

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, CRESCIMENTO E  
PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLOS  
SUBMETIDOS À ESCARIFICAÇÃO**

**Nilvan Carvalho Melo**

Engenheiro Agrônomo

**2018**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, CRESCIMENTO E  
PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLOS  
SUBMETIDOS À ESCARIFICAÇÃO**

**Nilvan Carvalho Melo**

**Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

**2018**

Melo, Nilvan Carvalho  
M528a Atributos físicos do solo, crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em solos submetidos à escarificação / Nilvan Carvalho Melo. –  
– Jaboticabal, 2018  
xii, 58 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018

Orientadora: Carolina Fernandes

Banca examinadora: Maria Helena Moraes Spinelli, José Eduardo Corá, Adolfo Valente Marcelo, Edson Luiz Mendes Coutinho

Bibliografia

1. Argissolo. 2. Latossolo. 3. Manejo do solo. 4. Preparo mínimo. 5. *Saccharum* sp. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-  
AÇÚCAR EM SOLOS SUBMETIDOS À ESCARIFICAÇÃO

**AUTOR: NILVAN CARVALHO MELO**

**ORIENTADORA: CAROLINA FERNANDES**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dra. CAROLINA FERNANDES  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI  
Depto de Solos e Recursos Ambientais / FCA/UNESP / Botucatu, SP

Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO  
Centro Universitário de Rio Preto / UNIRP / São José do Rio Preto/SP

Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 24 de maio de 2018

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**NILVAN CARVALHO MELO** – Filho de Newton Farias Cruz Melo e Arlete Manito Carvalho nasceu em Belém, Pará, em 10 de julho de 1986. Em maio de 2007, iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural da Amazônia, UFRA, Belém, Pará. Foi bolsista de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq por três anos consecutivos, correspondente aos períodos (2008/2009), (2009/2010) e (2010/2011), atuando na área de Solos no Instituto de Ciências Agrárias, ICA da UFRA. Em agosto de 2011, concluiu a graduação recebendo o título de Engenheiro Agrônomo. Realizou no período de agosto de 2011 a agosto de 2013, o curso de pós-graduação em Agronomia em nível de mestrado, com linha de pesquisa em Solos e Nutrição de Plantas, obtendo o título de Mestre em Agronomia na Universidade Federal Rural da Amazônia, UFRA, Belém, Pará, sendo bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq. Em março de 2014, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus Jaboticabal, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES. Em julho de 2016, após aprovação em concurso público foi empossado para o cargo de professor efetivo na área de Agronomia (Ciência do Solo) no Instituto Federal do Amapá, IFAP, Porto Grande, Amapá. Em maio de 2018 submeteu-se à banca para defesa de Doutorado, sendo aprovado como Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

*Nossa maior fraqueza está em desistir.  
O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez.*

**Thomas Edison**

A Deus por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades.

**AGRADEÇO**

Aos meus pais, Arlete Manito Carvalho e Newton Farias Cruz Melo (*in memoriam*) por todo amor, educação, confiança e respeito a mim dedicados.

**DEDICO E OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora de Nazaré, agora e todos os dias da minha vida, por tudo que tenho e pelo que sou, pela oportunidade de viver e realizar mais esta conquista em minha vida.

Aos meus pais, que tanto amo Arlete Manito Carvalho e Newton Farias Cruz Melo (*in memoriam*). Aos meus irmãos Edvan Carvalho Melo e Max Lelis Melo e à minha querida família, que tanto amo, por todo carinho e incentivo a mim oferecidos para que tudo desse certo. E podem ter certeza que a Fé e a torcida de todos e todas foi de fundamental importância para que esta vitória se concretizasse.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, FCAV, UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) pela oportunidade concedida, pelo apoio técnico-científico e acima de tudo pelos valiosos ensinamentos recebidos durante o curso de doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio financeiro para a condução da pesquisa (processo nº 2014/14490-2).

À Usina São Martinho, por disponibilizar as áreas para a realização do estudo, e em especial, aos funcionários desta, os quais auxiliaram na etapa de coleta do solo.

À minha orientadora, professora Dra. Carolina Fernandes, pela oportunidade, pelo apoio, pela paciência, pelos conselhos e pelos valiosos ensinamentos, compartilhados não somente comigo, mas com todos no grupo.

Aos docentes do curso de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) da Unesp/Jaboticabal, pelos conhecimentos compartilhados nas disciplinas, nas quais tive o privilégio em participar.

Aos amigos, Luma Souza, Edimar Soares, Daniel Pinheiro, José Reinaldo e Mara Moitinho, a minha eterna gratidão pelo auxílio em momentos cruciais no desenvolvimento da tese. A ajuda de cada um foi fundamental para a construção e finalização de todo o processo.



Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Física do Solo – GPFiS, Luma Souza, Daniel Pinheiro, Camila Silva, Carlos Almeida, Deise Nogueira, Matheus Silva, Mariele Fernandes, Ludmila Magalhães e Bruno Mazaron, cujos papéis foram fundamentais para a realização do trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, em especial à Maria Inês, Célia, Claudinha e Mauro, pelo carinho, disponibilidade, simpatia e gentileza, dedicados a mim.

Ao Instituto Federal do Amapá pelo afastamento parcial nas minhas atividades como docente, que me permitiu finalizar meu curso com a defesa da tese de doutorado na FCAV-UNESP.

E finalmente agradeço a todos que, de alguma forma, mesmo me conhecendo pouco, não mediram esforços para ajudar-me, durante minha trajetória acadêmica.

**Muito obrigado!**

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1 – Considerações gerais</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introdução .....	1
1.2 Revisão de literatura .....	2
1.2.1 Sistemas de manejo e atributos físicos do solo .....	2
1.2.2 Potencialidades e limitações de Latossolo e Argissolo ao uso agrícola .....	5
1.2.3 Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar .....	7
1.2.4 Produtividade e aspectos tecnológicos da cana-de-açúcar .....	9
Referências .....	11
<b>CAPÍTULO 2 – Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar cultivada em solos submetidos à escarificação em linha de plantio e em área total</b> .....	<b>16</b>
Resumo .....	16
2.1 Introdução .....	17
2.2 Material e Métodos .....	18
2.3 Resultados e Discussão .....	25
2.4 Conclusão .....	36
Agradecimentos .....	36
Referências .....	36
<b>CAPÍTULO 3 – Atributos físicos do solo e produtividade de cana-de-açúcar cultivada em solos submetidos à escarificação em linha de plantio e em área total</b> .....	<b>40</b>
Resumo .....	40
3.1 Introdução .....	41
3.2 Material e Métodos .....	42
3.3 Resultados e Discussão .....	47
3.4 Conclusão .....	54
Agradecimentos .....	55
Referências .....	55

## ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLOS SUBMETIDOS À ESCARIFICAÇÃO

**RESUMO** – No período de reforma do canavial, em geral, o preparo do solo para o plantio é realizado em área total, visando promover melhor desenvolvimento do sistema radicular. Todavia, a realização desta prática provoca alterações na estrutura do solo, em função do tráfego de máquinas agrícolas desde a etapa de preparo do solo até a colheita, podendo comprometer o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar. Assim, com este estudo, objetivou-se: i - avaliar o crescimento e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar cultivada em Latossolo e Argissolo, submetidos à escarificação em linha de plantio e em área total e ii - avaliar os efeitos do local da escarificação sobre os atributos físicos do solo e sua relação com a produtividade de colmos e a qualidade da cana-de-açúcar, cultivada em Latossolo e Argissolo, seis meses após o plantio. O delineamento experimental foi em parcelas grandes pareadas. Os tratamentos foram constituídos de dois locais de escarificação do solo: escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT), em Latossolo e em Argissolo, localizados nos municípios de Guariba e Monte Alto, respectivamente. Para atender ao primeiro objetivo, avaliou-se o número de perfilhos, o número de folhas verdes e mortas por planta, a área foliar, o índice de área foliar, a altura da planta e a massa seca dos colmos, folhas, ponteiro e total, sendo estas mensuradas em seis avaliações durante o ciclo da cultura. O Argissolo submetido à ELP interferiu no perfilhamento da cultura, apresentando aos 115 DAP quando estavam acumulados aproximadamente 1519 graus-dia, em diante menor número de perfilhos comparado com o mesmo solo submetido à EAT. O preparo do solo com a escarificação na linha de plantio pode ser substituído pelo preparo com a escarificação em área total, uma vez que o crescimento e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar foram semelhantes independentemente do local da operação de escarificação. Para atender ao segundo objetivo, foram determinados os teores de areia, silte e argila; os atributos físicos do solo: resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), bem como os atributos da planta, como a produtividade de colmos e o açúcar total recuperável (ATR), seis meses após o plantio. A partir do conjunto de dados obtidos, realizou-se uma análise fatorial multivariada com extração dos fatores pelo método da análise de componentes principais. O primeiro fator (Fator 1) foi formado pelos atributos microporosidade (MiP), argila e areia. Os atributos resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo (Ds) e macroporosidade (MaP) foram responsáveis pela formação do segundo fator (Fator 2). O preparo do solo com a escarificação na linha de plantio pode ser substituído pelo preparo com a escarificação em área total, uma vez que a produtividade de colmos e o açúcar total recuperável da cana-de-açúcar foram semelhantes independentemente do local da operação de escarificação, apresentando condições físicas semelhantes para os dois solos estudados.

**Palavras-chave:** Argissolo, Latossolo, manejo do solo, preparo mínimo, *Saccharum* sp.

## SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES, GROWTH, AND PRODUCTIVITY OF SUGARCANE IN SOILS UNDERGOING CHISELING

**ABSTRACT** – In the period of sugarcane field reform, soil tillage for planting is generally carried out in total area in order to promote a better root system development. However, this agricultural practice causes changes in soil structure due to the traffic of agricultural machinery from soil tillage to harvesting, which may compromise growth and productivity of sugarcane. The aim of this study was to: i – assess the growth and productivity of sugarcane stalks cultivated in an Oxisol and Ultisol undergoing chiseling in the planting row and in the total area; and ii) assess the effects of the chiseling site on soil physical attributes and their relation with stalk productivity and sugarcane quality six months after planting in an Oxisol and Ultisol. The experimental design was a large paired-plot design with treatments consisting of chiseling in the planting row (CPR) and chiseling in total area (CTA) in an Oxisol and Ultisol located in Guariba and Monte Alto, respectively. In order to meet the first objective, the number of tillers, number of green and dead leaves per plant, leaf area, leaf area index, plant height, and dry matter of stems, leaves, pointer, and total were measured in six assessments during the crop cycle. The Ultisol undergoing CPR interfered with crop tillering, presenting the lowest number of tillers at 115 DAP when approximately 1519 degree-days were accumulated when compared to the same soil undergoing CTA. Soil tillage with chiseling in the planting row may be replaced by the tillage with chiseling in total area since growth and productivity of sugarcane stalks were similar regardless of the site of the chiseling operation. To meet the second objective, the soil attributes sand, silt, and clay contents, soil penetration resistance (PR), soil bulk density (Ds), total porosity (Pt), macroporosity (MaP), and microporosity (MiP), as well as the plant attributes stalk productivity and total recoverable sugar (TRS), were determined six months after planting. From the obtained dataset, a multivariate factor analysis was performed with factor extraction by the principal components analysis method. The first factor (Factor 1) was composed by the attributes microporosity (MiP), clay, and sand. The attributes soil penetration resistance (PR), soil density (Ds), and macroporosity (MaP) were responsible for composing the second factor (Factor 2). Soil tillage with chiseling in the planting row may be replaced by the tillage with chiseling in total area since stalk productivity and the total recoverable sugar of sugarcane were similar regardless of the chiseling operation site, with similar physical conditions for both studied soils.

**Keywords:** minimum tillage, Oxisol, soil management, *Saccharum* sp., Ultisol

## **CAPÍTULO 1 – Considerações gerais**

### **1.1 Introdução**

Com a revolução industrial o homem aumentou de forma significativa o seu poder de apropriação dos recursos naturais, dado o uso dos motores. O cenário concomitante de aumento populacional e de disponibilidade de tecnologias impulsionou significativamente a industrialização da agricultura. O aumento da produção de alimentos foi significativo com a modernização da mecanização. No entanto, sérios problemas de ordem ambiental surgiram, como a degradação dos solos. Em 2015, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) 33% dos solos do mundo estão degradados. Dentre as principais causas pode-se destacar o cultivo convencional com o uso de várias operações de preparo do solo, sendo um dos maiores problemas relacionados à degradação do solo, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

A produção do açúcar e a busca por energia mais limpa e renovável, como é o caso do etanol, faz da cana-de-açúcar uma das principais culturas de interesse econômico do país. O Brasil se destaca por ser o maior produtor mundial, atingindo na safra 2016/2017 uma produção de 657,2 milhões de toneladas em uma área total de 10,3 milhões de hectares (CONAB, 2017). Dentre os estados brasileiros, São Paulo é o maior produtor contribuindo com 59% da área cultivada no Brasil, o que equivale a 4,77 milhões de hectares (CONAB, 2017). No Brasil, o etanol é uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo, uma vez que seu uso contribui para a menor emissão de poluentes e para a menor dependência de combustíveis fósseis.

No cultivo da cana-de-açúcar é indispensável a utilização de operações de preparo do solo. Contudo, o tráfego de máquinas e implementos desde o preparo do solo até a colheita da cana-de-açúcar contribui para a degradação da estrutura do solo, ao longo dos anos, ocasionando alterações nos atributos físicos do solo como, porosidade do solo, densidade do solo e resistência do solo à penetração das raízes; podendo também prejudicar o crescimento e a produtividade da cultura.

Na reforma do canavial, em geral, o preparo do solo para o plantio é realizado

em área total, visando a melhoria das condições físicas do solo, com o aumento do espaço poroso e a redução da densidade e da resistência do solo à penetração, possibilitando condições adequadas para desenvolvimento do sistema radicular da planta.

O sistema de preparo do solo empregado na região de São Paulo é caracterizado por sistemas intensivos, com maior número de operações de preparo, maior consumo de energia e maiores custos de produção; e sistemas mais conservacionistas, com menor mobilização do solo, e redução dos custos de operação e do uso de combustíveis. Dentre os sistemas conservacionistas, destaca-se o preparo mínimo, realizado por meio de uma única operação de escarificação, geralmente até 30 cm de profundidade, sem o revolvimento do solo.

Atualmente, tem-se adotado, em algumas áreas agrícolas, embora ainda em caráter empírico, o preparo com a escarificação na linha de plantio da cana-de-açúcar em substituição à escarificação realizada em área total, com objetivo de reduzir os custos de produção na reforma do canavial. No entanto, precisa-se estudar qual o impacto que a operação de preparo do solo com a escarificação exerce, sobre os atributos físicos do solo e a produtividade da cana-de-açúcar.

Assim, a hipótese da pesquisa é que o preparo do solo com a escarificação, tanto na linha de plantio quanto em área total, possibilitam as mesmas condições físicas de solo e de produtividade de colmos da cana-de-açúcar, seis meses após o plantio. Portanto, o objetivo foi avaliar o efeito do preparo do solo com a escarificação na linha de plantio e em área total sobre os atributos físicos do solo e sua relação com a produtividade de colmos da cana-de-açúcar, cultivada em Latossolo e Argissolo, seis meses após o plantio.

## **1.2 Revisão de literatura**

### **1.2.1 Sistemas de manejo e atributos físicos do solo**

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene que sofre renovação a cada ciclo de cultivo, correspondendo geralmente de 5 a 6 anos, dependendo das condições edafoclimáticas e tecnológicas de cada ambiente de produção. Portanto,

como nesse período de cultivo o solo não é mobilizado, os efeitos prejudiciais das intervenções mecânicas se acumulam ao longo dos anos (Tim Chamen et al., 2015; Cherubin et al., 2016). Como consequência negativa sobre o solo está o declínio de sua estrutura, com alterações dos atributos físicos do solo, como porosidade total e macroporosidade (Lana et al., 2017), microporosidade e densidade do solo (Vischi Filho et al., 2017), e resistência do solo à penetração das raízes (Lima et al., 2017).

O sistema de manejo do solo, o qual envolve um grande aparato tecnológico associado a maquinários e implementos, cada vez mais pesados, desde o preparo do solo até a colheita em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, é o principal fator que acarreta alterações na estrutura do solo, promovendo condições inadequadas para o crescimento das raízes, comprometendo a produtividade e a longevidade do canavial (Martins Filho et al., 2015; Cherubin et al., 2017).

No cultivo da cana-de-açúcar, o acompanhamento das técnicas empregadas em todas as fases de produção, é fundamental para a manutenção do canavial. Os estudos que visam avaliar os sistemas de manejo adotados nos canaviais têm como finalidade analisar todos os componentes de produção, até mesmo aqueles relacionados aos custos de implantação, como por exemplo, o preparo do solo (Moraes et al., 2016).

Na fase de implantação do canavial o preparo do solo é uma importante estratégia de manejo para melhorar as condições físicas do solo, pois promove aumento do espaço poroso (Cortez et al., 2011), redução da densidade e da resistência do solo à penetração das raízes (Rosa et al., 2011), criando condições adequadas para o crescimento das raízes de cana-de-açúcar.

