

Atributos físico-hídricos na camada superficial de solos em diferentes posições na paisagem e sistemas de colheita de cana-de-açúcar, em Coruripe, AL



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

## DOCUMENTOS 202

# Atributos físico-hídricos na camada superficial de solos em diferentes posições na paisagem e sistemas de colheita de cana-de-açúcar em Coruripe, AL

*André Julio do Amaral  
Flávio Adriano Marques  
Roberto da Boa Viagem Parahyba  
Manoel Batista de Oliveira Neto  
Ademar Barros da Silva  
Alexandre Hugo Cezar Barros  
Alexandre Ferreira do Nascimento  
Walane Maria Pereira de Melo Ivo*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, 1024.  
Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ - CEP: 22460-000  
Fone: + 55 (21) 2179-4500  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Solos**

Presidente  
*Vinicius de Melo Benites*

Secretária-Executiva  
*Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Membros

*Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de Camargo  
Moraes, Bernadete da Conceição Carvalho Gomes  
Pedreira, Enyomara Lourenço Silva, Evaldo de Paiva  
Lima, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Luciana  
Sampaio de Araujo, Marcos Antônio Nakayama,  
Maria Regina Capdeville Laforet, Maurício Rizzato  
Coelho, Moema de Almeida Batista, Ricardo de  
Oliveira Dart, Wenceslau Gerales Teixeira.*

Supervisão editorial  
*Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisão de texto  
*Marcos Antônio Nakayama*

Normalização bibliográfica  
*Enyomara Lourenço Silva*

Tratamento das ilustrações  
*Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Foto da capa  
*André Júlio do Amaral*

**1ª edição**  
On-line (2018)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
Embrapa Solos

Atributos físico-hídricos na camada superficial de solos em diferentes posições na  
paisagem e sistemas de colheita de cana-de-açúcar, em Coruripe, AL / André  
Júlio do Amaral ... [et al.]. – Dados eletrônicos. – Rio de Janeiro : Embrapa  
Solos, 2018.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

25 p. : il. color. – (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 202).

Modo de acesso: <<https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>>.

Título da página da Web (acesso em 20 nov. 2018).

1. Solo - Manejo. 2. Conservação. 3. Cana-de-açúcar. 4. Tabuleiros Costeiros.  
I. Amaral, André Júlio do. II. Marques, Flávio Adriano. III. Parahyba, Roberto da  
Boa Viagem. IV. Oliveira Neto, Manoel Batista de. V. Silva, Ademar Barros da. VI.  
Barros, Alexandre Hugo Cezar. VII. Nascimento, Alexandre Ferreira do. VIII. Ivo,  
Walane Maria Pereira de Melo. IX. Embrapa Solos. X. Série.

CDD 631.45

## Autores

### **André Julio do Amaral**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Solos UEP-Recife, Recife, PE.

### **Flávio Adriano Marques**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos UEP-Recife, Recife, PE.

### **Roberto da Boa Viagem Parahyba**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Solos UEP-Recife, Recife, PE.

### **Manoel Batista de Oliveira Neto**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Solos UEP-Recife, Recife, PE .

### **Ademar Barros da Silva**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos UEP-Recife, Recife, PE.

### **Alexandre Hugo Cezar Barros**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Física do Ambiente Agrícola, pesquisador da Embrapa Solos UEP-Recife, Recife, PE.

### **Alexandre Ferreira do Nascimento**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos UEP-Recife, Recife, PE.

### **Walane Maria Pereira de Melo Ivo**

Engenheira-agrônoma, doutora em Tecnologias Energéticas e Nucleares, pesquisadora da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.



## Agradecimentos

À Usina Coruripe S/A pela concessão, acesso e apoio logístico durante a realização das campanhas de campo para coleta de solos, em especial ao Engenheiro-agrônomo Eraldo Pereira Barros Júnior, supervisor de nutrição, pesquisa e desenvolvimento.



## Apresentação

Os Tabuleiros Costeiros fazem parte de um importante ecossistema que ocorre desde o Rio de Janeiro até o Amapá. A importância dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil está relacionada não somente ao significativo contingente de população – cerca de 45% na região Nordeste –, como também pela utilização dessas áreas com produção de cana-de-açúcar, pecuária, fruticultura e outras como a mandioca, gerando emprego e renda.

