ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE SOB DIFERENTES SISTEMAS DE TRANSBORDO NO TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR

Palavras-Chave: Curva de retenção, compactação do solo, tráfego agrícola.

Autores:

Eduardo Pucci Ferreira – Feagri/Unicamp

Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza – Feagri/Unicamp

M. Sc. Jeison Andrey Sanchez Parra – Feagri/Unicamp

INTRODUÇÃO:

A cana-de-açúcar é uma cultura que exige o uso de máquinas agrícolas durante todo o processo de produção, isto é, desde o plantio até o transporte da cana colhida (SOUZA et al., 2012). Em especial, a colheita da cana-de-açúcar é uma das etapas mais importantes da produção, por ser uma das fases que exige maior demanda de energia e mão de obra disponível/especializada. É percetível que a colheita mecanizada da cana-de-açúcar já se tornou uma tendência para este setor de produção, dado aos fatores econômicos, ambientais e sociais (VISCHI FILHO et al., 2015).

O emprego de máquinas agrícolas gera compactação e outros efeitos físicos no solo, modificando assim seus atributos físicos tais como sua resistência do solo à penetração de raízes. Como visto, uma das consequências, que o uso de máquinas agrícolas sem nenhum tipo de controle pode ocasionar, é uma mudança na capacidade de suporte de carga do solo (SOUZA et al., 2012), danificando a estrutura física do solo (VISCHI FILHO et al., 2015) e consequentemente a retenção de água no solo. Os limites da curva de retenção precisam ser estimados e quantificados na avaliação dos períodos vegetativos nos quais se evidencie déficit ou excesso da água disponível, estando mais sujeitas a estresse hídrico, aeração e resistência do solo à penetração (BLAINSKI et al., 2012).

MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento foi conduzido em condições de campo em área comercial nas dependências da Usina Cerradão, no município de Frutal, estado de Minas Gerais, com as seguintes coordenadas geográficas: 19°56’41’’ de latitude sul e 49°07’30’’ de longitude oeste e uma altitude média de 520 metros acima do nível do mar. O clima da região é classificado como tropical com estação seca (Aw) segundo a classificação climática de Köppen e Geinge (ALVARES et al., 2013), com precipitação média anual de 1.444 mm e temperatura média de 24 °C. O solo apresenta textura média com 290 g kg^{-1} de argila, 630 g kg^{-1} de areia e 8 g kg^{-1} de silte e foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SANTOS et al., 2018).

A pesquisa foi montada em um delineamento experimental de blocos ao acaso, contendo 3 tratamentos e 3 repetições, totalizando 9 parcelas experimentais, cada uma com dimensões de 50 m de comprimento por 30 m de largura (1.500 m^2) (Figura 1). Em cada parcela experimental foram plantadas 20 linhas de cana-de-açúcar com espaçamento de 1,5 m entre as linhas de plantio e em sentido paralelo ao comprimento da parcela. Os tratamentos correspondem a diferentes configurações de transbordo utilizados durante a operação de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, sendo eles:

T1- conjunto trator com 185 cv + dois transbordos com capacidade de 10 toneladas cada: trator VALTRA - BH180, com potência nominal/máxima de 185 cv, bitola de 2,10 m, pneus dianteiros 18-4R26 e traseiros 24-5R32 e massa de 10,5 toneladas. O transporte da cana-de-açúcar é realizado em dois transbordos ANTONIOSI - ATA 10500, com capacidade individual 10 toneladas de cana, massa aproximada de 7,3 toneladas, bitola de 3,00 m e pneus 600/50-22,5.

T2 - conjunto trator 230 cv + transbordo com capacidade de 30 toneladas: trator VALTRA - BH180, com potência nominal/máxima de 230 cv, bitola de 2,10 m, pneus dianteiros 600/65R28 e pneus traseiros 710/7R38 e massa aproximada de 10,5 toneladas. O transporte da cana-de-açúcar é realizado em um

transbordo TMA - VTX 6030, com capacidade para transportar 30 toneladas de cana, massa aproximada de 16,9 toneladas, bitola de 3,00 m e pneus 600/50-22,5.