As operações que visam o preparo do solo são efetuadas por meio de diferentes combinações de trabalho dos implementos agrícolas. O preparo convencional e o preparo mínimo são os sistemas de preparo do solo mais utilizados no cultivo de cana-de-açúcar. O preparo convencional envolve operações de aração e gradagem, acompanhadas de subsolagem em área total com o objetivo de romper camadas compactadas, nivelar a superfície do solo e eliminar plantas daninhas, além de incorporar corretivos e fertilizantes no solo (Belardo et al.; 2015). Por outro lado, o preparo mínimo, se caracteriza pela redução no número de operações realizadas sobre o solo, pois, utiliza-se uma única operação de escarificação,

geralmente até 30 cm de profundidade (Mialhe, 1974).

O uso periódico do preparo convencional tem causado graves problemas para a qualidade física do solo, e conseqüente, para a longevidade dos canaviais. Neste contexto, grande parte das áreas do Estado de São Paulo que cultivam cana-de-açúcar, enfrentam problemas de perda de solo e de produtividade, o que impulsiona a discussão por sistemas de manejo conservacionistas, já consolidados, além da busca por inovações (IAC, 2016).

Neste sentido, a adoção de manejos conservacionistas, como o preparo mínimo, com menor mobilização do solo, torna-se indispensável, pois interfere na microporosidade, que possui a função de retenção e armazenamento de água no solo, e na macroporosidade, cuja função é a de arejar e infiltrar a água no solo (Nagahama et al., 2016).

O preparo mínimo por meio da escarificação é um dos que menos altera a estrutura do solo, o que contribui para a redução de problemas relacionados à compactação de forma mais localizada e ainda favorece o aumento da porosidade e a diminuição da densidade do solo (Nagahama et al., 2016). Além disso, este tipo de preparo promove menor perda de solo por erosão, devido ao menor revolvimento do solo, e menor uso de máquinas e implementos, contribuindo respectivamente para o aumento da capacidade produtiva do solo e da redução do consumo de combustíveis.

Silva Júnior et al. (2010) estudaram as modificações na estrutura de um Latossolo Vermelho com textura argilosa cultivado com cana-de-açúcar após diferentes tipos de preparo do solo. Os autores observaram que não houve aumento dos valores de densidade do solo, porosidade total e de resistência do solo à penetração, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, quando foi utilizado o preparo mínimo com menor revolvimento do solo, comparados aos valores desses mesmos atributos em área com preparo convencional. Os autores também verificaram que o preparo mínimo foi o que apresentou menores custos operacionais, justamente pelo fato deste preparo utilizar um menor número de operações agrícolas, se comparado ao preparo convencional.

Ainda sobre o sistema de preparo mínimo do solo em áreas produtoras de cana-de-açúcar, atualmente, mesmo sem respaldo científico, observa-se uma



substituição gradual do preparo com a utilização da escarificação em área total pela escarificação na linha de plantio, visando à diminuição das perdas de solo, dos custos de operação e do uso de combustíveis (Rossetto e Santiago, 2017).

Souza (2016) estudou o preparo com escarificação em área total e o preparo com escarificação na linha de plantio em Latossolo Vermelho e Argissolo Amarelo cultivados com cana-de-açúcar, e verificou que a escarificação na linha de plantio proporciona menor da estrutura do solo, bem como cria condições físicas adequadas para o cultivo da cana em ambos os solos. Além disso, Souza et al. (2017), nas mesmas condições deste trabalho, observou que o preparo com escarificação na linha de plantio contribuiu para a redução da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, se comparado a escarificação realizada em área total.

### **1.2.2 Potencialidades e limitações de Latossolo e Argissolo ao uso agrícola**

O solo é parte integrante de um conjunto complexo de fatores de produção, o qual desempenha a importante função de fornecer às plantas suporte físico, água e nutrientes para o seu crescimento e desenvolvimento (Lepsch, 2010). Segundo este autor, o conhecimento sobre as características intrínsecas a cada tipo de solo é fundamental para a avaliação da capacidade de produção agrícola dos solos.

No cultivo de cana-de-açúcar recomenda-se evitar solos rasos, mal drenados, argilosos ou arenosos, assim como, solos declivosos que dificultem a entrada de máquinas e implementos agrícolas nas áreas de cultivo (Lepsch, 2010). Dessa forma, a longevidade do canavial vai depender, dentre outros fatores, do sistema de manejo do solo. Assim, a melhoria dos atributos físicos associado ao manejo da fertilidade e as técnicas de preparo conservacionista do solo, como o cultivo mínimo, contribuem para aumentar a produtividade do canavial ao longo do tempo.

É importante conhecer o potencial de produção da cana-de-açúcar nos diferentes solos, principalmente em Latossolos e Argissolos, os quais são solos com maior representação geográfica no Brasil, respectivamente. No estado de São Paulo, esta cultura é cultivada em Argissolo Vermelho-Amarelo e, sobretudo, em Latossolo Vermelho, representando aproximadamente 47% da área plantada (IAC, 2014; Marin, 2017). Estes solos apresentam grande potencial para produção de

cana, no entanto, este potencial também está relacionado às características do ambiente em que esta cultura é cultivada, como clima, topografia e logística, as quais colaboram com o estabelecimento dos níveis de rendimento do canavial (Franco et al., 2015).

Os Latossolos são profundos, bem drenados, friáveis, porosos, com horizonte superficial pouco espesso e com baixos teores de matéria orgânica (Lepsch, 2011). Os Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos apresentam textura, predominantemente, média a argilosa e uniforme ao longo do perfil e possuem baixa capacidade de troca de cátions (Embrapa, 2013).

Solos profundos, como é o caso dos Latossolos, são ideais para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, uma vez que seu sistema radicular pode explorar um maior volume de solo (Marin, 2017). O autor também ressalta que o desenvolvimento das raízes da cana depende de características físicas do solo, como por exemplo, a capacidade de retenção de água. Assim, o maior volume de solo para o desenvolvimento de raízes e a capacidade de retenção de água são condições físicas que favorecem o cultivo das culturas nesses solos, as quais, aliadas ao relevo plano ou suave ondulado onde ocorrem, possibilitam a sua mecanização e utilização (Lepsch, 2010).

Depois dos Latossolos, a ordem dos Argissolos é a mais expressiva, ocupando cerca de 20% do território brasileiro (IAC, 2014). Os Argissolos também são solos profundos, que apresentam uma diferenciação marcante entre seus horizontes, com horizonte B textural caracterizado pelo acúmulo de argila em profundidade; estrutura em blocos subangulares e horizonte superficial arenoso ou argiloso (Lepsch, 2010).

Segundo Lepsch (2010), a maior parte dos Argissolos se adapta bem ao cultivo, desde que não estejam localizados em regiões montanhosas e com alto declive, pois nesta condição ficam muito sujeitos à erosão. O autor ainda aponta que essa susceptibilidade à erosão é maior quando o horizonte A é arenoso e apresenta aumento abrupto de argila em profundidade. Neste caso, vale ressaltar que, mesmo em relevo suave ondulado, práticas de conservação do solo são recomendáveis para os Argissolos, uma vez que, assim como os Latossolos, esses são solos ácidos e pobres em nutrientes, deste modo, necessitam de corretivos e fertilizantes

(Lepsch, 2011; Embrapa, 2013).

### 1.2.3 Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura monocotiledônea e pertencente à família Poaceae. Além disso, é uma planta cultivada comercialmente por propagação vegetativa e pode ser considerada rústica, pois consegue se desenvolver mesmo em condições adversas. Dentre as cultivares, destacam-se os híbridos interespecíficos, os quais possuem, em suas constituições genéticas, as espécies *Saccharum officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinense*, *S. barberi*, *S. robustum* e *S. edule* (Manhães et al., 2015).

A análise de crescimento permite o estudo de diferentes variedades de uma cultura em diversos ambientes de produção. O crescimento da cana-de-açúcar pode ser avaliado por meio de análises biométricas, estas utilizam variáveis como componentes fenológicos, altura da planta, diâmetro do colmo, densidade de perfilhos, estrutura foliar e acúmulo sequencial de massa seca, os quais auxiliam na identificação do potencial produtivo de variedades de cana (Marafon, 2012). Essas características morfológicas apresentam relação positiva com a produtividade e, conseqüentemente, na eficiência de seu uso para o acúmulo de biomassa e sacarose.

Segundo Crusciol et al. (2010), o crescimento da cana-de-açúcar pode ser dividido em três etapas. Na primeira fase o crescimento da planta é lento, durando normalmente 200 dias após o plantio. A segunda fase é caracterizada pelo rápido crescimento, durando de 200 a 400 dias, após o plantio e pelo acúmulo 75% do total de sua massa. Na fase final, o crescimento se torna novamente lento e o acúmulo de sua massa total chega a 11%. Esta fase geralmente dura de 400 a 500 dias após o plantio.

O ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar possui, em média, a duração de cinco anos e é caracterizado por quatro estádios principais, que são: emergência (cana-planta) ou brotação (cana-soca), perfilhamento, alongação do colmo e maturação (Manhães et al., 2015). É importante o conhecimento sobre cada fase de desenvolvimento para o adequado manejo da cultura, uma vez que os tratamentos com as

culturas são identificados a partir do estágio fenológico em que a cana se encontra.

Nas últimas quatro décadas, a cultura da cana-de-açúcar tem apresentado significativos aumentos de produtividade com ganhos de até 35% (Landell et al., 2016). A melhoria dos tratamentos culturais, incluso o preparo do solo, associado ao surgimento de novas variedades adaptadas a diferentes climas e solos, explicam os ganhos de produtividade obtidos (Abreu et al., 2013). Há, porém, inúmeros questionamentos sobre qual preparo de solo deve ser adotado, a fim de obter melhoria na produtividade, bem como a sustentabilidade dos plantios.

Nesse sentido, Tavares et al. (2010) avaliaram a produtividade da cana em um experimento de longa duração (16 anos), instalado em um Argissolo Amarelo com textura arenosa/média, sob preparo convencional e cultivo mínimo com cana crua e cana queimada. Embora os autores encontrassem diferenças nas variáveis diâmetro, perfilhamento, altura e tamanho das folhas, para a variável produtividade de colmos, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas e, portanto, para melhor desempenho ambiental o cultivo mínimo pode ser adotado, sem prejuízos à produção.

São comumente aceitas, na comunidade científica, as operações de preparo do solo que buscam amenizar a degradação do solo e criar condições ideais para o desenvolvimento das raízes, estas possibilitam ainda ganhos maiores de produtividade (Moraes et al., 2016). Porém, a eficiência dessas práticas tem sido motivo de controvérsia. Sá et al. (2016), por exemplo, avaliaram o efeito da escarificação entre linhas sobre o crescimento de raízes, a compactação do solo e a produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho acriférico típico. Os autores não encontraram diferenças entre os tratamentos com e sem escarificação na produtividade de colmos e nos atributos físicos do solo. Estes autores também relatam que em ambas as condições (com e sem escarificação), foram determinados valores de resistência do solo à penetração em torno de 2,0 MPa, na camada superficial próxima à linha, e em torno de 3,7 a 4,5 MPa, na entrelinha; e valores de densidade do solo em torno de 1,0 g cm<sup>-3</sup>, na camada superficial próxima à linha, e em torno de 1,2 a 1,3 g cm<sup>-3</sup>, na entrelinha.

#### **1.2.4 Produtividade e aspectos tecnológicos da cana-de-açúcar**

O cultivo comercial da cana-de-açúcar visa a produtividade, a qualidade e a longevidade do canavial. A produtividade é caracterizada pela alta produção de colmos por área; a qualidade indica alto teor de açúcar da cana, fato que ao relacionar à produtividade resulta na produção por unidade de área. A longevidade está relacionada ao desempenho de produção, ou seja, mantém-se a produtividade mesmo na reforma do canavial (Vian, 2017).

Entretanto, a produtividade agrícola pode ser alterada em decorrência de fatores como, a variedade escolhida, o estágio de maturação, o manejo da cultura, e principalmente, em função das características de solo e clima da região (Manhães et al., 2015). Assim, em sistemas com o uso intensivo de maquinários, como é o caso da cana-de-açúcar, é importante que se conheça e entenda as correlações existentes entre os atributos produtivos e os tecnológicos da planta com os do solo, de forma a contribuir não apenas com a redução dos custos, por meio de manejos localizados, mas também com a forma de proporcionar o aumento da produtividade da cultura e da qualidade do material colhido (Moraes et al., 2016).

De acordo com Manhães et al. (2015), vários fatores podem interferir na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, que, no final, são resumidos nas diferentes condições que a cultura foi submetida. Estes autores ainda ressaltam que se destaca, dos requisitos mais importantes para alcançar boas produtividades, as práticas de preparo do solo. Estas exercem influência direta no aumento da brotação e do perfilhamento da cana-de-açúcar.

Para a implantação da cana-de-açúcar o produtor ainda encontra dificuldade em relação ao alto gasto de energia, exigido nas operações de preparo do solo. De acordo com Silva et al. (2015), na implantação ou na reforma de um canavial, o preparo convencional começa normalmente com aração, gradagem e subsolagem. Esses autores ainda apontam que o preparo de solo para o cultivo da cana representa uma etapa fundamental na longevidade da cultura, na qual ocorrerá novamente o revolvimento do solo depois do quinto ou sexto corte da cultura, e esta dependerá da variedade ou da produtividade. Dessa forma, é crucial a escolha apropriada do preparo, pois essa escolha vai fazer com que o canavial permaneça

ou não após vários cortes obtendo bons rendimentos da cultura.

Sá et al. (2016), avaliando a produtividade da cana-de-açúcar em função da escarificação em Latossolo, encontraram valores médios de produtividade de colmos de 89 Mg ha<sup>-1</sup> (com escarificação) e 87 Mg ha<sup>-1</sup> (sem escarificação). Estes autores verificaram que a produtividade de colmos não foi afetada pela escarificação nas quatro socas avaliadas.

O Brasil se destaca entre os países que mais cultivam cana-de-açúcar no mundo, com uma produção na safra 2016/2017 de 657,2 milhões de toneladas em uma área total de 10,3 milhões de hectares (CONAB, 2017). No entanto, além do aumento da produtividade, é importante produzir matéria-prima de boa qualidade, pois a constituição química e tecnológica da cana apresenta grande influência no ambiente de produção e no manejo empregado.

A cana-de-açúcar apresenta um potencial genético favorável para armazenar açúcares, principalmente sacarose (Silva et al., 2015). Para esses autores, quando o potencial genético da cana é melhorado devido às condições adequadas de cultivo, resultam em um excelente desenvolvimento da cultura.

Na avaliação de cana-de-açúcar, os aspectos tecnológicos possibilitam estimar o potencial do caldo de cana para produção de açúcar e etanol. Além disso, permitem a análise das condições em que a matéria-prima é entregue para o processamento, além de prever, com razoável probabilidade de acerto, a qualidade do produto final (Tasso Júnior et al., 2012). Logo, atributos como o açúcar total recuperável (ATR) são tão importantes quanto a produtividade da planta, uma vez que poderão influenciar no custo final do produto (Vian, 2017).

O açúcar total recuperável expressa o potencial da indústria em recuperar o açúcar contido na cana, na forma de açúcar ou de etanol. Segundo Silva Neto et al. (2018) este atributo tecnológico é calculado por uma fórmula paramétrica, em que se considera a qualidade da cana e os preços médios de mercado dos produtos fabricados pela usina (açúcar e etanol), tanto no mercado interno quanto no internacional. Os autores também relatam que para a avaliação desta qualidade são realizadas as análises tecnológicas na cana, tais como sólidos solúveis (Brix), sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores (AR). Com base nessas informações, define-se o valor da ATR.

De acordo com Segato et al. (2006), os valores de ATR variam muito, porém tem-se adotado como padrão, o valor médio de 122 kg t<sup>-1</sup>, porém a cana poderá apresentar ATR variando em torno de 165 a 170 kg t<sup>-1</sup>. No entanto, Alves et al. (2014) observaram valor médio de 160,68 kg t<sup>-1</sup>, ficando abaixo desta faixa.

## Referências

Abreu ML, Silva MA, Teodoro L, Holanda LA, Sampaio Neto GD (2013) Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia** 72:262–270. doi: 10.1590/brag.2013.028

Alves V, Montanari R, Carvalho MP, Correa AR, Roque CG (2014) Atributos tecnológicos, stand e produtividade da cana-planta correlacionados com aspectos da fertilidade do solo em Chapadão do Céu (GO). **Revista de Agricultura Neotropical** 1:75–91.

Belardo GC, Cassia MT, Silva RP (Eds.) (2015) Processos agrícolas e mecanização da cana de açúcar. São Paulo: Livrocere, p. 149–176.

Cherubin MR, Franco ALC, Guimarães RML, Tormena CA, Cerri CEP, Karlen DL, Cerri CC (2017) Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil and Tillage Research** 173:64–74. doi: 10.1016/j.still.2016.05.004

Cherubin MR, Karlen DL, Cerri CEP, Franco ALC, Tormena CA, Davies CA, Cerri CC (2016) Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. **Plos One** 11:1–26. doi: 10.1371/journal.pone.0150860

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2017) Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/170420140431boletim\\_cana\\_portugues1%C2%BA%20levantamento,17-18](https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/170420140431boletim_cana_portugues1%C2%BA%20levantamento,17-18)>. Acesso em: 20 abr. 2017.

Cortez JW, Alves ADS, De Moura MRD, Olszewski N, Nagahama HJ (2011) Atributos físicos do Argissolo Amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:1207–1216. doi: 10.1590/S0100-06832011000400014

Crusciol CAC, Silva MA, Rossetto R, Soratto RP (2010) Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu: FEPAF, 111 p.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa, 353 p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils (2015) Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report, Rome: FAO. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>>. Acesso: 28 maio 2018.