Os solos dos Tabuleiros Costeiros, apesar de suas limitações químicas e físicas, apresentam, em geral, bom potencial para culturas agrícolas, com destaque para a cana-de-açúcar, que resulta na produção de açúcar, álcool e energia, destacando-se por ser uma fonte natural e renovável na produção de biocombustível.

O sistema de produção da cana-de-açúcar, na região Nordeste, está passando por uma transição da colheita manual (com uso da despalha a fogo) à colheita mecanizada sem despalha a fogo (cana crua), modo que tende a predominar em áreas dos Tabuleiros Costeiros que apresentem relevo favorável à mecanização, devido à crescente preocupação ambiental e legislação vigente.

O objetivo deste trabalho foi determinar atributos físico-hídricos indicadores de qualidade do solo, na sua camada superficial, relacionados à retenção, armazenamento e disponibilidade de água para as plantas, em uma topossequência de solos sob diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar, em comparação a uma área de referência de floresta subperenifólia no geoambiente dos Tabuleiros Costeiros no Município de Coruripe, AL. Tendo em vista que há uma tendência de se intensificar o tráfego de máquinas nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, em função da crescente implementação da colheita mecanizada, é importante identificar as possíveis alterações na camada superficial do solo decorrente dessa prática para subsidiar estratégias de manejo e conservação do solo e da água em áreas produtoras de cana-de-açúcar na região Nordeste.

*José Carlos Polidoro*  
Chefe-Geral da Embrapa Solos





## Sumário

Introdução .....	10
Material e Métodos .....	11
Tratamentos e Amostragem .....	11
Resultados e Discussão .....	13
Conclusões .....	23
Referências .....	23

## Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais culturas agrícolas cultivadas no Brasil. Sua exploração resulta na produção de açúcar, álcool e energia, destacando-se por ser uma fonte natural e renovável na produção de biocombustível. Recentemente, a produção de bioeletricidade desponta como alternativa para diversificação de renda nas usinas. Além de açúcar e álcool, outros produtos são gerados a partir da cultura da cana-de-açúcar, com destaque para os subprodutos derivados da biomassa, tais como álcool de segunda geração e vinhaça, utilizada como fertilizante via fertirrigação in loco e produção de gás natural. O uso de bioeletricidade a partir da queima do bagaço/palhada da cana-de-açúcar auxilia na redução dos custos e contribui para a sustentabilidade da atividade (Conab, 2013).

O sistema de produção da cana-de-açúcar, na região Nordeste, está passando por uma transição da colheita manual (com uso da despalha a fogo) à colheita mecanizada, sem despalha a fogo (cana crua), modo que tende a predominar em áreas dos Tabuleiros Costeiros que apresentem relevo favorável à mecanização, devido à crescente preocupação ambiental e legislação vigente (Widenfeld, 2009; Souza et al., 2012). No sistema de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo (colheita mecanizada), os resíduos da planta como colmos, folhas e ponteiros são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta denominada palhada. A quantidade de palhada dos canaviais colhidos sem despalha a fogo varia de 10 Mg ha<sup>-1</sup> a 30 Mg ha<sup>-1</sup> (Trivelin et al., 1996). A presença da palhada sobre o solo é benéfica, pode contribuir para aumentar a infiltração da água, diminuir a perda de água por evaporação (Ball-Coelho et al., 1993), permitir a ciclagem de elementos essenciais, incorporar matéria orgânica e favorecer a biodiversidade edáfica.

Os dois tipos de colheita da cana-de-açúcar, com queima da palha (cana queimada) e sem queima ou cana crua, apresentam vantagens e desvantagens. De acordo com Delgado (1995), a queima da palhada retira do solo a proteção contra o impacto das gotas de chuva, favorecendo as perdas de solo, água e nutrientes pela erosão hídrica. Além disso, de acordo com Ball-Coelho et al. (1993), potencializa a perda de água por evaporação, reduz a capacidade de infiltração de água no solo, a retenção, o armazenamento e a disponibilidade de água para as plantas, e facilita o desenvolvimento das plantas espontâneas. Em contrapartida, a sua adoção beneficia as operações de preparo do solo na renovação dos canaviais e de cultivo mecânico das socarias, além de controlar algumas pragas.