T3 - conjunto caminhão + transbordo com capacidade de 21 toneladas: caminhão Mercedes Benz modelo Axxor 3131, com potência nominal/máxima de 230 cv, bitola de 3,0 m, pneus dianteiros 400/70R20, pneus traseiros 560/60R-22,5 e massa de cerca de 10,5 toneladas.

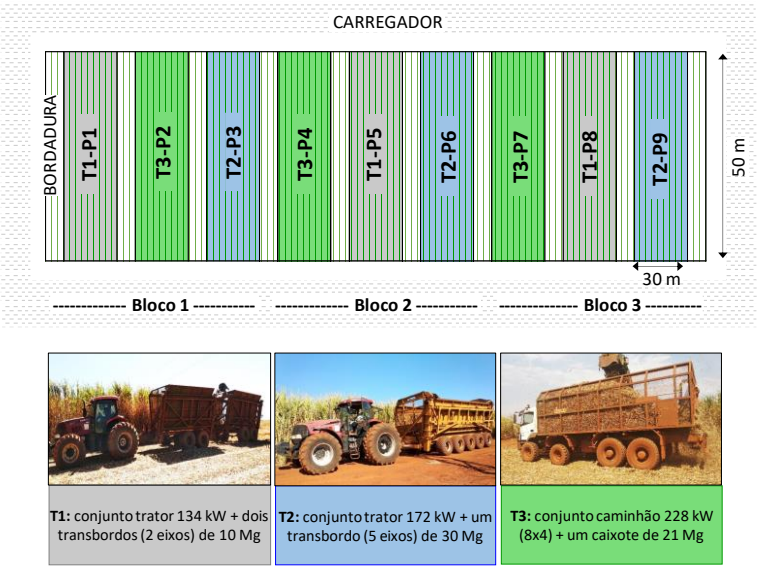

Figura 1 - Esquema experimental com uso de diferentes sistemas de transbordo na colheita mecanizada da cana-de-açúcar no município de Frutal, estado de Minas Gerais. P = número da parcela.

Condutividade hidráulica saturada (Ks)

Avaliada nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m pelo método da carga variável mediante uso de um sistema de medição automatizado KSAT (UMS GmbH, Munique, Alemanha). Durante o ensaio as medições foram medidas à temperatura ambiente e posteriormente os valores de Ks foram corregidos a uma temperatura de referência selecionada (20 °C), desse modo, os efeitos da temperatura durante o ensaio foram minimizados.

Curva de retenção de água no solo

Foi obtida em câmaras de pressão de Richards com placas porosas. As amostras foram submetidas às tensões de 0, 2, 4, 6, 10, 20, 33, 50, 75, 100, 300, 500 e 1.500 kPa. As curvas de retenção de água no solo foram ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980), utilizando-se o *software Soil Water Retention Curve* (DOURADO-NETO et al., 2001).

Produtividade da cultura e avaliações biométricas

Para o ciclo da primeira cana soca (safra 2021/2022) em setembro de 2021 foi avaliada a produtividade da cana-de-açúcar para cada parcela, via corte manual de 3 faixas de 5 metros linear, aleatoriamente distribuídas na parcela. Foram avaliados os seguintes atributos biométricos: população de plantas em cada parcela foi feita a contagem de colmos nas faixas de avaliação. Produtividade: A cana-de-açúcar colhida em cada faixa de avaliação foi pesada em uma balança digital com precisão de 0,1 kg e, posteriormente, esse peso foi convertido em toneladas de cana por hectare (TCH).

Diâmetro do colmo e altura das plantas: as plantas colhidas para a avaliação da produtividade em cada faixa, foram selecionados aleatoriamente 10 colmos para a avaliação dos atributos de diâmetro do colmo e altura da planta. O diâmetro médio de cada colmo foi medido entre o segundo e o penúltimo internódio usando um paquímetro digital aferido no momento da medida e a altura da planta por meio do uso de uma trena graduada, medindo-se o comprimento entre a base da planta e a folha "+1".

