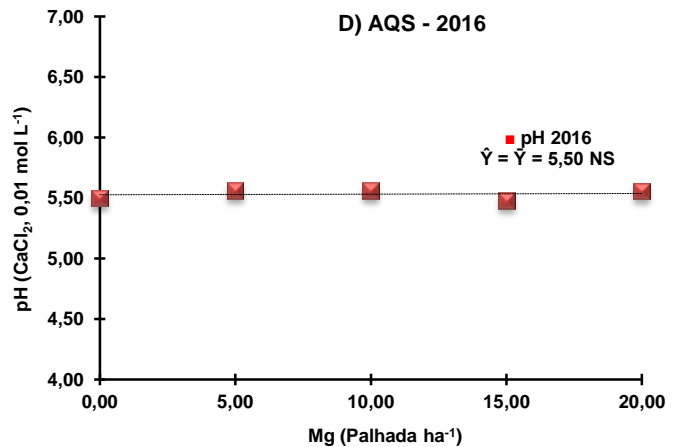
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

( ° ), ( \* ) e ( \*\* ); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F. μ = média aritmética; ▲ = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

eletroneutralidade, produz ácidos orgânicos pelo consumo de CO<sub>2</sub> e OH<sup>-</sup>, através de precursores neutros (FERNANDEZ; SOUZA, 2006). Com isso, entrando o resíduo vegetal em processo de decomposição e mineralização, os cátions básicos e os ácidos orgânicos passam a ser liberados na solução do solo, sendo os ácidos orgânicos rapidamente dissociados, comportando-se como ânions orgânicos na solução do solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008; FIORETTO et al., 2009). Sendo assim, os íons H<sup>+</sup> são complexados pelos ânions orgânicos e os cátions básicos adsorvidos ao complexo de troca.

Consequentemente, reduzindo a atividade de  $H^+$  e o poder tampão de pH, pela diminuição dos teores de acidez potencial ( $H+Al$ ). Logo, tais reações refletem nos decréscimos lineares de acidez potencial (Figura 13-B) e no aumento linear da saturação por bases, verificados nas camadas, 0–10 cm e 10–20 cm, da safra 2015 (Figura 22-B).

Franchini et al. (1999), mencionam que possíveis reações de troca de ligantes entre ânions orgânicos e grupos hidroxil ( $OH^-$ ) dos oxihidróxidos de Fe e Al, contribuem para aumento do pH. Pois devido oxigênio dos grupos funcionais orgânicos entrarem em coordenação com radicais dos grupos funcionais inorgânicos da estrutura do oxihidroxidos de Fe e Al, tem-se no final, a produção de moléculas de água. (SILVA; MENDONÇA et al., 2007), favorecendo o aumento do pH.

#### 4.1.4 Fósforo

Quanto aos teores de fósforo extraível (P-Disp.), não foi observada interação significativa dos fatores principais para safra 2015 (Tabela 6), verificando-se uma redução significativa nos teores de fósforo, com aumento da profundidade de amostragem (Figura 15-A). Para efeito das quantidades de palhada, constatou-se ajuste cúbico, de pontos mínimo e máximo, respectivamente de 3,91 e 13,72 Mg Palhada  $ha^{-1}$  (Figura 15-B).

Na safra 2016, houve interação significativa dos fatores principais (Tabela 6), com diferenças significativas entre teores de P nas camadas amostradas, com maiores teores nas camadas superficiais, 0–10 e 10–20 cm (Figura 15-C). Quanto aos ajustes de regressão, foi verificada para camada de 0–10 cm, relação quadrática de ponto mínimo estimado de 13,28 Mg Palhada  $ha^{-1}$  (Figura 15-D).

Trabalhos realizados por Mendonza et al. (2000) e Rosset et al. (2014) apresentaram resultados divergentes aos da presente pesquisa. Em que os referidos autores, obtiveram maiores teores de fósforo em áreas de cana queimada comparadas as áreas de cana crua. A diferença de resultados entre as referidas pesquisas e o presente trabalho, esta no fato de que em áreas com a execução da queima para colheita, há deposição de cinzas no solo, ricas em K e P (FREIRE; CORTEZ, 2000), assim elevando os teores de fósforo nestas áreas.

Busato et al. (2005) em Cambissolo Háplico, textura média-arenosa, cultivado a mais de 5 décadas com cana-de-açúcar, verificaram que os maiores teores de fósforo ocorreram no sistema cana crua em comparação a cana queima. Também Souza et al. (2012) constataram que a manutenção da palhada favorece os teores fósforo no solo, seja pela decomposição ou pela na redução de processos erosivos. Sendo assim, os resultados destas referidas pesquisas,

como os do presente trabalho expõem os efeitos positivos da manutenção da palhada em profundidade no sistema cana crua nos teores de fósforo no solo. Dessa maneira, sendo o fósforo um dos nutrientes mais limitantes as culturas em solos tropicais (NOVAIS et al., 2007), a permanência da palhada aumenta seus teores nas camadas superficiais e também, por melhorar distribuição do sistema radicular em perfil (AQUINO et al., 2015), favorece seus aumentos em profundidade, uma vez que fósforo é nutriente móvel na planta.

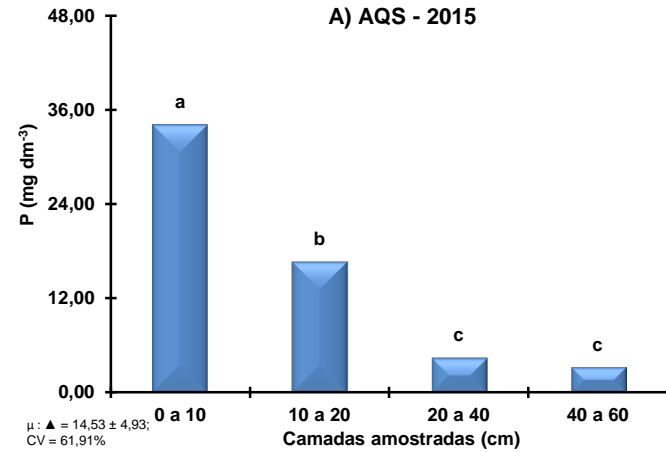
Os altos e significativos teores de fósforo nas camadas superficiais de 0–10 e 10–20 cm, em ambas as safras, 2015 e 2016 (Figuras 15-A e 15-C), de 2 a 3 vezes maiores que os considerados “Muito Bons” para solo argilosos (Ribeiro et al., 1999), decorrem de uma soma de fatores: dinâmica do fósforo no solo, histórico de manejo exercido pela usina e manutenção da palhada no solo, em função da implantação do experimento. Assim, é necessário, então, ponderar da importância de cada um destes fatores, sobretudo nas camadas superficiais, mesmo após a colheita de 6 safras (Tabela 2), tendo como fonte única de fósforo a palhada.

Devido o fósforo ser adsorvido nos sítios de troca através da formação de complexos de esfera-interna, ou seja, por meio de ligações covalentes sem a interposição de moléculas de H<sub>2</sub>O entre o fosfato e o grupo funcional de superfície mineral, apresenta baixa mobilidade das camadas superficiais para subsuperficiais (SPOSITO, 2008; MEURER, 2012). O que favorece os maiores teores nas camadas de 0–10 cm e 10–20 cm (Figuras 15-A e 15-C).

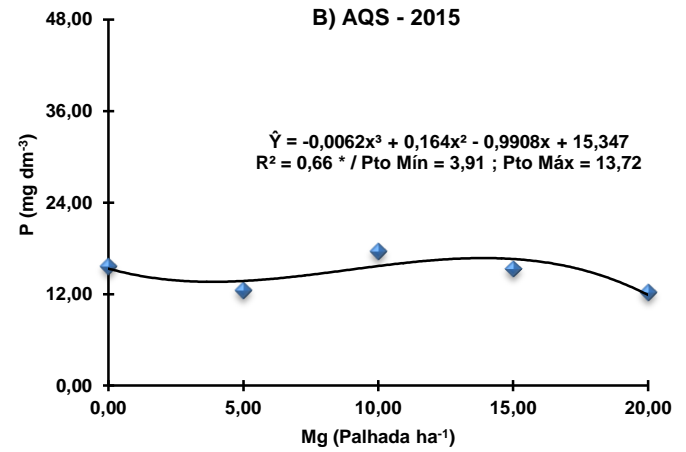
De outro modo, o emprego de práticas exercidas pela usina há mais de seis décadas, como a queima para colheita, adição de vinhaça e torta de filtro (i.e, subprodutos da agroindústria) e aplicação e incorporação adubos fosfatados, são fatores que concorrem diretamente para manutenção e aumento dos teores de fósforo no solo. Dado também que, cerca de 30% dos adubos fosfatados aplicados, podem de um ano para outro, continuar disponíveis no solo (ROSSETO et al., 2010; ROSSET et. al., 2014). Com isso, ao longo dos anos, tais práticas elevaram o fator quantidade, conseqüentemente, aumentando a capacidade do solo em disponibilizar fósforo, o que explicaria os altos teores de fósforo já presentes na área durante a implantação do experimento; principalmente nas três primeiras camadas (Tabela 4).

Adicionalmente a estes resultados, faz-se necessário considerar também que, por ocasião da instalação do experimento (agosto de 2010 – Tabela 2), foram aplicados 70 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, subproduto rico em fósforo (ROSSETTO et al., 2010; KONDÖRFF et al., 2015). Com isso, demonstrando que desde o início do experimento, altos teores de fósforo no solo, principalmente nas camadas superficiais, foram favorecidas pelas práticas exercidas até então.

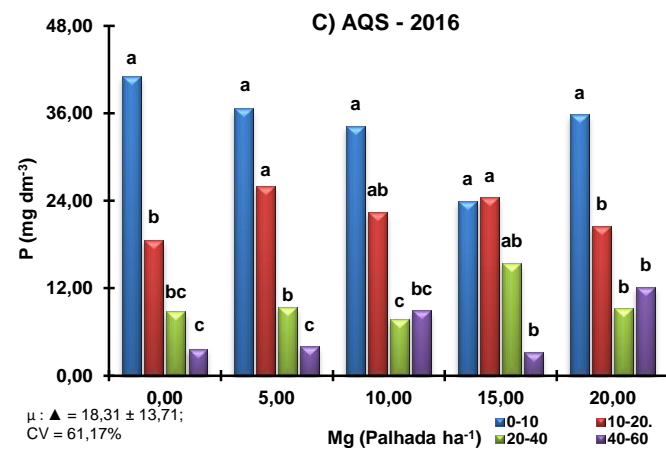
**Figura 15. Teores de Fósforo (P-Melich 1) – Safra 2015: (A) Média dos teores de Fósforo nas camadas amostradas; (B) Média dos teores de Fósforo em função das quantidades de palhada no solo. Safra 2016: (C) Teores de Fósforo em função das camadas amostradas; (D) Teores de Fósforo em função das quantidades de palhada no solo.**



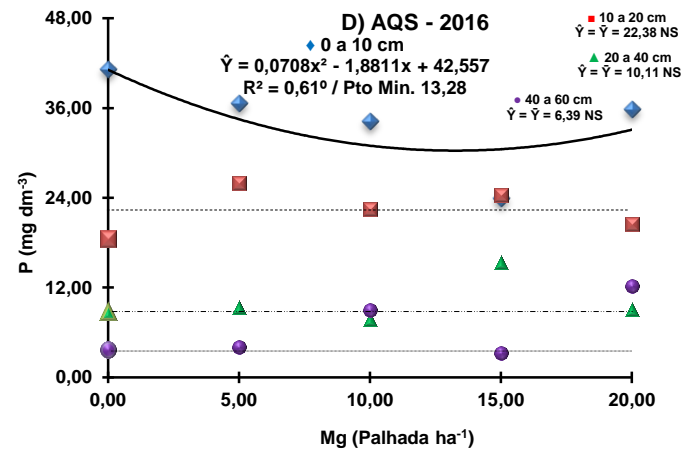
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

(°), (\*) e (\*\*); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F.  $\mu$  = média aritmética; ▲ = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

Neste experimento, optou-se pela palhada como fonte única de nutrientes à cultura, sem a aplicação de subprodutos ou adubações. Possivelmente, a manutenção da palhada, de acordo com as quantidades avaliadas, tenha favorecido os altos teores de fósforo nos ciclos subsequentes da cultura. Isso porque a palhada da cana-de-açúcar apresenta potencial de mineralização em torno de 67% para o fósforo, o que pode representar uma adição anual de 3,0 kg ha<sup>-1</sup> ou 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo no solo (Tabela 1). Por outro lado, o fósforo liberado pela mineralização da palhada, é fracamente adsorvido no solo, contribuindo para aumento de

sua disponibilidade a cultura (VITTI et al., 2004). Sendo assim, todos estes fatores podem ter contribuído para os altos teores de fósforo nas duas safras avaliadas.

Ademais, é observada nos resultados da safra 2016 a diferença não significativa nos teores de fósforo entre as camadas 0–10 e 10–20 cm, nas quantidades de 5, 10 e 15 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$  (Figura 15-C). Estes resultados, possivelmente, se devem a uma maior exportação da pela cultura, somado a um menor aporte de fósforo por parte da mineralização da palhada ou, até mesmo, ao transporte de fósforo em profundidade junto às frações de carbono orgânico solúvel em períodos de alta precipitação (CANELLAS et al., 2000; ARAUJO et al., 2006). No entanto, tais resultados podem, ainda, sugerir outro possível efeito da manutenção da palhada no solo, como aumentos de fósforo em profundidade. Como a cana crua permite um contínuo aporte de material orgânico à superfície do solo, isto pode então, vir a favorecer compartimentos de fósforo orgânico em profundidade. Tal questão é baseada na hipótese fomentada por Cardoso et al. (2003). Os autores enfatizam que, possivelmente, em sistemas agrícolas manejados sob a manutenção de resíduos vegetais, haja maior transformação do fósforo inorgânico para orgânico. Dessa forma, gerando diferenças menos abruptas de fósforo entre camadas amostradas.

Sobre os teores de fósforo na safra 2015 (Figura 15-B), estes apresentaram relação cúbica, em função das quantidades de palhada, com área correspondente entre os pontos de mínima e máxima estimados, respectivamente, de 3,91 e 13,72 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$ , mostra a importância da palhada na disponibilidade de fósforo. Pois além de favorecer a ciclagem do nutriente, como descrito anteriormente, a decomposição da palhada propicia a presença de ânions orgânicos no solo, que assim tendem a promover reações favoráveis à disponibilidade de fósforo (BUSSATTO et al., 2005; PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Tais reações são favorecidas, em razão do fósforo ser adsorvido aos compostos orgânicos de forma similar à qual é adsorvida pelos grupos hidroxil ( $\text{OH}^-$ ) dos oxihidróxidos de Fe e Al, isto é, por reações de troca de ligantes (NOVAIS et al., 2007; DICK, et al., 2009).

Segundo Andrade et al. (2003) e Guppy et al. (2005), os compostos orgânicos podem aumentar a disponibilidade de fósforo através de três de mecanismos, sendo eles: a) bloqueando os sítios de adsorção, por meio de reações de troca de ligantes entre os grupos funcionais orgânicos ( $\text{COOH}$ ) e grupos funcionais de superfície ( $\text{OH}^-$ ) (HUE, 1991); b) competindo com o fosfato pelos sítios de troca, e favorecendo a disponibilidade de fósforo (CESSA et al., 2010); c) pela dessorção de fosfato pelos ânions orgânicos (ANDRADE et al., 2007). Assim, estas reações são mais pronunciadas quanto mais favorável o aporte de matéria

orgânica no solo (ANDRADE et al., 2007), o que na presente pesquisa é caracterizada pela manutenção da palhada.

Já a redução de fósforo após o ponto de máxima, em direção à quantidade de 20 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$  (Figura 15-B), pode estar relacionada às condições menos propícias à decomposição e mineralização da palhada, como a redução do potencial redox em detrimento maior umidade no solo condicionada pela maior deposição de palhada (PERES et al., 2010). Contudo, ressalta-se, que a permanência da palhada ao longo das safras subsequentes tende a disponibilizar fósforo em função da redução da relação C:N (FORTES et al., 2012; RAMOS et al., 2016) e assim elevando seus teores no solo.

O efeito quadrático de ponto mínimo, estimado de 13,28 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$ , na camada de 0–10 cm, na safra 2016 (Figura 15-D), é decorrente da exportação de nutrientes pela cultura. Além disso, considera-se o efeito transitório dos compostos orgânicos no bloqueio de sítios de adsorção de fósforo, como destacado por Afif et al. (1995). Os autores enfatizam que, devido à mineralização destes compostos, logo os sítios de troca são liberados, o que faz retornar a alta adsorção de fósforo, reduzindo sua disponibilidade.

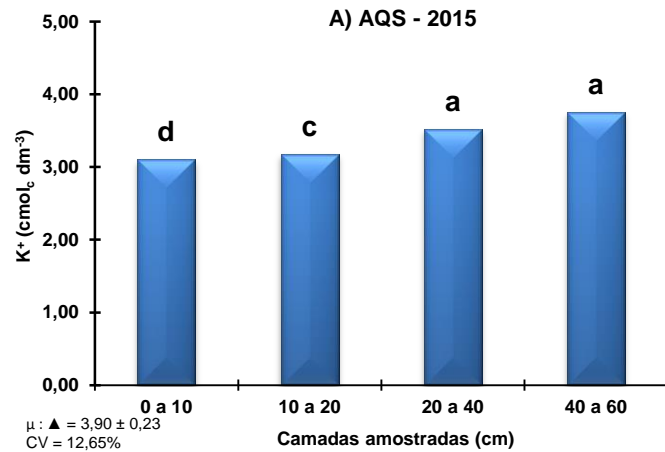
#### 4.1.5 Teores de Potássio: $\text{K}^+$

Os resultados de teores de  $\text{K}^+$ , em ambas as safras, 2015 e 2016 apresentaram variações de 8 a 15 vezes maiores que os teores considerados “Muito Bons”, isto é, de  $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , de acordo com critérios de Ribeiro et al. (1999). Com isso, expondo que, mesmo na ausência de fontes externas de potássio, como adubos e subprodutos agroindustriais, a palhada apresenta ser uma fonte potencial para manutenção de altos teores de  $\text{K}^+$  no solo.

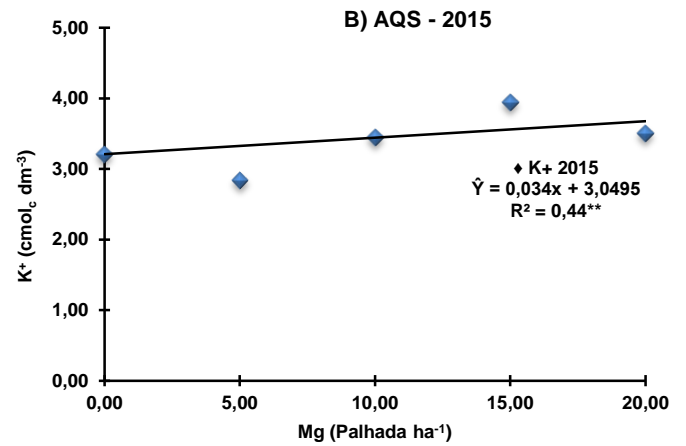
Para as duas safras não foram verificadas interações significativas entre os fatores principais (Tabelas 6), observando-se aumento significativo nos teores de  $\text{K}^+$  em profundidade, independente da safra avaliada (Figuras 16-A e 16-C). Em relação às quantidades de palhada, houve ajuste de regressão linear positiva, para os teores de  $\text{K}^+$  na safra 2015 (Figura 16-B), enquanto na safra 2016, não houve ajustes de regressões significativas (Figura 16-D).

Estes resultados de altos teores de  $\text{K}^+$  no sistema cana crua, divergem dos encontrados por Orlando Filho et al. (1998) e Rosset et al. (2014), que verificaram maiores teores de  $\text{K}^+$  sob cana queimada, comparado ao sistema cana crua. Sendo esta discordância atribuída à mesma razão para o fósforo: devido à queimada produzir cinzas ricas em K e P, elevando os teores de  $\text{K}^+$  no solo; portanto, explicando esta divergência.

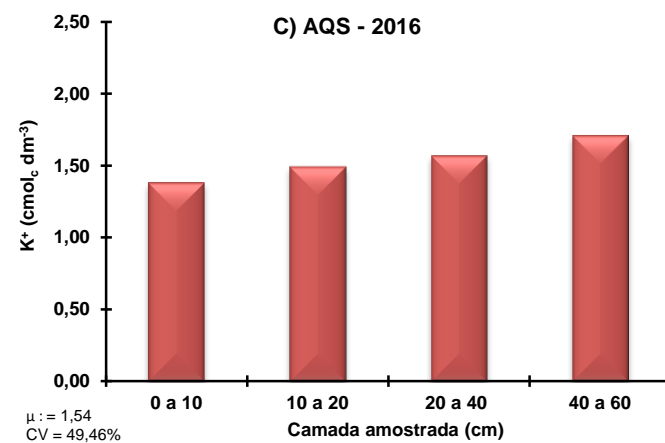
**Figura 16. Teores trocáveis de Potássio ( $K^+$ ) – Safra 2015:** (A) Média dos teores de  $K^+$  nas camadas amostradas; (B) Média dos teores de  $K^+$  em função das quantidades de palhada no solo. **Safra 2016:** (C) Média dos teores de  $K^+$  nas camadas amostradas; (D) Média dos teores  $K^+$  em função das quantidades de palhada no solo.