Franco ÍO, Scopel I, Assunção HF (2015) Unidades de mapeamento de solos sob cultivo de cana-de-açúcar em 2011: análise da expansão da cultura no sudoeste de Goiás (Brasil). **Revista do Departamento de Geografia** 30:1–18. doi: 10.11606/rdg.v30i0.89964

IAC – Instituto Agronômico de Campinas (2014) Solos do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>> Acesso em: 18 nov. 2017.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas (2016) Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar. Campinas: IAC, 75 p. (Boletim Técnico IAC, 1).

Lana RMQ, Domingues LAS, Torres JLR, Mageste JG, De Moraes ER (2017) Soil physical attributes and productivity of sugarcane under different cropping systems in the savannah goiano. **Australian Journal of Crop Science** 11:149–155. doi: 10.21475/ajcs.17.11.02.p182

Landell MGA, Xavier MA, Creste S, Azania CAM, Anjos IA, Figueiredo P, Campana MP (2016) Trajetória de pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologia em cana-de-açúcar no IAC. **Instituto Agrônomo** 68:6–15. (Boletim Técnico IAC, 68)

Lepsch IF (2010) Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de Textos, 216 p.

Lepsch IF (2011) 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 443 p.



Lima RPD, Silva APD, Giarola NFB, Silva ARD, Rolim MM (2017) Changes in soil compaction indicators in response to agricultural field traffic. **Biosystems Engineering** 162:1–10. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.07.002

Manhães CMC, Garcia RF, Francelino FMA, Francelino HO, Coelho FC (2015). Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices** 17:163–181. doi: 10.5935/1809-2667.20150011

Marafon AC (2012) Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 29 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168).

Marin FR (2017) *Árvore do Conhecimento: cana-de-açúcar. Solos do Brasil e a cana-de-açúcar.* Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília: Embrapa: Brasília. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore /CONTAG01\\_18\\_3112006152934.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore /CONTAG01_18_3112006152934.html)>. Acesso em: 12 dez. 2017.

Martins Filho MV, Siqueira DS, Marques Júnior J (2015) Preparo dos solos tropicais: a importância de se conhecer a variabilidade dos atributos do solo. In: Belardo GC, Cassia MT, Silva RP (Eds.) *Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar.* Jaboticabal: SBEA, p. 149–176.

Mialhe LG (1974) *Manual de mecanização agrícola.* São Paulo: Ceres, 301 p.

Moraes ER, Domingues LAS, Medeiros MH, Peixoto JVM, Lana RMQ (2016) Produtividade e características agronômicas da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista de Agricultura Neotropical** 3:27–32.

Nagahama HJ, Granja GP, Cortez JW, Ramos RL, Arcoverde SNS (2016) Efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo e agronômicos do capim elefante. **Revista Ceres** 63:741–746. doi: 10.1590/0034-737x201663050020

Rosa DP, Reichert JM, Mentges MI, Barros CAP, Reinert DJ, Vieira DA (2011) Cultivo mínimo: efeito da compactação e deformação abaixo da atuação da ponteira do subsolador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 15:1199–1205. doi: 10.1590/S1415-43662011001100014

Rossetto R, Santiago AD (2017) *Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar. Cultivo mínimo*. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília: Embrapa. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_85\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_85_22122006154841.html)>. Acesso em: 12 dez. 2017.

Sá MAC, Santos Júnior JDG, Franz CAB, Rein TA (2016) Qualidade física do solo e produtividade da cana-de-açúcar com uso da escarificação entre linhas de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51:1610–1622. doi: 10.1590/S0100-204X2016000900061

Segato SV, Alonso O, Larosa G (2006) Terminologias no setor sucroalcooleiro. In: Segato SV, Pinto AS, Jendiroba E, Nóbrega JCM (Eds.) *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: Ceres, p. 399–400.

Silva Júnior CA, Carvalho LA, Meurer I, Libardi PL, Silva MAC, Oliveira ECA (2010) Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo para o plantio da cana-de-açúcar. **Revista Agrarian** 3:111–118.

Silva Neto HF, Marques MO, Silva JDR, Tasso Júnior CT (2018) Limitações e avanços tecnológicos na indústria da cana-de-açúcar. *Jornal Dia de Campo*. Disponível em: <<http://diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=23420&secao=Artigos%20Especiais>>. Acesso em: 8 jan. 2018.

Silva PF, Chaves LHG, Sousa JRM, Araújo WP, Silva FAFD (2015) Preparo de solo e fosfatagem – I. Crescimento de cana-de-açúcar. **ACSA – Agropecuária Científica no Semiárido** 11:7–13. doi: 10.30969/acsa.v11i1.593

Souza FCA (2016) **Atributos físicos de solos submetidos à escarificação na linha de plantio e em área total para cultivo da cana-de-açúcar**. 33 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Souza LC, Fernandes C, Nogueira DCS, Moitinho MR, Bicalho ES, La Scala N (2017) Can partial cultivation of only the sugarcane row reduce carbon dioxide emissions in an oxisol and ultisol? **Agronomy Journal** 109:1113–1121. doi: 10.2134/agronj2016.10.0565

Tasso Júnior LC, Rosa DAS, Nogueira GA, Silva Neto HF, Marques MO (2012) Avaliação tecnológica em caldo de seis cultivares de cana-de-açúcar com ciclo de maturação no meio de safra, ano agrícola 2009/2010. In: WORKSHOP AGROENERGIA. **Resumos...** Ribeirão Preto: Agroenergia, p. 1–4.

Tavares OCH, Lima E, Zonta E (2010) Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum Agronomy** 32:61–68. doi: 10.4025/actasciagron.v32i1.2051

Tim Chamen WC, Moxey AP, Towers W, Balana B, Hallett PD (2015) Mitigating arable soil compaction: a review and analysis of available cost and benefit data. **Soil & Tillage Research** 146:10–25. doi: 10.1016/j.still.2014.09.011

Vian CEF (2017) *Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar. Qualidade de matéria-prima.* Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília: Embrapa. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_138\\_22122006154842.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html). Acesso em: 12 dez. 2017.

Vischi Filho OJ, Souza ZM, Souza GS, Silva RB, Torres JLR, Lima ME, Tavares RLM (2017) Physical attributes and limiting water range as soil quality indicators after mechanical harvesting of sugarcane. **Australian Journal of Crop Science** 11:169–176. doi: 10.21475/ajcs.17.11.02.p215

## **CAPÍTULO 2 – Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar cultivada em solos submetidos à escarificação em linha de plantio e em área total**

**RESUMO** – Na reforma do canavial, o preparo do solo é uma prática que só será refeita após alguns anos, porém o alto custo desta operação e seu impacto na estrutura do solo fazem do preparo mínimo, caracterizado pela menor mobilização do solo, uma alternativa para o cultivo da cana-de-açúcar. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar cultivada em Latossolo e Argissolo, submetidos à escarificação em linha de plantio e em área total. O experimento foi conduzido em duas áreas agrícolas localizadas nos municípios de Guariba e Monte Alto, no Estado de São Paulo. O delineamento experimental foi em parcelas grandes pareadas, viabilizando as operações de preparo do solo e a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. Os tratamentos foram constituídos de dois locais de escarificação do solo: escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT), em Latossolo e em Argissolo. As áreas experimentais mediram 10 ha no Latossolo e 9 ha no Argissolo. Cada área foi composta por 20 parcelas, sendo destinadas 10 parcelas para cada tratamento. As variáveis estudadas, quais sejam o número de perfilhos, número de folhas verdes e mortas por planta, área foliar, índice de área foliar, altura da planta e massa seca dos colmos, folhas, ponteiro e total foram mensuradas em seis avaliações durante o ciclo da cultura. No Latossolo, as avaliações foram realizadas aos 79, 136, 191, 264, 324 e 390 dias após o plantio (DAP). No Argissolo, as avaliações foram feitas aos 58, 115, 170, 243, 304 e 371 DAP. O Argissolo submetido à ELP interferiu no perfilhamento da cultura, apresentando aos 115 DAP quando estavam acumulados aproximadamente 1519 graus-dia, em diante, menor número de perfilhos comparado com o mesmo solo submetido à EAT. No Argissolo, área foliar apresentou comportamento linear, aumentando com a somatória dos graus-dia acumulados, quando submetido à ELP e EAT. Para a massa seca do colmo e massa seca total, os incrementos mais expressivos ocorreram mais cedo e a estabilização ocorreu mais tarde, no Latossolo submetido à ELP do que no mesmo solo submetido à EAT. O preparo do solo com a escarificação na linha de plantio pode ser substituído pelo preparo com a escarificação em área total, uma vez que o crescimento e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar foram semelhantes independentemente do local da operação de escarificação.

**Palavras-chave:** Argissolo, análise biométrica, Latossolo, preparo mínimo, *Saccharum* sp.

## 2.1 Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar podendo se destacar ainda mais neste cenário, se levar em consideração o aumento da demanda mundial por combustíveis renováveis, e tendo em vista que o país possui grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis ao seu cultivo. Na safra 2016/2017, a produção brasileira foi de 657,2 milhões de toneladas em uma área total de 10,3 milhões de hectares (CONAB, 2017).

No período de reforma do canavial, em geral, o preparo do solo para o plantio é realizado em área total, visando promover melhor desenvolvimento do sistema radicular. Todavia, a realização desta prática tem contribuído para a alteração da estrutura do solo, em função do tráfego de máquinas e implementos agrícolas desde a fase de preparo do solo até a colheita, o que pode comprometer o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar (Cherubin et al., 2017). Assim, se fez necessária a utilização de sistemas de manejo que proporcionem menor mobilização do solo como, por exemplo, o preparo mínimo que é realizado por meio da escarificação do solo.

A escarificação é uma operação de preparo do solo que consiste no rompimento de camadas compactadas por meio da penetração de hastes mecânicas, promovendo a desagregação do solo, geralmente em até 30 cm de profundidade (Mialhe, 1974).

Atualmente, em algumas áreas produtoras de cana-de-açúcar tem-se adotado como alternativa, ainda que em caráter empírico, realizar operações de preparo com a escarificação na linha de plantio, promovendo o revolvimento do solo em menor área, contribuindo para a melhoria dos atributos do solo, maior redução dos custos de produção e do uso de combustível.

A cana-de-açúcar é plantada em diferentes solos, que variam de acordo com seus ambientes de produção. No estado de São Paulo é cultivada com maior expressão em Argissolos e Latossolos, sobretudo, em Latossolo Vermelho, representando aproximadamente 47% da área plantada (Marin, 2017). Os solos arenosos apresentam menor disponibilidade de água ao longo do perfil, mas não significa que os solos argilosos ou muito argilosos possuem a maior disponibilidade

hídrica, uma vez, que existem solos que possuem elevado teor de argila e são muito ressecados por causa da forte microagregação da argila.

Além da avaliação dos atributos do solo é importante avaliar o crescimento da planta. As variáveis de crescimento são mensuradas por meio das análises biométricas, que são realizadas com o objetivo de quantificar o crescimento da cultura nos diferentes estádios de desenvolvimento e ambientes de produção (Nassif et al., 2013).

A avaliação do crescimento da cana-de-açúcar contribui para a identificação das fases em que ocorrem maiores incrementos no desenvolvimento da cultura, sendo que o estudo das variáveis de crescimento, como: altura da planta, diâmetro do colmo, densidade de perfilhos, estrutura foliar e acúmulo sequencial de massa seca, ajudam a identificar o potencial produtivo das variedades (Marafon, 2012). Essas variáveis de crescimento apresentam relação positiva com a produtividade e, conseqüentemente, com a eficiência de seu uso para o acúmulo de biomassa e sacarose.

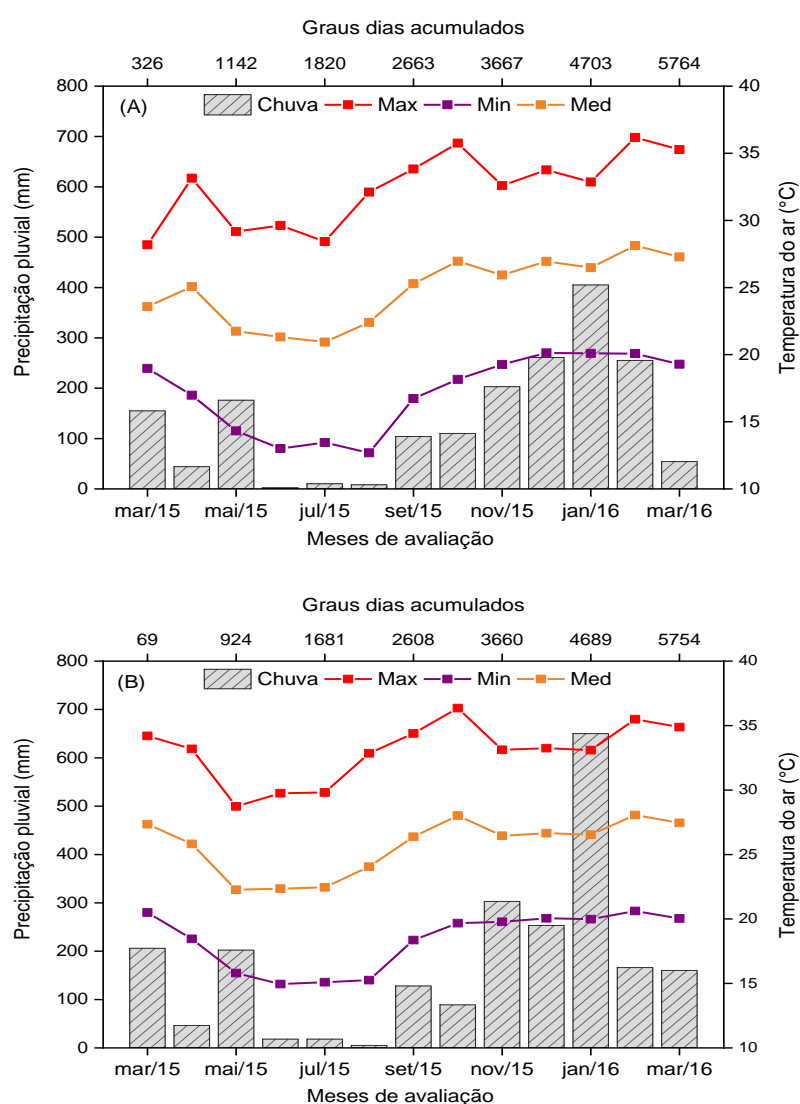
Neste contexto, este estudo testa a hipótese de que o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar são semelhantes quando cultivada em solos com escarificação na linha de plantio e em área total. Portanto, o objetivo foi avaliar o crescimento e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar cultivada em Latossolo e em Argissolo, submetidos à escarificação em linha de plantio e em área total.

## **2.2 Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em duas áreas agrícolas localizadas no Estado de São Paulo. Na primeira área, localizada no município de Guariba, próximo às coordenadas geográficas 21°24'25''S e 48°12'12''W, com 618 m de altitude, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho. Na segunda área, localizada no município de Monte Alto, próximo às coordenadas geográficas 21°15'23''S e 48°25'52''W, com 735 m de altitude, o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com o horizonte B iniciando a 0,35 m de profundidade. As duas áreas eram cultivadas com cana-de-açúcar e nelas utilizou-se colheita mecanizada por mais de 20 anos. E no ano da implantação do experimento não foi realizada rotação, ou seja, o manejo foi

cana sobre cana.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico com inverno seco (Aw), com precipitação média anual de 1.400 mm e chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 18 °C. A precipitação pluvial diária, as temperaturas máxima, mínima e média diária, e os graus-dias acumulados ambos referentes ao período de condução do experimento na área de Latossolo e na área de Argissolo estão apresentados na Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Precipitação, temperatura máxima, mínima e média do ar e graus-dia acumulados na área de Latossolo Vermelho (A) e de Argissolo Vermelho-Amarelo (B), no período de 03/2015 a 03/2016.

A caracterização química e a textura dos solos foram realizadas por meio de amostras coletadas nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 2.1). A análise granulométrica foi realizada segundo a metodologia descrita por Claessen (1997) e a análise química de acordo com Raij et al. (2001), sendo o teor de carbono orgânico (CO) determinado conforme descrito por Yeomans e Bremner (1988).

**Tabela 2.1.** Média dos atributos químicos e dos teores de argila, areia e silte nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de solos, cultivados com cana-de-açúcar, submetidos à escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

	Camada (m)	
	0,00 - 0,10	0,10 - 0,20
Latossolo Vermelho		
pH (H <sub>2</sub> O)	5,7	5,5
CO (g kg <sup>-1</sup> )	30	26
P (mg dm <sup>3</sup> )	37	31
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	0,16	0,14
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	3,9	3,5
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	1,7	1,4
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	0,0	0,0
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	2,2	2,5
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	5,8	5,0
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	8,0	7,5
V (%)	72	67
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	548	572
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	321	321
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	131	107
Argissolo Vermelho-Amarelo		
pH (H <sub>2</sub> O)	5,6	5,5
CO (g kg <sup>-1</sup> )	8	6
P (mg dm <sup>3</sup> )	16	14
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	0,14	0,13
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	2,3	2,1
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	0,8	0,7
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	0,0	0,0
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	1,6	1,7
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	3,3	2,9
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	4,9	4,6
V (%)	66	63
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	136	163
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	794	799
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	70	38



Antes da instalação do experimento, realizou-se a eliminação da soqueira da cana-de-açúcar do ciclo produtivo anterior. No Latossolo, utilizou-se eliminador mecânico de soqueira em novembro de 2014. No Argissolo, realizou-se a eliminação química, com 4 L ha<sup>-1</sup> de glifosato, em janeiro de 2015. Em solos com textura mais arenosa nas primeiras camadas, como o Argissolo da área estuda, utiliza-se a eliminação química da soqueira, pois este solo é mais susceptível à erosão comparado ao Latossolo.