Em geral, o cultivo de cana-de-açúcar, com deposição de palhada e sem queima, afeta positivamente os atributos microbiológicos, químicos e físicos dos solos, melhorando a qualidade e reduzindo sua degradação (Oliveira et al., 2014). Estudos em área de Tabuleiro Costeiro, na região Nordeste, apontam que os valores de carbono (Corg), magnésio (Mg) e capacidade de troca de cátions (CTC) tendem a ser maiores na área sem queima (Pinheiro et al., 2010). Essas condições contribuem para agregação e estruturação do solo, permitindo adequado fluxo e retenção de água e de trocas gasosas (Camilotti et al., 2005). No entanto, o uso de máquinas para colheita pode intensificar o processo de compactação do solo causando efeitos deletérios, impactando negativamente nas funções ecossistêmicas do solo e na produtividade das culturas (Letey, 1985; Correchel et al., 1999).

Dentre os atributos físico-hídricos importantes para avaliar os efeitos dos sistemas de produção na qualidade do solo, destacam-se a densidade do solo (Ds), porosidade do solo (PT), retenção e disponibilidade de água e a resistência mecânica à penetração de raízes (RP) (Imhoff et al., 2001). Alguns trabalhos apontam que valores de Ds acima da faixa de 1,33 g cm<sup>-3</sup> a 1,44 g cm<sup>-3</sup> inibem o crescimento de raízes de cana-de-açúcar em solos argilosos, devido à redução no volume de macroporos e de água disponível (Trousse Junior, 1961; Sá et al., 2016). Para solos de textura franco-arenosa, os valores críticos de Ds estariam na faixa de 1,7 g cm<sup>-3</sup> a 1,8 g cm<sup>-3</sup> (Reichert et al., 2009). Com relação a resistência mecânica à penetração de raízes limitante para a cana-de-açúcar, Sá et al. (2016), citando Arshad et al. (1996), Otto et al. (2011), Gonçalves et al. (2014), Cavalieri et al. (2011) e Souza et al. (2015), apontam que não há consenso na literatura, estando

os seus valores entre 2,0 MPa e 3,0 MPa. Entretanto, os autores advertem que a resistência oferecida pelo solo à haste do penetrômetro tende a ser maior do que a real, ou seja, a que efetivamente é exercida sobre as raízes, conforme também observado por Van Lier e Gubiani (2015). Contudo, Tavares Filho et al. (2001) afirmam que, se houver condições químicas e umidade favorável, e se a porosidade do solo permitir que ocorra difusão de oxigênio, as raízes podem sofrer deformações morfológicas e crescer através de pontos de menor resistência, mesmo em solo com valores elevados de resistência mecânica à penetração. Esse crescimento pode acontecer, sobretudo, por meio de macroporos e canais formados após a senescência de antigas raízes (Unger; Kaspar, 1994). Para condições de solo sob cultivo de cana-de-açúcar, Sá et al. (2016) encontraram o valor de 3,8 MPa como limitante ao crescimento de raízes das plantas de cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho Acriférico típico do bioma cerrado. Pacheco e Cantalice (2011) observaram em um Argissolo Amarelo Distrocoeso, dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas, que o cultivo com cana-de-açúcar aumentou a resistência mecânica à penetração dos horizontes Ap, AB e Bt, atribuindo o fato as operações mecanizadas realizadas no cultivo de cana-de-açúcar, reduzindo o intervalo hídrico ótimo dos horizontes AB e Bt nas áreas cultivadas em relação a uma área de referência de floresta subperenifólia.

Tendo em vista que há uma tendência de se intensificar o tráfego de máquinas nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, em função da crescente implementação da colheita mecanizada, é importante identificar as possíveis alterações na camada superficial do solo decorrente dessa prática, para subsidiar estratégias de manejo e conservação do solo e da água em áreas produtoras de cana-de-açúcar, na região Nordeste.