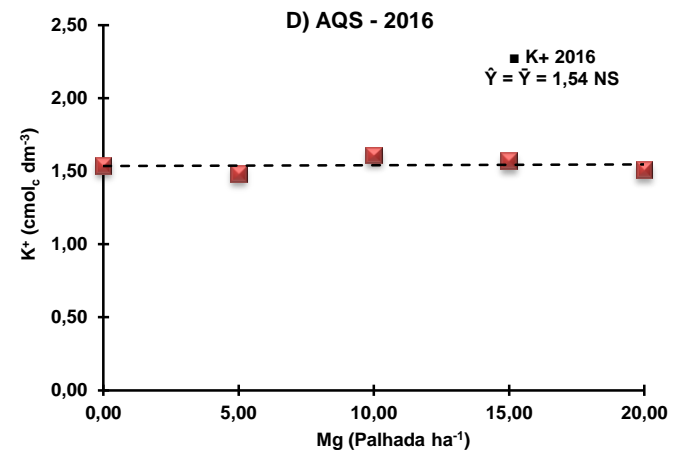
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017

( $^{\circ}$ ), ( $*$ ) e ( $**$ ); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F.  $\mu$  = média aritmética;  $\blacktriangle$  = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

Os incrementos significativos de  $K^+$  nas camadas subsuperficiais, de 20–40 e 40–60 cm (Figuras 16-A e 16-C), devem-se ao comportamento monovalente do  $K^+$  (ANDRADE, 2009). O  $K^+$  apresenta alta capacidade de hidratação, o que reduz sua energia de atração eletrostática aos sítios de troca, em comparação aos cátions polivalentes (FREIRE, 1999; SPOSITO, 2008). Por conseguinte, o  $K^+$  é facilmente deslocado do complexo de troca por aqueles cátions polivalentes (MEURER, 2012), acarretando aumento em sua lixiviação e elevando seus teores nas camadas subsuperficiais, 20–40 cm e 40–60 cm (Figuras 16-A e 16-C).

Além disso, as precipitações acima da média histórica registradas na safra 2015 (Figura 3) colaboraram para aumento da lixiviação do  $K^+$ . Outro ponto é a possível ligação entre  $K^+$  e  $NO_3^-$ , sendo este último proveniente da decomposição do resíduo vegetal e dos processos de nitrificação (RAIJ, 2011). Assim, o  $NO_3^-$ , por neutralizar a carga do  $K^+$ , favorece sua lixiviação (MYIAZAWA et al., 2000; MEDA et al., 2003).

De outra forma, a relação linear positiva entre os teores de  $K^+$  em função do aumento das quantidades de palhada, configura um resultado esperado (Figura 16-B); visto os valores de mineralização da Tabela 1. Como o  $K^+$  é o elemento de maior absorção pela cultura (FRANCO et al., 2008; OLIVIERA et al., 2010), somado à condição de permanecer na forma iônica dentro das células (MALAVOLTA, 2006), quando o tecido vegetal entra em decomposição, o  $K^+$  é rapidamente liberado para a solução do solo (CALONEGO et al., 2012).

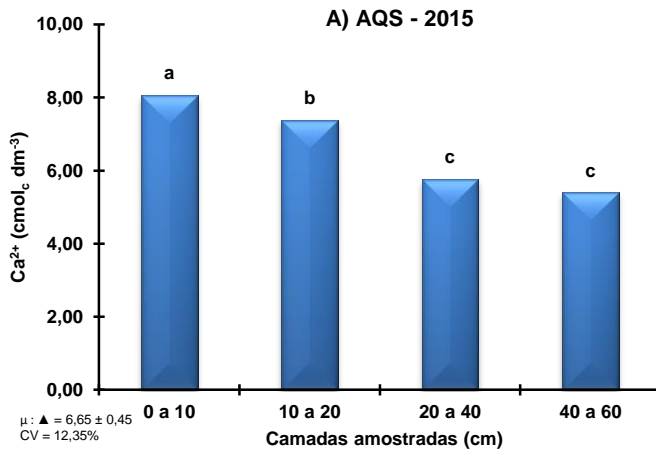
Assim, estando o  $K^+$  em grandes concentrações na solução do solo, pelo princípio da ação de massas (MEURER, 2012) associado ao princípio de equilíbrio, em que  $K^+$  trocável deve estar em equilíbrio com o  $K^+$  em solução (RAIJ, 2012), o  $K^+$  tende a deslocar  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , com preferência ao  $Mg^{2+}$ , em razão deste possuir maior raio iônico hidratado com relação ao  $Ca^{2+}$  (ALLEONI et al., 2009). O quanto maior as quantidades de palhada e maiores os períodos de precipitação, mais estas reações se intensificam (ROSOLEM et al., 2007).

#### 4.1.6 Teores de Cálcio: $Ca^{2+}$

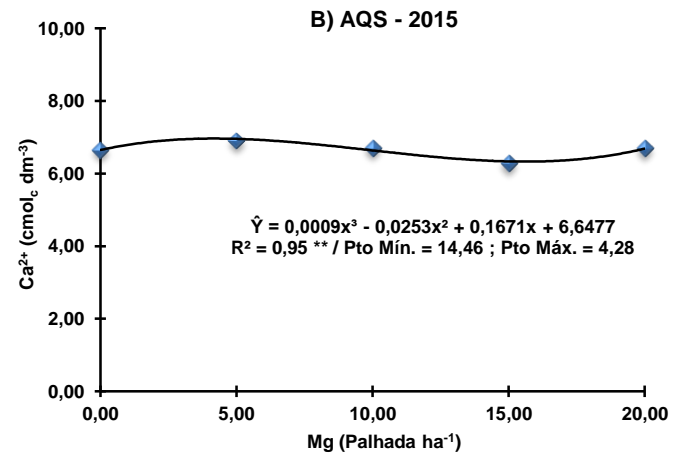
Quanto aos teores de  $Ca^{2+}$ , para safra 2015, não houve interação significativa entre os fatores principais (Tabela 6), obtendo-se redução significativa dos teores de  $Ca^{2+}$  em profundidade (Figura 17-A), e ajuste de regressão cúbica para as quantidades de palhada, de ponto mínimo e máximo, respectivamente, de 14,46 e 4,28 Mg Palhada  $ha^{-1}$  (Figura 17-B). Já na safra 2016, constatou-se interação significativa dos fatores principais (Tabela 6), e assim como na safra 2015, houve decréscimos significativos dos teores de  $Ca^{2+}$  em profundidade (Figura 17-C), e ajustes de regressão, linear negativa para camada 0–10 cm, e quadrática de ponto máximo estimado de 8,82 Mg Palhada  $ha^{-1}$ , na camada 10–20 cm (Figura 17-D). Ressalta-se que, independente da safra, os teores de  $Ca^{2+}$  ficaram acima de 4,0  $cmol_c dm^{-3}$ , o que representa teores “Muito Bons”, de acordo com critério de Ribeiro et al. (1999).

Estes resultados estão de acordo com os trabalhos de Silva e Ribeiro (1998) e Correia e Alleoni (2011). Os primeiros autores, em áreas cultivadas a mais de duas décadas com cana

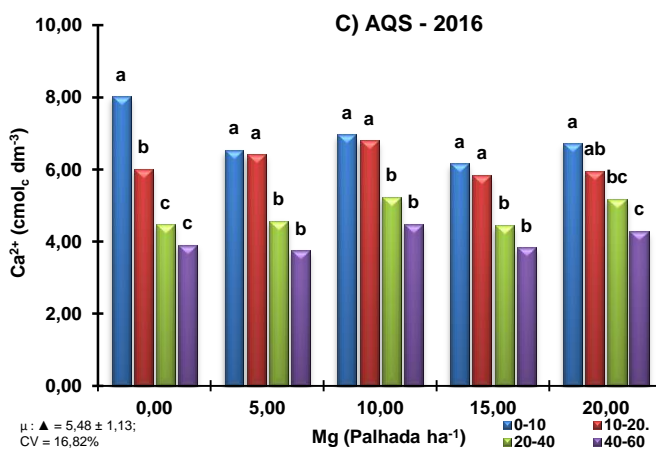
**Figura 17. Teores trocáveis de Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) – Safra 2015: (A) Média dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  nas camadas amostradas; (B) Média dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em função das camadas amostradas; (D) Teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em função das quantidades de palhada.**



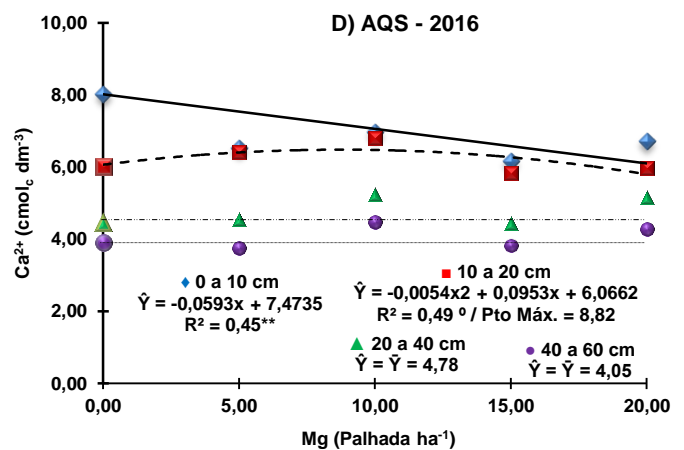
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

(°), (\*) e (\*\*); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F.  $\mu$  = média aritmética; ▲ = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

no Estado de Alagoas, também observaram maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  nas áreas colhidas sem queima, sobretudo nas camadas superficiais. Já Correia e Alleoni (2011), em experimento de 14 anos sob cana colhida sem queima, verificaram maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo, também nas camadas superficiais do solo.

Tais resultados demonstram então, seja da presente pesquisa ou dos referidos autores, a importância da manutenção da palhada como fonte de  $\text{Ca}^{2+}$  para cana-de-açúcar. Sendo esta questão reforçada pelo fato de práticas de adição de  $\text{Ca}^{2+}$ , como a calagem e gessagem, serem realizadas em grandes intervalos de tempo, isto é, após cinco ou mais cortes da cultura

(QUAGGIO; RAIJ, 2010), possibilitando, assim, a redução dos teores  $\text{Ca}^{2+}$  ao longo das safras (FREGONEZI; SPINDOLA, 2008). Práticas que venham a favorecer o contínuo aporte de  $\text{Ca}^{2+}$  ao solo, como a permanência da palhada, são de suma importância para o desenvolvimento da cultura, haja vista, que o Ca é terceiro elemento em exigência pela cana-de-açúcar, perdendo apenas para K e N, nesta ordem (OLIVIERA et al., 1993; OLIVEIRA et al., 2010)

Os maiores e significativos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  nas camadas superficiais, 0 – 10 e 10 – 20 cm, em ambas das safras (Figuras 17-A e 17-C), podem ser atribuídos a maior concentração dos resíduos orgânicos nestas camadas. Desse modo, por meio da mineralização da palhada, aumentam-se os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  na solução do solo, que logo são adsorvidos ao complexo de troca. Também, em virtude do Ca ser um nutriente imóvel dentro da planta (PRADO, 2008), isto acarreta uma menor concentração nas raízes, diminuindo o seu aporte em profundidade, após a senescência destas. Além disso, o fato das camadas, 0–10 e 10–20 cm, apresentarem valores de CTC( t ) mais elevada (RAIJ, 2012) (Figuras 19-A e 19-C), contribui para a maior adsorção de  $\text{Ca}^{2+}$  em relação às camadas subsuperficiais, 20–40 e 40–60 cm.

Com relação ao ajuste de regressão cúbica na safra 2015, com ponto de mínima estimado em 14,46 e máxima estimada em 4,28 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$  (Figura 17-B), pode ser observado o aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em função da manutenção da palhada, da quantidade de 0,00 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$  ao ponto de máxima, próxima 5,00 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$ . Portanto, mais uma vez, ressaltando os benefícios da palhada para o aporte de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo.

Por outro lado, a área correspondente entre o ponto de máxima e mínima, de ligeira redução, pode estar relacionada à maior exportação de Ca pela cultura, somada a menor taxa de mineralização da palhada. Além disso, tem-se que os teores de  $\text{K}^+$  aumentaram linearmente, também na safra 2015 (Figura 16-B), favorecendo a diminuição dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  pelos motivos já tratados na discussão do  $\text{K}^+$ . E quanto ao aumento de  $\text{Ca}^{2+}$  pós ponto de mínima, isso, possivelmente, tenha sido verificado em decorrência de maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  já presentes no solo (Figura 17-B).

A respeito dos ajustes de regressão para safra 2016, sendo linear decrescente para camada de 0–10 cm, e quadrática de ponto máximo igual a 8,82 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$  para camada de 10–20 cm (Figura 17-D), tem-se que estes resultados apontam para lixiviação de  $\text{Ca}^{2+}$  da camada de 0–10 para 10–20 cm. Pois, é evidente pelas regressões que, a medida que os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  diminuem na camada de 0–10 cm, há tendência de aumento de  $\text{Ca}^{2+}$  na camada 10–20 cm (Figura 17-D).

Sendo assim, tais ajustes de regressão para os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  nas camadas superficiais podem ter sido ocasionadas, seja pelo alto volume de chuva registrado na safra 2016 (Figuras 3 e 4), ou até mesmo pela exportação do nutriente pela cultura. Somado isto, na camada de 0–10 cm obteve-se crescimento linear da acidez potencial (Figura 13-D), o que pode ter contribuindo para redução dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ .

De outra forma, esta relação linear negativa na camada de 0–10 cm, na safra 2016 (Figura 17-D), suscita a hipótese do  $\text{Ca}^{2+}$  estar sendo mobilizado para outras camadas, através de sua complexação pelos compostos orgânicos (MIYAZAWA et al., 1993; FRANCHINI et al., 2000; MEDA et al., 2003). O contínuo aporte de compostos orgânicos pela manutenção da palhada ao longo do tempo, pode propiciar a formação de complexos de cargas negativas ou nulas entre compostos orgânicos e o  $\text{Ca}^{2+}$ .

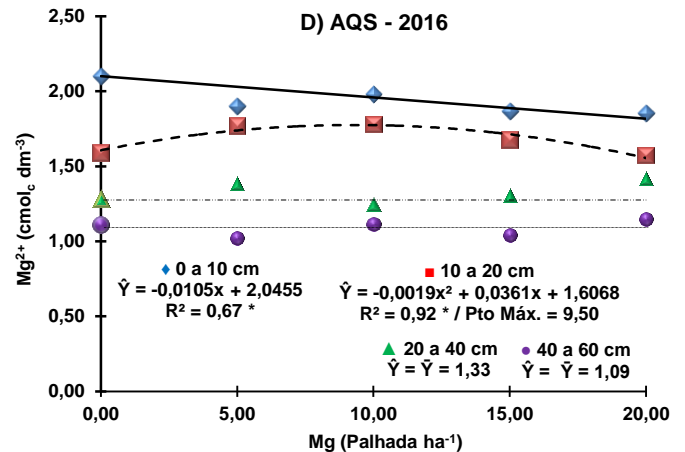
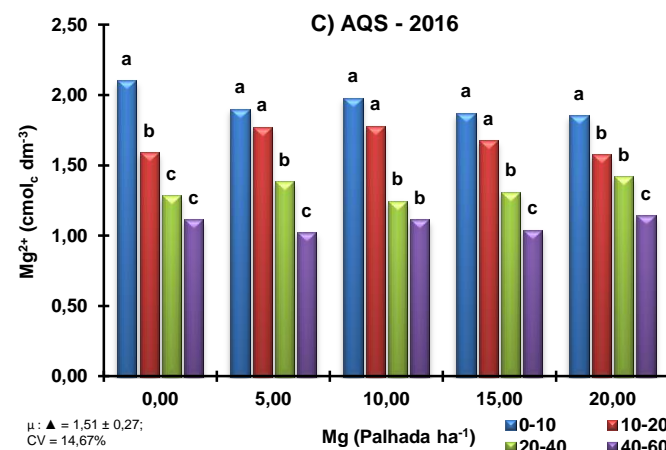
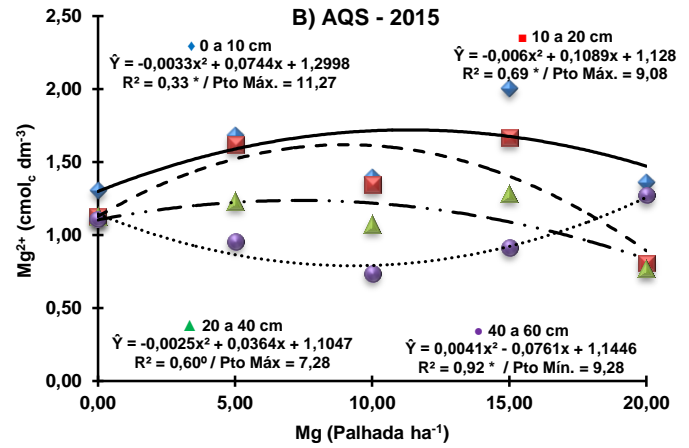
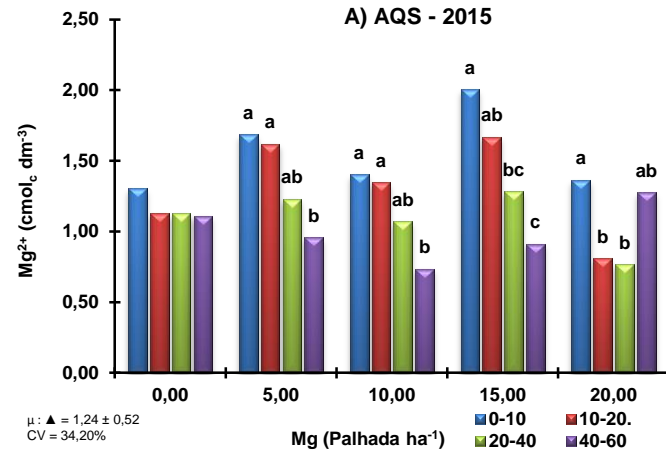
Estando o  $\text{Ca}^{2+}$  na forma complexada pelos compostos orgânicos, sua carga é alterada, o que possibilita seu transporte em profundidade (FRANCHINI et al., 1999a; 1999b). Para mais, o  $\text{K}^+$  em altas concentrações na solução do solo, tende a favorecer a formação destes complexos, pois o  $\text{K}^+$  passa a ocupar as cargas geradas pela dessorção de cátions polivalentes, reduzindo o potencial de atração das cargas negativas do solo para estes cátions (FRANCHINI et al., 2003; MORAES et al., 2007).

#### 4.1.7 Teores de Magnésio: $\text{Mg}^{2+}$

A respeito dos teores de  $\text{Mg}^{2+}$ , foi observado que, independente da safra em questão, houve interação significativa dos fatores principais (Tabela 6). Na safra 2015, apenas na quantidade de 0,00 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$  não houve diferença significativa na diminuição dos teores de  $\text{Mg}^{2+}$  entre camadas (Figura 18-A), enquanto os ajustes de regressão ocorreram para todas as camadas amostradas, sendo estas de relações quadráticas de ponto máximo iguais 11,27, 9,08 e 7,28 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente para as camadas de 0–10, 10–20 e 20 – 40 cm. E também para camada de 40 – 60 cm, relação quadrática, de ponto mínimo igual a 9,28 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$  (Figura 18-B).

Na safra 2016, assim como na safra 2015, houve redução significativa dos teores de  $\text{Mg}^{2+}$  em profundidade (Figura 18-C), com ajuste de regressão para as camadas 0–10 e 10–20 cm, respectivamente, de relações linear negativa e quadrática de ponto máximo igual a 9,50 Mg Palhada  $\text{ha}^{-1}$ . Tais ajustes de regressão se assemelham às relações linear negativa e quadrática de ponto de máxima estimada para  $\text{Ca}^{2+}$  nestas mesmas camadas superficiais (Figura 17-D).

**Figura 18. Teores trocáveis de Magnésio ( $Mg^{2+}$ ) – Safra 2015: (A) Teores de  $Mg^{2+}$  em função das camadas amostradas; (B) Teores de  $Mg^{2+}$  em função das quantidades de palhada. Safra 2016: (C) Teores de  $Mg^{2+}$  em função das camadas amostradas; (D) Teores de  $Mg^{2+}$  em função das quantidades de palhada.**



( $^{\circ}$ ), ( $^*$ ) e ( $^{**}$ ); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F.  $\mu$  = média aritmética;  $\blacktriangle$  = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

De maneira similar a estes resultados, Mendonza et al. (2000) constataram altos teores de  $Mg^{2+}$  em sistema cana crua, localizado em Argissolo Vermelho Amarelo, textura arenosa. Souza e Alves (2007), em Latossolo Vermelho argiloso, em sistema de semeadura direta versus semeadura convencional, verificaram que os teores de  $Mg^{2+}$  ocorreram no sistema de semeadura direta, atribuindo estes resultados, assim como Mendonza et al. (2000), ao aporte de resíduos vegetais no solo.

Portanto, estes resultados, bem como da presente pesquisa enfatizam o potencial da palhada em garantir altos teores de  $Mg^{2+}$  no solo, visto que, segundo critérios de Ribeiro et

al., (1999), estes teores de  $Mg^{2+}$  nesta pesquisa, podem ser classificados de “Bom” a “Muito Bom”. Torna importante a manutenção da palhada no solo, pois assim como no caso de  $Ca^{2+}$ , a ausência de fontes externas, como calcário, pode acarretar a redução de  $Mg^{2+}$  ao longo das safras.

Em relação aos maiores e significativos teores de  $Mg^{2+}$  nas camadas superficiais, 0–10 e 10–20 cm, em ambas as safras (Figuras 18-A e 18-C), relaciona-se estes teores ao maior aporte de resíduos vegetais e CTC( t ) mais elevada nestas camadas. Dessa forma, pela mineralização dos compostos orgânicos, elevam-se os teores de  $Mg^{2+}$  na solução do solo, que logo é adsorvido aos sítios de troca nas camadas superficiais, 0–10 e 10–20 cm.

Já os ajustes de regressão na safra 2015 (Figura 18-B), demonstram os aumentos nos teores de  $Mg^{2+}$ , até os respectivos pontos de máximas, nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm. O que mostra que provavelmente, que o aumento das quantidades de palhada podem ter elevado os teores de  $Mg^{2+}$ . E com relação à regressão quadrática de ponto mínimo, na camada de 40–60 cm (Figura 18-B), associa-se que logo após o ponto de mínima, igual a 9,28 Mg Palhada  $ha^{-1}$ , houve maior lixiviação de  $Mg^{2+}$  das camadas superiores para esta camada.