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os valores da condutividade hidráulica saturada (Ks) não foram normalmente distribuídos, eles foram transformados em Log(Ks) para a realização da análise estatística (Tabela 1). A camada de 0,00-

0,10 m, apresentou os maiores valores de Log(Ks), com diferenças significativas na linha de plantio, sendo que os tratamentos 2T/10 e 1T/30 apresentaram a maior e menor condutividade hidráulica saturada (Log(Ks) = 2,83 e 2,23 cm dia^{-1}, respectivamente). Esse mesmo comportamento foi obtido para as médias da condutividade hidráulica saturada dos três locais avaliados. Nessa camada de solo, diferenças entre locais foram obtidas somente no 2T/10, com o maior valor da condutividade hidráulica saturada na linha de plantio (2,83 cm d^{-1}).

Na camada de 0,20-0,30 m, a condutividade hidráulica saturada apresentou diferenças significativas entre tratamentos no ponto médio (Tabela 1). O tratamento 1T/30 teve a condutividade hidráulica saturada reduzida (2,68 cm d^{-1}) quando comparadas com os outros tratamentos. As diferenças na condutividade hidráulica saturada foram constatadas entre os tratamentos 2T/10 e 1T/30. O fato da camada superficial de 0,00-0,10 m, ter apresentado as maiores diferenças de condutividade hidráulica, corrobora a pesquisa de Rosa et al. (2008) ao constatar que o manejo do solo altera a condutividade hidráulica saturada nas camadas superficiais do solo. Contudo, Nakano e Miyazaki (2005), concluíram que o grau de alteração na condutividade hidráulica varia nas diferentes profundidades do solo, mesmo dentro dos mesmos perfis de solo.

Tabela 1 - Condutividade hidráulica saturada (Log(Ks), cm dia^{-1}) para um LATOSSOLO VERMELHO após colheita mecanizada da cana-de-açúcar (ciclo cana planta) com uso de diferentes sistemas de transbordo em Frutal, Minas Gerais, Brasil.

Local	Tratamentos		
	2T/10	**1T/30**	**1C/20**
		0,00-0,10 m	
LP	2,83 Aa	2,23 Ba	2,34 ABa
PM	2,40 Ab	1,96 Aa	2,18 Aa
EL	2,37 Ab	1,81 Aa	1,99 Aa
Média	2,53 A	2,00 B	2,17 AB
		0,10-0,20 m	
LP	2,17 Aa	2,73 Aa	2,48 Aa
PM	2,20 Aa	2,24 Aa	1,79 Aa
EL	2,04 Aa	2,39 Aa	2,12 Aa
Média	2,14 A	2,45 A	2,13 A
		0,20-0,30 m	
LP	1,89 Aa	1,88 Aa	2,51 Aa
PM	1,57 Ba	2,68 Aa	1,64 Ba
EL	2,05 Aa	2,42 Aa	2,14 Aa
Média	1,94 A	2,33 A	2,09 A

LP = linha de plantio; PM = Ponto médio; EL = entrelinha; CV = coeficiente de variação; 2T/10 = conjunto trator 185 cv + dois transbordos de 10 toneladas cada; 1T/30 = conjunto trator 230 cv + transbordo de 30 toneladas; 1C/20 = conjunto caminhão + transbordo de 20 toneladas. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A partir do gráfico e usando os parâmetros obtidos em cada curva (Figura 2), obteve-se os valores aproximados do ponto de murcha permanente do solo (PMP), a capacidade de campo do solo (CC) e água disponível (CAD), para cada tratamento (Tabelas 2 e 3). Observa-se um menor potencial matricial (ψ_m < 3,0 kPa) nas áreas com o uso do trator + transbordo, quando comparado com o solo de mata nativa. Porém, para potenciais mais elevados (ψ_m > 3,0 kPa) essa situação se inverte e o solo da mata passa a ter uma umidade volumétrica maior do que o solo da cana-de-açúcar.