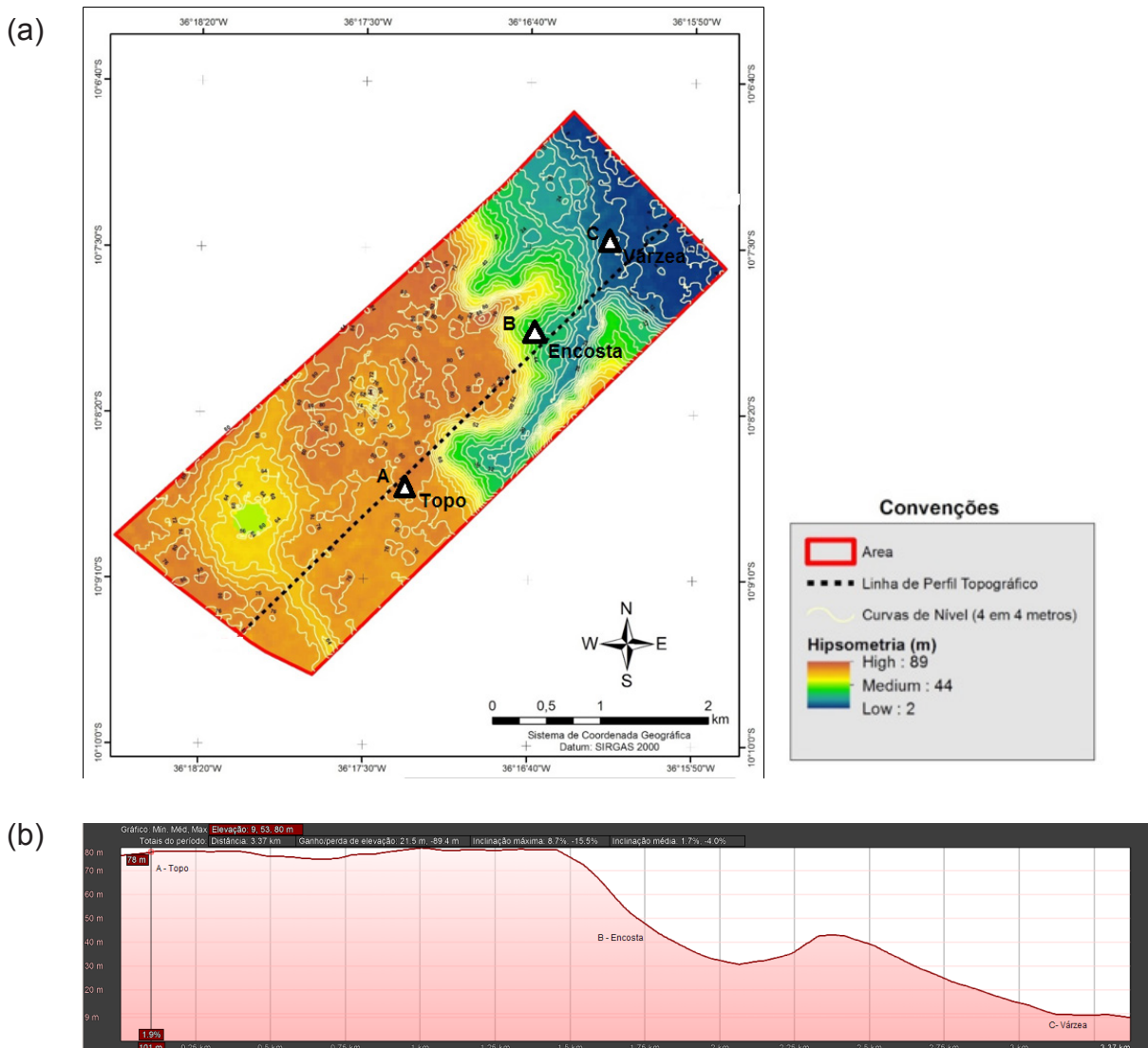
O objetivo deste trabalho foi determinar alguns atributos físico-hídricos na camada superficial do solo relacionados à retenção, armazenamento e disponibilidade de água para as plantas, em uma topossequência de solos sob diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar, em comparação a uma área de referência de floresta subperenifólia, em Coruripe, AL.