No Latossolo, em dezembro de 2014, aplicou-se 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário (35% de CaO, 15% de MgO e PRNT = 81%), para elevar a saturação por bases a 70% (Raij et al., 1997) e 1,0 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola. No Argissolo, em janeiro de 2015, aplicou-se 3,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário (35% de CaO, 15% de MgO e PRNT = 81%), para elevar a saturação por bases a 70% e 1,0 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola. O preparo por meio de operações de escarificação do solo foi realizado em 31 de janeiro de 2015 no Latossolo e em 17 de fevereiro de 2015 no Argissolo.

O experimento foi conduzido em parcelas grandes pareadas (Perecin et al., 2015), o que viabilizou as operações de preparo do solo e a colheita mecanizada da cana-de-açúcar.

As áreas experimentais mediram 10 ha no Latossolo e 9 ha no Argissolo. Cada área foi composta por 20 parcelas, sendo destinadas 10 parcelas para cada tratamento, com aproximadamente 0,50 ha para a área de Latossolo e 0,45 ha para a área de Argissolo. Os tratamentos foram constituídos de dois locais de escarificação do solo: escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

No tratamento com escarificação na linha de plantio (ELP), a escarificação foi realizada no sentido das linhas de plantio utilizando um escarificador com dois pares de hastes espaçadas de 1,5 m e profundidade de trabalho de 0,30 m, sendo que a distância entre as hastes que compõe cada par do escarificador é de 0,50 m, com dois rolos destorroadores. No tratamento com escarificação em área total (EAT), a escarificação foi realizada utilizando um escarificador com cinco hastes espaçadas em 0,50 m e profundidade de trabalho de 0,30 m.

No Latossolo, cada parcela experimental foi constituída de uma área de 15 m de largura e 280 m de comprimento (4.200 m<sup>2</sup>), com 10 linhas de cana-de-açúcar,

com espaçamento entre linhas de 1,5 m. Consideraram-se como área útil as 06 linhas centrais com 180 m centrais de cada linha, portanto 1.620 m<sup>2</sup>. No Argissolo, cada parcela experimental foi constituída de uma área de 12 m de largura e 220 m de comprimento (2.640 m<sup>2</sup>), com 08 linhas de cana-de-açúcar com espaçamento entre linhas de 1,5 m. Para a área útil foram consideradas 04 linhas centrais com 120 m cada linha, totalizando 720 m<sup>2</sup>.

No Latossolo, o plantio foi realizado no dia 07/03/2015 utilizando a variedade CTC 14 e, no Argissolo, no dia 26/03/2015 utilizando a variedade CTC 4. No plantio, em ambas as áreas se realizou a sulcação até 0,30 m de profundidade, com espaçamento entre sulcos de 1,5 m, aplicação de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 125 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, distribuídos no sulco de plantio.

As variáveis estudadas foram: número de perfilhos, número de folhas verdes, número de folhas mortas por planta, área foliar, índice de área foliar, altura da planta e massa seca dos colmos, das folhas, dos ponteiros e total.

Tanto no Latossolo como no Argissolo foi realizado um total de seis avaliações, com intervalos de aproximadamente dois meses de uma avaliação para a outra. No Latossolo, as avaliações foram realizadas aos 79, 136, 191, 264, 324 e 390 dias após o plantio (DAP). No Argissolo, as avaliações foram feitas aos 58, 115, 170, 243, 304 e 371 DAP. A somatória dos graus-dia acumulados (GDA) durante o ciclo da cana planta foram determinados pela equação abaixo, considerando-se a temperatura base da cultura igual a 10 °C para a parte aérea total da planta e 16 °C para os colmos, como sugerido por Smit e Singels (2006) e Sinclair et al. (2004).

$$GDA = \sum_{i=1}^n (T_m - T_b)$$

Em que: T<sub>m</sub> = temperatura média diária do ar, °C e T<sub>b</sub> = temperatura base da cultura, °C.

O número de perfilhos foi obtido, em cada avaliação, por meio da contagem do número de plantas contidas em dois metros lineares na área útil de cada parcela. Para a demarcação tomou-se o cuidado de não escolher linhas com falhas de perfilhamento, isto é, distância maior que 50 cm sem nenhuma planta.

Para as variáveis: número de folhas verdes, número de folhas mortas, área foliar, índice de área foliar e altura da planta foram utilizadas 20 plantas nos dois metros lineares da área útil de cada parcela, previamente demarcadas para que a obtenção de tais medidas se realizasse sempre nas mesmas plantas em cada avaliação.

Realizou-se a contagem de folhas verdes totalmente abertas, capazes de realizar fotossíntese, ou seja, folhas totalmente expandidas contadas a partir da folha +1 (primeira folha com a lígula visível). Considerou-se que folha verde era a que possuía mais de 50% de área fotossinteticamente ativa, isto é, área com mais de 50% de coloração verde. As demais folhas foram consideradas folhas mortas.

A área foliar foi obtida de cada perfilho existente nos dois metros lineares, medindo com auxílio de régua, o comprimento e a largura na porção mediana da folha +3 (terceira folha com a lígula visível), e contando-se o número de folhas verdes conforme equação de Hermann e Câmara (1999):

$$AF = C \times L \times 0,75 (N + 2)$$

Em que: C é o comprimento da folha +3; L é a largura da porção mediana da folha +3 (é a terceira folha superior completamente expandida a partir da primeira folha com a lígula visível); 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura; N é o número de folhas abertas, ou seja, totalmente expandidas com pelo menos 50% de área verde, contada a partir da folha +1, e 2 é o fator de ponderação para as folhas ainda não totalmente expandidas.

O índice de área foliar (IAF) foi calculado através da expressão:

$$IAF (m^2 m^{-2}) = NPI \times AF/S$$

Em que: NPI corresponde ao número de perfilhos, AF à área foliar por perfilho ( $m^2$ ) e S é a área do terreno em  $m^2$  utilizada para a avaliação.

A altura da planta foi medida com uma régua, obtendo-se a distância do solo até a inserção da folha +1.

Para a avaliação da massa seca das folhas, dos ponteiros, dos colmos e total

foram amostrados cinco perfilhos na área útil de cada parcela. As amostras foram separadas em ponteiro, folha e colmo, sendo o ponteiro constituído do cartucho e da folha +1. No componente folha (folha + bainha) foram consideradas as folhas secas e verdes a partir da folha +1 e, após a retirada do ponteiro e das folhas verdes e secas, o restante foi considerado colmo.

Depois de separados, os ponteiros, as folhas e os colmos foram pesados, determinando-se a massa fresca. Em seguida, para a determinação da umidade, retirou-se uma amostra de cada componente, determinando-se imediatamente, no campo, a massa fresca dessa amostra. O material foi levado para o laboratório e colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir a massa constante.

No Latossolo, a colheita mecanizada da cana foi realizada no dia 01/07/2016 e no Argissolo, no dia 18/07/2016. Nas dez parcelas que constituíam cada tratamento, a cana-de-açúcar foi colhida com uso de uma máquina colhedora “Case modelo 8800” (potência: 358 cv; tipo de rodado: esteira e auto-tracker: automático), a qual colheu e transferiu os colmos em uma composição de dois transbordos, com células de cargas para mensuração da massa de colmos colhida, para assim, obter a produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ). Nas parcelas de cada tratamento foi determinada a produção de colmos por área, o que permitiu calcular a produtividade de colmos ( $t\ ha^{-1}$ ) nas duas áreas avaliadas.

Para cada variável estudada foram calculadas equações de regressão, ajustadas em função dos graus-dia acumulados, visando caracterizar o crescimento da cana-de-açúcar. O ajuste das curvas e dos coeficientes de determinação foi obtido pelo modelo logístico com três parâmetros, utilizando o programa SigmaPlot10®.

$$Y = \frac{a}{1 + e^{-\frac{(x-x_0)}{b}}}$$

Sendo: a = máximo assintótico; b = taxa de crescimento e  $x_0$  = ponto de inflexão.

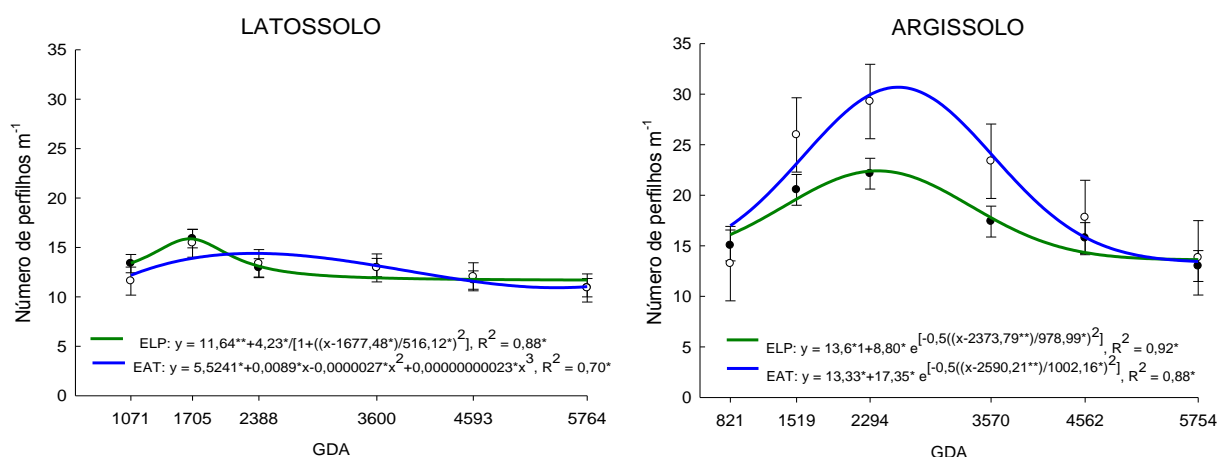
Calcularam-se as curvaturas mínima ( $C_{min}$ ) e máxima ( $C_{max}$ ) conforme o

método citado por Venegas et al. (1998), utilizando os parâmetros das equações não lineares:  $C_{\min} = x_0 - 2b$  e  $C_{\max} = x_0 + 2b$ . A  $C_{\min}$  indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam os acúmulos mais expressivos e a  $C_{\max}$  o instante em que o acúmulo dos elementos começa a se estabilizar.

A análise estatística, com o intuito de avaliar o efeito das operações de escarificação no crescimento da cana-de-açúcar, foi feita utilizando o delineamento em parcelas grandes e uniformes (Perecin et al., 2015). Para a comparação das médias da produtividade de colmos aplicou-se o teste de Tukey a  $p < 0,05$ , utilizando o software SAS 9.2.

### **2.3 Resultados e Discussão**

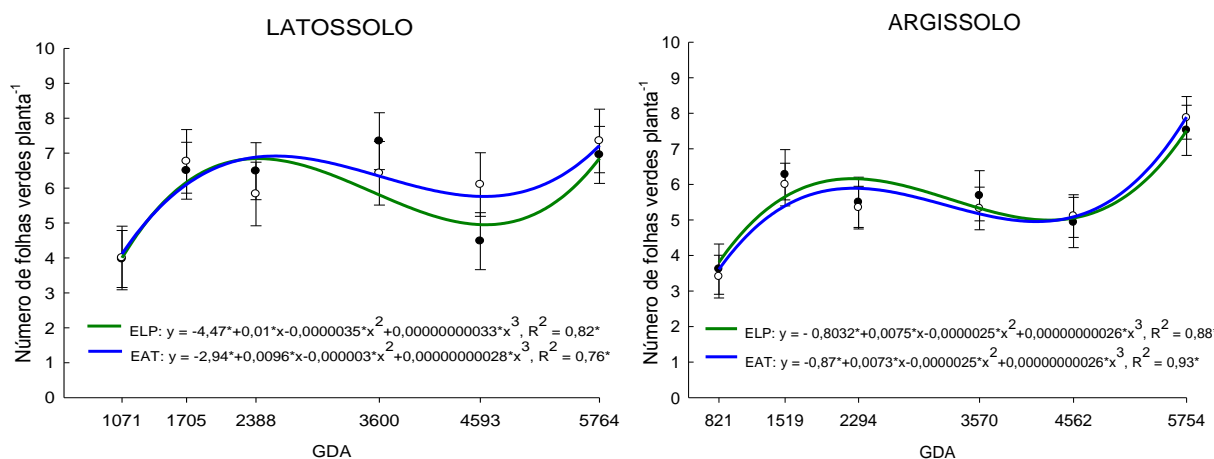
No Latossolo, verifica-se que, inicialmente, o número de perfilhos apresentou um pico de 15 e 16 perfilhos, quando submetido à EAT e a ELP, respectivamente, por volta dos 136 dias após o plantio (DAP), quando estavam acumulados aproximadamente 1705 graus-dia. No entanto, esse valor inicial foi diminuindo rapidamente com a morte dos perfilhos a partir da segunda avaliação. No Argissolo, o comportamento foi semelhante, apresentando valores máximos de 22 perfilhos quando submetido à ELP e de 29 perfilhos quando submetido à EAT, aos 170 DAP, ou seja, quando foram acumulados aproximadamente 2294 graus-dia. Além disso, observa-se que o Argissolo submetido à ELP interferiu no perfilhamento da cultura, apresentando aos 1519 GDA (115 DAP), em diante, menor número de perfilhos comparado com este solo submetido à EAT. Todavia, para o Argissolo, na última avaliação aos 5764 GDA (390 DAP), nota-se que a densidade de perfilhos foi semelhante quando o solo foi submetido à ELP e a EAT (Figura 2.2).



**Figura 2.2.** Número de perfilhos por metro em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a 10 °C) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. \*significativo a  $p < 0,05$  e \*\* $p < 0,01$ .

No início do desenvolvimento da cana, apesar da menor quantidade de chuva e menor temperatura comparada ao final do ciclo da cultura (Figura 2.1), foi observado intenso perfilhamento uma vez que há água, luz e espaço para exploração pelas plantas. Durante esse período, conforme os primeiros perfilhos vão se desenvolvendo e ocupando maior espaço no solo e no ar, as suas folhas vão sombreando aqueles que brotaram depois, e que são menores, sendo os primeiros mais eficientes na competição, principalmente por água e luz, fazendo com que os mais novos não consigam sobreviver, morrendo antes de se tornarem plantas adultas (Santos, 2008).

O número de folhas verdes por planta aumentou 64% e 69%, respectivamente, para o Latossolo submetido à ELP e a EAT dos 1071 GDA (79 DAP) aos 1705 GDA (136 DAP). A partir daí o número de folhas verdes variou em relação ao somatório dos graus-dia acumulados. No Argissolo, o aumento percentual aos 1519 GDA (115 DAP) em relação à primeira avaliação foi de 73% e 76%, respectivamente quando submetido à ELP e a EAT. Até aos 4562 GDA (304 DAP), o número de folhas verdes por planta manteve-se relativamente estável, aumentando expressivamente na última data de avaliação (Figura 2.3).



**Figura 2.3.** Número de folhas verdes por planta em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a 10 °C) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. \*significativo a  $p < 0,05$ .

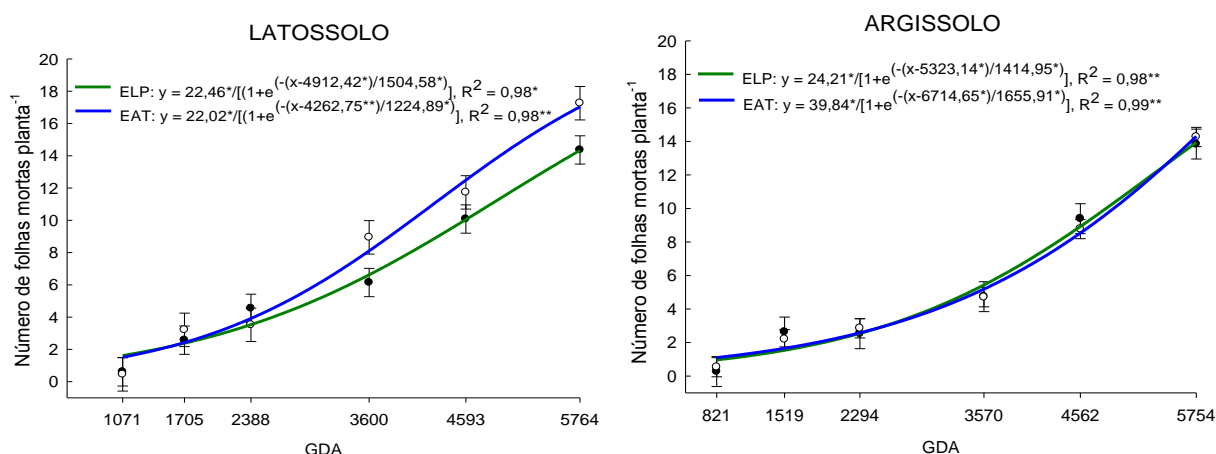
Para avaliar o momento de crescimento em que se iniciaram os acúmulos mais expressivos e o instante em que o acúmulo dos elementos começou a se estabilizar, foram calculados os pontos de curvatura mínima ( $C_{\min}$ ) e curvatura máxima ( $C_{\max}$ ). Em outras palavras, o intervalo entre estes dois pontos representa o período crítico de crescimento ou de acúmulo de massa seca, ou seja, período em que ocorrem os maiores acúmulos durante o ciclo de crescimento da planta (Tabela 2.2).