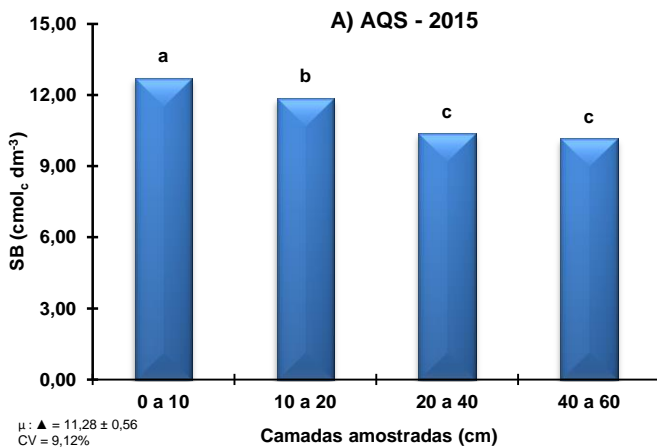
Sobre as relações linear negativa para camada 0–10 cm, e quadrática de ponto máximo igual 9,50 para a camada 10–20 cm, na safra 2016 (Figura 18-D), as causas, novamente, são aquelas mesmas mencionadas para  $Ca^{2+}$ . Sendo assim, as precipitações acima da média (Figuras 3 e 4), bem como a exportação do nutriente pela cultura e aumento linear da acidez potencial na camada 0–10 cm (Figura 13-D) devem ter contribuído para tais resultados. E em razão do  $Mg^{2+}$  também ser um cátion polivalente, suscita hipótese de mobilização do  $Mg^{2+}$  por meio de reações com complexos orgânicos (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

#### 4.1.8 Valores de Soma de Bases (SB) e CTC Efetiva( t )

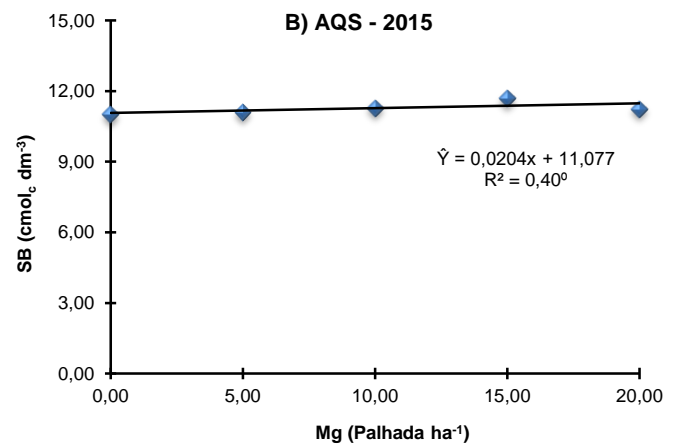
Acerca dos valores de SB e CTC(t), estes apresentaram valores praticamente iguais. Isto em virtude dos teores de acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) terem sido extremamente baixos ou até mesmo nulos. Sendo assim, tem-se uma discussão única para SB e CTC(t). Observou-se para safra 2015, tanto para SB, quanto para CTC(t) efeitos dos fatores principais (Tabela 6), com reduções significativas em profundidade (Figuras 19-A e 20-A). Para efeito das quantidades de palhada, obteve-se para SB e CTC(t), relação linear positiva (Figuras 19-B e 20-B). Já na safra 2016, houve interação significativa entre os fatores principais (Tabela 6), com decréscimos significativos em profundidade (Figuras 19-C e 20-C), e ajustes de

regressão linear negativa, para camada 0–10 cm, e quadrática de ponto máximo igual 9,35 (SB) e 9,34 (CTC-t) Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, para a camada 10–20 cm (Figuras 19-D e 20-D).

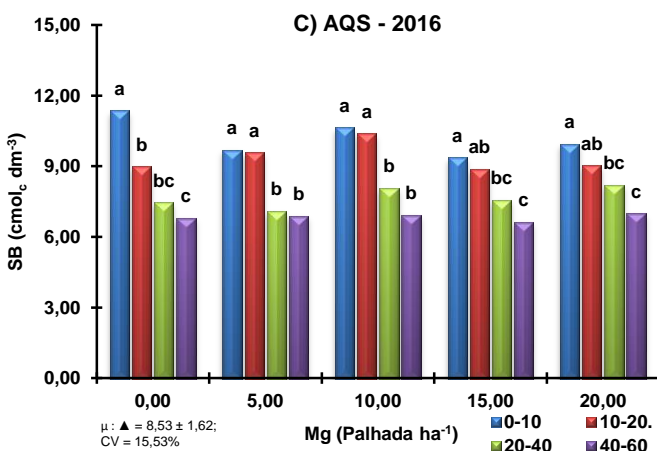
**Figura 19. Soma de Bases (SB) – Safra 2015:** (A) Média dos valores de SB nas camadas amostradas; (B) Média dos valores de SB em função das quantidades de palhada. **Safra 2016:** (C) Valores de SB em função das camadas amostradas; (D) Valores de SB em função das quantidades de palhada.



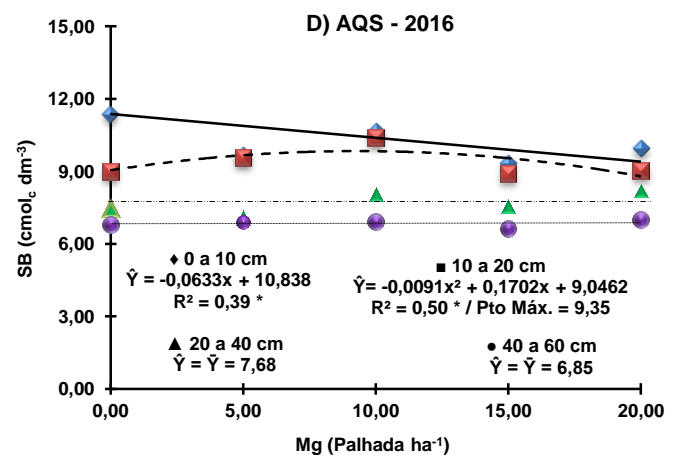
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

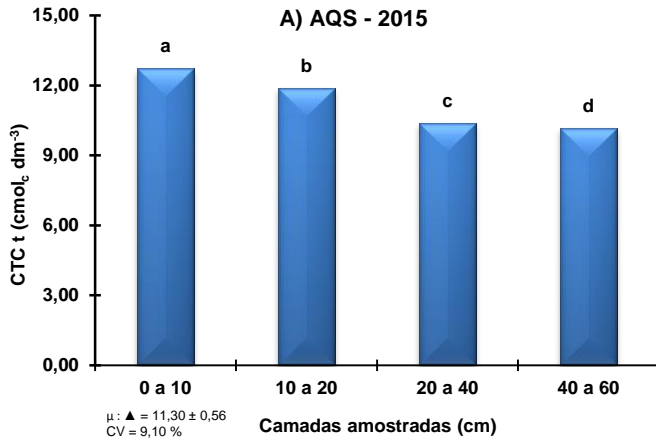


Fonte: Moraes, 2017.

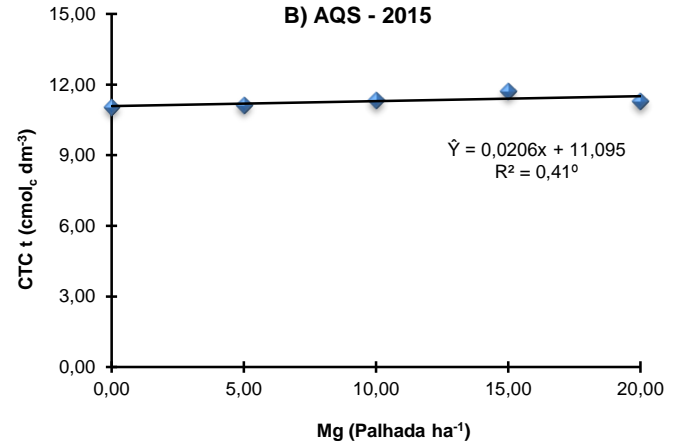
(°), (\*) e (\*\*); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F. μ = média aritmética; ▲ = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

Em áreas colhidas sem queima, em solos arenosos Mendonza et al. (2000) e Canellas et al. (2003) também obtiveram altos valores de SB e CTC(t), sobretudo nas camadas superficiais, em canaviais colhidos sem queima. Do mesmo modo, Ciota et al. (2003), em Latossolo argiloso, verificaram que o sistema de semeadura direta, na cultura da soja, foi favorável aos incrementos de SB e CTC(t) em relação ao sistema de semeadura convencional.

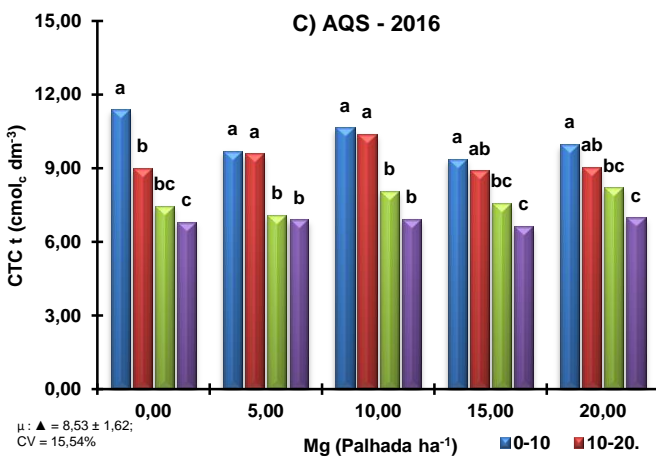
**Figura 20. CTC Efetiva (CTC t) – Safra 2015:** (A) Média dos valores de CTC(t) nas camadas amostradas; (B) Média dos valores de CTC(t) em função das quantidades de palhada. **Safra 2016:** (C) Valores de CTC(t) em função das camadas amostradas; (D) Valores de CTC(t) em função das quantidades de palhada.



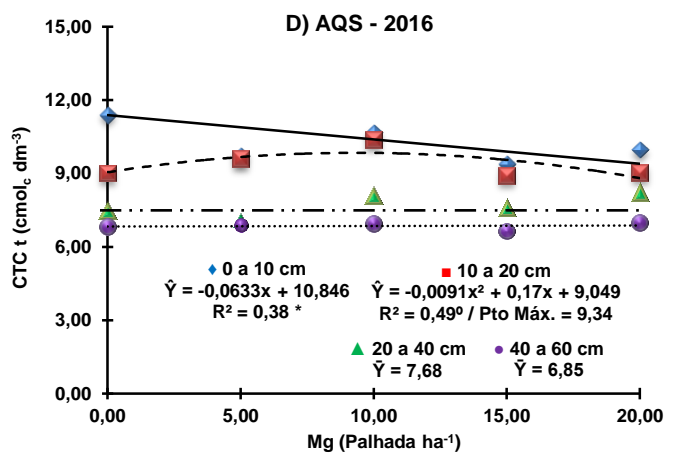
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

(<sup>o</sup>), (<sup>\*</sup>) e (<sup>\*\*</sup>); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F. μ = média aritmética; ▲ = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

Assim, ambas as pesquisas e o presente trabalho demonstram que, independente da textura do solo a manutenção da palhada contribui positivamente para os teores de SB e CTC(t) indicando ganhos para fertilidade do solo, decorrentes desta prática.

Os decréscimos significativos nos valores de SB e CTC(t) em profundidade, nas duas safras avaliadas (Figuras 19-A e 20-C), resultam da maior concentração dos resíduos vegetais nas camadas mais superficiais, 0–10 e 10–20 cm. Dessa maneira, em razão da elevada reatividade da matéria orgânica, devido à sua grande área de superfície específica somada a rápida dissociação dos íons H<sup>+</sup> dos grupos funcionais orgânicos, bem como a adsorção de

ácidos orgânicos aos colóides do solo, há redução no ponto de carga zero – PCZ (BENITES e MENDONÇA, 1998; MEURER, 2012). Com isso, aumentando a geração de cargas negativas e logo a adsorção cátions, elevando assim, os valores de SB e CTC(t), nas camadas superficiais (DOBBS et al., 2008; BALDOTTO; VELLOSO, 2014).

Quanto à relação linear positiva da SB e CTC(t) na safra 2015 (Figuras 19-B e 20-B), essa pode ser atribuída ao aumento também linear de  $K^+$ , em função do aumento das quantidades de palhada no solo. Assim, pela alta taxa de mineralização do  $K^+$  (Tabela 1), este cátion deve ter incrementado os valores da SB e CTC(t).

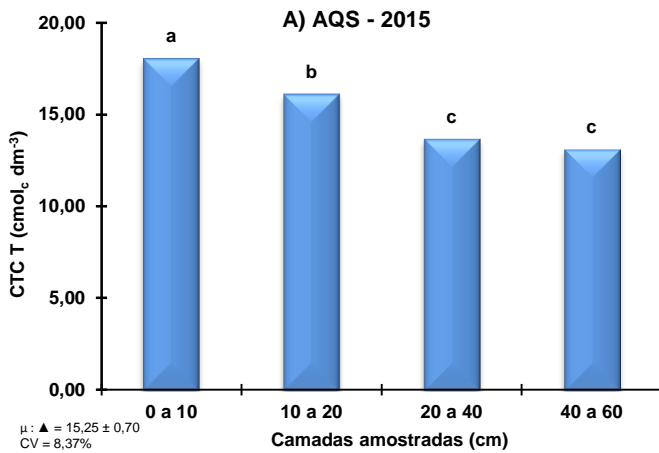
Por outro lado, na safra 2016, as regressões linear negativa para camada de 0–10 cm e quadrática de ponto máximo estimado 9,34 Mg Palhada  $ha^{-1}$ , na camada de 10–20 cm (Figuras 19-D e 20-D), devem estar relacionadas às oscilações nos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , uma vez que estes cátions são os que mais contribuem com a SB e a CTC(t). Além disso,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  apresentaram os mesmos ajustes de regressão para estas camadas (Figuras 17-D e 18-D), ao passo que seus teores diminuíram ou aumentaram, refletindo na SB e na CTC(t).

#### 4.1.9 CTC Potencial (T)

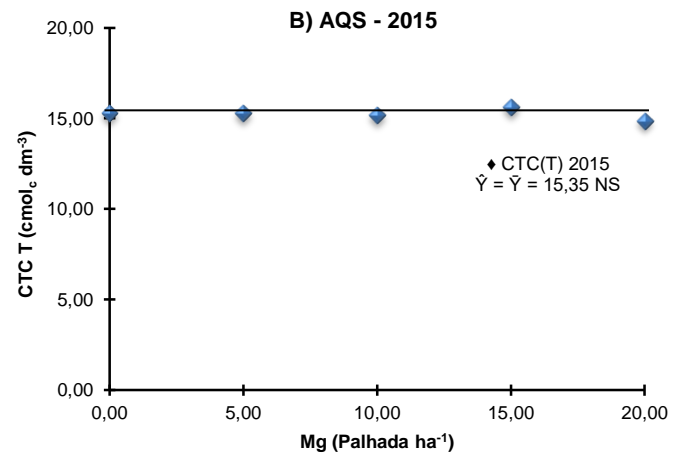
Sobre os valores de CTC (T), observou-se para safra 2015, ausência de interação significativa entre os fatores principais (Tabela 6), com redução significativa com aumento da profundidade de amostragem (Figura 21-A). Quanto à safra 2016, houve interação significativa entre os fatores principais (Tabela 6), com também decréscimos significativos em profundidade, obtendo-se ajustes de regressão, quadrática de ponto mínimo igual a 11,11 Mg Palhada  $ha^{-1}$  para camada 0–10 cm, linear positiva para camada 20–40 cm (Figura 21-D). De acordo com critérios de Ribeiro et al. (1999), os valores obtidos de CTC (T), se enquadram na faixa considera “Bom”, ou seja, maiores que 8,00  $cmol_c dm^{-3}$ .

Estes resultados de altos valores de CTC (T) no sistema cana crua, principalmente nas camadas superficiais, 0–10 e 10–20 cm (Figuras 21-A e 21-C), estão de acordo com os resultados verificados por Silva e Ribeiro (1998) e Correia e Alleoni (2011). Os autores também observaram que, sob sistema cana crua, os valores de CTC (T) tendem a ser maiores do que aqueles com cana queimada. Dessa forma o aporte de matéria orgânica proporcionada pela manutenção da palhada favorece a geração de cargas negativas no solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Nesse sentido, trabalhos de Raj (1969) e Pavan et al. (1985) demonstram ser a matéria orgânica responsável por cerca de 41 a 74% e 56 a 82%, respectivamente, da CTC, de solos dos Estado de São Paulo e Paraná.

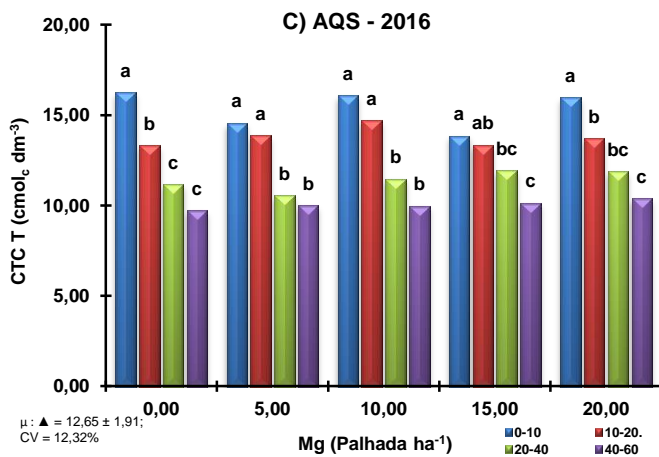
**Figura 21. CTC Potencial (CTC-T) – Safra 2015:** (A) Valores médios de CTC(T) nas camadas amostradas; (B) Valores médios de CTC(T) em função das quantidades de palhada. **Safra 2016:** (C) Valores de CTC(T) em função das camadas amostradas; (D) Valores de CTC(T) em função das quantidades de palhada.



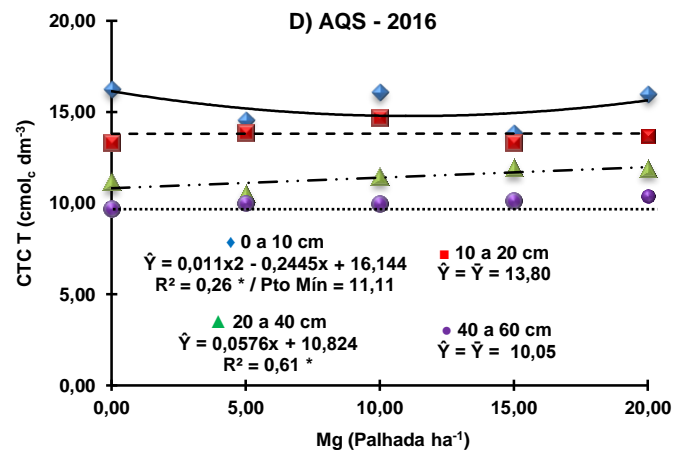
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

(°), (\*) e (\*\*); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F. μ = média aritmética; ▲ = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

Para o ajuste de regressão quadrática de ponto mínimo na camada 0–10, safra 2016 (Figura 21-D), denota-se uma associação de resultados entre a redução linear negativa da SB (Figura 19-D) e o aumento linear da acidez potencial (Figura 13-D). Sendo assim, é possível que até ponto de mínima, a proporção de cátions básicos (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>) tenha sido maior em relação aos íons H<sup>+</sup>, ocorrendo inversão após o ponto de mínima, ou seja, íons H<sup>+</sup> adsorvidos em maior proporção. Dessa forma, a CTC (T) aumentou em virtude da geração de cargas negativas pela dessorção de íons H<sup>+</sup>. E quanto à relação linear positiva na camada 20–40 cm, possivelmente, a maior lixiviação de cátions básicos pode ter acarretado maior valor de CTC (T) nesta camada.

#### 4.1.10 Saturação por Bases (V), Potássio(K%), Cálcio(Ca%) e Magnésio(Mg%)

A respeito da saturação por base (V) foi constatada nas duas safras valores acima a 60% independente da quantidade de palhada ou camadas amostradas (Figuras 22-A, 22-B, 22-C, 22-D). Dessa forma demonstrando que o sistema cana crua, com à manutenção da palhada proporciona condições favoráveis a soqueiras, uma vez que segundo Raij et al. (1996) e Vitti et al. (2015), a saturação por bases (V) adequada para cultura deve ser em torno de 60 %.

Para safra 2015, houve interação significativa dos fatores principais (Tabela 6), com acréscimos significativos em profundidade (Figura 22-A) e ajustes de regressões lineares positivas para as camadas superficiais, de 0–10 e 10–20 cm. Na safra 2016, observou-se apenas efeito significativo das quantidades de palhada, com ajuste de regressão linear negativa.

Resultados semelhantes também foram obtidos por Canellas et al. (2003). No entanto, diferindo do presente trabalho, os autores notaram decréscimos em profundidade, o que está ligado à textura mais arenosa do solo no referido trabalho.

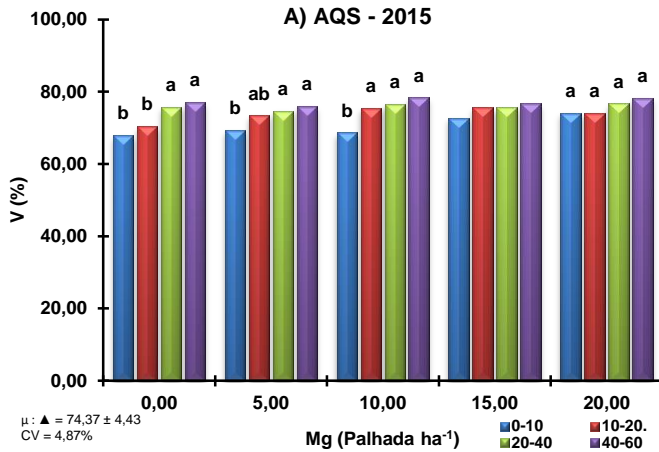
Os acréscimos significativos da saturação por bases (V) em profundidade, presentes na safra 2015 (Figura 22-A), está relacionada à redução da acidez potencial (Figura 13-A) e com aumento do pH (Figura 14-A), em profundidade.