## Material e Métodos

O trabalho foi realizado no geoambiente dos Tabuleiros Costeiros, no Município de Coruripe, numa área pertencente à Usina Coruripe S/A, Alagoas, Brasil, sob as coordenadas 10°08'42" S e 36°17'19" W; abrangendo uma topossequência com aproximadamente 3,0 km de extensão, com declividade média variando de 0% a 2,5%, 8% a 12% e de 0% a 2,5% para as posições de topo, encosta e várzea, respectivamente (Figura 1). A vegetação primária é a floresta subperenifólia. O clima da região é o tropical chuvoso com verão seco do tipo As', conforme Köppen, com precipitação pluvial média anual de 1.600 mm, concentrada nos meses de abril a julho (Araújo Filho et al., 2012).

### Tratamentos e amostragem

Foram estudadas três classes de solo numa topossequência, conforme segue: a) topo - Argissolo Amarelo Distrófico, com textura arenosa no horizonte Ap (0 cm a 16 cm), com 9% de argila; textura franco-arenosa no horizonte subsuperficial BA (16 cm a 45 cm), com 15% de argila; e textura franco-argiloarenosa Bt (45 cm a 72 cm) com 26% de argila; b) Encosta - Argissolo Amarelo Distrófico abruptico, textura franco-argiloarenosa no Ap (0 cm a 25 cm), com 22% de argila; e argiloarenosa no BA (25 cm a 45 cm) e no Bt1 (45 cm a 90 cm) ambos com 44% de argila; c) Várzea - Gleissolo Háptico Tb Distrófico, textura franco-argiloarenosa no Ap (0 cm a 20 cm), com 27% de argila; textura franco-argilosa no ACg (20 cm a 45 cm) com 32% de argila; e textura argilosa no Cg1 (45 cm a 90 cm) com 58% de argila (Araújo Filho et al., 2012).



**Figura 1.** Mapa hipsométrico (a) ilustrando o local de coleta das amostras de solo nas áreas de topo (A), encosta (B) e várzea (C), e a variação de altitude (perfil topográfico) ao longo da topossequência (b) em Coruipé, AL. Símbolo (▲) indica o local de coleta.

Fonte: Imagem google earth.

Na topossequência, foram selecionados pontos de coleta para abertura de minitrincheiras nas dimensões de 40 cm x 40 cm x 60 cm, para caracterização físico-hídrica. O manejo e preparo do solo para o plantio consta de operações de calagem (1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico) e duas gradagens (pesada+niveladora), sulcamento e plantio, espaçamento entre sulcos de 1 m, em ambos os sistemas de colheita estudados. As amostras foram coletadas em triplicata de forma aleatória na entrelinha da cultura, após a colheita da 3<sup>a</sup> folha (novembro de 2014) e na fase de rebrota da 5<sup>a</sup> folha (abril de 2016). As variedades de cana-de-açúcar cultivadas em cana crua e queimada foram desenvolvidas pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), sendo a RB 95-1541 de maturação precoce, rápido crescimento, porte alto e de fácil despalha cultivada no topo, e a RB 92-579, de maturação média a tardia, crescimento lento, porte alto, de difícil despalha e de alta produtividade agrícola, na encosta e na várzea. A vegetação remanescente nativa da região (floresta subperenifólia) foi selecionada como área de referência natural dos atributos físico-hídricos (área não cultivada). A coleta na área de referência foi realizada apenas para posição de topo, pois não havia matas preservadas nas demais condições. Amostras indeformadas de solo foram coletadas em anéis volumétricos (100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de (cm): 0 – 10; 10 – 20 e 20 – 30, para determinação dos atributos físico-hídricos. No laboratório, as amostras foram identificadas e submetidas à saturação lenta com água por