Não foi observado estabilização do número de folhas mortas por planta quando os solos foram submetidos aos tratamentos com a ELP e a EAT (Tabela 2.2 e Figura 2.4).

**Tabela 2.2.** Ponto de curvatura mínima ( $C_{min}$ ) e curvatura máxima ( $C_{max}$ ) para o número de folhas mortas por perfilho, área foliar, índice de área foliar, altura da planta, massa seca das folhas, massa seca dos ponteiros, massa seca dos colmos e massa seca total em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

Variável	ELP		EAT	
	$C_{min}$	$C_{max}$	$C_{min}$	$C_{max}$
Latossolo Vermelho				
Número de folhas mortas	1903	--- <sup>1</sup>	1813	---
Área foliar	978	3300	934	4465
Índice de área foliar	876	2861	828	3637
Altura da planta	1897	---	2260	5438
Massa seca das folhas	2328	5722	1997	5289
Massa seca dos ponteiros	2168	---	1997	3473
Massa seca dos colmos	1898	3344	1999	---
Massa seca total	2913	5556	2999	---
Argissolo Vermelho-Amarelo				
Número de folhas mortas	2493	---	3403	---
Área foliar	---	---	---	---
Índice de área foliar	662	2774	870	2641
Altura da planta	2036	---	2170	---
Massa seca das folhas	1922	5064	1723	4585
Massa seca dos ponteiros	2154	---	1734	---
Massa seca dos colmos	2101	3260	1927	---
Massa seca total	2912	---	2774	---

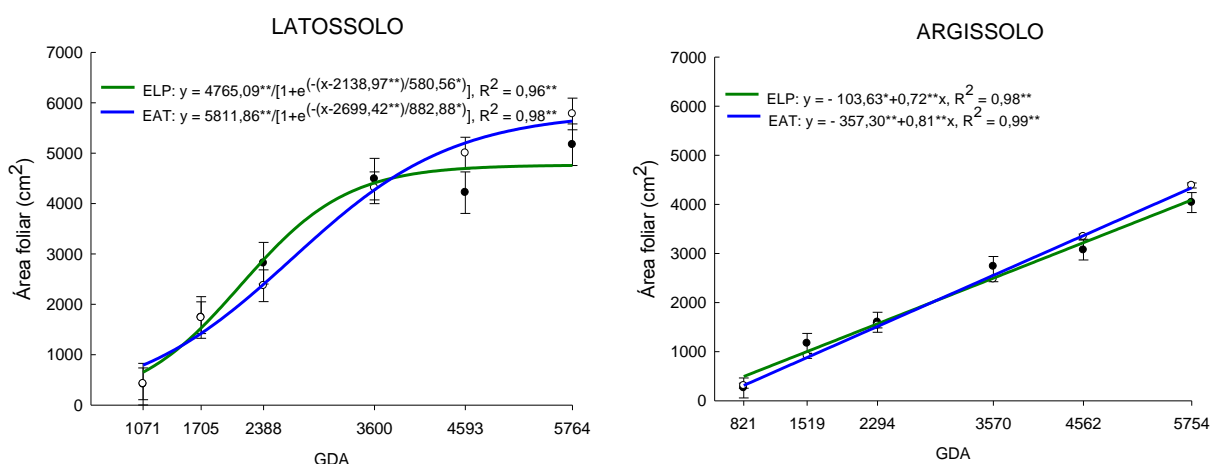
<sup>1</sup>Não foi possível estimar o  $C_{max}$ , pois não houve estabilização dos acúmulos.



**Figura 2.4.** Número de folhas mortas por planta em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a 10 °C) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. \*significativo a  $p < 0,05$  e \*\* $p < 0,01$ .



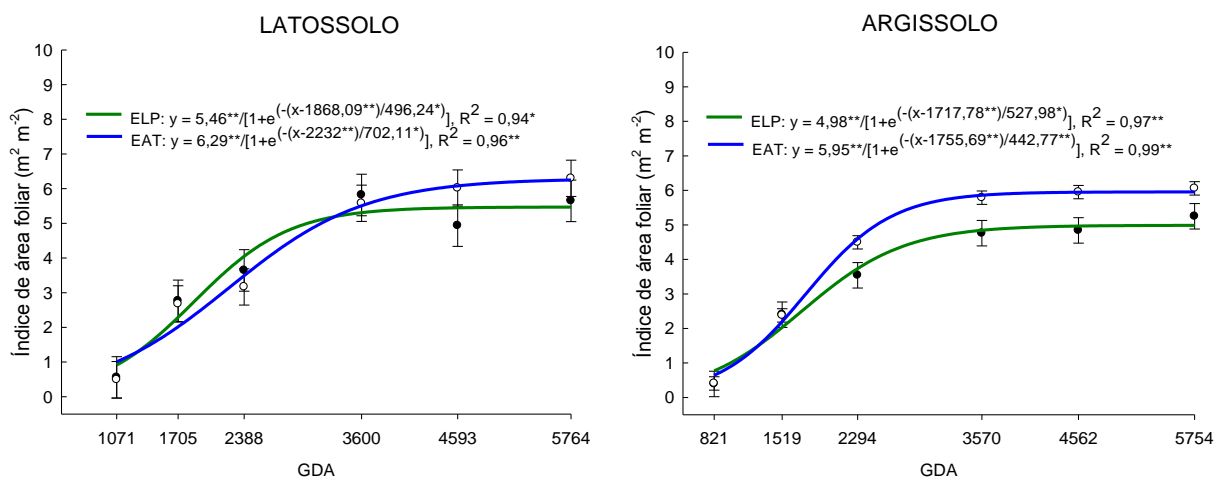
Em relação à área foliar, no Latossolo, verifica-se que os aumentos mais expressivos iniciaram mais tarde e estabilizam mais cedo quando submetido à ELP, comparado com a EAT. No Argissolo, área foliar apresentou comportamento linear, aumentando com a somatória dos graus-dia acumulados, quando submetido à EAT e ELP, demonstrando ser uma característica intrínseca à variedade utilizada (Figura 2.5).



**Figura 2.5.** Área foliar por perfilho ( $\text{cm}^2$ ) em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. \*significativo a  $p < 0,05$  e \*\* $p < 0,01$ .

Quanto ao índice de área foliar (IAF), verifica-se pela Tabela 2.2, que no Argissolo submetido à ELP os incrementos mais expressivos iniciaram mais cedo, estabilizando mais tarde quando comparados com o mesmo solo submetido à EAT.

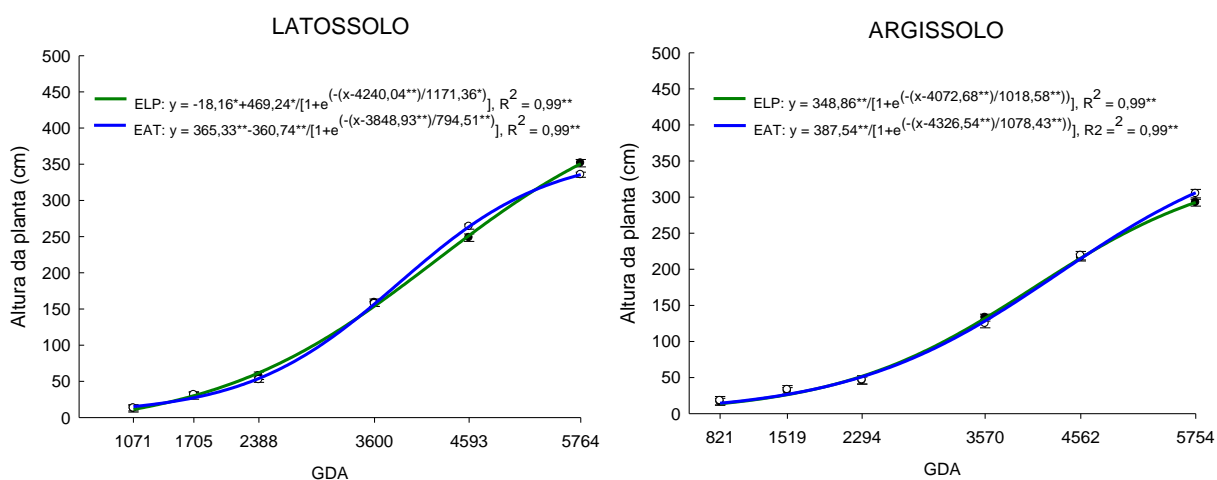
Observa-se que após a estabilização, a planta mantém o IAF até o final do ciclo, para ambos os solos (Figura 2.6). O contrário ocorre com o perfilhamento (Figura 2.2), havendo a morte de perfilhos até o final do ciclo. Ao relacionar estas duas variáveis, pode-se compreender a variação ocorrida no número de folhas verdes por planta. É provável que a planta consiga regular o número de folhas verdes de forma a não comprometer o IAF, mantendo a eficiência fotossintética e a acumulação de carboidratos na planta.



**Figura 2.6.** Índice de área foliar ( $m^2 m^{-2}$ ) em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a 10 °C) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. \*significativo a  $p < 0,05$  e \*\* $p < 0,01$ .

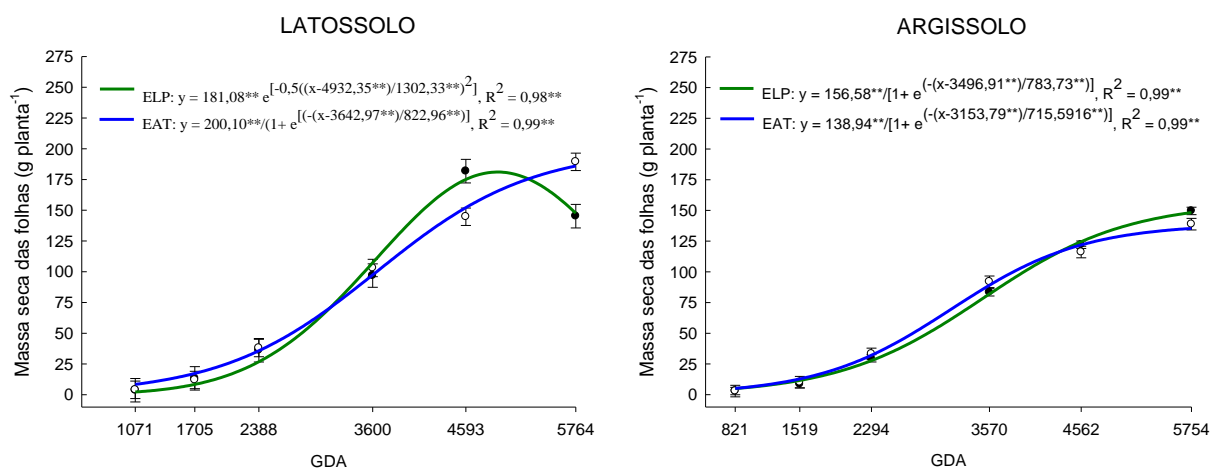
De acordo com Barbieri (1993), valores de IAF acima de dois já provocam a morte de perfilhos devido à competição por luz. Observa-se que no Latossolo, aos 1705 GDA (136 DAP), os valores de índice de área foliar eram de 2,8 e 2,7, respectivamente quando submetidos à ELP e a EAT (Figura 2.6), sendo que após esta avaliação foi observado a morte de perfilhos (Figura 2.2) corroborando, portanto, com Barbieri (1993). Todavia, no Argissolo a morte dos perfilhos só ocorre a partir dos 2294 GDA (170 DAP) (Figura 2.2) com valores de IAF observados para Argissolo submetido à ELP de 3,54 e para Argissolo submetido à EAT de 4,49 (Figura 2.6). Isso demonstra que a relação entre IAF e a morte dos perfilhos pode variar em função do solo cultivado, do manejo deste e também da variedade utilizada.

Para a altura da planta, nota-se que em ambos os solos submetidos à ELP os incrementos mais expressivos iniciaram mais cedo, do que quando submetidos à EAT. Porém, apenas com o Latossolo submetido à EAT houve estabilização do crescimento (Tabela 2.2 e Figura 2.7).

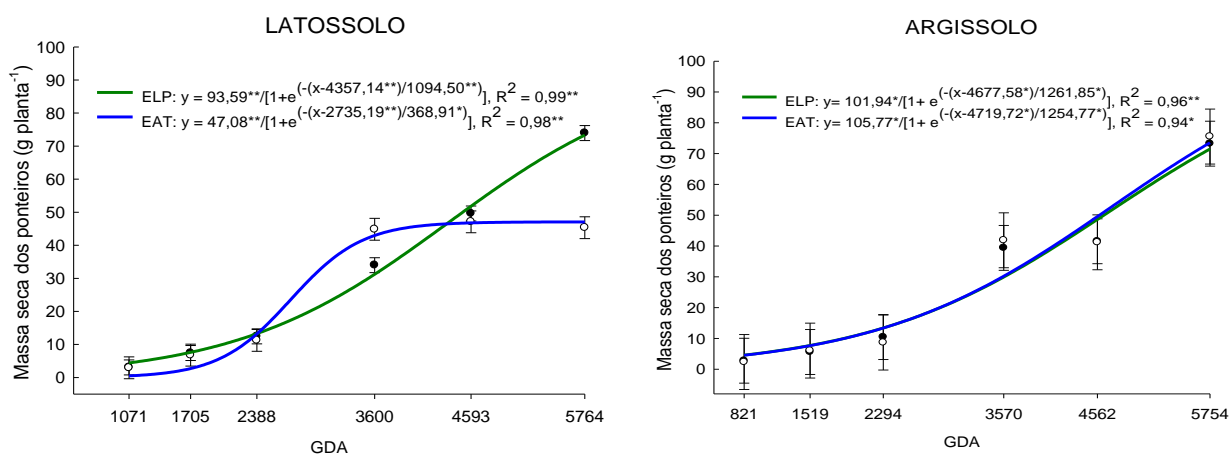


**Figura 2.7.** Altura da planta (cm) em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a 10 °C) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. \*significativo a  $p < 0,05$  e \*\* $p < 0,01$ .

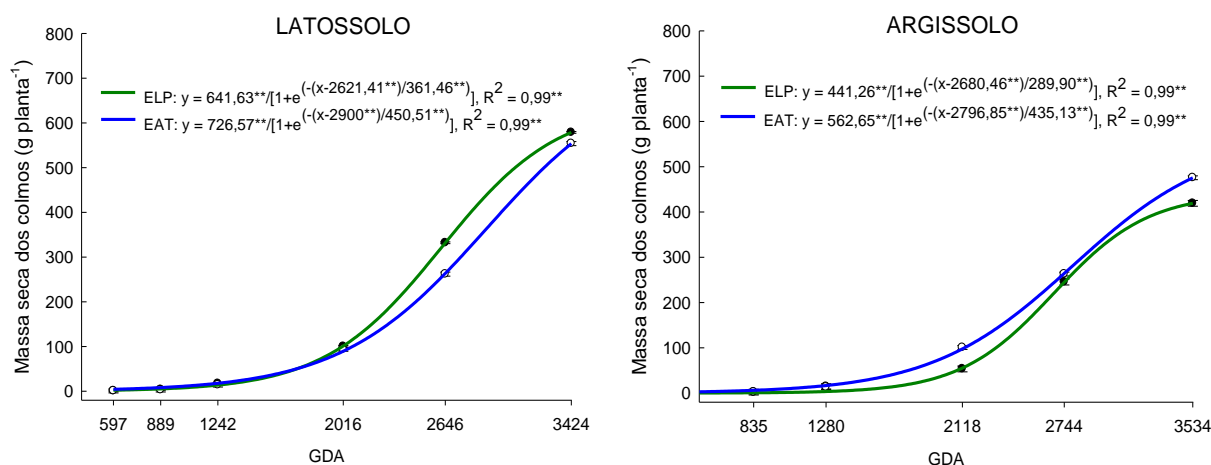
As Figuras 2.8, 2.9, 2.10 e 2.11 apresentam o acúmulo de massa seca nas folhas, nos ponteiros, nos colmos e total, em solos submetidos aos tratamentos com a ELP e a EAT, em relação aos graus-dia acumulados.