Da mesma forma, as regressões lineares positivas nas camadas superficiais, 0–10 e 10–20 cm (Figura 22-B), na safra 2015, estão associadas à diminuição linear da acidez potencial (Figura 13-B) e ao aumento do pH (Figura 14-B) nestas camadas. A mineralização e a liberação de compostos orgânicos pela palhada neutralizam os íons  $H^+$  e eleva a adsorção de cátions básicos (BRADY; WEIL, 2013), aumentando a saturação por bases(V). Talvez estes efeitos sejam mais pronunciados com aumento da quantidade de palhada no solo.

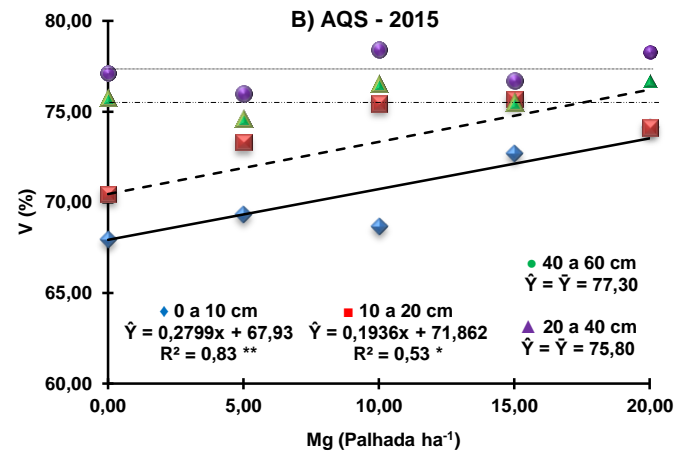
Quanto à relação linear negativa da saturação por bases (V) na safra 2016 (Figura 22-D), fomenta-se que, por um lado, as reações de neutralização de acidez pelos compostos orgânicos sejam transitórias, devido à mineralização destes (AFIF et al., 1995). Por outro, a exportação de nutrientes pela cultura favorece a redução dos teores cátions básicos na CTC(T), e somados as precipitações acima da média, logo após a colheita da 5ª safras (Figura 3 e 4), são fatores que contribuem para maior lixiviação de cátions básicos no solo.

Nas duas safras avaliadas, observou-se desequilíbrio de bases, principalmente a favor da saturação por potássio (K%), bem como de valores abaixo do limite crítico para saturação por cálcio (Ca%). Já a saturação de magnésio (Mg%), oscilou entre as safras, sendo inadequada para a safra 2015 e adequada para a safra 2016.

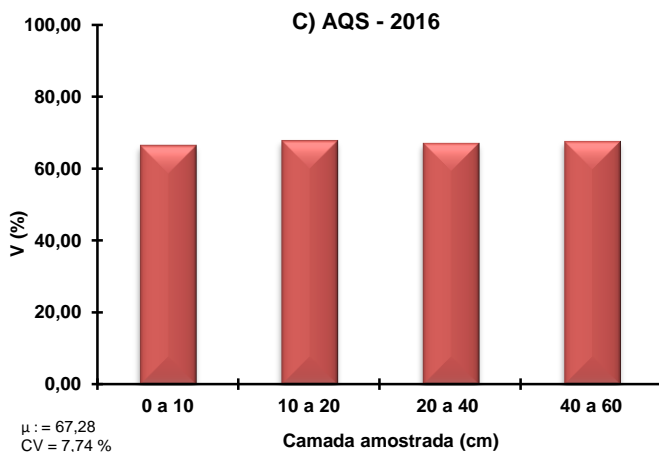
**Figura 22.** Valores de **Saturação por Bases (V)** – **Safra 2015:** (A) Valores da V em função das camadas amostradas; (B) Valores da V em função das quantidades de palhada. **Safra 2016:** (C) Valores médios da V nas camadas amostradas; (D) Valores médios da V em função das quantidades de palhada.



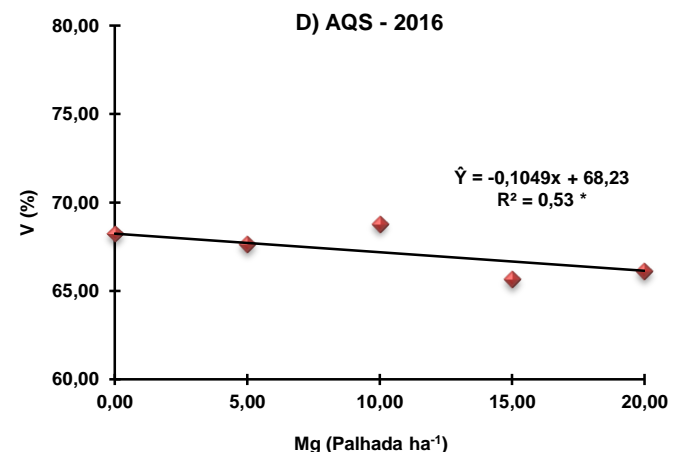
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

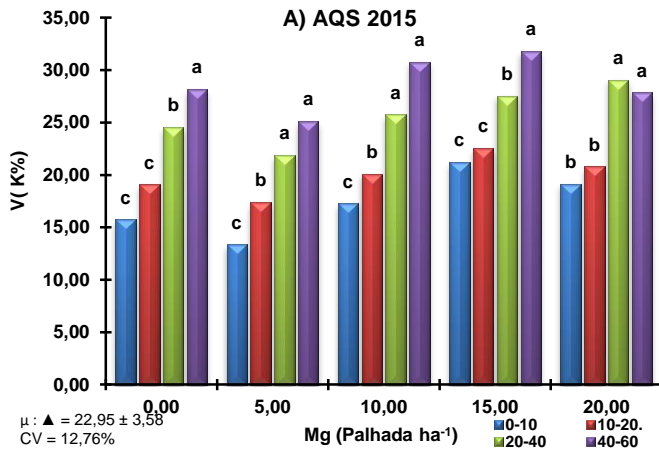


Fonte: Moraes, 2017.

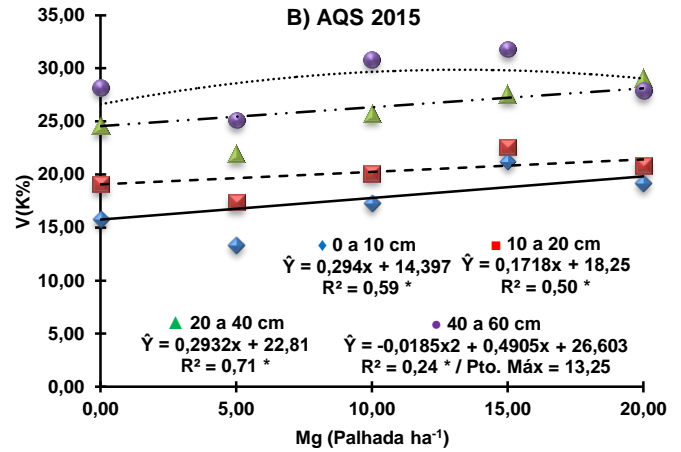
(°), (\*) e (\*\*); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F. μ = média aritmética; ▲ = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

Com relação à saturação por potássio (K%), foram verificados excessos, na ordem de 2, 3 a 4 vezes maiores que o limite máximo de 5%, estabelecido por Albrecht (1996). Na safra 2015, observou-se interação significativa dos fatores principais (Tabela 6), com aumentos significativos em profundidade (23-A) e ajustes de regressão linear positiva para as camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm, e relação quadrática de ponto máximo estimado de 13,25 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, para camada 40–60 cm (Figura 23-B). Para a safra 2016, observou-se somente, efeito significativo entre das camadas amostradas (Tabela 6), com aumento significativo em profundidade (Figura 23-C).

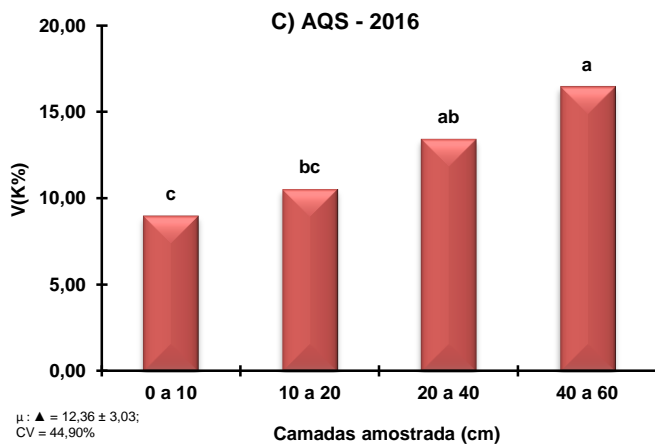
**Figura 23.** Valores de **Saturação de Potássio (K%)** – **Safra 2015:** (A) K% em função das camadas amostradas; (B) K% em função das quantidades de palhada. **Safra 2016:** (C) Valores médios da K% nas camadas amostradas; (D) Valores médios da K% em função das quantidades de palhada avaliadas.



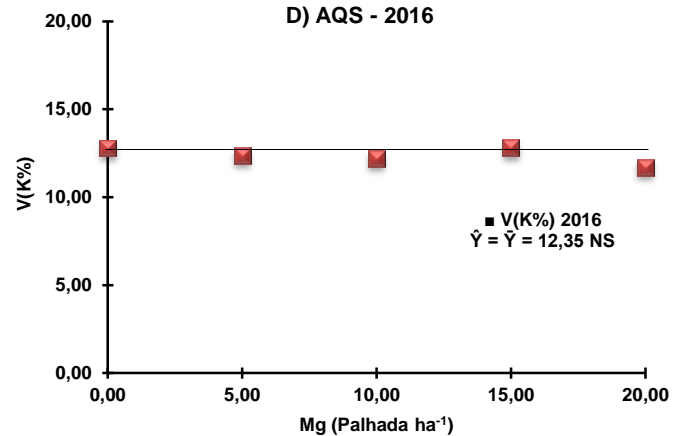
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

(°), (\*) e (\*\*); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F. μ = média aritmética; ▲ = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

A elevação significativa da saturação por potássio (K%) em profundidade (Figuras 23-A e 23-C) é associada a grande lixiviação que o K<sup>+</sup> apresenta, em razão da sua grande capacidade de hidratação, devido ao seu caráter monovalente (FREIRE, 1993; MEURER, 2012). Além disso, as precipitações acima da média histórica (Figuras 3 e 4) podem ter contribuído também para estes resultados.

As relações lineares positivas nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm, na safra 2015 (Figura 23-B), em função do aumento das quantidades de palhada no solo, evidenciam possíveis efeitos negativos da palhada ao equilíbrio de bases, sobretudo a favor da saturação por

potássio (K%). Sendo tal questão já abordada por Sordi e Manechini (2013). Estes autores discorrem sobre as possíveis consequências ao equilíbrio de bases no solo, decorrente a manutenção da palhada, que segundo eles, poderia exceder os limites máximos de 5%. Assim, o presente trabalho vem a expor que esta discussão é passível de pesquisas, uma vez que as unidades sucroenergéticas adicionalmente aplicam sobre a palhada, a vinhaça, subproduto rico em K (FREIRE; CORTEZ, 2000), o que pode vir acentuar o ainda mais o aumento da saturação por potássio (K%) no solo.

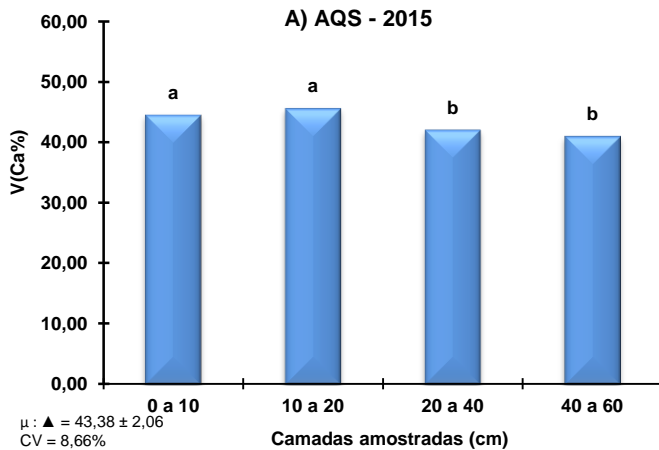
Por outro lado, Orlando Filho et al. (1996) mencionam que incrementos de produtividade tendem a ser atingido quando a K% na CTC(T) excede 5%. Dessa forma, o que viria ser um benefício adicional pela manutenção da palhada no solo. No entanto, apesar dos autores justificarem estes resultados em função da alta demanda por K pela cultura, é necessário ressaltar que a K% acima dos limites de 5%, poder vir a ocasionar efeitos deletérios à absorção de Ca e Mg (PRADO, 2008; BRADY; WEIL, 2013), o que aumentaria a incidência de tombamento nos canaviais e também dificultaria a produção de açúcar, pelo efeito negativo da cristalização da sacarose (FREIRE; CORTEZ, 2000; RIPOLLI; RIPOLLI, 2004; CAVALCANTE; ALBUQUERQUE, 2012). O resultado seria aumento de custos na produção canavieira, decorrente a alta K%.

Nas duas safras, os valores da saturação por cálcio (Ca%) não atingiram percentuais maiores que 50%, isto é, abaixo do limite crítico preconizado por Albrecht (1996), de 50%. Na safra 2015, não houve interação significativa dos fatores principais (Tabela 6), com redução significativa da Ca% em profundidade (24-A), e ajuste de relação cúbica entre a saturação por cálcio (Ca%) e as quantidades de palhada, tendo como ponto mínimo e máximo estimados, respectivamente de, 16,52 e 4,29 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> (Figura 24-B). Quanto à safra 2016, houve interação significativa dos fatores principais (Tabela 6), apresentando diferenças significativas entre camadas amostradas, nas quantidades de 0, 5 e 10 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> (Figura 24-C), sendo verificado também ajuste de regressão linear negativa, para a camada superficial, de 0–10 cm. (Figura 24-D).

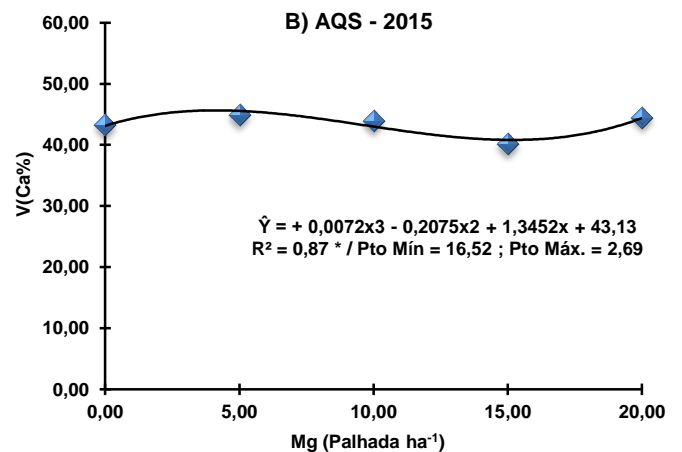
Os maiores valores da saturação por cálcio (Ca%) nas camadas superficiais 0–10 e 10–20 cm (Figuras 24-A e 24-C) são decorrentes do maior aporte de Ca pela mineralização da palhada nestas camadas, e também por ser um nutriente imóvel dentro da planta (MALAVOLTA et al., 1997); o que favorece o seu menor aporte em profundidade, quando, na decomposição de raízes. Já a relação cúbica, na camada 0–10 cm, (Figura 24-B) da safra 2015, seguiu a mesma tendência dos teores trocáveis de Ca<sup>2+</sup> (Figura 17-B). E quanto à

relação linear negativa, na camada de 0–10 cm, na safra 2016 (Figura 24-D), atribui-se a esta redução, o aumento da saturação por magnésio (Mg%) nesta camada (Figura 25-D).

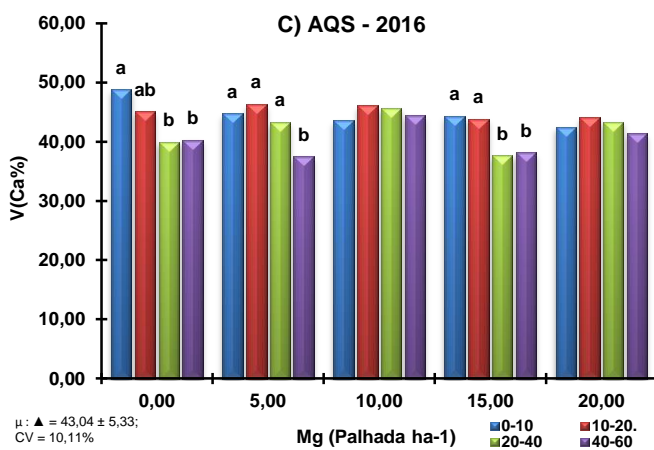
**Figura 24.** Valores de **Saturação de Cálcio (Ca%)** – **Safra 2015:** (A) Valores médios de Ca% nas camadas amostradas; (B) Valores médios de Ca% em função das quantidades de palhada. **Safra 2016:** (C) Ca% em função das camadas amostradas; (D) Ca% em função das quantidades de palhada.



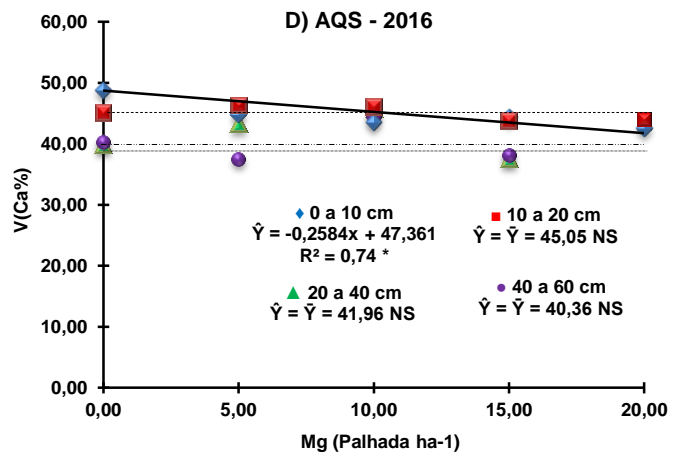
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



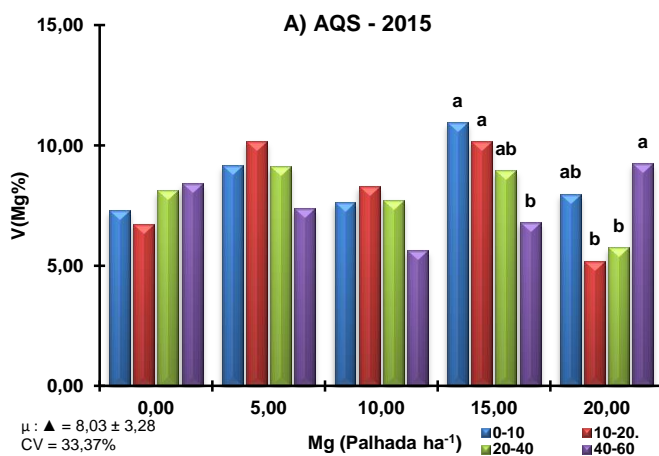
Fonte: Moraes, 2017.

( ° ), ( \* ) e ( \*\* ); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F.  $\mu$  = média aritmética;  $\blacktriangle$  = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

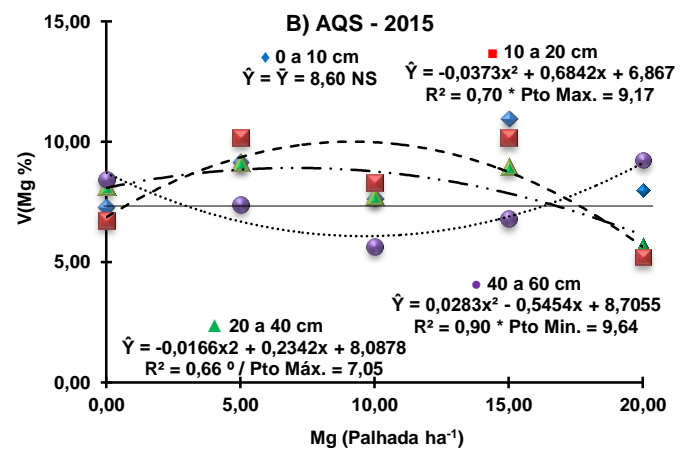
No que se refere à saturação por magnésio (Mg%), houve interação significativa dos fatores principais, nas duas safras avaliadas (Tabela 6), tendo para safra 2015 valores abaixo de 10%, o que caracteriza níveis inadequados da saturação por magnésio (Mg%). Também para essa mesma safra, houve diferenças significativas entre camadas amostradas nas

quantidades de 15 e 20 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> (Figura 25-A), e ajustes de regressão quadráticas de pontos máximos estimados, respectivamente, de 9,07 e 7,05 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, nas camadas de 10–20 e 20–40 cm (Figura 25-B).

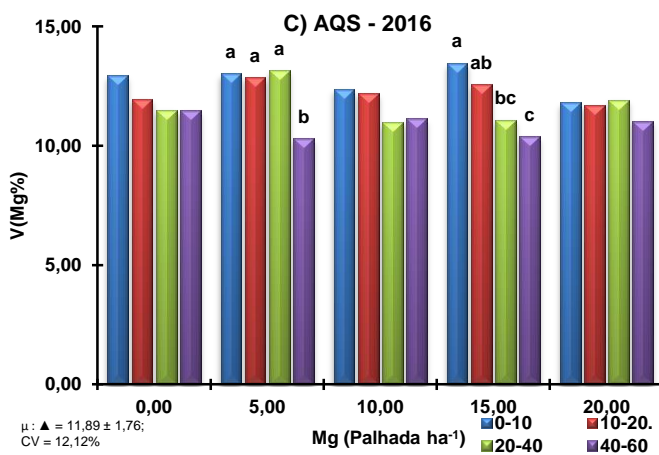
**Figura 25. Saturação de Magnésio (Mg%) – Safra 2015:** (A) Valores de Mg% em função das camadas amostradas; (B) Mg% em função das quantidades de palhada. **Safra 2016:** (C) Mg% em função das camadas amostradas; (D) Mg% em função das quantidades de palhada.