capilaridade, posteriormente foram pesadas e colocadas na mesa de tensão (0,01 MPa). Após equilíbrio, determinaram-se a umidade volumétrica na capacidade de campo ( $\Theta_{cc}$ ), o volume de Macroporos ( $M_a$ ) e de Microporos ( $M_i$ ), sendo as amostras posteriormente submetidas a tensão de 1,5 MPa, em extrator de Richards até atingir equilíbrio, para obtenção da umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ( $\Theta_{pmp}$ ). A água disponível (AD) foi calculada pela diferença entre ( $\Theta_{cc}$ ) e ( $\Theta_{pmp}$ ). Ao final, foram determinadas a densidade do solo ( $D_s$ ) pela relação massa:volume ( $\text{g cm}^{-3}$ ), a densidade de partículas ( $D_p$ ) pelo método do balão volumétrico e o volume de poros totais (PT) pela expressão:  $PT = \{1 - (D_s/D_p)\} * 100$ . A microporosidade foi obtida a partir da umidade a -0,006 MPa, e a macroporosidade, pela diferença entre o PT e o de  $M_i$ , usando a expressão:  $M_a = PT - M_i$ . As determinações dos parâmetros físicos seguiram os procedimentos descritos em Teixeira et al. (2017) e foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo e Planta (LASP) da Embrapa Solos.

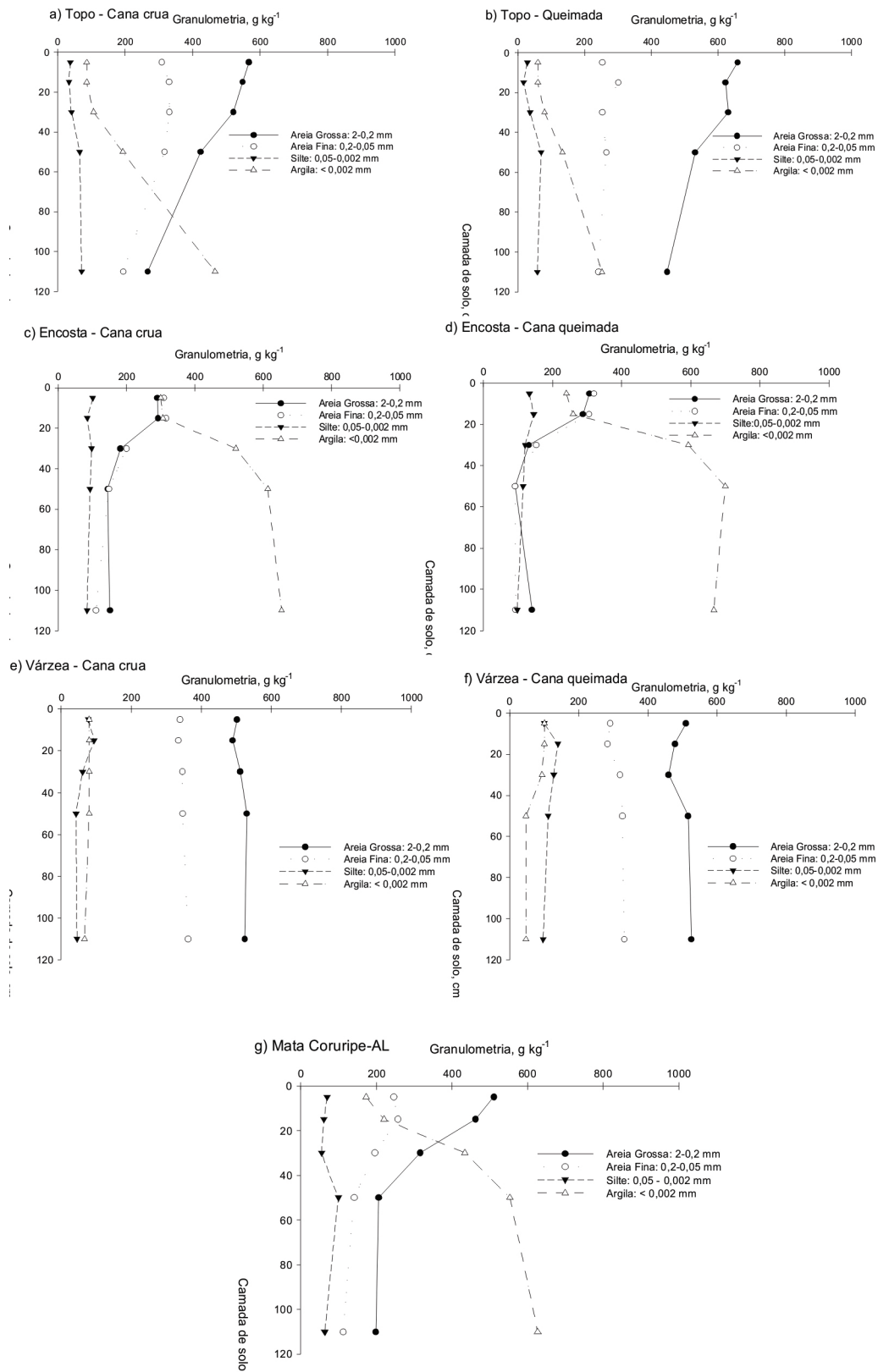