Os valores de capacidade de água disponível (CAD) encontrados na área de mata foram superiores aos valores aferidos na área de cana-de-açúcar (Tabela 3). A superioridade da mata em relação ao canavial em fornecer água às plantas pode ser explicada pela compactação do solo, pois o uso de máquinas agrícolas proporciona, com o tempo, a compactação do solo. Assim ele perde parte do espaço vazio na sua estrutura, uma vez que a quantidade de poros diminui. Dessa forma a quantidade de macro e microporos diminui, reduzindo-se também a quantidade de água disponível no solo (CAD) e dificultando que as raízes consigam encontrar água no solo. Com compactação ocorre também o adensamento do solo, dificultando a locomoção da água no mesmo e não permitindo que essa chegue ao sistema radicular com tanta facilidade. Souza et al. (2012) também observou alterações na curva de retenção de água, em Latossolo Vermelho, sob cana-de-açúcar, na linha do rodado e no canteiro,

ocasionadas pelo manejo, que modificou a estrutura do solo nessa região e preservou a estrutura do solo na linha de plantio da cana.

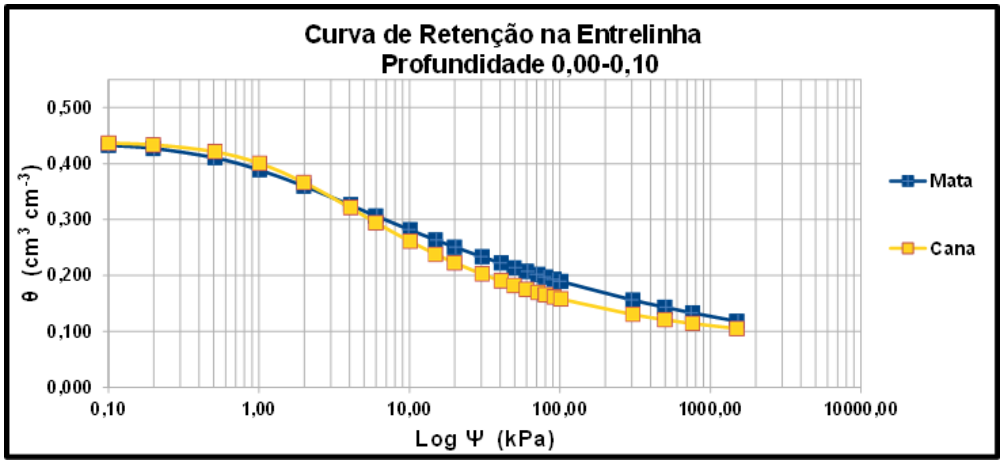

Figura 2 - Umidade volumétrica do solo (cm^3 cm^{-3}) em função do potencial matricial do solo (kPa). A curva em azul representa a retenção de água em área de mata nativa e em amarelo em área de cana-de-açúcar.

As curvas de retenção de água no solo foram ajustadas aos dados experimentais utilizando o modelo de van Genuchten (1980), apresentando ajustes significativos a 5% de probabilidade, com R^2 variando de 0,90 a 0,94 (Tabela 2**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). As curvas de retenção de água no solo apresentaram comportamento diferente para o LATOSSOLO VERMELHO nas áreas de mata e cana-de-açúcar, com alterações na capacidade de água disponível (CAD = $\theta_{CC} - \theta_{PMP}$) (Tabela 3).

Tabela 2 - Parâmetros de ajuste da curva de retenção de água no solo para as áreas de mata nativa e cana-de-açúcar.

Tratamentos	Parâmetros de ajuste da curva					R^2
	α	m	n	θ_S	θ_R	
Mata	1,18	0,15	1,18	0,44	0,00	0,90
Cana-de-açúcar	0,62	0,26	1,35	0,44	0,07	0,94

Na Tabela 4 estão apresentadas as variáveis biométricas e a produtividade da cana-de-açúcar obtidas para os diferentes tratamentos (sistemas de transbordo) no ciclo da primeira cana soca (safra 2021/2022). O diâmetro do colmo, altura da planta e a produtividade não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Contudo, diferenças significativas entre os tratamentos foram verificadas para a população de plantas por hectare, onde o tratamento 1T/30 apresentou população de plantas (69.178,27 plantas ha^{-1}) significativamente maior do que o tratamento 2T/10 (54.957,47 plantas ha^{-1}). O diâmetro de colmos apresentou pequena variação (2,62 a 2,67 cm) e não demonstrou diferença estatística entre os tratamentos. A altura das plantas, variou de 245,63 a 253,09 cm nos tratamentos 1C/20 e 2T10, respectivamente.