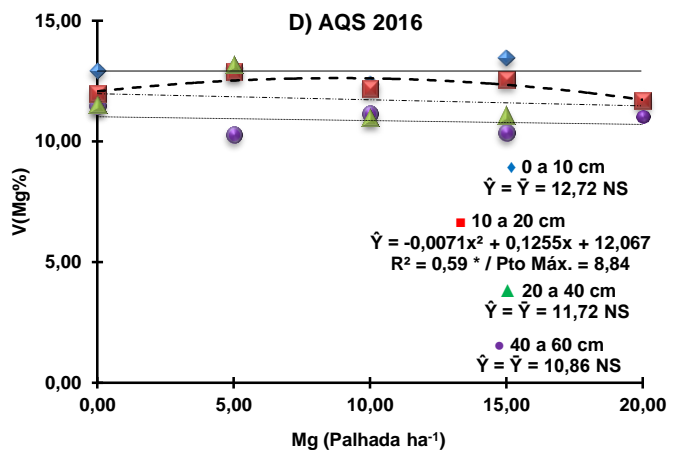
Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.



Fonte: Moraes, 2017.

( ° ), ( \* ) e ( \*\* ); Regressões significativas a 10%, 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas das mesmas letras entre as camadas amostradas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de letras corresponde a resultados não-significativos a 10%, 5% e 1% pelo Teste F. μ = média aritmética; ▲ = Diferença Média Significativa; CV = Coeficiente de Variação. AQS: Análise Química de Solo.

Já na safra 2016, a saturação por magnésio (Mg%), apresentou valores entre 10 e 15%, portanto dentro dos limites estabelecido por Albrecht (1996). Houve diferenças significativas entre camadas para saturação por magnésio (Mg%), nas quantidade de 5 e 15 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>

(Figura 25-C), e ajuste de regressão apenas para camada 10–20 cm, sendo esta, quadrática de ponto máximo estimado de 8,84 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> (Figura 25-D).

As diferenças significativas da saturação por magnésio (Mg%) entre as camadas amostradas, nas quantidades de 15 e 20 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> (Figura 25-A) na safra 2015, indicam que nas quantidades de 15,00 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> o maior aporte de Mg pela mineralização da palhada contribuiu para estes resultados. Enquanto na quantidade de 20 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, a maior saturação por magnésio (Mg%) na camada 40–60 cm, denota possivelmente lixiviação de Mg<sup>2+</sup> para esta camada.

Por outro lado, na safra 2016, a ausência a diferença estatística entre as camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm, na quantidade de 5 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> (Figura 25-C), mostra que a redução na saturação por potássio (K%) favoreceu este aumento. Já na quantidade 20 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, a mineralização da palhada deve ter aumentado o aporte de Mg<sup>2+</sup>, elevando a saturação por magnésio (Mg%) nas camadas superficiais (Figura 25-C).

Em relação ao ajuste quadrático na safra 2015, de ponto máximo estimado de 9,7 e 7,05 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para as camadas de 10–20 e 20–40 cm (Figura 25-B), provavelmente, seja em razão do aumento da K% na camada de 0 – 10 cm (Figura 23-A), elevando a Mg% em profundidade. E após o ponto de máxima (Figura 25-B), diminuído, pelo, também aumento linear da saturação de potássio (K%) nas camadas de 10–20 e 20–40 cm (Figura 23-A).

De outra forma, a relação quadrática de ponto máximo estimado igual a 8,84 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> na camada de 10–20 cm, na safra 2016, demonstra o potencial da palhada em aumentar a Mg% em ciclos subsequentes da cultura, mesmo ainda que na camada inferior a 0–10 cm.

Esses resultados de desequilíbrio de bases no complexo sortivo do solo apontam para importância da interpretação das análises químicas de solo de forma criteriosa e ponderada. Isso porque, num primeiro momento, em ambas as safras, os altos teores Ca<sup>2+</sup>, bem como, de SB, CTC(t), CTC(T) e V deixam claro a alta fertilidade do solo, independente da quantidade de palhada. Entretanto, ao passo que se volta à atenção para o equilíbrio de bases, depara-se em excesso de K% e deficiência de Ca%, de acordo com critérios preconizados por Albrecht (1996). Dessa forma, a disponibilidade de Ca e Mg seriam prejudicadas, uma vez que, abaixo dos limites adequados de saturação na CTC(T), há menor descolamento destes elementos, do complexo sortivo para a solução do solo (BRADY; WEIL, 2013), gerando desequilíbrios nutricionais a cultura, potencializados com excesso da saturação por potássio (K%).

## 4.2 DIAGNOSE FOLIAR

### 4.2.1 Macronutrientes: N, P, K, Ca e Mg

Acerca dos resultados dos macronutrientes, não houve, com exceção do Ca na safra 2015, ajustes de regressões significativas em função do aumento da quantidade de palhada no solo, em nenhuma das safras avaliadas (Tabela 7).

**Tabela 7.** Análise de variância para os macronutrientes e micronutrientes nas duas safras avaliadas.

	Saфра	Bloco	Qtd. Palhada	Coef. Variação (%)	Méd. Geral	s(m) Geral	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
		Valor de p ( Pr > Fc )						
<b>Nitrogênio</b>	<b>2015</b>	0,7046	0,8812 ns	14,50 Md	19,66	0,6182	$\hat{Y} = \bar{Y} = 19,66$	NS
	<b>2016</b>	0,6532	0,1678 ns	8,60 Bx	16,45	0,4078	$\hat{Y} = \bar{Y} = 16,45$	NS
<b>Fósforo</b>	<b>2015</b>	0,6465	0,4949 ns	9,46 Bx	4,76	0,1163	$\hat{Y} = \bar{Y} = 4,76$	NS
	<b>2016</b>	0,4182	0,6053 ns	17,28 Md	1,95	0,0831	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,95$	NS
<b>Potássio</b>	<b>2015</b>	0,6762	0,4909 ns	13,36 Md	18,77	0,6134	$\hat{Y} = \bar{Y} = 18,77$	NS
	<b>2016</b>	0,0251	0,5919 ns	8,98 Bx	17,75	0,5307	$\hat{Y} = \bar{Y} = 17,75$	NS
<b>Cálcio</b>	<b>2015</b>	0,2585	0,0280 *	15,32 Md	6,09	0,3564	$\hat{Y} = 0,0242x^2 - 0,4784x + 7,24$	0,91
	<b>2016</b>	0,2980	0,2286 ns	19,12 Md	3,70	0,2068	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,70$	NS
<b>Magnésio</b>	<b>2015</b>	0,5532	0,1210 ns	11,68 Md	1,94	0,0692	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,94$	NS
	<b>2016</b>	0,2052	0,4762 ns	11,22 Md	2,05	0,0629	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,05$	NS
<b>Manganês</b>	<b>2015</b>	0,4497	0,2491 ns	15,21 Md	140,65	5,9870	$\hat{Y} = \bar{Y} = 140,65$	NS
	<b>2016</b>	0,4766	0,1562 ns	14,19 Md	162,61	6,8528	$\hat{Y} = \bar{Y} = 162,61$	NS
<b>Cobre</b>	<b>2015</b>	0,4049	0,9060 ns	30,33 Mt.Alt.	7,84	0,5444	$\hat{Y} = \bar{Y} = 7,84$	NS
	<b>2016</b>	0,0178	0,5422 ns	30,89 Mt.Alt.	5,40	0,5783	$\hat{Y} = \bar{Y} = 5,40$	NS
<b>Zinco</b>	<b>2015</b>	0,6499	0,6197 ns	31,18 Mt.Alt.	8,02	0,5894	$\hat{Y} = \bar{Y} = 8,02$	NS
	<b>2016</b>	0,1117	0,1362 ns	27,81 Alt	7,30	0,6784	$\hat{Y} = \bar{Y} = 7,30$	NS

**Fonte:** Moraes, 2017. “ns” e ( \* ): não-significativo e significativos a 5 % pelo Teste F, respectivamente. <sup>1</sup>QPS = Quantidade de Palhada no Solo; <sup>2</sup>CV = Coeficiente de Variação, classificado segundo critérios de Pimentel Gomes (2000): 0 a 10 % = Baixo (Bx); 10 a 20 % = Médio (Md); 20 a 30 % = Alto (Alt); e, > 30 % = Muito Alto (Mt.Alt.). <sup>3</sup>s(m) = Erro Padrão da Média.

Para os teores de nitrogênio (N) na safra 2015, com exceção das quantidades de 10 e 15 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, foi constatada deficiência deste nutriente. Enquanto na safra 2016, a

deficiência de N foi generalizada, isto é, independente da quantidade de palhada no solo, ficando os teores de N abaixo do limite crítico de  $20 \text{ g kg}^{-1}$  (Malavolta et al., 1997). Porém, é necessário ressaltar que, em valores absolutos, as maiores deficiências de N, nas duas safras, ocorreram na maior quantidade de palhada ( $20 \text{ Mg Palhada ha}^{-1}$ ) (Figura 26).

Estes resultados da deficiência de N, principalmente na safra 2016, eram esperados. Isso porque, ao longo de seis safras, a palhada foi fonte única de N para cultura. A alta relação C:N da palhada, próxima a 100:1 (OLIVEIRA et al., 1999a; 1999b; RAMOS et al., 2016), infere numa baixa taxa de decomposição e mineralização (VITTI et al., 2008), que pode vir a prejudicar a disponibilidade N a cultura.

Segundo trabalho de Vitti et al. (2011), o N proveniente da palhada representou apenas 13,09% do N total absorvido pela cultura, enquanto o N fornecido pelo fertilizante alcançou valores próximos a 30 %. O que reforça a questão que a palhada como fonte única de N pode apresentar limitações.

Por outro lado, essa deficiência de N não pode ser atribuída somente à baixa taxa de mineralização do N pela palhada, mas também aos processos de imobilização e desnitrificação (GAVA et al., 2001). Em função da alta relação C:N da palhada, os microrganismos, quando em sua decomposição, tendem a incorporar o N ao seu protoplasma (RAIJ, 1984), o que acaba por reduzir temporariamente sua disponibilidade à cultura. Já desnitrificação vem a ocorrer sob baixo potencial redox, em condições de solo saturado. Assim, o  $\text{NO}_3^-$  é reduzido a  $\text{N}_2\text{O}$ , o que favorece a sua perda por volatilização. Dessa forma, este último processo, seria uma das explicações para as maiores deficiências de N nas quantidades de  $20 \text{ Mg Palhada ha}^{-1}$ , em razão dessa maior quantidade de palhada favorecer uma menor aeração e maior retenção de umidade (PEREZ et al., 2010).

Contudo, apesar dos baixos teores foliares de N em ambas as safras, ressalta-se que a manutenção da palhada é fonte potencial de N nas safras subsequentes, em virtude da sua contínua decomposição e mineralização (FORTES et al., 2012). Estudos de simulação realizados por Vallis et al. (1996) e Trivelin et al. (2013), respectivamente, na Austrália e no Brasil, demonstram que, no prazo de uma década, a manutenção da palhada pode vir a reduzir o consumo de fertilizantes, o que representaria ganhos econômicos e ambientais. Também Costa et al. (2014), em estudo de simulação para região Centro-Sul do Brasil, observaram que, mesmo na aplicação de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (equivalente a 44% da dose total de N para cana-soca), isto não compensaria os efeitos da retirada total da palhada na produtividade. Tais estudos deixam clara a importância da manutenção da palhada como fonte de N a cultura.

Quanto aos teores de fósforo (P), não foi detectada deficiência independente da safra avaliada (Figura 27). Dessa maneira, destacando que a manutenção da palhada junto à sua mineralização ao longo das safras contribuiu para a redução da deficiência de fósforo. No entanto, observa-se uma redução de até 2 vezes nos teores foliares de P, da safra 2015 para safra 2016.

Os maiores de teores de P na safra 2015, (Figura 27) podem ser atribuídos além da alta disponibilidade fósforo no solo, às faixas de pH não ácidas, nas camadas superficiais de 0–10 e 10–20 cm, nesta safra (Figura 14-B). De outro modo, para a redução dos teores de P na safra 2016, fomenta-se que, em função precipitações acima da média nesta safra (Figura 3 e 4), a manutenção da palhada, somada à textura mais argilosa do solo, possa ter contribuído para condições de solo saturado, reduzindo à difusão de O<sub>2</sub> nos poros do solo, prejudicando a respiração das raízes. Pelo fato de haver necessidade da geração de ATP por meio da respiração das raízes, para absorção ativa do P (MALAVOLTA, 2006), a redução na taxa respiratória destas, podem ter assim diminuído a absorção de P pela planta. Tal questão é reforçada ainda por não ter ocorrido deficiências de Mg na safra 2016, pois é conhecido o efeito sinérgico do Mg na absorção de P (MALAVOLTA et al., 1997).

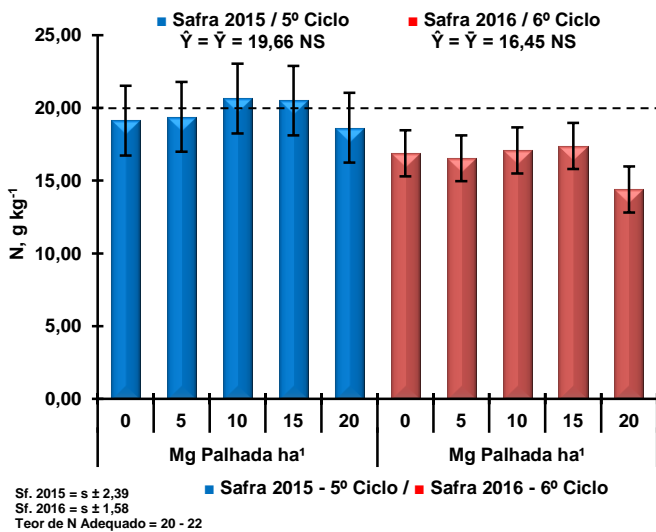
Sobre os teores foliares de K, não houve deficiência, tanto na safra 2015, quanto na safra 2016 (Figura 28). Resultados estes, provavelmente, em função da alta K% no solo. Além disso, o K é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura, sendo também importante considerar que, pelo fato da cana-de-açúcar ser uma *Poacea*, esta possui baixa capacidade de troca de cátions de raízes (CTCR), o que favorece ainda mais a alta absorção de K.

O Ca foi o único nutriente a ter ajustes de regressão, sendo este na safra 2015, de relação quadrática de ponto mínimo estimado de 9,88 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> (Figura 29). Já na safra 2016, a deficiência de Ca foi generalizada. Duarte Júnior e Coelho (2008), também verificaram deficiência de Ca no sistema cana crua.

Com relação ao ajuste de regressão na safra 2015, pode-se sugerir que pela mineralização da palhada, possivelmente, houve maior aporte de Ca na solução do solo. Outro ponto a levantar seria a maior presença de raízes mais jovens, dado que a absorção de Ca é feita unicamente por estas raízes (PRADO, 2008).

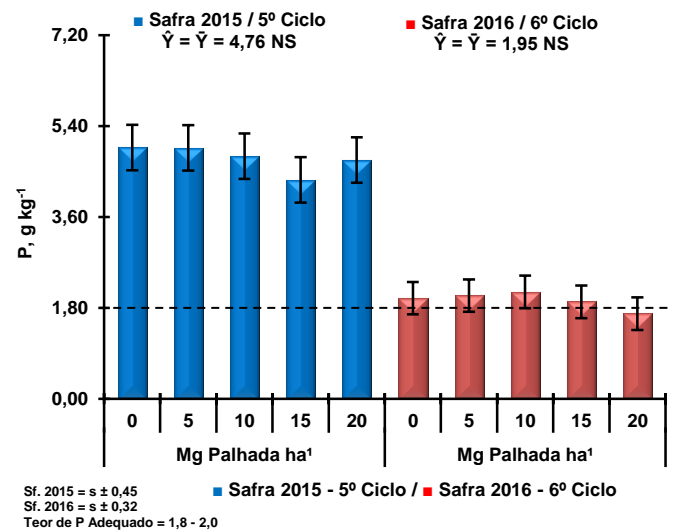
Quanto à deficiência generalizada de Ca na safra 2016, aponta-se que aumento da Mg% no solo (Figura 25-D), pode ter, junto com alta K% (Figura 23-D), acentuado os efeitos inibitórios da absorção de Ca pela cultura (MALAVOLTA, 2006).

**Figura 26.** Diagnóstico foliar para **Nitrogênio** nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada.



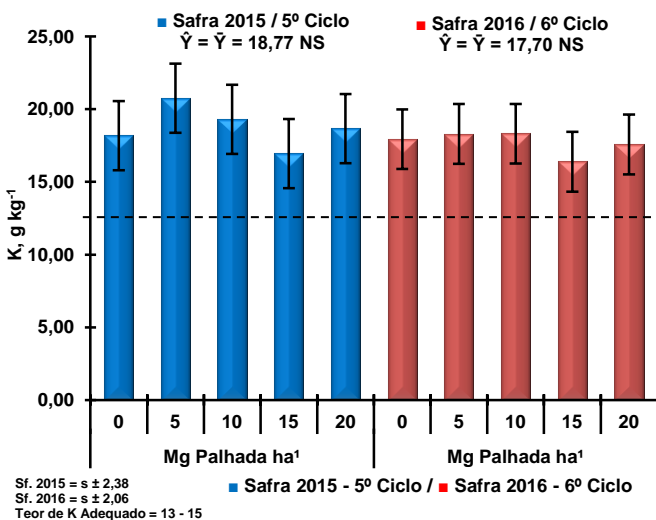
Fonte: Moraes, 2017.

**Figura 27.** Diagnóstico foliar para **Fósforo** nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada.



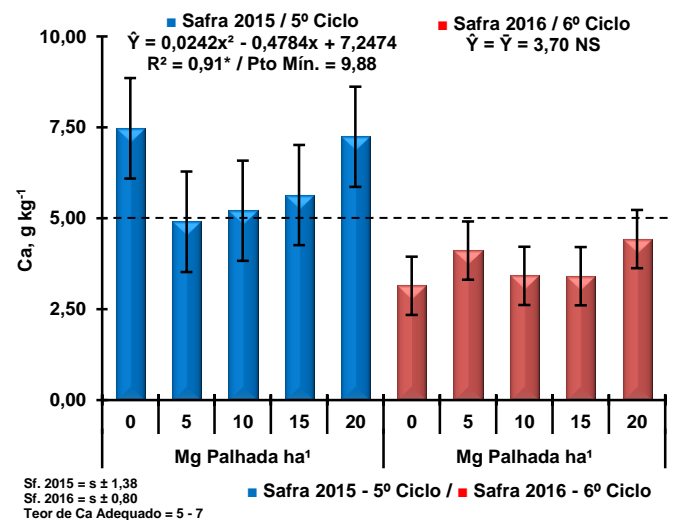
Fonte: Moraes, 2017.

**Figura 28.** Diagnóstico foliar para **Potássio** nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada.



Fonte: Moraes, 2017.

**Figura 29.** Diagnóstico foliar para **Cálcio** nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada.



Fonte: Moraes, 2017.

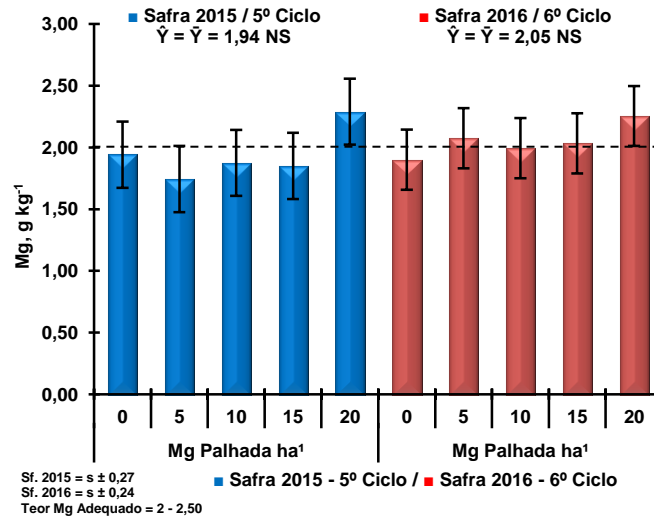
(s) = desvio padrão. 1) As barras indicam o desvio padrão (n=15); 2) A linha tracejada indica o valor mínimo adequado pela faixa de interpretação foliar para cana-soca, de acordo com MALAVOLTA et al.,1997

Para os teores foliares de Mg, foi verificado na safra 2015 que apenas na quantidade de 20,00 Mg Palhada ha<sup>-1</sup> não ocorreu deficiência (Figura 30). Dessa forma, fomenta-se que a Mg% abaixo de 10%, somado à K%, pode ter provocado tais resultados.

Por outro lado, na safra 2016, somente na quantidade de 0,00 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, ocorreu a deficiência de Mg (Figura 30). Assim demonstrando a importância da palhada para a

nutrição de Mg à cultura. Sendo assim, a permanência da palhada propiciou o aumento da Mg% (Figura 25-C e 25-D), com isso favorecendo a sua absorção.

**Figura 30.** Diagnóstico foliar para **Magnésio** nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada.



Fonte: Moraes, 2017.