A resistência mecânica à penetração de raízes (RP) foi determinada no campo, com equipamento PenetroLOG® PLG1020 – Medidor Eletrônico de Compactação do Solo (Falker, 2013), seguindo as recomendações da norma internacional ASAE S.313.3 (American Society of Agricultural Engineers, 1999). As medidas foram tomadas até a profundidade de 30 cm do solo, utilizando cone tipo 2, com diâmetro de 12,83 mm. O equipamento foi programado para fornecer dados no intervalo de 10 mm, totalizando 10 medidas por camada de solo. Os dados, foram descarregados em software específico e transportados para planilhas Excel, para posterior realização das análises por camadas (cm): 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30, expressa em kPa. As amostras deformadas foram coletadas para determinação da granulometria e umidade gravimétrica, de modo complementar a determinação da RP. A granulometria foi determinada por peneiramento e sedimentação, empregando-se NaOH como dispersante químico e um agitador de alta rotação. A fração argila foi determinada por método densimétrico e a fração areia por peneiramento, utilizando a peneira de malha 0,05 mm. A areia grossa (2,0 mm a 0,20 mm) foi separada da areia fina (0,20 mm a 0,05 mm) com o uso da peneira de malha 0,20 mm e o silte obtido por diferença. Os resultados foram expressos em números inteiros, na unidade de  $\text{g kg}^{-1}$ , conforme Teixeira et al. (2017).