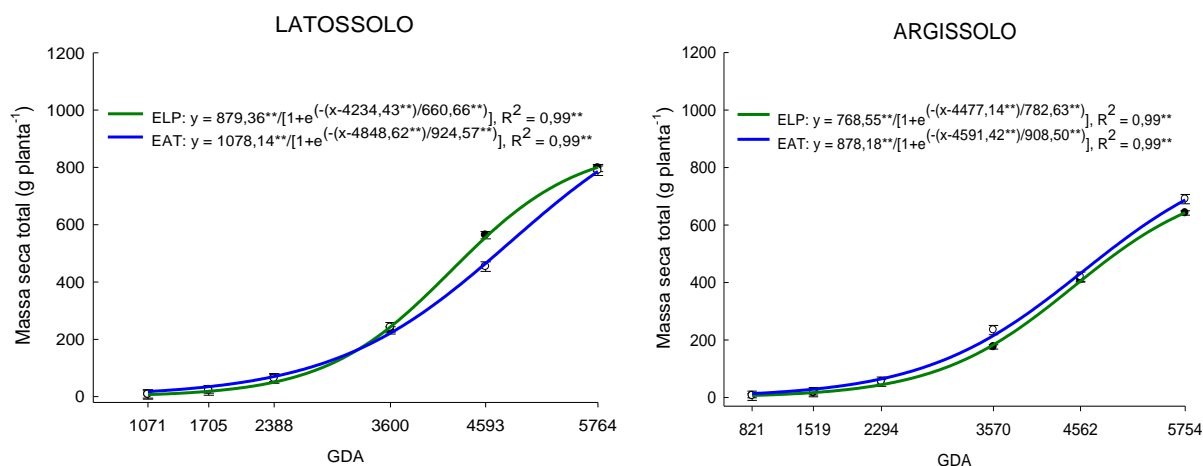
**Figura 2.8.** Massa seca das folhas ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a 10 °C) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. \*\*significativo a  $p < 0,01$ .



**Figura 2.9.** Massa seca dos ponteiros ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. \*significativo a  $p < 0,05$  e \*\* $p < 0,01$ .



**Figura 2.10.** Massa seca dos colmos ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. \*\*significativo a  $p < 0,01$ .



**Figura 2.11.** Massa seca total ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em relação ao somatório dos graus-dia acumulados (GDA, temperatura base igual a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) durante o ciclo de cana planta, cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais em cada ponto representam o erro padrão da média. **\*\*** significativo a  $p < 0,01$ .

No Latossolo, para a massa seca do colmo e massa seca total (Tabela 2.2, Figuras 2.10 e 2.11), os incrementos mais expressivos ocorrem mais cedo e a estabilização, ocorreu mais tarde quando submetido à ELP do que quando submetido à EAT. No Argissolo, a estabilização do acúmulo de massa seca nos colmos, ocorreu aos 3260 GDA quando submetido à ELP, não havendo estabilização do acúmulo quando submetido à EAT (Tabela 2.2).

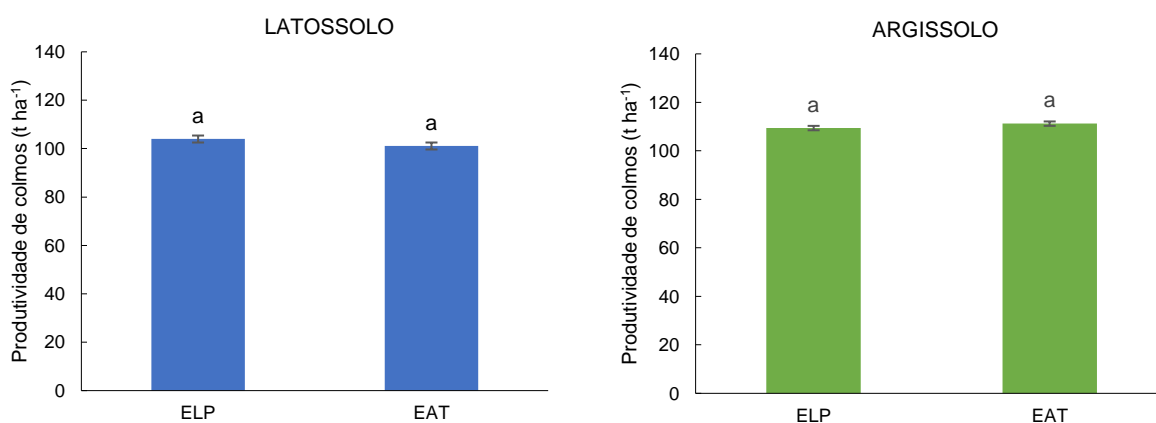
A diferença, observada no perfilhamento da cana-de-açúcar entre os tratamentos submetidos à ELP e a EAT no Argissolo, não resultou em interferência no crescimento da planta em altura, tão pouco no acúmulo de massa seca durante seu ciclo. Isso reforça a hipótese levantada por Terauchi e Matsuoka (2000) de que o elevado perfilhamento na fase inicial pode não ser uma característica desejável, haja vista que isso requer um maior gasto energético para a produção destes perfilhos, o qual não necessariamente se reflete em aumento de produtividade.

Oliveira et al. (2007) verificaram correlação negativa entre o perfilhamento e a produção de massa seca total de cana-de-açúcar. Ramesh e Mahadevaswamy (2000) relatam que quando a cana-de-açúcar apresenta menor densidade de perfilhos tende a apresentar maior altura. No Argissolo, apesar do menor perfilhamento observado quando submetido à ELP (Figura 2.2), isso não refletiu em

maior altura da planta. Provavelmente isso se deve ao fato de que os incrementos mais expressivos na altura das plantas iniciaram próxima a avaliação em que ela atingiu o máximo perfilhamento.

Pelas equações obtidas para IAF, observa-se que os máximos valores variaram entre 5 e 6,4 (Figura 2.6). Os estudos de Machado et al. (1985) apontam que para a planta interceptar 95% da radiação solar incidente, um IAF de 4 é suficiente. O IAF entre 5 e 6 parece ser ideal, visto que após a estabilização do IAF é que se iniciam os maiores incrementos na massa seca dos colmos, ou seja, numa primeira fase de crescimento, houve intenso perfilhamento e também acentuado aumento do número de folhas verdes por planta. Em seguida, ocorreram intensos incrementos na altura da planta até que se atingisse a estabilização do IAF e, posteriormente, o início do intenso acúmulo de massa seca nos colmos.

Não houve diferença ( $p < 0,05$ ) para a produtividade de colmos da cana-de-açúcar quando cultivada em solos com a ELP e com a EAT. No Latossolo, a produtividade de colmos foi de 104 t ha<sup>-1</sup>, quando submetido à ELP e de 101 t ha<sup>-1</sup>, quando submetido à EAT; e no Argissolo a produtividade foi de 109 e 111 t ha<sup>-1</sup>, quando submetido à ELP e a EAT, respectivamente (Figura 2.12).



**Figura 2.12.** Produtividade de colmos da cana-de-açúcar (t ha<sup>-1</sup>) cultivada em solos com escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT). Barras verticais representam os erros-padrão das médias. Letras iguais indicam que não houve diferença pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Assim, observou-se que os solos submetidos à ELP e a EAT proporcionaram condições favoráveis para o crescimento da planta. Deste modo, podemos dizer que

a ELP pode ser substituída pela EAT, uma vez que o local da escarificação não interferiu na produtividade de colmos da cana-de-açúcar, para este estudo.

Segundo o Centro de Tecnologia Canavieira, as variedades utilizadas neste experimento, considerando as variações edafoclimáticas de cada ambiente de produção, possuem potencial para alcançar uma produtividade média de 110 t ha<sup>-1</sup> para a CTC 14, e de 116 t ha<sup>-1</sup> para a CTC 4, no primeiro corte (CTC, 2018). Portanto, as produtividades alcançadas nas duas áreas foram abaixo da média de produtividade potencial das duas variedades estudadas. A baixa produtividade, no primeiro corte, das variedades cultivadas pode ser explicada pela menor quantidade entre os meses de junho a outubro de 2015, ocorrido nas regiões onde o experimento foi realizado (Figura 2.1). De acordo com Abreu et al. (2013), quando ocorre limitações de água nas etapas iniciais de desenvolvimento da planta, o crescimento dos colmos fica restrito, o que causa diminuições da produtividade da cultura.

Cherubin et al. (2016) ressaltam o uso intenso do solo tem implicações diretas sobre sua qualidade, sendo preciso buscar a segurança a longo prazo, com estratégias que assegurem a sustentabilidade dos sistemas de produção de cana-de-açúcar.

Neste sentido, este trabalho tem sua importância, visto que os solos submetidos à ELP não comprometeram a produção da cultura, além disso, esta operação de preparo do solo viabiliza o menor custo com a implantação do canavial, reduzindo também a emissão de poluentes pelo menor tempo de utilização de maquinário agrícola. Além disso, segundo Souza et al. (2017) o preparo com a ELP também resulta em menor emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, quando comparado ao preparo com a EAT.

No Latossolo, dentre as variáveis estudadas, apenas a massa seca das folhas e a massa seca dos ponteiros foram influenciados pelas operações de escarificação do solo. As demais não apresentaram diferença em relação ao tipo de solo e aos tratamentos estudados, logo podemos inferir que a escarificação do solo, realizada na linha de plantio, pode ser substituída pela escarificação em área total.

## 2.4 Conclusão

O preparo do solo com a escarificação na linha de plantio pode ser substituído pelo preparo com a escarificação em área total, uma vez que o crescimento e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar foram semelhantes independentemente do local da operação de escarificação.

## Agradecimentos

Ao programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo). À CAPES, pelo suporte financeiro e à FAPESP, pelo auxílio financeiro para a condução da pesquisa (processo nº 2014/14490-2).

## Referências

Abreu ML, Silva MA, Teodoro L, Holanda LA, Sampaio Neto GD (2013) Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia** 72:262–270. doi: 10.1590/brag.2013.028

Barbieri V (1993) **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*):** um modelo matemático-fisiológico de estimativa. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Cherubin MR, Franco ALC, Guimarães RML, Tormena CA, Cerri CEP, Karlen DL, Cerri CC (2017) Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil and Tillage Research** 173:64–74. doi: 10.1016/j.still.2016.05.004

Cherubin MR, Karlen DL, Cerri CEP, Franco ALC, Tormena CA, Davies CA, Cerri CC (2016) Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. **Plos One** 11:1–26. doi: 10.1371/journal.pone.0150860

Claessen MEC (1997) Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p.



CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2017) Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/170420140431boletim\\_cana\\_portugues1%C2%BA%20levantamento,17-18](https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/170420140431boletim_cana_portugues1%C2%BA%20levantamento,17-18)>. Acesso em: 20 abr. 2017.

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira (2018) Análise comercial das variedades CTC 4 e CTC 14. Disponível em: <<https://variedadesctc.com.br/produtos/ctc-4/>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

Hermann ER, Câmara GMS (1999) Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB** 17:32–34.

Machado EC, Pereira AR, Camargo MBP, Fahl JI (1985) Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia** 44:229–238. doi: 10.1590/S0006-87051985000100021

Marafon AC (2012) Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 29 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168).

Marin FR (2017) Árvore do Conhecimento: cana-de-açúcar. Solos do Brasil e a cana-de-açúcar. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília: Embrapa: Brasília. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_18\\_3112006152934.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_18_3112006152934.html)>. Acesso em: 12 dez. 2017.

Mialhe LG (1974) Manual de mecanização agrícola. São Paulo: Ceres, 301 p.

Nassif DSP, Marin FR, Costa LG (2013) Padrões mínimos para coleta de dados experimentais para estudos sobre crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 28 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 127).

Oliveira PR, Centurion JF, Centurion MAPC, Rossetti KV, Ferraudo AS, Franco HBJ, Pereira FS, Bárbaro Júnior LS (2013) Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:604–612. doi: 10.1590/S0100-06832013000300006

Perecin D, Ferraudo GM, Azania CAM, Schiavetto AR (2015) Statistical analysis for correlated paired-plot designs. **American Journal of Experimental Agriculture** 9:1–7. doi: 10.9734/AJEA/2015/20722

Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 285 p.

Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1997) Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 285 p. (Boletim Técnico IAC, 100).

Ramesh P, Mahadevaswamy M (2000) Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science** 185:249–258. doi: 10.1046/j.1439-037x.2000.00399.x

Santos ACA (2008) **Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar para as condições edafoclimáticas de Aparecida do Taboado-MS**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) – Universidade Estadual Paulista Ilha Solteira.

Sinclair TR, Gilbert RA, Perdomo RE, Shine Júnior JM, Powell G, Montes G (2004) Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research** 88:171–178. doi: 10.1016/j.fcr.2003.12.005

Smit MA, Singels A (2006) The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research** 98:91–97. doi: 10.1016/j.fcr.2005.12.009

Souza LC, Fernandes C, Nogueira DCS, Moitinho MR, Bicalho ES, La Scala N (2017) Can partial cultivation of only the sugarcane row reduce carbon dioxide emissions in an oxisol and ultisol? **Agronomy Journal** 109:1113–1121. doi: 10.2134/agronj 2016.10.0565

Terauchi T, Matsuoka M (2000) Ideal characteristics for the early growth of sugarcane. **Japanese Journal of Crop Science** 69:286–292.

Venegas JG, Harris RS, Simon BA (1998) A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **Journal of Applied Physiology** 84:389–395. doi: 10.1152/jappl.1998.84.1.389

Yeomans JC, Bremner JM (1988) A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis** 19:1467–1476. doi: 10.1080/00103628809368027

### **CAPÍTULO 3 – Atributos físicos do solo e produtividade de cana-de-açúcar cultivada em solos submetidos à escarificação em linha de plantio e em área total**

**RESUMO** – As operações de preparo alteram a estrutura do solo e demandam altos custos na reforma do canavial, portanto medidas que reduzam esses custos são desejáveis, desde que proporcionem boas condições físicas para o desenvolvimento das plantas. Assim, o objetivo foi avaliar os efeitos do local da escarificação sobre os atributos físicos do solo e sua relação com a produtividade de colmos e a qualidade da cana-de-açúcar, cultivada em Latossolo e Argissolo, seis meses após o plantio. O experimento foi conduzido em duas áreas agrícolas localizadas nos municípios de Guariba e Monte Alto, no Estado de São Paulo. O delineamento experimental foi em parcelas grandes pareadas, viabilizando as operações de preparo do solo e a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. Os tratamentos foram constituídos de dois locais de escarificação do solo: escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT), em Latossolo e em Argissolo. As áreas experimentais mediram 10 ha no Latossolo e 9 ha no Argissolo. Cada área foi composta por 20 parcelas, sendo destinadas 10 parcelas para cada tratamento. As amostras de solo foram coletadas nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade sob dois locais de amostragem (entrelinha e linha de plantio), em ambas as áreas. Foram determinados os teores de areia, silte e argila; os atributos físicos do solo: resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), bem como os atributos da planta, como a produtividade de colmos e o açúcar total recuperável (ATR), seis meses após o plantio. A partir do conjunto de dados obtidos, realizou-se uma análise fatorial multivariada com extração dos fatores pelo método da análise de componentes principais. O primeiro fator (Fator 1) foi formado pelos atributos microporosidade (MiP), argila e areia. Os atributos resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo (Ds) e macroporosidade (MaP) foram responsáveis pela formação do segundo fator (Fator 2). Os atributos físicos foram semelhantes, em ambos os solos, independentemente do local da escarificação. O efeito benéfico da escarificação do solo foi desaparecendo após a realização de seu preparo. O preparo do solo com a escarificação na linha de plantio pode ser substituído pelo preparo com a escarificação em área total, uma vez que a produtividade de colmos e o açúcar total recuperável da cana-de-açúcar foram semelhantes independentemente do local da operação de escarificação, apresentando condições físicas semelhantes para os dois solos estudados.

**Palavra-chave:** Argissolo, análise fatorial multivariada, Latossolo, preparo mínimo, *Saccharum* sp.

### 3.1 Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das culturas de maior importância econômica no Brasil. Seu cultivo tem por objetivo atender a indústria de produção de açúcar e etanol, e o Brasil se destaca entre os países como maior produtor do mundo, com uma produção na safra 2016/2017 de 657,2 milhões de toneladas em uma área total de 10,3 milhões de hectares (CONAB, 2017).

A cana-de-açúcar é cultivada em diferentes solos, no Estado de São Paulo o Latossolo Vermelho apresenta grande extensão de área cultivada, porém a cana também é planta em outros solos, como os Argissolos (Marin, 2017). Os Latossolos são solos profundos e intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes. O fácil manejo e a alta porosidade fazem do Latossolo um ambiente de produção com alto potencial produtivo. Os Argissolos apresentam nítida diferenciação dos horizontes pelo aumento, por vezes abrupto, dos teores de argila em profundidade, além de serem solos mais sensíveis à erosão, exigindo, assim, o uso de práticas de manejo que contribuam para sua conservação (IAC, 2014).

No cultivo da cana-de-açúcar tem sido empregado sistemas de manejo que provocam alterações na estrutura do solo, em decorrência do tráfego de máquinas e implementos desde o preparo do solo até a colheita, o que pode afetar o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar (Cherubin et al., 2017).

Durante o período de reforma do canavial, normalmente realiza-se o preparo convencional do solo com operações de aração e gradagem, acompanhadas de escarificação em área total para o plantio da cana, com objetivo de promover melhor desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, melhores resultados de produtividade. No entanto, este tipo de preparo nem sempre é eficiente, pois apresenta efeito temporário, o que em longo prazo leva à degradação dos atributos físicos do solo (Tim Chamen et al., 2015). Além disso, o preparo com a escarificação em área total consome muita energia, favorecendo o aumento dos custos de produção bem como os aumentos da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Souza et al., 2017).