(s) = desvio padrão. 1) As barras indicam o desvio padrão (n=15); 2) A linha tracejada indica o valor mínimo adequado pela faixa de interpretação foliar para cana-soca, de acordo com MALAVOLTA et al., 1997

#### 4.2.2 Micronutrientes: Mn, Cu e Zn

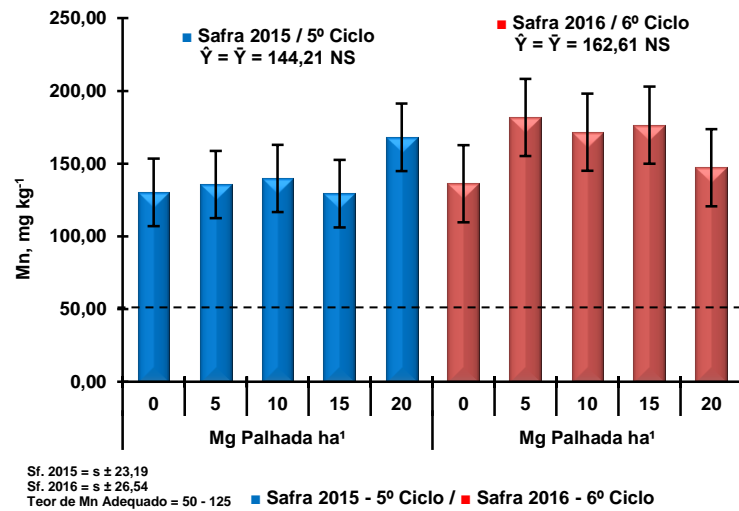
Assim como para os macronutrientes, também não houveram ajustes de regressão significativas para os micronutrientes (Tabela 7).

A respeito dos teores de Manganês (Mn), não houve deficiência em ambas as safras (Figura 31). Quanto aos teores de Cobre (Cu), foi verificada na safra 2015 que suas deficiências ocorreram somente nas quantidades de 0,0 e 20,0 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>. No entanto, na safra 2016, observou-se deficiência generalizada de Cu (Figura 32). Já os teores foliares de Zinco (Zn) apresentaram deficiência generalizada independente da safra avaliada (Figura 33).

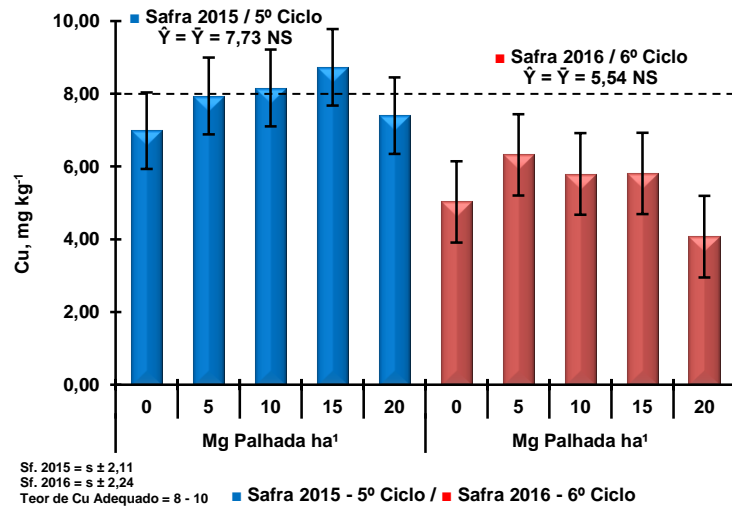
Estas deficiências de Cu e Zn são relatadas por Orlando Filho et al. (1994) e Quaggio e Rajj (2010) como sendo um dos principais fatores que limitam a produtividade canavieira no Brasil. As causas para estas deficiências talvez sejam faixa de pH acima de 5,5 (Figuras 14-A a 14-D) e quelatização destes micronutrientes metálicos pela matéria orgânica. No caso do Zn, além destes fatores, tem-se também que o P e o Mg tendem a reduzir sua absorção (MALAVOLTA et al., 1997).

As constatações de deficiência nutricional, seja para os macro ou micronutrientes, em função do aumento das quantidades de palhada no solo, expõem, portanto, necessidade do

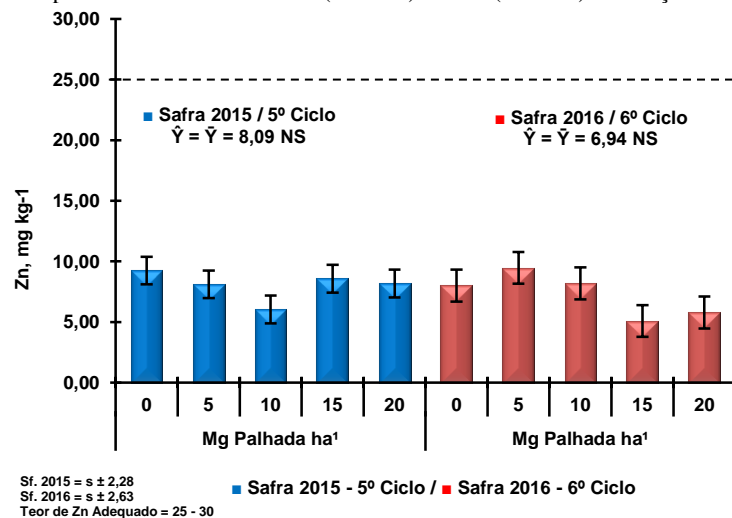
**Figura 31.** Diagnose foliar para **Manganês** nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada.



**Figura 32.** Diagnose foliar para **Cobre** nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada.



**Figura 33.** Diagnose foliar para **Zinco** nas Safras 2015 (5º Ciclo) e 2016 (6º Ciclo) em função das quantidades de palhada.



(s) = desvio padrão. 1) As barras indicam o desvio padrão (n=15); 2) A linha tracejada indica o valor mínimo adequado pela faixa de interpretação foliar para cana-soca, de acordo com MALAVOLTA et al.,1997

**Fonte:** Moraes, 2017.

monitoramento via diagnose foliar no sistema cana crua. Isso porque, como no caso de Ca, altos teores dos elementos no solo, não sejam necessariamente sinônimo de teores foliares adequados. Sendo assim, o presente estudo vem discordar de Rossetto et al. (2004) que os autores mencionam ser a diagnose foliar uma ferramenta de baixa sensibilidade em captar as necessidades nutricionais da cultura.

#### **4.3 PRODUTIVIDADE: TCH E ATR**

A respeito dos resultados de produtividade, independente da safra avaliada, não houve ajustes de regressão significativos (Tabela 8). Em comparação à média de produtividade da região Centro-Sul, referente à Safra 2015/16, a safra 2015 obteve um valor 15% abaixo, enquanto na safra 2016 a redução foi 40% (Figura 34).

A ausência de efeitos significativos nas duas safras avaliadas (Tabela 8) é necessário considerar que a produtividade agrícola é um fator condicionado pela expressão do fenótipo, neste caso a variedade SP80–1816. Sendo assim, a expressão do fenótipo constitui-se de um fator dependente da interação genótipo mais ambiente (BORÉM; MIRANDA, 2009).

Neste sentido, tendo-se em vista o genótipo, tem-se que variedade SP80–1816, foi desenvolvida para ser plantada em solos de alta fertilidade e em regiões de alta precipitação anual (ARIZONO, 2003). Além disso, a variedade apresenta, em condição de cana crua, alto potencial de produtivo, ótima brotação de soqueira e perfilhamento, apresentando também, pouca suscetibilidade ao florescimento e rica na produção de açúcar. (LANDELL, 2010).

Quanto ao fator ambiente, retratado pelas condições edáficas e de tempo nas suas safras avaliadas, que não houve restrições ao desenvolvimento da cultura, demonstrado pela alta V, fósforo disponível e faixa de pH não ácidas. Sobre as condições de tempo, verifica-se que as temperaturas oscilaram de 10 °C a 35 °C (Figuras 5 e 6), portanto dentro dos limites estabelecidos para cana-de-açúcar (MARIN et al., 2009), e que as precipitação, salvo os primeiros meses após a colheita da 4ª safra, não propiciaram déficit hídrico (Figuras 5 e 6) ao longo dos meses de cultivo.

Com isso, ao somar condições ambientais às genotípicas da variedade em questão, percebe-se não ter havido restrições à expressão do fenótipo, o que poderia explicar a falta de significância no resultados de produtividade. Entretanto, é observado nas safras avaliadas, as maiores produtividades ocorreram nas maiores quantidades de palhada no solo, corroborando assim com Aquino e Medina, (2014) e Aquino et al., (2015). Os autores, ao longo de quatro

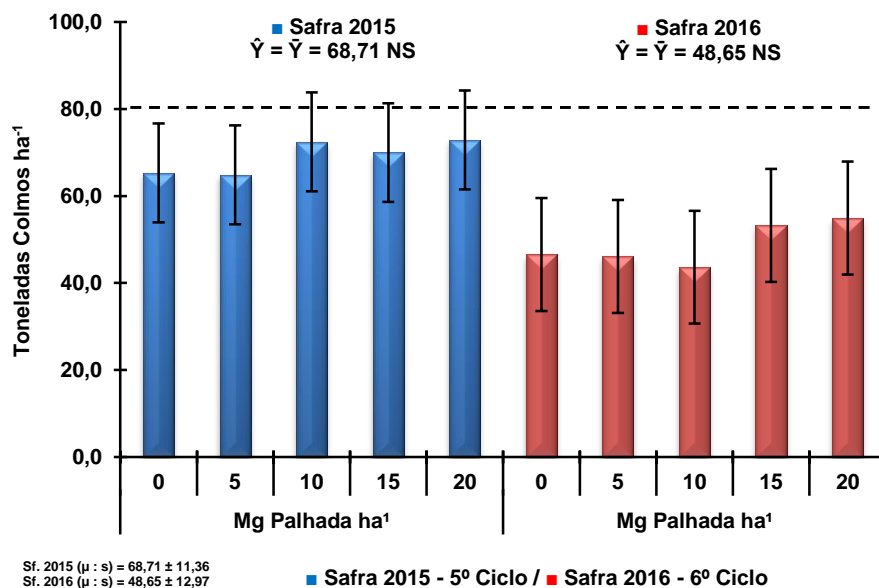
**Tabela 8.** Análise de variância para os resultados de produtividade, na Safra 2015 (5ª Ciclo, 4ª Soqueira) e Safra 2016 (6ª Ciclo, 5ª Soqueira).

Safra	Bloco	Qtd. Palhada		Coef. Variação		Média Geral	S(m) Geral	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
		Valor de p ( Pr > Fc )		(%)					
TCH	2015	0,0721	0,7964 ns	14,96	Md	68,71	7,4840	$\hat{Y} = \bar{Y} = 68,71$	NS
	2016	0,0075	0,7146 ns	20,72	Alt	48,65	9,0967	$\hat{Y} = \bar{Y} = 48,65$	NS
ATR	2015	0,1938	0,9336 ns	2,82	Bx	153,11	1,0694	$\hat{Y} = \bar{Y} = 154,11$	NS
	2016	0,9538	0,4008 ns	5,72	Bx	142,15	1,8964	$\hat{Y} = \bar{Y} = 142,15$	NS

“ns” e (\*): não-significativo e significativos a 5 % pelo Teste F, respectivamente. <sup>1</sup>QPS = Quantidade de Palhada no Solo; <sup>2</sup>CV = Coeficiente de Variação, classificado segundo critérios de Pimentel Gomes (2000): 0 a 10 % = Baixo (Bx); 10 a 20 % = Médio (Md); 20 a 30 % = Alto (Alt); e, > 30 % = Muito Alto (Mt.Alt.). <sup>3</sup>s(m) = Erro Padrão da Média.

Fonte: Moraes, 2017.

**Figura 34.** Produtividade, em Toneladas de Colmos ha<sup>-1</sup> (TCH), para a Safra 2015 (5ª Ciclo, 4ª Soqueira) e para Safra 2016 (6ª Ciclo, 5ª Soqueira).



Fonte: Moraes, 2017.

( $\mu$ ) = média aritmética; (s) = desvio padrão. A linha tracejada corresponde valor médio de TCH obtido na região Centro-Sul do Brasil (RS, SC, PR, SP, MG, MS, MT, GO, ES e RJ) = 80,24 Toneladas Colmos ha<sup>-1</sup>. As barras indicam o desvio padrão de cada quantidade de palhada avaliada.

ciclos, na mesma área experimental, verificaram ser a manutenção da palhada fonte de incrementos a produtividade canavieira. Assim, estes resultados podem ser associados aos benefícios gerados pela palhada, seja na adição de nutrientes através de sua mineralização, ou pelo favorecimento da retenção de umidade no solo, o que reduz a suscetibilidade da cultura ao déficit hídrico (PEREZ et al., 2010; SANTIAGO et al., 2016). Sendo este último de elevada importância, em razão de ser o principal responsável pela diminuição da produção agrícola (MARENCO; LOPES, 2011).

Tal questão pode ser observada pelas menores produtividades, em função das menores quantidades de palhada no solo, nas duas safras avaliadas (Figura 34). A ausência ou a baixa quantidade de palhada no solo favorece a rápida perda de água por evaporação ou escoamento (SPAROVECH; MAULE, 2015). Dessa forma, em períodos de seca, a taxa transpiratória da planta pode exceder a sua taxa de absorção de água, o que logo vem acarretar o estado de estresse hídrico ou déficit hídrico na planta (LOPES; LIMA, 2015).

Sendo assim, estando à planta no estado de déficit hídrico, eleva-se a concentração de ácido abscísico (ABA), conseqüentemente, gerando o fechamento estomático e reduzindo a transpiração, e também inibindo o crescimento vegetal. Por conseguinte, a planta reduz o crescimento da parte aérea e induz o desenvolvimento radicular. Assim, a consequência de todas estas reações é o decréscimo da produtividade agrícola (LOPES; LIMA, 2015). Portanto, demonstrando ser uma das explicações para as maiores produtividades, nas maiores quantidades de palhada no solo (Figura 34).

De outro modo, nota-se também que, em ambas as safras, 2015 e 2016, a quantidade de 20 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, permaneceu sendo uma das condições de maiores produtividades. Essa questão permite fomentar a hipótese de que, ao longo das socas subsequentes, a maior quantidade de palhada tende a propiciar condições menos favoráveis de estresse à planta, o que permitiria um menor gasto energético a cada safra, refletido em produtividade (AQUINO et al., 2015).

Ainda sobre os resultados de produtividade (Figura 34), considera-se uma reflexão sobre a não significância estatística, visto a importância da palhada no solo. Dessa forma, seguindo raciocínio exposto por Loureiro e Gameiro (2011), de como deve ser a ponderação dos pesquisadores diante das conclusões de seus trabalhos quando, resultados de relevância prática são irrelevantes diante do p-valor, e o contrário, de resultados práticos irrelevantes, mas de alta significância pelo p-valor. Mesmo que os autores retratem essa discussão a área de medicina e enfermagem, é relevante esta questão diante os resultados de produtividade (e fertilidade e nutrição) alcançados em função da manutenção da palhada no solo.

Com relação à redução da produtividade da safra 2015 para safra 2016, em média de 30%, associa-se a estes resultados, as deficiências generalizadas de N, Ca, Cu e Zn, na safra 2016. E isto é reforçando, mediante a ausência de déficit hídrico ou temperaturas abaixo de 10°C ou acima de 35°C (Figuras 3 e 4).

Por parte do N, tem-se que em sua deficiência há um encurtamento de entrenós e também afinamento de colmos, além da diminuição do número de perfilho. Vitti et al. (2010)

destacam ainda, que estas disfunções ocorrem devido na carência de N diminuir a produção de esqueletos de carbono, em função da redução da taxa fotossintética.

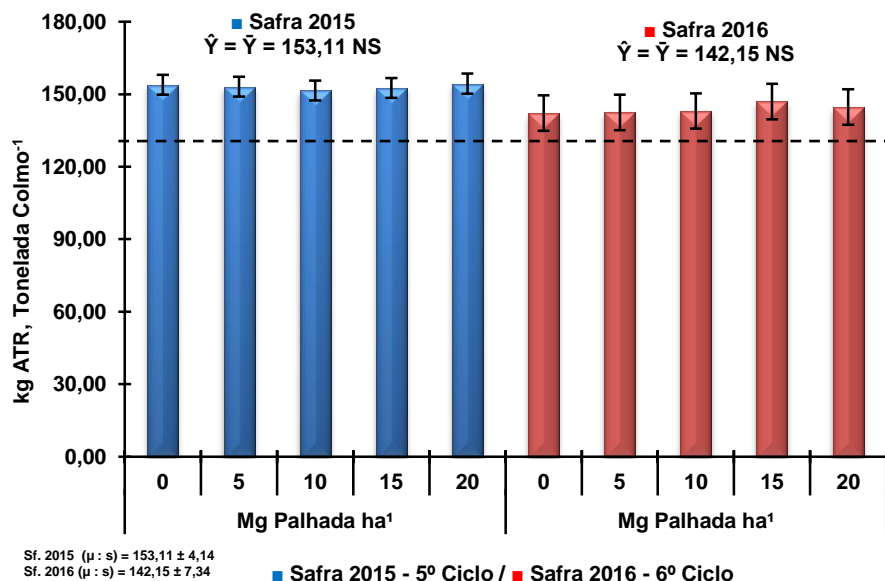
Já a deficiência de Ca torna os colmos também mais finos e mais suscetíveis ao tombamento, pela perda de turgidez, em razão da falta de “cimentação” na lamela média pelo cálcio (PRADO, 2008).

Quanto ao Zn, sabe-se que na sua deficiência há redução na síntese de proteínas, devido à sua participação nos ribossomos (MALAVOLTA, 2006). E o Cu, por participar da plastocianina, transportadora de elétrons na fotossíntese, tende a diminuir a taxa fotossintética em sua deficiência. Desse modo, estando Zn e Cu em deficiência, a planta se torna mais suscetível ao tombamento e tende a apresentar colmos mais finos (PRADO, 2008).

Sendo assim, percebe-se que todos os nutrientes mencionados, proporcionam reduções no peso de colmos, refletindo, portanto, na redução da produtividade final da cultura.

Acerca da produção de ATR (açúcares totais recuperáveis), constatou-se assim como para produtividade (TCH), o efeito não significativo em função das quantidades de palhada no solo (Tabela 8) (Figura 35). No entanto, obteve-se para safras 2015 e 2016, respectivamente, valores 16,15% e 7,83% maiores que a média da região Centro-Sul, referente safra 2015/16 (CONAB, 2017). Da mesma forma, Souza et al. (2005) verificaram, em estudo com 18 variedades de cana-de-açúcar, aumento na produção de ATR no sistema cana crua.

**Figura 35.** Resultados da Produção de ATR (Açúcares Totais Recuperáveis por Toneladas de Colmos) para a Safra 2015 (5ª Ciclo, 4ª Soqueira) e para Safra 2016 (6ª Ciclo, 5ª Soqueira).



**Fonte:** Moraes, 2017.

(μ) = Média Aritmética; (s) = desvio padrão. A linha tracejada corresponde valor médio de ATR obtido na região Centro-Sul do Brasil (RS, SC, PR, SP, MG, MS, MT, GO, ES e RJ) = 131,82 kg ATR TONELADA<sup>-1</sup> COLMO. As barras indicam o desvio padrão de cada quantidade de palhada avaliada.

Os resultados da presente pesquisa demonstram então que, por um lado, a permanência da palhada no solo não infere sobre a produção de açúcar pela planta. Por outro, a alta extração de K pela cultura, favorecida pelos elevados teores de  $K^+$  em função da palhada, contribuiu para estes valores, uma vez que o K está envolvido na síntese de açúcares pela planta (MALAVOLTA et al., 1997; MALAVOLTA, 2006).

A respeito da redução de 7,16% na produção de ATR da safra 2015 para safra 2016, isto possivelmente, esteja atrelado à diminuição da produtividade (TCH) (RESENDE et al., 2006). Entretanto, considera-se também que a deficiência generalizada e mais acentuada de Cu na safra 2016 (Figura 32) tenha colaborado para estes resultados. Isso porque o Cu é um nutriente que participa diretamente no processo fotossintético, fazendo o transporte de elétrons entre os fotossistemas I e II, através da plastocianina e outros sistemas enzimáticos (PRADO, 2008). Provavelmente, a deficiência de Cu tenha proporcionado reduções na taxa fotossintética, afetando, assim, a produção de açúcares pela cultura.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

#### 5.1.1 Carbono Orgânico Total (COT)

Os teores de COT aumentam até a quantidade de 9,22 Mg Palhada  $ha^{-1}$  ( $\approx$  10,00 Mg Palhada  $ha^{-1}$ ), com maiores concentrações nas camadas superficiais, de 0–10 e 10 – 20 cm.

#### 5.1.2 Acidez Potencial (H+Al)

O aumento das quantidades de palhada na superfície do solo contribui para redução da acidez potencial nas camadas superficiais, 0–10 e 10–20 cm. No entanto, quantidades crescentes de palhada na soqueira subsequente da cultura favorecem o aumento da acidez potencial na camada superficial, de 0–10 cm. Além disso, independente da quantidade de palhada mantida no solo, os maiores teores de acidez potencial ocorrem nas camadas superficiais, 0–10 cm e 10–20 cm.

### 5.1.3 Acidez Ativa (pH CaCl<sub>2</sub>)

Quantidades crescentes de palhada na superfície do solo acarretam aumento de pH nas camadas superficiais de 0–10 e 10–20 cm, proporcionando também elevação de pH em profundidade.

### 5.1.4 Fósforo

As quantidades crescentes de palhada no solo contribuem para o aumento dos teores de fósforo entre 3,91 ( $\approx$  5,00) Mg Palhada ha<sup>-1</sup> a 13,72 ( $\approx$ 15,00) Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, com redução em seus teores na soca subsequente até a quantidade de 13,28 ( $\approx$ 15,00) Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, na camada superficial, 0–10 cm, em virtude da manutenção da palhada no solo. De outra forma, independente das quantidades de palhada, os maiores teores de P se concentram nas camadas superficiais de 0–10 e 10–20 cm.

### 5.1.5 Teores de Potássio (K<sup>+</sup>)

Há aumento nos teores de K<sup>+</sup> em função do aumento das quantidades de palhada no solo, assim como em profundidade.