Tabela 3 - Ponto de murcha permanente (PMP), capacidade de campo (CC) e água disponível no solo (CAD) em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico para áreas de mata nativa e cana-de-açúcar.

Tratamentos	Capacidade de Campo	Ponto de murcha permanente	CAD
	m^3 m^{-3}		
Mata	0,28	0,09	0,19
Cana-de-açúcar	0,24	0,10	0,14

A produtividade da cana-de-açúcar não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, embora, a maior produtividade foi obtida para o tratamento 1T/30 (71,36 Mg ha^{-1}), seguida pelos tratamentos 1C/20 e 2T/10 (68,60 e 57,99 Mg ha^{-1}) respectivamente (Tabela 4). Destaca-se ainda, que somente a produtividade obtida no tratamento 1T/30 (71,36 Mg ha^{-1}) foi similar à estimativa da produtividade média do Brasil na safra 2021/2022 segundo a Conab (2021) a qual foi de 71,82 Mg ha^{-1}.

Contudo, a produtividade obtida em todos os tratamentos foi inferior à estimativa da produtividade para a região sudeste (73,99 Mg ha^{-1}) e para o estado de Minas Gerais (71,36 Mg ha^{-1}). De modo geral, os baixos rendimentos da produtividade da cana-de-açúcar obtidos em todos os tratamentos podem ser atribuídos principalmente aos baixos níveis pluviométricos registrados na área experimental.

Tabela 4 - Atributos biométricos e produtividade da cana-de-açúcar no primeiro ciclo da cana soca (safra 2021/2022) sob diferentes sistemas de transbordo na colheita mecanizada de cana crua.

Tratamento	Diâmetro de colmo (cm)	Altura das plantas (cm)	População de plantas ha^{-1}	Produtividade (Mg ha^{-1})
2T/10	2,67 a	253,07 a	54.957,47 b	57,99 a
1T/30	2,63 a	246,99 a	69.770,80 a	71,36 a
1C/20	2,62 a	245,63 a	62.956,67 ab	68,60 a

2T/10 = conjunto trator com 134 kW + dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada; 1T/30 = conjunto trator 172 kW + transbordo com capacidade de 30 Mg; 1C/20 = conjunto caminhão + caixote com capacidade de 20 Mg. Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

A área de mata nativa apresentou uma perda na capacidade de disponibilizar água para as plantas, quando essas aplicarem uma pressão maior ou igual aos 3,0 kPa no solo para absorver água. Na camada de 0,00-0,10 m, os tratamentos 2T/10 e 1C/21 tiveram o maior e menor valor de condutividade hidráulica saturada (Ks), e na camada 0,10-0,20 os tratamentos 1T/30 e 2T/10 o maior e menor Ks, ambos na linha de plantio, respectivamente. No ciclo de cana planta não verificou diferença de produtividade entre os tratamentos estudados.

BIBLIOGRAFIA:

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.

BLAINSKI, W.S.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, E.M.L.; NANNI, M.R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, p.79-87, 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira. Cana-de-açúcar** - Safra 2021/22, v.8 - segundo levantamento, n.2, Brasília, p.1-63, Agosto 2021. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>, data de acesso: 23/09/2021.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; LOPES, P.P. **Soil Water Retention Curve** (SWRC) software. versão 3.00 beta. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001.

NAKANO, K.; MIYAZAKI, T. Predicting the saturated hydraulic conductivity of compacted subsoils using the non-similar media concept. **Soil and Tillage Research**, v.84, n.2, p.145-153, 2005.

ROSA, V. T.; ROSA, D. P.; SATTLER, A.; MENTGES, M. I.; VIEIRA, D. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Alteração da condutividade hidráulica saturada do solo em áreas com diferentes níveis de tráfego de máquinas e prazos de adoção do sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais, p.1-4, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 Ed. Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, 2018.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; ARAÚJO, F. S.; BARBOSA, R. S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.4, p.603-612, 2012.

VAN GENUCHTEN, M, T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VISCHI FILHO, O. J.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; LIMA, C. C.; PEREIRA, D. M. G.; LIMA, M. E.; SOUSA, A. C. M.; SOUZA, G. S. Capacidade de suporte de carga de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e efeitos da mecanização no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.4, p.322-332, 2015.