Atualmente, em algumas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, o preparo com a escarificação em área total vem sendo substituído pelo preparo com a

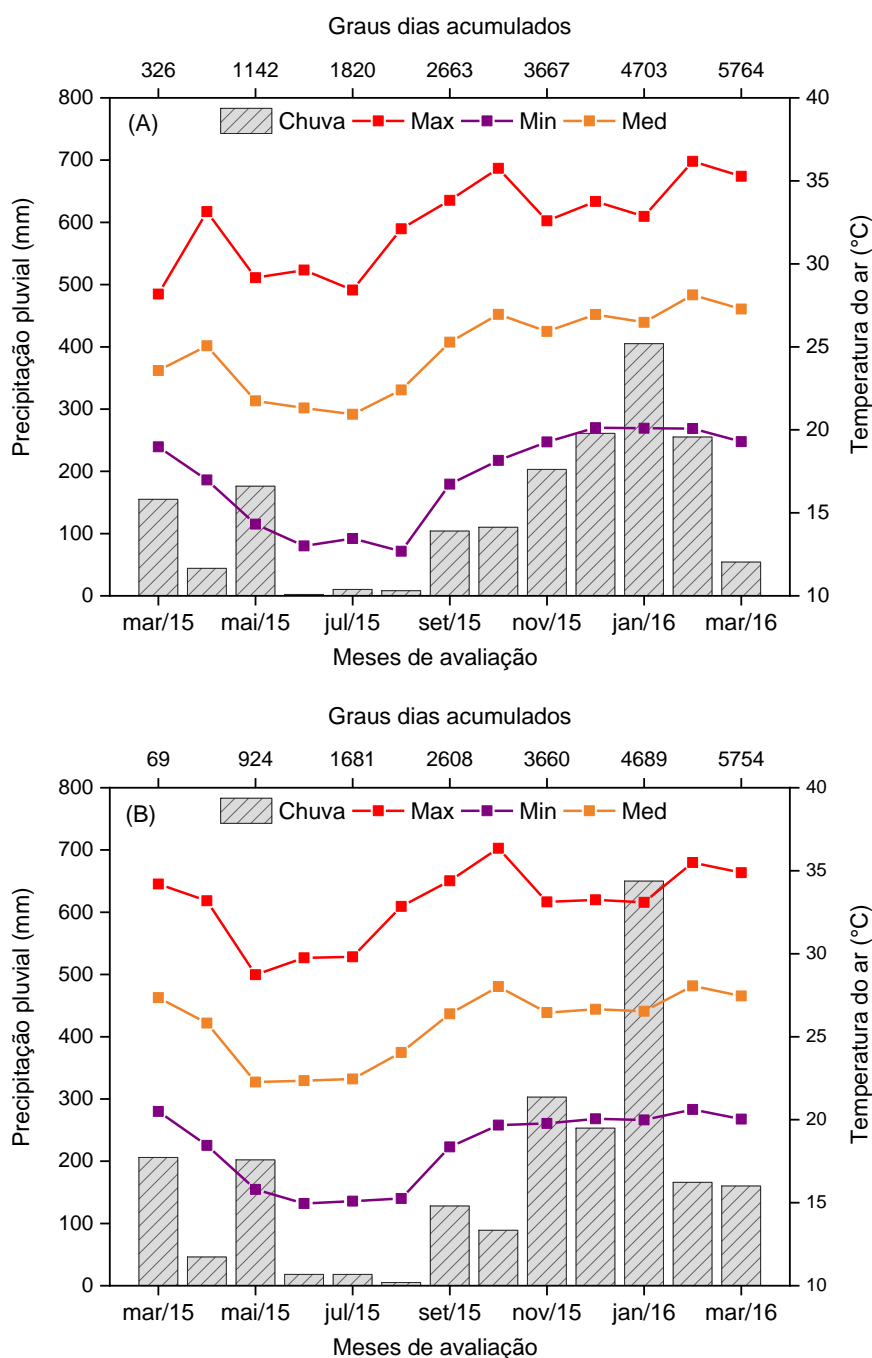
escarificação na linha de plantio, contribuindo para a menor mobilização do solo e para a diminuição dos custos de produção na fase inicial de implantação do canavial. Portanto, pesquisas que abordem a utilização de sistemas de preparo que mobilizem menos o solo são promissoras na redução dos impactos sob os atributos físicos do solo e, conseqüentemente, sob a produtividade do canavial.

Assim, a hipótese desse estudo é que o preparo do solo com a escarificação tanto na linha de plantio quanto em área total possibilitam as mesmas condições físicas de solo e de produtividade de colmos da cana-de-açúcar, seis meses após o plantio. Portanto, o objetivo foi avaliar o efeito do preparo do solo com a escarificação na linha de plantio e em área total sobre os atributos físicos do solo e sua relação com a produtividade de colmos e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivada em Latossolo e Argissolo, seis meses após o plantio.

### **3.2 Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em duas áreas agrícolas localizadas no Estado de São Paulo. Na primeira área, localizada no município de Guariba, próximo às coordenadas geográficas 21°24'25''S e 48°12'12''W, com 618 m de altitude, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho. Na segunda área, localizada no município de Monte Alto, próximo às coordenadas geográficas 21°15'23''S e 48°25'52''W, com 735 m de altitude, o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com o horizonte B iniciando a 0,35 m de profundidade. As duas áreas eram cultivadas com cana-de-açúcar e nelas utilizou-se colheita mecanizada por mais de 20 anos. E no ano da implantação do experimento não foi realizada rotação, ou seja, o manejo foi cana sobre cana.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico com inverno seco (Aw), com precipitação média anual de 1.400 mm e chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 18 °C. A precipitação pluvial diária, as temperaturas máxima, mínima e média diária, e os graus-dias acumulados ambos referentes ao período de condução do experimento na área de Latossolo e na área de Argissolo estão apresentados na Figura 3.1.



**Figura 3.1.** Precipitação, temperatura máxima, mínima e média do ar e graus-dia acumulados na área de Latossolo Vermelho (A) e de Argissolo Vermelho-Amarelo (B), no período de 03/2015 a 03/2016.

Os teores de argila, areia e silte foram determinados segundo Claessen (1997) (Tabela 3.1). O fracionamento das partículas de areia em diâmetro de classes é apresentado na Tabela 3.2.

**Tabela 3.1.** Média dos teores de argila, areia e silte nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade nas entrelinhas e linhas de plantio de solos cultivados com cana-de-açúcar, submetidos à escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

Camada (m)	Argila	Areia	Silte
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
	Latossolo Vermelho		
0,00-0,10	548,20	320,68	131,12
0,10-0,20	572,13	321,28	106,59
	Argissolo Vermelho-Amarelo		
0,00-0,10	136,14	794,17	69,69
0,10-0,20	163,15	798,88	37,97

**Tabela 3.2.** Fracionamento da areia em diâmetro de classes nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade de solos submetidos à escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

Camada (m)	mm				
	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,05
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
	Latossolo Vermelho				
0,00-0,10	1,15	36,63	127,17	102,73	53,00
0,10-0,20	1,47	32,32	132,32	104,75	50,43
	Argissolo Vermelho-Amarelo				
0,00-0,10	0,42	15,10	211,25	350,85	216,55
0,10-0,20	0,20	12,42	217,75	362,32	206,20

Areia muito grossa: 2-1 mm; areia grossa: 1-0,5 mm; areia média: 0,5-0,25 mm; areia fina: 0,25-0,125 mm e areia muito fina = 0,125-0,05 mm.

Antes da instalação do experimento, realizou-se a eliminação da soqueira da cana-de-açúcar do ciclo produtivo anterior. No Latossolo, utilizou-se o eliminador mecânico de soqueira em novembro de 2014. No Argissolo, realizou-se a eliminação química, com 4 L ha<sup>-1</sup> de glifosato, em janeiro de 2015. Em solos com textura mais arenosa nas primeiras camadas, como o Argissolo da área estuda, utiliza-se a eliminação química da soqueira, pois este solo é mais susceptível à erosão comparado ao Latossolo.

No Latossolo, em dezembro de 2014, aplicou-se 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário (35% de CaO, 15% de MgO e PRNT = 81%), para elevar a saturação por bases a 70% (Raij et al., 1997) e 1,0 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola. No Argissolo, em janeiro de 2015, aplicou-se 3,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário (35% de CaO, 15% de MgO e PRNT = 81%), para elevar a saturação por bases a 70% e 1,0 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola. O preparo por



meio de operações de escarificação do solo foi realizado em 31 de janeiro de 2015 no Latossolo e em 17 de fevereiro de 2015, no Argissolo.

O experimento foi conduzido em parcelas grandes pareadas (Perecin et al., 2015), as quais possibilitaram as operações de preparo do solo e a colheita mecanizada da cana-de-açúcar.

As áreas experimentais mediram 10 ha no Latossolo e 9 ha no Argissolo. Cada área foi composta por 20 parcelas, sendo destinadas 10 parcelas para cada tratamento, com aproximadamente 0,50 ha para a área de Latossolo e 0,45 ha para a área de Argissolo. Os tratamentos foram constituídos de dois locais de escarificação do solo: escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

Para o tratamento com escarificação na linha de plantio (ELP) empregou-se a escarificação no sentido das linhas de plantio um escarificador com dois pares de hastes espaçadas de 1,5 m e profundidade de trabalho de 0,30 m, sendo que a distância entre as hastes que compõe cada par do escarificador é de 0,50 m, com dois rolos destorroadores. Para o tratamento com escarificação em área total (EAT) utilizou-se um escarificador com cinco hastes espaçadas em 0,50 m e profundidade de trabalho de 0,30 m.

No Latossolo, o plantio foi realizado no dia 07/03/2015 utilizando a variedade CTC 14 e, no Argissolo, no dia 26/03/2015 utilizando a variedade CTC 4. No plantio, em ambas as áreas se realizou a sulcação até 0,30 m de profundidade, com espaçamento entre sulcos de 1,5 m, aplicação de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 125 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, distribuídos no sulco de plantio.

A amostragem do solo foi realizada no mês de setembro de 2015, seis meses após o plantio da cana-de-açúcar, nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, em dois locais, quais sejam na entrelinha (distante 0,75 m da touceira) e na linha de plantio (distante 0,20 m da touceira), em ambas as áreas.

Amostras de solo deformadas foram coletadas com auxílio de trado holandês, coletando-se 20 subamostras por parcela para formar uma amostra composta. A partir desta, foram determinados os teores de areia, argila e silte (Claessen, 1997).

As amostras de solo indeformadas foram coletadas, utilizando-se anéis volumétricos (diâmetro = 0,05 m e altura = 0,05 m) coletados com o trado tipo

Uhland. Em cada parcela foram retirados três anéis volumétricos contendo as amostras de solo indeformadas. Nessas amostras foi determinada a resistência do solo à penetração (RP), segundo Tormena et al. (1998), a densidade do solo (Ds), a porosidade total (Pt), a macroporosidade (MaP) e a microporosidade (MiP), conforme metodologia descrita por Claessen (1997).

No Latossolo, a colheita mecanizada da cana foi realizada no dia 01/07/2016 e no Argissolo, no dia 18/07/2016. Nas dez parcelas que constituíam cada tratamento, a cana-de-açúcar foi colhida com uso de uma máquina colhedora “Case modelo 8800” (potência: 358 cv, tipo de rodado: esteira e auto-tracker: automático), a qual colheu e transferiu os colmos em uma composição de dois transbordos, com células de cargas para mensuração da massa de colmos colhida, para assim, obter a produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ).

Nas parcelas de cada tratamento estudado foi determinada a produção de colmos por área, o que permitiu calcular a produtividade de colmos ( $t\ ha^{-1}$ ) nas duas áreas avaliadas. Além da produtividade de colmos, também foi determinado o açúcar total recuperável (ATR). Para a determinação deste atributo tecnológico foram coletados 10 colmos, das parcelas de cada tratamento. Os feixes foram despontados, despalhados, etiquetados e encaminhados ao laboratório de análises da Usina São Martinho, de Pradópolis - SP, onde se obteve os teores de açúcares totais recuperáveis (ATR), expressos em  $kg\ t^{-1}$  de colmos, conforme metodologia descrita por Consecana (2006).

Com base nos seis atributos físicos do solo determinados (RP, Ds, MaP, MiP, argila e areia) nas camadas amostradas de ambos os solos, realizou-se a análise fatorial multivariada a fim de examinar a estrutura de intercorrelação dos atributos físicos estudados bem como os processos formados por esses atributos, influenciados pelo manejo do solo com escarificação.

A análise fatorial multivariada foi realizada com a extração dos fatores pelo método das componentes principais, utilizando-se a rotação varimax normalizada, de modo a investigar a estrutura de correlações entre as variáveis (atributos físicos do solo), o que definiu um conjunto de dimensões latentes comuns denominadas de fatores.

O objetivo do método de rotação é a redistribuição da variância dos primeiros

fatores para os demais, até que seja atingido um padrão fatorial simples e significativo, tornando o resultado mais facilmente interpretável, além de conservar suas propriedades estatísticas (Hair et al., 2009). Os fatores extraídos foram escolhidos obedecendo ao critério de Kaiser, o qual sugere que devam ser extraídos apenas os fatores com autovalores maiores que 1,00. Após esse procedimento, foram obtidos a matriz de cargas fatoriais dos fatores extraídos, a comunalidade e os escores fatoriais rotacionados, os quais representam as estimativas das contribuições dos vários fatores a cada observação original, além de serem utilizados em classificação de amostras (Landim, 2011). Nos procedimentos de análise fatorial multivariada, o programa estatístico utilizado foi o Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

Os efeitos dos tratamentos de escarificação (ELP e EAT) e o local de amostragem (na entrelinha e na linha de plantio) sobre os escores fatoriais dos coeficientes extraídos (variáveis latentes) pela análise fatorial multivariada, nas camadas amostradas seis meses após o plantio da cana, foram submetidos à análise de variância. Quando os valores de F foram significativos, as médias dos valores de escores fatoriais de cada fator extraído foram comparadas pelo teste Tukey a  $p < 0,05$ . Os resultados da produtividade de colmos e do açúcar total recuperável da cana-de-açúcar também foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de média pelo teste Tukey a  $p < 0,05$ . A análise de variância e o teste de Tukey foram realizados com auxílio do programa estatístico SAS 9.2.

### **3.3 Resultados e Discussão**

A estatística descritiva dos atributos físicos, nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, indica que no Latossolo Vermelho e no Argissolo Vermelho-Amarelo os atributos RP, DS, MaP e MiP, se comparados nas linhas e entrelinhas da cana-de-açúcar, não apresentaram variações entre as médias obtidas, indicando que as condições dos locais de amostragem apresentavam semelhanças quanto a condição física do solo (Tabela 3.3).

No Latossolo Vermelho dois fatores foram extraídos pela análise fatorial multivariada, os quais somados explicaram 90 % da variabilidade dos dados (Tabela

3.4). Essa percentagem significa que foram gerados fatores (Fator 1 e 2) com quantidade relevante de informação das variáveis originais.

**Tabela 3.3.** Média  $\pm$  desvio padrão dos atributos físicos resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP) nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m nas linhas e entrelinhas da cana-de-açúcar cultivada em solos submetidos à escarificação na linha de plantio e escarificação em área total, seis meses após o plantio da cana-de-açúcar.

Camada (m)	Local de	RP	DS	MaP	MiP
Latossolo Vermelho					
0,00-0,10	Linha	1,81 $\pm$ 0,44	1,31 $\pm$ 0,13	0,14 $\pm$ 0,06	0,36 $\pm$ 0,04
	Entrelinha	1,81 $\pm$ 0,86	1,33 $\pm$ 0,07	0,10 $\pm$ 0,04	0,39 $\pm$ 0,03
0,10-0,20	Linha	2,02 $\pm$ 1,01	1,36 $\pm$ 0,15	0,14 $\pm$ 0,05	0,35 $\pm$ 0,04
	Entrelinha	2,27 $\pm$ 0,71	1,41 $\pm$ 0,10	0,10 $\pm$ 0,04	0,37 $\pm$ 0,03
Argissolo Vermelho-Amarelo					
0,00-0,10	Linha	2,25 $\pm$ 0,72	1,70 $\pm$ 0,07	0,07 $\pm$ 0,03	0,26 $\pm$ 0,02
	Entrelinha	2,53 $\pm$ 0,67	1,68 $\pm$ 0,08	0,06 $\pm$ 0,02	0,28 $\pm$ 0,03
0,10-0,20	Linha	3,52 $\pm$ 1,09	1,82 $\pm$ 0,05	0,05 $\pm$ 0,01	0,24 $\pm$ 0,02
	Entrelinha	4,01 $\pm$ 0,96	1,86 $\pm$ 0,04	0,04 $\pm$ 0,01	0,23 $\pm$ 0,02

**Tabela 3.4.** Variância explicada, comunalidades e cargas fatoriais extraídas a partir dos atributos físicos do Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo, seis meses após o plantio da cana-de-açúcar.

Variável	Fator 1	Fator 2	Comunalidade
Latossolo Vermelho			
RP		0,92	0,85
Ds		0,90	0,91
MaP		-0,90	0,91
MiP	-0,87		0,86
Argila	-0,95		0,93
Areia	0,95		0,95
Variância explicada (%)	46	44	
Argissolo Vermelho-Amarelo			
RP		0,67	0,71
Ds		0,60	0,87
MaP		-0,97	0,95
MiP	-0,95		0,91
Argila	0,76		0,85
Areia	-0,77		0,85
Variância explicada (%)	48	37	-

RP = resistência do solo à penetração; Ds = densidade do solo; Pt = porosidade total; Macro = macroporosidade e Micro = microporosidade. Cargas fatoriais acima de 0,60 são consideradas de alta correlação com os fatores extraídos.