### 5.1.6 Teores de Cálcio (Ca<sup>2+</sup>)

Em função do aumento das quantidades de palhada no solo, há diminuições nos teores de Ca<sup>2+</sup> entre 4,28 ( $\approx$  5,00) a 14,46 ( $\approx$ 15,00) Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, sendo que quantidades crescentes de palhada no ciclo subsequente da cultura, favorecem reduções nos teores de Ca<sup>2+</sup> na camada de 0–10 cm, e aumentos até a quantidade de 8,82 ( $\approx$ 10,00) Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, na camada de 10–20 cm. Por outro lado, o aporte de palhada pós-colheita da cultura garante maiores teores de Ca<sup>2+</sup> nas camadas superficiais, 0–10 cm e 10–20 cm.

### 5.1.7 Teores de Magnésio ( $Mg^{2+}$ )

O aumento na quantidade de palhada em superfície contribui para elevar os teores de  $Mg^{2+}$  nas camadas de 0–10 cm, 10–20 cm e 20–40 cm, respectivamente, até as quantidades de 11,27; 9,08; e, 7,28 Mg Palhada  $ha^{-1}$ . Contudo, quantidades crescentes de palhada na soqueira subsequente da cana-de-açúcar acarretam reduções de  $Mg^{2+}$  na camada de 0–10 cm, e aumentos até a quantidade de 9,50 ( $\approx 10,00$ ) Mg Palhada  $ha^{-1}$ . Também independente da quantidade de palhada no solo, os maiores teores de  $Mg^{2+}$  ocorrem nas camadas superficiais, 0–10 cm e 10–20 cm.

### 5.1.8 Soma de Bases (SB) e CTC(t) Efetiva

Os valores de SB e CTC(t) apresentam aumentos em função do aumento da quantidade de palhada no solo; porém, no ciclo subsequente da cultura, quantidades crescentes de palhada ocasionam reduções na SB e CTC(t) na camada de 0–10 cm, e aumentos até a quantidade de 9,35 ( $\approx 10,00$ ) Mg Palhada  $ha^{-1}$  na camada de 10–20 cm. Independe quantidade de palhada no solo, os maiores valores de SB e CTC(t) se concentram nas camadas de 0–10 e 10–20 cm.

### 5.1.9 CTC(T) Potencial

As quantidades crescentes de palhada no solo acarretam reduções na CTC(T) até as quantidade 11,11 Mg Palhada  $ha^{-1}$  na camada de 0–10 cm, e aumentos na CTC(T) na camada 20–40 cm. Independente da quantidade de palhada no solo há decréscimo na CTC(T) em profundidade.

### 5.1.10 Saturação por Bases (V), Potássio(K%), Cálcio(Ca%) e Magnésio(Mg%)

Há aumentos na saturação por bases (V) nas camadas de 0–10 e 10–20 cm, em função do aumento da quantidade de palhada no solo, e da mesma maneira, aumento da saturação por bases em profundidade. Já no ciclo

subsequente da cultura, quantidades crescentes de palhada no solo favorecem a redução da saturação por bases.

Para a saturação por potássio (K%), há aumentos nas camadas de 0–10 cm, 10–20 cm e 20–40 cm, em função do aumento das quantidades de palhada no solo. E também, elevação em profundidade da saturação por potássio (K%), independente da quantidade de palhada no solo.

Quanto à saturação por cálcio (Ca%), há reduções em seus valores em função do aumento da quantidade de palhada no solo, sobretudo na camada 0–10 cm.

Já a saturação por magnésio (Mg%) apresenta aumentos nas camadas de 10–20 cm e 20–40 cm, até as quantidades de 9,17 e 7,05 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e redução na camada de 40–60 cm até quantidade de 9,64 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>. No entanto, quantidades crescentes de palhada no ciclo subsequente da cultura, favorecem valores de Mg(%) entre 10% e 15% em profundidade, com aumentos na camada de 10–20 cm, até a quantidade de 8,84 Mg Palhada ha<sup>-1</sup>.

## 5.2 DIAGNOSE FOLIAR

O aumento das quantidades de palhada no solo e a manutenção destas quantidades no ciclo subsequentes da cultura favorecem teores foliares adequados de P, K e Mn, e deficiências de N, Cu e Zn.

Quanto aos teores foliares de Mg, as quantidades crescentes de palhada no solo podem em uma safra acarretar deficiências; no entanto, no ciclo subsequente da cultura, a permanência destas quantidades no solo promove teores foliares adequados de Mg.

Para teores foliares de Ca, o aumento das quantidades de palhada no solo em um ciclo propiciam teores adequados de Ca; porém, a manutenção da palhada no solo no ciclo subsequente da cultura promove deficiências de Ca.

### 5.3 PRODUTIVIDADE E ATR

Nas condições de 5º e 6º ciclo da cana-de-açúcar, o aumento nas quantidades de palhada e manutenção destas quantidades no ciclo subsequente da cultura não afetam a produtividade e a produção de ATR pela cultura.

## 6 REFERÊNCIAS

AFIF, E.; BARRO N.V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. **Soil Scienc**, 1995, 159: 207–211.

ALBRECHT, W.A. **The Albrecht Papers: foundation concepts**. 3 ed. Austin: Acres U.S.A; 1996.

ALLEONI, L.R.F.; MELLO, J.W.V.; ROCHA, W.S.D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica In: Alleoni, L.R.F.; Melo, V.F. (editores). **Química e mineralogia do solo – parte 2: aplicações**. Viçosa: SBCS, 2016. p.70–122.

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola**, v.57, p.653-659, 2000. DOI: 10.1590/S0103-90162000000400009.

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), Viçosa - MG, v. 27, n.4, p. 1003-1011, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600004>.

ANDRADE, F.V.; MENDONCA, E.S.; SILVA, I.R.; MATEUS, R. F. Dry-matter production and phosphorus accumulation by maize plants in response to the addition of organic acids in Oxisols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, p. 2733-2745, 2007. <http://dx.doi.org/10.1080/00103620701662976>

ANDRADE, J.C. Conceitos Básicos. In: Alleoni, L.R.F.; Melo, V.F. (editores). **Química e mineralogia do solo – parte 1: conceitos básicos**. Viçosa: SBCS; 2016. p.1–71.

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

AQUINO, G.S.; MEDINA, C.C. ; PORTERA JUNIOR, A.L.; SANTOS, L.O.; CUNHA, A. C. B.; KUSSABA, D.A.O. ; SANTOS JUNIOR, J.H.; ALMEIDA, L.F.; SANTIAGO, A.D. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)**, v. 50, p. 1150-1159, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001200004

- 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**. v. 49, p. 173-180, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000300003
- ARALDI, R.; SILVA, F.M.L.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, 40(3), 694-702. 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000033>
- ARIZONO, H. Bula 2003: variedades de cana-de-açúcar. São Carlos. Universidade Federal de São Carlos, 2003. 50p. (**Boletim Técnico**).
- BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X. Eletroquímica de solos modais e de sua matéria orgânica em ambientes tropicais. **Revista Ceres**, 61(6), 1012-1021. (2014). <https://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461060018>
- BANZATTO, D.A.; KRONKA, N.S. Delineamento em blocos casualizados. In: \_\_\_\_\_. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. p.73-92.
- BARBIN, D. Princípios básicos da experimentação. In: \_\_\_\_\_. **Planejamento e análise estatística de experimentos agrônômicos**. 2. ed. Londrina: Mecenas, 2013. p.21-23.
- BARBOSA, V.F.A; Plantio. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, Açúcar e Etanol : tecnologias e perspectivas**. 2 ed. – Viçosa, MG. 2012. Os Editores. p.51-72.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.7-18.
- BELARDO, G.C; ROSA, J.H.M; MAGALHÃES, P.S. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. C; CASSIA, M. T; SILVA, R. P. (Eds.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. p.335-356.
- BENITES, V.M.; MENDONCA, E.S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência Solo [online]**. 1998, vol.22, n.2, pp.215-221. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000200006>.
- BIDOIA, M.A.P.; BIDOIA, M.A.P. Instalação e colheita de experimentos. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2008, v. 1, p. 821-838.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V.; Interação genótipo x ambiente. In: BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. 5. ed. **Melhoramento genético de plantas**. Viçosa, MG. Ed. UFV, 2009. p.110-119.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades do solo**. Tradução: Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRAUNBECK, O.A; MAGALHÃES, P.S.G. Colheita e recuperação da biomassa. In: CORTEZ, L. A. B; LORA, E. S; GOMEZ, E. O. (Eds.). **Biomassa para Energia**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. p.63-90.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo: I - fracionamento sequencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29(6), 935-944. 2005. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000600011>

CALONEGO, J.C.; GIL, F.C.; SANTOS, V.F.; SANTOS, E.A. Persistência e liberação de nutrientes da palhada de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 770-781, 2012.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27(5), 935-944. 2003. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G.; SILVA, M.B.E.; SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.1, p. 133-143, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000100016>

CARDOSO, I.M.; MEER, P.V.D.; OENEMA, O.; JANSSEN, B.; KUYPER, T. Analysis of phosphorus by <sup>31</sup>P NMR in Oxisols under agroforestry and conventional coffee systems in Brazil. **Geoderma** (Amsterdam), Holanda, v. 112, p. 51-70, 2003. DOI: 10.1007/0-306-47624-X\_496

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the State of Paraná, Brazil. **Soil Till.** 65:45-51, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00275-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00275-6)

CAVALCANTE, C.S.; ALBUQUERQUE, F.M. Processo de produção do açúcar. In: SANTOS, F.A. (ORG.); BOREM, A. (ORG.); CALDAS, C. S. (ORG.). **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e etanol**. 2. ed. Viçosa: Folha da Mata, 2012. v.1. p.391-450.

CEDDIA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; LIMA, E.; SILVA, L.A.; RAVELLI NETO, A. Sistemas de colheita de cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1467-1473, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999000800019>.

CESSA, R.M.A.; VITORINO, A.C.T.; CELI, L.; NOVELINO, J.O.; BARBERIS, E. Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. **Revista Brasileira de**

**Ciência do Solo** [online]. 2010, vol.34, n.5, pp.1535-1542. ISSN 1806-9657.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000500006>.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Séries históricas. [ Acesso em 10 de setembro de 2016 ] Disponível em:  
[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina\\_objcmsconteudos=2#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos) .

CORREIA, B.L; ALLEONI, L.R.F. Conteúdo de carbono e atributos químicos de Latossolo sob cana-de-açúcar colhida com e sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(8), 944-952. 2011. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000800022>

COSTA, L. G.; MARIN, F. R.; NASSIF, D.S.P.; PINTO, H.M.S.; LOPES-ASSAD, M.L.R.C. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2014, vol.18, n.5, pp.469-474. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000500001>.

DALBEN, L.C.; ROMANELLI, T. Manejo de palha para utilização como matéria prima. In: BELARDO, G.C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R. P. (Eds.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal : SBEA, 2015. p.519-526.

DE BEER, A.G.; PILCHER, J.R.; BOAST, M.M.; MEYER, E. Mechanical green cane harvesting. In: Internataional society of sugar cane technologists, 18. La Habana, Fev. 21-26, 1983. **Proceedings Cuba**, 1983. V.1. p.450-460.

DICK, D.P.; NOVOTNY, E.; DIEKOW, J.; BAYER, C. Química da Matéria Orgânica do Solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds).. (Org.). **Química e Mineralogia do Solo: Parte II - Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, v. 2, p. 1-68.

DIEHL, R.C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)**, v. 32, p. 2653-2659, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000700007>

DOBBSS, L.B. ET AL. CANELLAS, L.P.; ALLEONI, L.R.F.; REZENDE, C.E.; FONTES, M.P.F.; VELLOSO, A.C.X. Eletroquímica de latossolos brasileiros após a remoção da matéria orgânica humificada solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [online]. 2008, vol.32, n.3 [. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300008>.

DUARTE JÚNIOR, J.B.; COELHO, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia**

**Agrícola e Ambiental**, 12(6), 576-583. 2008. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000600003>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, 2009.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina, Planta, 2006. 403p.

FAPESP. **Etanol de segunda geração com biogás**. Disponível em: < [http://agencia.fapesp.br/etanol\\_de\\_segunda\\_geracao\\_com\\_biogas/15120/](http://agencia.fapesp.br/etanol_de_segunda_geracao_com_biogas/15120/) > Acesso em: 27 de Agosto de 2015.

FELTRE, R. Funções químicas. In:\_\_\_\_\_. **Fundamentos da química**. São Paulo: Moderna, 1990. p. 83-110.

FERNANDES, M.S; SOUZA, S.R. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M. S (eds.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 115-151.

FERREIRA, D.F.; SISVAR: a Computer Statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez., 2011.

FIORETTO, R.A.; CARNEIRO, C.E.A.; PAVAN, M.A.; FIORETTO, C.C.; BÜLL, L.T. A função da palhada da cana de açúcar na acidez do solo. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 33, p. 2069/62-2074, 2009.

FORTES, C; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in São Paulo state, Brazil. **Biomass & Bioenergy**, v. 42, p. 189-198, 2012. doi:10.1016/j.biombioe.2012.03.011

FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R.; CASSIOLATO, M.E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Avaliação biológica do potencial de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000200020>.

FRANCHINI, J.C.; CAMPO, C.B.H.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Grã-Bretanha, v. 34, n.13&14, p. 2045-2058, 2003. DOI: 10.1081/CSS-120023237

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alteração na química de solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência**

**do Solo**, Viçosa, v. 23, n.3, p. 533-542, 1999a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000300006>

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n.12, p. 2267-2276, 1999b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200014>

FREGONEZI, G.A.F.; ESPINDOLA, C.R. Perfil de manejo na identificação de modificações químicas do solo decorrentes do uso agrícola. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, 2008;29: 485 – 498. Doi:10.5433/1679-0359.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36(11), 1347-1354. (2001). <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001001100004>

HUE, N. Effects of Organic Acids/Anions on P Sorption and Phytoavailability in Soils With Different Mineralogies. **Soil Science**. 152(6). 1991. DOI: 10.1097/00010694-199112000-00009

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual técnico de pedologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 323 p.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**. Belo Horizonte, 1997;5:1.17-40

KONONOVA, M.M. Materia orgânica del suelo; su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona, Oikos-Tau, 1982. 364p.

LOPES, N.F.; LIMA, M.G.S. **Fisiologia da Produção**. Viçosa: UFV, 2015. 492p .

LOUREIRO, L.M.J.; GAMEIRO, M.G.H. Interpretação crítica dos resultados estatísticos: para lá da significância estatística. **Revista de Enfermagem Referência**, III Série - n.º 3 - Mar. 2011.

LUCA, E.F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.; CORREA; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(2), 789-800. 2008. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200033>

MALAVOLTA, E. Absorção, transporte e redistribuição. In:\_\_\_\_\_. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. p. 57-125.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 201p.

MANECHINI, C. Manejo agronômico da cana crua. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA – COPERSUCAR, 7, 1997, Piracicaba. **Anais...**

MARENCO, R.A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, Respiração, Relações Hídricas e Nutrição Mineral**. Viçosa: Editora UFV, 2005. v. 1. 45.

MARIN, F.R.; PELLEGRINO, G.Q.; ASSAD, E.D.; PINTO, H. S.; ZULLO, J.R. Agrometeorologia da Cana-de-Açúcar. In: INMET. (Org.). **Agrometeorologia dos Cultivos - Levantamento Sistemático de Informações Agrometeorológicas e Fitotécnicas**. Brasília: INMET, 2009, v. 1, p. -

MARTINS FILHO, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; JÚNIOR, J.M.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.8-18, jan./mar. 2009.

MC MAHON, G. Green cane trash blanketing promoted in the Burdekin district. Oct. **BSES Bulletin**, nº 36, 1991. p.18-19.

MEDA, A.R.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M.; CASSIOLATO, M.E. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasil, v. 26, n.03, p. 647-654, 2002.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000300009>.

MENDONZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B.; ANTUNES, M.V.M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24(1), 201-207. 2000. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000100022>

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 5ª ed. Porto Alegre: Evangraf; 2012. 275p.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 411-416, 1993.

MORAES, M.F.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; COSCIONE, A. R. Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31(4), 673-684. (2007).  
<https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000400008>

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J. Residual fertilizer nitrogen as influenced by timing and nitrogen forms in a silty clay soil under sugarcane in Mauritius. **Fert. Res.**,14:219-226, 1987.

NOVA CANA. **Impacto da crise**. Disponível em: <  
<http://www.novacana.com/n/industria/financeiro/crise-fitch-analise-situacao-financeira-47-usinas-070515/>> Acesso em: 28 de Agosto de 2015.

- OLIVEIRA, A.P.P; LIMA E; ANJOS, L.H.C; ZONTA, E; PEREIRA, M.G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.9, p.939–947, 2014.
- OLIVEIRA, M.W.; BARBOSA, M.H.P.; MENDES, L.C.; DAMASCENO, C.M. Matéria seca e nutrientes da palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **STAB**. vol.21, p.30-31, 2003.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 34:2359-2362, 1999a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200024>
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C. P. 1999b. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, 56(4), 803-809. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161999000400006>
- ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, FEALQ, 1993. p.133-46.
- ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; MURAOKA, T.; ZOTELLI, H.H. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. **STAB. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 16, n.06, p. 30-33, 1998.
- OTTO, R.; MULVANEY, R.L.; KHAN, S.A.; TRIVELIN, P.C.O. Quantifying soil nitrogen mineralization to improve fertilizer nitrogen management of sugarcane. **Biology and Fertility of Soil**, v.49, p.893-904, 2013. DOI: 10.1007/s00374-013-0787-5
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.D.M.; ZEMOULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR; 1992. **(Circular Técnica, 76)**.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná, Brazil. **Turrialba**, 35:131-139, 1985.
- PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(3), 911-920. (2008). <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>
- PENATTI, C.P. Cana colhida sem queimar: uso de nitrogênio na palhada. **Agrícola Informa**. Coopersucar, Piracicaba-SP, n. 115, mar/2000.
- PENATTI, C.P. Nitrogênio – 3. Sistema de cana colhida sem a queima da palha (cana crua) – considerações gerais sobre nutrição e benefícios da palhada. In: \_\_\_\_\_. **Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência**. Itu : Ottoni, 2013. P. 82-130.

- PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. **Ciência e Agrotecnologia**, 32(1), 68-72. (2008). <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000100010>
- PERES, G.; SOUZA, F.; LAVORENTI, N.A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, [online]. 2010, vol.30, n.5, pp.875-886. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000500010>.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.
- POTRICH, D.C.; MARCHETTI, M.E.; POTRICH, D.C.; ENSINAS, S.C.; SERRA, A.P.; SILVA, E. F.; SOUZA, N.H. Decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar submetidos a diferentes doses de nitrogênio. **Semina. Ciências Agrárias (online)**, v. 35, p. 1751-1760, 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n4p1751
- PRADO, H. Mineralogia das argilas. In: \_\_\_\_\_. **Pedologia fácil: aplicações em solos tropicais**. 4. ed. Piracicaba: H. do Prado, 2013. p. 52-55.
- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 2008. p. 341-354.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. Cálcio, magnésio e correção da acidez. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. p. 313–322.
- RAIJ B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.
- RAIJ, B. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônômico; 2013.
- RAIJ, B. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: \_\_\_\_\_. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1984. p.17-31.
- RAIJ, B. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, 28:85-112, 1969.
- RAMOS, N.P.; YAMAGUCHI, C.S.; PIRES, A.M.M.; ROSSETTO, R.; POSSENTI, R.A.; PACKER, A.P.C.; CABRAL, O.M.R.; ANDRADE, C.A. Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)**, v. 51, p. 1492-1500, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900048>
- RESENDE, A.S.; SANTOS, A.; XAVIER, R.P.; COELHO, C.H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O.C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**. vol.30, n.6, p.937-941. 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000600003>.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Minas Gerais: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RIBEIRO, H.; FICARELLI, T. R.A. Queimadas nos Canaviais e Perspectivas dos Cortadores de Cana-de-açúcar em Macatuba, São Paulo. **Saúde e Sociedade**. São Paulo, vol.19, n.1, p.48-63, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-12902010000100005>

RIPOLLI, T.C.C et al. (Eds.). **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba, 2006. 198p.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residues: Consequences for soil carbon and nitrogen. **Australia Journal Soil Reserch.**, 45:13-23, 2007. DOI: 10.1071/SR06080

RODRIGUES, J. D. 1995. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu-SP. 101 p.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S.; GARCIA, R.A. Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milho após a dessecação química. **Pesquisa agropecuária brasileira [online]**. vol.42, n.8, pp.1169-1175. 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800014>.

ROSSETTO, R; DIAS, L.F.; VITTI, A.C. Fertilidade do solo, nutrição, e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L.L; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. p.220-238.

SCARPARI, M.S; BEAUCLAIR, E.G.F. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L.L; VASCONCELOS, A.C.M; LANDELL, M.G.A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. p.47-56.

SENGIK E. **Os colóides do solo**. 2003. [Acesso em 25 de Agosto de 2015] Disponível em: < <http://www.nupel.uem.br/coloides-2003.pdf> >

SIGNOR, D; ZANI, C.F.; PALADINI, A.A.; DEON, M.D.; CERRI, C.E.P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(5), 1402-1410. 2014. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000500005>

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de um latossolo amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22(2), 291-299. (1998). <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000200015>

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Org.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v. 1, p. 275-374.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas**. Brasília, MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. 236p.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; Matéria orgânica. In: \_\_\_\_\_. **Microbiologia e bioquímica do solo**. SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. 2 ed., Lavras. Editora UFLA, p.203-261.

SMA. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético Paulista: Dados consolidados das safras 2007/08 a 2013/14**. Disponível em: < <http://www.iea.sp.gov.br/Relat%C3%B3rioConsolidado1512.pdf> > Acesso em: 27 de Agosto de 2015.

SOUSA, G.B; MARTINS FILHO, M.V.; MATIAS, S.S.R. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba-SP. **Engenharia Agrícola**, 32(3), 490-500. 2012. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000300008>

SOUZA, D.M.G. et. al. Acidez do solo e sua correção. . In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Org.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 206-274.