O primeiro fator (Fator 1) foi formado pelos atributos microporosidade (MiP), argila e areia. Os atributos resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo (Ds) e macroporosidade (MaP) foram responsáveis pela formação do segundo fator (Fator 2) (Tabela 3.4).

O Fator 1 representa o processo relacionado a textura do solo e volume de microporos. No Latossolo Vermelho, por ele apresentar o predomínio da fração argila em relação a fração areia, esses atributos apresentaram correlação inversa, como pode ser verificado pelos valores de cargas fatoriais opostas (Tabela 3.4). Em solo argiloso, em virtude das partículas de argila se organizarem em unidades estruturais porosas, ocorre a formação de agregados com porosidade entre e dentro dos agregados. Os poros formados dentro dos agregados representam o volume de microporos, assim, existe uma correlação direta do volume de microporos com o teor de argila (Brady e Weil, 2013).

No Fator 2, o atributo MaP correlacionou-se inversamente com RP e Ds. Isso indica, que quanto maior for o volume de macroporos, o solo, tende a apresentar menores valores de RP e Ds. Logo, essas alterações estão relacionadas as modificações sobre a relação massa volume do solo.

A relação massa volume pode ser modificada por práticas de manejo do solo, causadas pelo rearranjo das partículas do solo após intervenções mecânicas, como por exemplo, a escarificação do solo (Klein et al., 2008). Nesse caso, a escarificação promove elevação nos valores de MaP e redução nos valores de RP e Ds. No caso de efeito inverso, ou seja, elevação nos valores de RP e Ds e redução de MaP, isso pode ocorrer em razão do processo de aproximação das partículas do solo provocada por causas naturais, como o fenômeno da reconsolidação ou por pressões exercidas pelo tráfego de máquinas e implementos sobre o solo. Nos dois casos, o rearranjo nas partículas do solo promove redução nos valores de MaP e elevação na RP e Ds (Oliveira et al., 2013).

Na análise fatorial multivariada do Argissolo Vermelho-Amarelo foram extraídos dois fatores, que somados explicaram 85 % da variabilidade dos dados (Tabela 3.4).

No Argissolo, os atributos físicos apresentaram uma estrutura de intercorrelação na construção dos fatores, semelhante ao observado no Latossolo.

Entretanto, existe diferença na estrutura de correlação das cargas fatoriais no Fator 1, pois, verifica-se uma correlação direta da areia com a microporosidade, além de ambas correlacionarem-se inversamente com a argila.

A justificativa para isto, deve-se ao fato que as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, compõe-se predominantemente por partículas de areia em relação a argila. E essas partículas de areia são predominantemente do tamanho de média a muita fina (Tabela 3.2). Isso resulta na formação de microporos, a partir da ocupação de partículas de areia fina a muita fina ocupando os espaços vazios entre as partículas de areia média a grossa (Ribeiro et al., 2007).

Nos dois solos avaliados, os fatores extraídos (Fator 1 e 2) não foram influenciados ( $p < 0,05$ ) pela interação escarificação x local de amostragem, conforme se verifica pela análise de variância (Tabelas 3.5 e 3.6).

**Tabela 3.5.** Desdobramento da interação escarificação x local de amostragem para os escores fatoriais dos fatores extraídos nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade do Latossolo Vermelho, seis meses após o plantio da cana-de-açúcar.

Escarificação	Local de amostragem	Fator 1	Fator 2
0,00-0,10 m			
ELP	Linha	1,15	-0,17
	Entrelinha	0,88	-0,04
EAT	Linha	-0,77	-0,56
	Entrelinha	-1,15	0,24
Valor F		0,46 <sup>ns</sup>	1,19 <sup>ns</sup>
0,10-0,20 m			
ELP	Linha	0,98	0,36
	Entrelinha	0,81	0,72
EAT	Linha	-0,83	-0,71
	Entrelinha	-1,06	0,15
Valor F		0,50 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> = não significativo; ELP = escarificação na linha de plantio e EAT = escarificação em área total.

**Tabela 3.6.** Desdobramento da interação escarificação x local de amostragem para os escores fatoriais dos fatores extraídos nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade do Argissolo Vermelho-Amarelo, seis meses após o plantio da cana-de-açúcar.

Escarificação	Local de amostragem	Fator 1	Fator 2
0,00-0,10 m			
ELP	Linha	-0,14	1,38
	Entrelinha	-1,15	0,09
EAT	Linha	-0,83	0,43
	Entrelinha	-0,99	0,21
Valor F		4,21 <sup>ns</sup>	4,23 <sup>ns</sup>
0,10-0,20 m			
ELP	Linha	0,91	-0,11
	Entrelinha	1,05	-0,46
EAT	Linha	0,50	-0,77
	Entrelinha	0,65	-0,77
Valor F		<0,01 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> = não significativo; ELP = escarificação na linha de plantio e EAT = escarificação em área total.

Com base nas informações das Tabelas 3.5 e 3.6, verifica-se que sete meses após o preparo do solo, o que corresponde também a seis meses após o plantio, as linhas e entrelinhas de cultivo das áreas com escarificação na linha de plantio e em área total apresentavam condições físicas semelhantes. Isso ocorreu, em função do fenômeno da reconsolidação do solo, que pode advir em função de fenômenos naturais, como por exemplo, as chuvas, os ciclos de umedecimentos e a secagem, ou por ações do tráfego de máquinas e implementos (Busscher et al., 2002; Reichert et al., 2017). Nos solos estudados neste experimento, conforme relatado por Souza (2016), a escarificação do solo realizada nas áreas para o plantio da cana-de-açúcar, promoveram modificações na estrutura do solo, além do aumento na MaP e a redução na RP e Ds nos locais onde houve escarificação (linha da área com escarificação na linha de plantio e linha e entrelinha da área com escarificação total). Observou-se, ainda, o comportamento contrário na entrelinha da área com

escarificação somente na linha de plantio, onde, este local, apresentou valores elevados de RP e Ds e reduzido de MaP. No entanto, conforme se verificou nesse experimento, o efeito da escarificação não se estendeu aos seis meses após o plantio, com os locais de amostragem apresentando condições físicas semelhantes.

O efeito da escarificação como melhoria para as condições físicas do solo após o seu preparo é relatado na literatura como temporário. Isso, ocorre em virtude do fenômeno de reconsolidação do solo. Essa reconsolidação do solo pode ocorrer em condições de solos que foram recentemente submetidos ao revolvimento, a fatores climáticos como chuvas, a ciclos de umedecimento e secagem no perfil do solo e ao tráfego de máquinas e de implementos sobre a área durante as operações de tratos culturais realizados (Busscher et al., 2002). Em Latossolo Vermelho submetido à escarificação, após 12 anos de cultivo de rotação milho-soja sobre plantio direto, Silva et al. (2012) verificaram que seis meses após a escarificação os valores de densidade do solo e grau de compactação haviam retornado aos valores anteriores da escarificação. Drescher et al. (2016), em Latossolo Vermelho, verificaram que alterações na densidade do solo, porosidade total e macroporosidade, em função da escarificação, foram mantidas apenas no primeiro ano de cultivo de milho-trigo, soja-centeio, milho/trigo e soja, justificando esse efeito em razão do processo de reconsolidação da estrutura do solo.

Nagahama et al. (2016), verificaram que trinta dias após a escarificação de Argissolo Amarelo distrófico (argila = 90 g kg<sup>-1</sup> e areia = 878 g kg<sup>-1</sup>) não mais constatou-se o efeito sobre os valores de densidade do solo e resistência do solo à penetração na camada de 0,20 a 0,40 m, observando-se apenas a redução de resistência do solo à penetração na camada de 0,00-0,10 m. Lana et al. (2017), ao avaliar o efeito de sistemas de preparo do solo sobre a qualidade física de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (argila = 480 g kg<sup>-1</sup> e areia = 361 g kg<sup>-1</sup>), verificaram que a escarificação não alterou a estrutura do solo, apresentando uma condição estrutural semelhante à área cultivada com cana-de-açúcar sem operação de preparo do solo.

A produtividade e o açúcar total recuperável (ATR) da cana-de-açúcar não foram influenciados pelo efeito da escarificação do solo. Os valores de F indicaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos estudados (ELP e EAT)



nos dois solos cultivados com cana-de-açúcar (Tabela 3.7), indicando que os atributos físicos dos solos submetidos à ELP e EAT proporcionaram condições físicas semelhantes para o crescimento da cana-de-açúcar, tanto no Latossolo quanto no Argissolo.

**Tabela 3.7.** Análise de variância da produtividade de colmos e do açúcar total recuperável da cana-de-açúcar cultivada em solos submetidos à escarificação na linha de plantio (ELP) e escarificação em área total (EAT).

Escarificação	Atributos tecnológicos	
	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	ATR (kg t <sup>-1</sup> )
	Latossolo Vermelho	
ELP	103,97	145,50
EAT	101,09	144,88
Valor F	0,57 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
Média	102,52	145,19
	Argissolo Vermelho-Amarelo	
ELP	109,40	149,33
EAT	111,22	153,76
Valor F	0,19 <sup>ns</sup>	3,38 <sup>ns</sup>
Média	110,31	151,54

<sup>ns</sup> = não significativo; produtividade de colmos (t ha<sup>-1</sup>) e ATR = açúcar total recuperável (kg t<sup>-1</sup>).

A produtividade de colmos, no Latossolo de 102 t ha<sup>-1</sup> com a CTC 14 e, no Argissolo de 110 t ha<sup>-1</sup> com a CTC 4, refere-se a cana-planta (Tabela 3.7) e, segundo o Centro de Tecnologia Canaveieira, as variedades utilizadas neste experimento, considerando as variações edafoclimáticas de cada ambiente de produção, possuem potencial para alcançar uma produtividade média de 110 t ha<sup>-1</sup> para a CTC 14, e de 116 t ha<sup>-1</sup> para a CTC 4, no primeiro corte (CTC, 2018). Portanto, as produtividades alcançadas nas duas áreas foram abaixo da média de produtividade potencial das duas variedades estudadas. A baixa produtividade, no primeiro corte, das variedades cultivadas pode ser explicada pela menor quantidade

entre os meses de junho a outubro de 2015, ocorrido nas regiões onde o experimento foi realizado (Figura 3.1). Na fase inicial de crescimento da cana-de-açúcar ocorre o alongamento do colmo e o aumento da necessidade hídrica da cultura (Abreu et al., 2013). Segundo estes autores, se nessa fase ocorrer estresse hídrico, a cultura será afetada com a redução da produtividade de seus colmos.

Para Carvalho et al. (2011), além da produtividade de colmos, o ATR está entre os atributos tecnológicos mais importantes para o setor sucroenergético, pois encontra-se diretamente relacionado com a quantidade de matéria prima produzida pela lavoura e disponível para a transformação de açúcar ou álcool.

A quantidade de açúcar total recuperável (ATR) expressa o potencial da indústria em recuperar o açúcar contido na cana, na forma de açúcar cristal ou de etanol. Neste estudo, esta variável tecnológica apresentou os valores médios de 145,19 kg t<sup>-1</sup>, no Latossolo e de 151,54 kg t<sup>-1</sup>, no Argissolo. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Tasso Júnior (2007) que, ao estudar os cultivares de período útil de industrialização médio, em dois municípios do Estado de São Paulo, encontrou, no momento da colheita, valores entre 137 e 166 kg t<sup>-1</sup>. Alves et al. (2014) observaram valor médio de 160,68 kg t<sup>-1</sup>, ficando dentro desta faixa, assim como, os valores médios de ATR dos dois solos estudados.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se, portanto, que os solos submetidos à escarificação na linha de plantio e em área total, não apresentaram diferença significativa sobre os atributos físicos do solo, para os dois locais de amostragem (entrelinha e linha de plantio). Assim, essas áreas apresentaram condições físicas semelhantes que contribuíram para que a produtividade de colmos e o açúcar total recuperável do caldo de cana-de-açúcar não fossem influenciados pelos tratamentos estudados.

### **3.4 Conclusão**

O preparo do solo com a escarificação na linha de plantio pode ser substituído pelo preparo com a escarificação em área total, uma vez que a produtividade de colmos e o açúcar total recuperável da cana-de-açúcar foram semelhantes

independentemente do local da operação de escarificação, apresentando condições físicas semelhantes para os dois solos estudados.

## **Agradecimentos**

Ao programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo). À CAPES, pelo suporte financeiro e à FAPESP, pelo auxílio financeiro para a condução da pesquisa (processo nº 2014/14490-2).

## **Referências**

Abreu ML, Silva MA, Teodoro L, Holanda LA, Sampaio Neto GD (2013) Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia** 72:262–270. doi: 10.1590/brag.2013.028

Alves V, Montanari R, Carvalho MP, Correa AR, Roque CG (2014) Atributos tecnológicos, stand e produtividade da cana-planta correlacionados com aspectos da fertilidade do solo em Chapadão do Céu (GO). **Revista de Agricultura Neotropical** 1:75–91.

Brady NC, Weil RR (2013) Elementos da natureza e propriedades dos solos. Porto Alegre: Bookman, p. 128–129.

Busscher WJ, Bauer PJ, Frederick JR (2002) Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research** 68:49–57 doi: 10.1016/S0167-1987(02)00083-1

Carvalho LA, Silva Júnior CA, Nunes WAGA, Meurer I, Souza Júnior WS (2011) Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no Centro-Oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias** 34:199–211.

Cherubin MR, Franco ALC, Guimarães RML, Tormena CA, Cerri CEP, Karlen DL, Cerri CC (2017) Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil and Tillage Research** 173:64–74. doi: 10.1016/j.still.2016.05.004

Claessen MEC (1997) Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2017) Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/170420140431boletim\\_cana\\_portugues1%C2%BA%20levantamento,17-18](https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/170420140431boletim_cana_portugues1%C2%BA%20levantamento,17-18)>. Acesso em: 20 abr. 2017.

Consecana – Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo (2006) Manual de instruções. Piracicaba: Consecana, 112 p.

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira (2018) Análise comercial das variedades CTC 4 e CTC 14. Disponível em: <<https://variedadesctc.com.br/produtos/ctc-4/>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

Drescher MS, Reinert DJ, Denardin JE, Gubiani PI, Faganello A, Drescher GL (2016) Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51:159–168. doi: 10.1590/S0100-204X2016000200008

Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL (2009) Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman, 688 p.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas (2014) Solos do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>> Acesso em: 18 nov. 2017.

Klein VA, Vieira ML, Durigon FF, Massing JP, Fávero F (2008) Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural** 38:365–371. doi: 10.1590/S0103-84782008000200011

Lana RMQ, Domingues LAS, Torres JLR, Mageste JG, De Moraes ER (2017) Soil physical attributes and productivity of sugarcane under different cropping systems in the savannah goiano. **Australian Journal of Crop Science** 11:149–155. doi: 10.21475/ajcs.17.11.02.p182

Landim PMB (2011) Análise estatística de dados geológicos multivariados. São Paulo: Oficina de Textos, 208 p.

Marin FR (2017) *Árvore do Conhecimento: cana-de-açúcar. Solos do Brasil e a cana-de-açúcar*. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília: Embrapa: Brasília. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_18\\_3112006152934.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_18_3112006152934.html)>. Acesso em: 12 dez. 2017.

Nagahama HJ, Granja GP, Cortez JW, Ramos RL, Arcoverde SNS (2016) Efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo e agronômicos do capim elefante. **Revista Ceres** 63:741–746. doi: 10.1590/0034-737x201663050020

Oliveira PR, Centurion JF, Centurion MAPC, Rossetti KV, Ferraudo AS, Franco HBJ, Pereira FS, Bárbaro Júnior LS (2013) Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:604–612. doi: 10.1590/S0100-06832013000300006

Perecin D, Ferraudo GM, Azania CAM, Schiavetto AR (2015) Statistical analysis for correlated paired-plot designs. **American Journal of Experimental Agriculture** 9:1–7. doi: 10.9734/AJEA/2015/20722

Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1997) Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 285 p. (Boletim Técnico IAC, 100).

Reichert JM, Brandt AA, Rodrigues MF, Da Veiga M, Reinert DJ (2017) Is chiseling or inverting tillage required to improve mechanical and hydraulic properties of sandy clay loam soil under long-term no-tillage? **Geoderma** 301:72–79. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.04.012

Ribeiro KD, Menezes SM, Mesquita MDGBDF, Sampaio FDMT (2007) Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia** 31:1167–1175. doi: 10.1590/S1413-70542007000400033

Silva SGC, Silva AP, Giarola NFB, Tormena CA, Sá JCM (2012) Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:547–555. doi: 10.1590/S0100-06832012000200024

Souza FCA (2016) **Atributos físicos de solos submetidos à escarificação na linha de plantio e em área total para cultivo da cana-de-açúcar**. 33 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Souza LC, Fernandes C, Nogueira DCS, Moitinho MR, Bicalho ES, La Scala N (2017) Can partial cultivation of only the sugarcane row reduce carbon dioxide emissions in an oxisol and ultisol? **Agronomy Journal** 109:1113–1121. doi: 10.2134/agronj2016.10.0565

Tasso Júnior LC (2007) **Caracterização agrotecnológica de cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na região centro-norte do Estado de São Paulo**. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Tim Chamen WC, Moxey AP, Towers W, Balana B, Hallett PD (2015) Mitigating arable soil compaction: a review and analysis of available cost and benefit data. **Soil & Tillage Research** 146:10–25. doi: 10.1016/j.still.2014.09.011

Tormena CA, Silva AP, Libardi PL (1998) Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22:573–581. doi: 10.1590/S0100-06831998000400002