SOUZA, R.A.; TELLES, T.S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M. A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.155, p.1-6, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2012.03.012>

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.271-278, 2005a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000300011>

SOUZA, Z.M.; PAIXÃO, A.C.S.; PRADO, R.M.; CESARIN, L.G.; SOUZA, S.R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, v.35, n.5, p. 1062-1068, 2005b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000500012>.

SOUZA, Z. **Momento atual da bioeletricidade no setor sucroenergético**. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/documentos/apresentacoes/> > Acesso em: 26 de Agosto de 2015.

SPAROVEK, G.; MAULE, R.F. Controle do escoamento superficial difuso de água. In: BELARDO, G.C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. (Eds.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. p.129-148.

SPERA, S.T.; REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SILVA, J.C.S. Características físicas de um Latossolo Vermelho-escuro no cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do Fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p.1817-1824, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000900014>

SPOSITO G. **The chemistry of soil**. New York, Oxford University Press. 2008, 342p.

TAVARES FILHO, J. Física dos solos: características e propriedades. In: \_\_\_\_\_. **Física e conservação do solo e água**. 1ª edição. Londrina: Eduel, 2013. p.18-55.

TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FERREIRA, D.A.; VITTI, A.C.; FORTES, C.; FARONI, C.E.; OLIVEIRA, E.C.A.; CANTARELLA, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia agricola. (Piracicaba, Braz.) [online]**. 2013, vol.70, n.5 <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162013000500009>.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIQUES, J.C. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia<sup>-15</sup>N e aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 30:1375-1385, 1995.

UDOP. **Por que cai a produtividade nos canaviais?** Disponível em: < <http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1109108> > Acesso em: 26 de Agosto de 2015.

UNICA. **Unicadata – Produção**. Disponível em: < <http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4> > Acesso em: 27 de Agosto de 2015.

VALE, F.; ARAÚJO, M.A.G.; VITTI, G.C. Avaliação do estado nutricional dos micronutrientes em áreas de cana-de-açúcar. In: FERTIBIO 2008: DESAFIOS PARA USO DO SOLO COM EFICIÊNCIA E QUALIDADE AMBIENTAL, 2008. Londrina, **Anais...** 2008. p.80.

VALLIS, I.; PARTON, W.J.; KEATING, B.A.; WOOD, A.W. Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. **Soil & Tillage Research**, v.38, p.115-132, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(96\)01014-8](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(96)01014-8)

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

VIAN, C.E.F.; SILVA, R.P.; BARICELO, L.G.; PISSINATO, B. Evolução da produção e mecanização da cana. In: BELARDO, G.C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. (Eds.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. p.73-88.

VIEIRA, L.S. Pedogenêse. In: VIERA, L.S. **Manual da ciência do solo: com ênfase em solos tropicais**. 2. ed. São Paulo, Agronômica Ceres. p.293-310.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M.O.; TOVAJAR, J.G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira Ciência do Solo [online]**. 2008, vol.32, n.spe, p.2757-2762. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000700020>

VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; ROSSETTO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 239-269.

VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D.A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira [online]**. 2011, vol.46, n.3, pp.287-293. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000300009>.

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

VITTI, G.C.; OTTO, R.; FERREIRA, L.R.P. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar. In: BELARDO, G.C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. (Eds.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. p.177-206.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. C.; OTTO, R.; QUINTINO, T. A. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. 2002. 78p. Disponível em: <  
[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti\\_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf) > Acesso em: 10 de Fevereiro de 2012.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in North Queensland. **Soil Till. Res.**, 20:69-85, 1991

ZINN, Y.L.; LAL.; RESCK, D.V.S. Texture and Organic Carbon Relations Described by a Profile Pedotransfer Function for Brazilian Cerrado Soils. **Geoderma** (Amsterdam), Holanda, v. 127, p. 168-173, 2005. doi:10.1016/j.still.2004.08.007

**APENDICE: RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE SOLO E FOLHA**

**Tabela 9.** Resultados da Análise Química de Solo para Safra 2015 (5º Ciclo, 4ª Soqueira). Bandeirantes-PR.

Mg Palh. ha <sup>-1</sup>	<sup>1</sup> COT		<sup>1</sup> Fósforo		<sup>2</sup> pH		<sup>1</sup> Complexo Sortivo										Saturação por Cátions Ácidos e Básicos																	
	WB		Melich-1		CaCl <sub>2</sub>		H + Al		Al <sup>3+</sup>		H		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		K <sup>+</sup>		SB		t		T		m		<sup>2</sup> V		<sup>3</sup> Ca		<sup>3</sup> Mg		<sup>3</sup> K	
	dag Kg <sup>-1</sup>		mg dm <sup>-3</sup>																															
<b>0 a 10 cm</b>																																		
<b>0</b>	1,96	Md	34,24	MB	5,18	Md	5,73	Alt	0,02	Mx	5,71	8,01	MB	1,30	Bm	2,80	MB	12,13	MB	12,14	MB	17,86	MB	0,14	Bx	67,93	Md	44,91	lq	7,29	lq	15,74	lq	
<b>5</b>	1,92	Md	28,84	MB	5,26	Md	5,81	Alt	0,01	Mx	5,80	8,77	MB	1,66	MB	2,43	MB	12,89	MB	12,90	MB	18,69	MB	0,07	Bx	69,33	Md	46,84	lq	9,16	lq	13,33	lq	
<b>10</b>	1,86	Md	36,94	MB	5,34	Md	5,73	Alt	0,02	Mx	5,71	8,01	MB	1,40	Bm	3,15	MB	12,56	MB	12,59	MB	18,30	MB	0,19	Bx	68,68	Md	43,78	lq	7,64	lq	17,27	lq	
<b>15</b>	2,04	Md	31,49	Mb	5,50	Md	5,01	Alt	0,02	Mx	4,99	7,39	MB	2,00	MB	3,87	MB	13,26	MB	13,28	MB	18,27	MB	0,13	Bx	72,71	Md	40,55	lq	10,96	Ad	21,20	lq	
<b>20</b>	1,77	Md	30,05	MB	5,74	Bx	4,43	Md	0,02	Mx	4,41	8,12	MB	1,36	Bm	3,27	MB	12,75	MB	12,78	MB	17,18	MB	0,18	Bx	74,11	Alt	46,98	lq	7,98	lq	19,15	lq	
<b>10 a 20 cm</b>																																		
<b>0</b>	1,55	Md	19,72	MB	5,50	Md	4,94	Md	0,02	Mx	4,92	7,36	MB	1,12	Bm	3,02	MB	11,50	MB	11,52	MB	16,45	MB	0,16	Bx	70,45	Md	44,64	lq	6,74	lq	19,07	lq	
<b>5</b>	1,29	Md	11,26	Bm	5,59	Md	4,29	Md	0,02	Mx	4,27	7,29	MB	1,62	MB	2,74	MB	11,66	MB	11,68	MB	15,94	MB	0,18	Bx	73,31	Md	45,75	lq	10,17	Ad	17,38	lq	
<b>10</b>	1,51	Md	21,51	MB	5,77	Bx	3,92	Md	0,02	Mx	3,90	7,59	MB	1,34	Bm	3,21	MB	12,14	MB	12,17	MB	16,06	MB	0,20	Bx	75,45	Alt	47,08	lq	8,30	lq	20,06	lq	
<b>15</b>	1,54	Md	17,20	MB	5,77	Bx	4,03	Md	0,01	Mx	4,01	7,09	MB	1,67	MB	3,67	MB	12,43	MB	12,44	MB	16,46	MB	0,12	Bx	75,67	Alt	42,97	lq	10,16	Ad	22,53	lq	
<b>20</b>	1,28	Md	12,28	MB	5,73	Bx	4,09	Md	0,03	Mx	4,06	7,59	MB	0,81	Md	3,24	MB	11,64	MB	11,66	MB	15,73	MB	0,22	Bx	74,12	Alt	48,12	lq	5,20	lq	20,79	lq	
<b>20 a 40 cm</b>																																		
<b>0</b>	0,61	Bx	4,04	Bx	6,10	Mx	3,33	Md	0,02	Mx	3,30	5,93	MB	1,13	Bm	3,32	MB	10,37	MB	10,40	MB	13,70	Bm	0,24	Bx	75,74	Alt	43,09	lq	8,12	lq	24,54	lq	
<b>5</b>	0,89	Bx	4,41	Bx	5,98	Bx	3,44	Md	0,01	Mx	3,42	5,90	MB	1,23	Bm	2,95	MB	10,08	MB	10,09	MB	13,51	Bm	0,12	Bx	74,58	Alt	43,57	lq	9,12	lq	21,88	lq	
<b>10</b>	0,76	Bx	4,61	Bx	6,19	Mx	3,16	Md	0,02	Mx	3,14	5,83	MB	1,07	Bm	3,49	MB	10,39	MB	10,40	MB	13,55	Bm	0,16	Bx	76,51	Alt	43,07	lq	7,73	lq	25,72	lq	
<b>15</b>	1,05	Bx	6,01	Bx	6,00	Bx	3,52	Md	0,02	Mx	3,50	5,57	MB	1,28	Bm	3,96	MB	10,81	MB	10,83	MB	14,33	Bm	0,14	Bx	75,50	Alt	39,01	lq	8,96	lq	27,53	lq	
<b>20</b>	0,76	Bx	3,21	Bx	6,13	Mx	3,10	Md	0,01	Mx	3,09	5,58	MB	0,77	Md	3,88	MB	10,23	MB	10,25	MB	13,33	Bm	0,14	Bx	76,71	Alt	41,93	lq	5,74	lq	29,05	lq	
<b>40 a 60 cm</b>																																		
<b>0</b>	0,61	Bx	2,41	Mx	6,33	Mx	3,01	Md	0,03	Mx	2,98	5,33	MB	1,11	Bm	3,69	MB	10,13	MB	10,16	MB	13,14	Bm	0,26	Bx	77,13	Alt	40,54	lq	8,43	lq	28,16	lq	
<b>5</b>	0,76	Bx	2,97	Bx	6,22	Mx	3,15	Md	0,01	Mx	3,14	5,67	MB	0,95	Bm	3,24	MB	9,86	MB	9,87	MB	13,01	Bm	0,08	Bx	75,96	Alt	43,47	lq	7,39	lq	25,11	lq	
<b>10</b>	0,57	Bx	2,71	Bx	6,44	Mx	2,77	Md	0,03	Mx	2,74	5,41	MB	0,74	Md	3,95	MB	10,10	MB	10,14	MB	12,87	Bm	0,32	Bx	78,43	Alt	42,01	lq	5,64	lq	30,78	lq	
<b>15</b>	0,75	Bx	5,00	Bx	6,35	Mx	3,11	Md	0,03	Mx	3,09	5,10	MB	0,91	Bm	4,26	MB	10,27	MB	10,30	MB	13,39	Bm	0,25	Bx	76,70	Alt	38,11	lq	6,78	lq	31,80	lq	
<b>20</b>	0,53	Bx	3,24	Bx	6,32	Mx	2,84	Md	0,03	Mx	2,81	5,50	MB	1,27	Bm	3,64	MB	10,41	MB	10,44	MB	13,25	Bm	0,28	Bx	78,30	Alt	41,21	lq	9,24	lq	27,85	lq	
<b>Máx.</b>	2,04	-	36,94	-	6,44	-	5,81	-	0,03	-		8,77	-	2,00	-	4,26	-	13,26	-	13,28	-	18,69	-	0,32	-	78,43	-	48,12	-	10,96	-	31,80	-	
<b>Min.</b>	0,53	-	2,41	-	5,18	-	2,77	-	0,01	-		5,10	-	0,74	-	2,43	-	9,86	-	9,87	-	12,87	-	0,07	-	67,93	-	38,11	-	5,20	-	13,33	-	

\*Resultados médios obtidos de 9 repetições por tratamento. <sup>1</sup>Classificação segundo Ribeiro et al., 1999. <sup>2</sup>Classificação segundo Raij et al., 1996. <sup>3</sup>Classificação segundo critérios de Albrecht, 1996. <sup>4</sup>Legenda: MB = Muito Bom; Bm = Bom; Md = Médio(a); Mx = Muito Baixo(a); Ad = Adequado; lq = Inadequado.

**Tabela 10.** Resultados da Análise Química de Solo para Safra 2016 (6º Ciclo, 5ª Soqueira). Bandeirantes-PR.

2016	COT		Fósforo		pH		Complexo Sortivo										Saturação por Cátions Ácidos e Básicos																
	Mg Palh. ha <sup>-1</sup>	W.B dag Kg <sup>-1</sup>	Melich-1 mg dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	H + Al	Al <sup>3+</sup>	H	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	t	T	m	V	Ca	Mg	K															
																		----- Percentual (%) -----															
<b>0 a 10 cm</b>																																	
<b>0</b>	2,11	Md	41,12	MB	5,23	Alt	4,88	Md	0,01	Mx	4,86	8,02	MB	2,10	MB	1,25	MB	11,37	MB	11,39	MB	16,25	MB	0,13	Bx	69,51	Md	48,74	Iq	12,94	Ad	7,83	Iq
<b>5</b>	2,14	Md	36,65	MB	5,43	Md	4,87	Md	0,00	Mx	4,86	6,53	MB	1,90	MB	1,26	MB	9,69	MB	9,69	MB	14,56	Bm	0,05	Bx	66,30	Md	44,77	Iq	13,03	Ad	8,50	Iq
<b>10</b>	2,09	Md	34,26	MB	5,14	Alt	5,44	Bx	0,00	Mx	5,43	6,97	MB	1,98	MB	1,71	MB	10,65	MB	10,66	MB	16,09	MB	0,04	Bx	66,35	Md	43,56	Iq	12,37	Ad	10,42	Iq
<b>15</b>	1,83	Md	23,95	MB	5,29	Md	4,49	Md	0,00	Mx	4,49	6,16	MB	1,87	MB	1,33	MB	9,36	MB	9,37	MB	13,85	Bm	0,05	Bx	67,59	Md	44,33	Iq	13,47	Ad	9,80	Iq
<b>20</b>	2,09	Md	35,83	MB	5,13	Md	6,02	Alt	0,02	Mx	6,00	6,72	MB	1,85	MB	1,38	MB	9,95	MB	9,97	MB	15,97	Bm	0,17	Bx	62,71	Md	42,50	Iq	11,80	Ad	8,41	Iq
<b>10 a 20 cm</b>																																	
<b>0</b>	1,56	Md	18,54	MB	5,29	Md	4,33	Md	0,00	Mx	4,33	6,01	MB	1,59	MB	1,39	MB	9,00	MB	9,00	MB	13,33	Bm	0,01	Bx	67,18	Md	45,07	Iq	11,96	Ad	10,15	Iq
<b>5</b>	1,68	Md	26,01	MB	5,27	Md	4,30	Md	0,01	Mx	4,29	6,41	MB	1,77	MB	1,41	MB	9,58	MB	9,59	MB	13,88	Bm	0,06	Bx	69,05	Md	46,31	Iq	12,87	Ad	9,87	Iq
<b>10</b>	1,72	Md	22,44	MB	5,38	Md	4,33	Md	0,00	Mx	4,32	6,80	MB	1,78	MB	1,81	MB	10,38	MB	10,39	MB	14,71	Bm	0,04	Bx	70,14	Alt	46,08	Iq	12,18	Ad	11,89	Iq
<b>15</b>	1,59	Md	24,40	MB	5,34	Md	4,44	Md	0,00	Mx	4,43	5,85	MB	1,68	MB	1,38	MB	8,90	MB	8,90	MB	13,34	Bm	0,05	Bx	66,64	Md	43,78	Iq	12,56	Ad	10,30	Iq
<b>20</b>	1,58	Md	20,50	MB	5,39	Md	4,69	Md	0,01	Mx	4,68	5,96	MB	1,57	MB	1,49	MB	9,03	MB	9,04	MB	13,72	Bm	0,14	Bx	66,21	Md	44,03	Iq	11,68	Ad	10,49	Iq
<b>20 a 40 cm</b>																																	
<b>0</b>	0,88	Bx	8,79	Bm	5,52	Md	3,70	Md	0,00	Mx	3,70	4,46	MB	1,28	Bm	1,71	MB	7,46	MB	7,46	Bm	11,16	Bm	0,01	Bx	66,59	Md	39,90	Iq	11,50	Ad	15,19	Iq
<b>5</b>	0,98	Bx	9,42	Bm	5,61	Bx	3,44	Md	0,00	Mx	3,44	4,57	MB	1,39	Bm	1,14	MB	7,10	MB	7,10	Bm	10,54	Bm	0,00	Bx	67,28	Md	43,27	Iq	13,16	Ad	10,85	Iq
<b>10</b>	1,04	Bx	7,74	Md	5,72	Bx	3,40	Md	0,00	Mx	3,39	5,24	MB	1,24	Bm	1,59	MB	8,07	MB	8,07	MB	11,47	Bm	0,01	Bx	69,77	Md	45,68	Iq	10,97	Ad	13,11	Iq
<b>15</b>	0,84	Bx	15,44	MB	5,52	Md	4,37	Md	0,00	Mx	4,37	4,46	MB	1,31	Bm	1,80	MB	7,57	MB	7,57	Bm	11,94	Bm	0,01	Bx	63,35	Md	37,59	Iq	11,08	Ad	14,68	Iq
<b>20</b>	1,10	Bx	9,17	Bm	5,76	Bx	3,69	Md	0,00	Mx	3,68	5,18	MB	1,42	Bm	1,61	MB	8,21	MB	8,21	MB	11,90	Bm	0,05	Bx	68,58	Md	43,33	Iq	11,91	Ad	13,33	Iq
<b>40 a 60 cm</b>																																	
<b>0</b>	0,54	Bx	3,64	Bx	5,96	Bx	2,92	Md	0,00	Mx	2,92	3,91	Bm	1,11	Bm	1,79	MB	6,81	MB	6,81	Bm	9,73	Bm	0,03	Bx	69,65	Md	40,28	Iq	11,47	Ad	17,90	Iq
<b>5</b>	0,62	Bx	3,98	Bx	5,94	Bx	3,12	Md	0,00	Mx	3,12	3,75	Bm	1,02	Bm	2,12	MB	6,90	MB	6,90	Bm	10,01	Bm	0,00	Bx	67,92	Md	37,45	Iq	10,30	Ad	20,18	Iq
<b>10</b>	0,66	Bx	8,92	Bx	6,00	Bx	3,05	Md	0,00	Mx	3,05	4,48	MB	1,11	Bm	1,33	MB	6,93	MB	6,93	Bm	9,98	Bm	0,00	Bx	68,91	Md	44,47	Iq	11,13	Ad	13,31	Iq
<b>15</b>	0,55	Bx	3,24	Bx	5,76	Bx	3,51	Md	0,00	Mx	3,51	3,83	Bm	1,04	Bm	1,76	MB	6,63	MB	6,63	Bm	10,14	Bm	0,00	Bx	64,96	Md	38,17	Iq	10,38	Ad	16,42	Iq
<b>20</b>	0,56	Bx	12,18	MB	5,96	Bx	3,40	Md	0,00	Mx	3,40	4,29	MB	1,14	Bm	1,55	MB	6,98	MB	6,99	Bm	10,38	Bm	0,03	Bx	66,94	Md	41,42	Iq	11,03	Ad	14,49	Iq
	2,14	-	41,12	-	6,00	-	6,02	-	0,02	-		8,02	-p	2,10	-	2,12	-	11,37	-	11,39	-	16,25	-	0,17	-	70,14	-	48,74	-	13,47	-	20,18	-
	0,54	-	3,24	-	5,13	-	2,92	-	0,00	-		3,75	-	1,02	-	1,14	-	6,63	-	6,63	-	9,73	-	0,00	-	62,71	-	37,45	-	10,30	-	7,83	-

\*Resultados médios obtidos de 9 repetições por tratamento. <sup>1/</sup>Classificação segundo Ribeiro et al., 1999. <sup>2/</sup>Classificação segundo Raij et al., 1996. <sup>3/</sup>Classificação segundo critérios de Albrecht, 1996. <sup>4/</sup>Legenda: MB = Muito Bom; Bm = Bom; Md = Médio(a); Mx = Muito Baixo(a); Ad = Adequado; Iq = Inadequado.

**Tabela 11.** Resultados dos teores de macro e micronutrientes aos 180 dias após o corte, para Safra 2015 (5ª Colheita, 4ª Soqueira) e Safra 2016 (6ª Colheita, 5ª Soqueira).

Mg Palhada ha <sup>-1</sup>	Macronutrientes										Micronutrientes					
	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio		Cobre		Manganês		Zinco	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
	----- g Kg <sup>-1</sup> -----										----- mg Kg <sup>-1</sup> -----					
<b>0,00</b>	19,13	16,88	4,98	1,99	18,18	17,93	7,47	3,14	1,94	1,90	6,98	5,02	130,30	136,12	9,23	8,00
<b>5,00</b>	19,38	16,54	4,96	2,04	20,75	18,30	4,90	4,11	1,74	2,08	7,94	6,32	135,63	181,74	8,10	9,46
<b>10,00</b>	20,64	17,08	4,80	2,11	19,30	18,31	5,21	3,41	1,88	1,99	8,16	5,80	139,80	171,57	6,03	8,18
<b>15,00</b>	20,50	17,38	4,33	1,92	16,95	16,39	5,64	3,41	1,85	2,03	8,73	5,81	129,33	176,47	8,57	5,08
<b>20,00</b>	18,64	14,39	4,73	1,67	18,68	17,58	7,24	4,43	2,29	2,26	7,40	4,07	168,17	113,84	8,17	5,78
<sup>1/</sup> Faixa Adeq.	<b>20 a 22</b>		<b>1,8 a 2,0</b>		<b>13 a 15</b>		<b>5,0 a 7,0</b>		<b>2,0 a 2,50</b>		<b>8 a 10</b>		<b>50 a 125</b>		<b>25 a 30</b>	

<sup>1/</sup>Faixa Adequada de teores de macro e micronutrientes para cana-soca segundo critérios de Malavolta et al. (1997). Resultados Médios de 3 repetições, por tratamentos em cada safra.