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e, quando significativa (diferença entre as fontes de variação: sistema de colheita e profundidade do solo), as médias foram comparadas pelo teste de Duncan  $p < 0,10$ . O grau de associação entre as variáveis foi determinado com base nos coeficientes de correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ). Os coeficientes de variação obtidos foram classificados como baixos ( $< 10\%$ ), médios (10% a 20%), altos (20% a 30%) e muito altos ( $> 30\%$ ), de acordo com Gomes (1984).

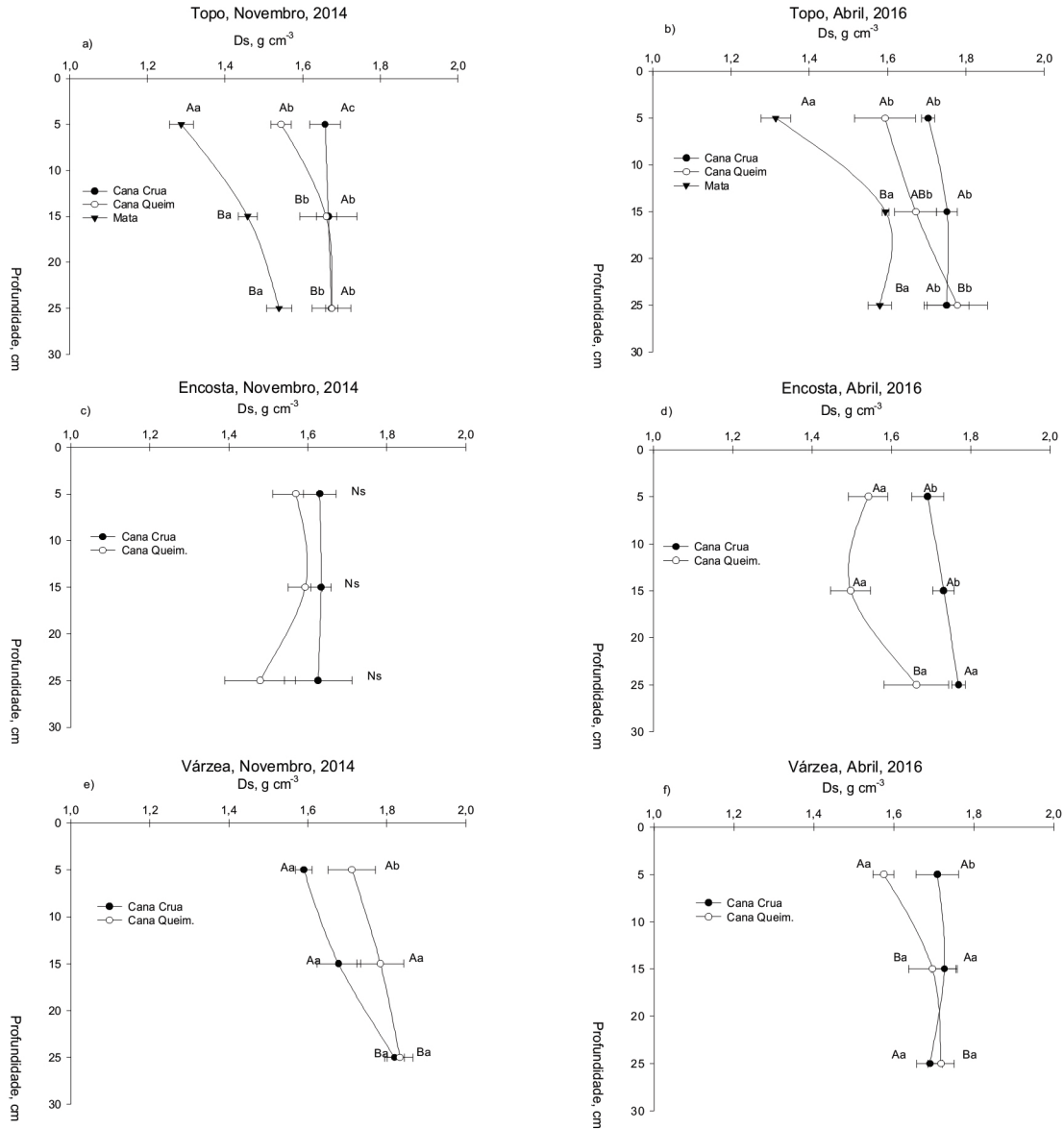
## Resultados e Discussão

Os resultados da análise granulométrica demonstram que, nas áreas cultivadas, independentemente do sistema de colheita, a classe textural varia de areia a areia franca no topo e, de franco-arenosa a argilo-arenosa na área de mata, na camada de 0 cm a 30 cm, com incremento gradativo de argila em profundidade (Figuras 2a, 2b e 2g). Nas áreas cultivadas na encosta, a classe textural varia de franco argilo-arenosa a argila, na camada de 0 cm a 30 cm, passando a muito argilosa em profundidade, tendo sido observado um expressivo acúmulo de argila do horizonte A para o horizonte B (caráter abrupto). Além disso, foi constatada a presença do horizonte coeso aos 20 cm de profundidade (Figuras 2c e 2d). Na várzea, a classe textural varia de areia franca a franco-arenosa, diferentemente do que era esperado para a classe dos Gleissolos Hápicos, provavelmente devido aos pontos de coleta terem se localizados na bordadura superior da área de várzea, em uma zona aonde predomina a deposição de sedimentos arenosos (Figuras 2e e 2f).

Os valores de  $D_s$  das amostras estudadas variaram de  $1,27 \text{ g cm}^{-3}$  a  $1,93 \text{ g cm}^{-3}$  na camada de 0 cm a 30 cm. Esses valores foram maiores na área cultivada do que na área de referência (mata) (Figuras 3a e 3b). Na área de topo de tabuleiro, observa-se que na camada de 0 cm a 10 cm, as áreas cultivadas elevaram a  $D_s$ , com maiores valores na cana crua ( $1,66 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,70 \text{ g cm}^{-3}$ ) do que na queimada ( $1,54 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,59 \text{ g cm}^{-3}$ ) e os menores para área de mata ( $1,29 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,31 \text{ g cm}^{-3}$ ).



**Figura 2.** Valores médios das frações granulométricas do solo (n=3) nos diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar (a, c, e: cana crua; b, d, f: cana queimada; g: área de referência), posições na paisagem (a, b: topo; c, d: encosta; e, f: várzea; g: topo de tabuleiro costeiro) e profundidades do solo, em Coruripe, AL.

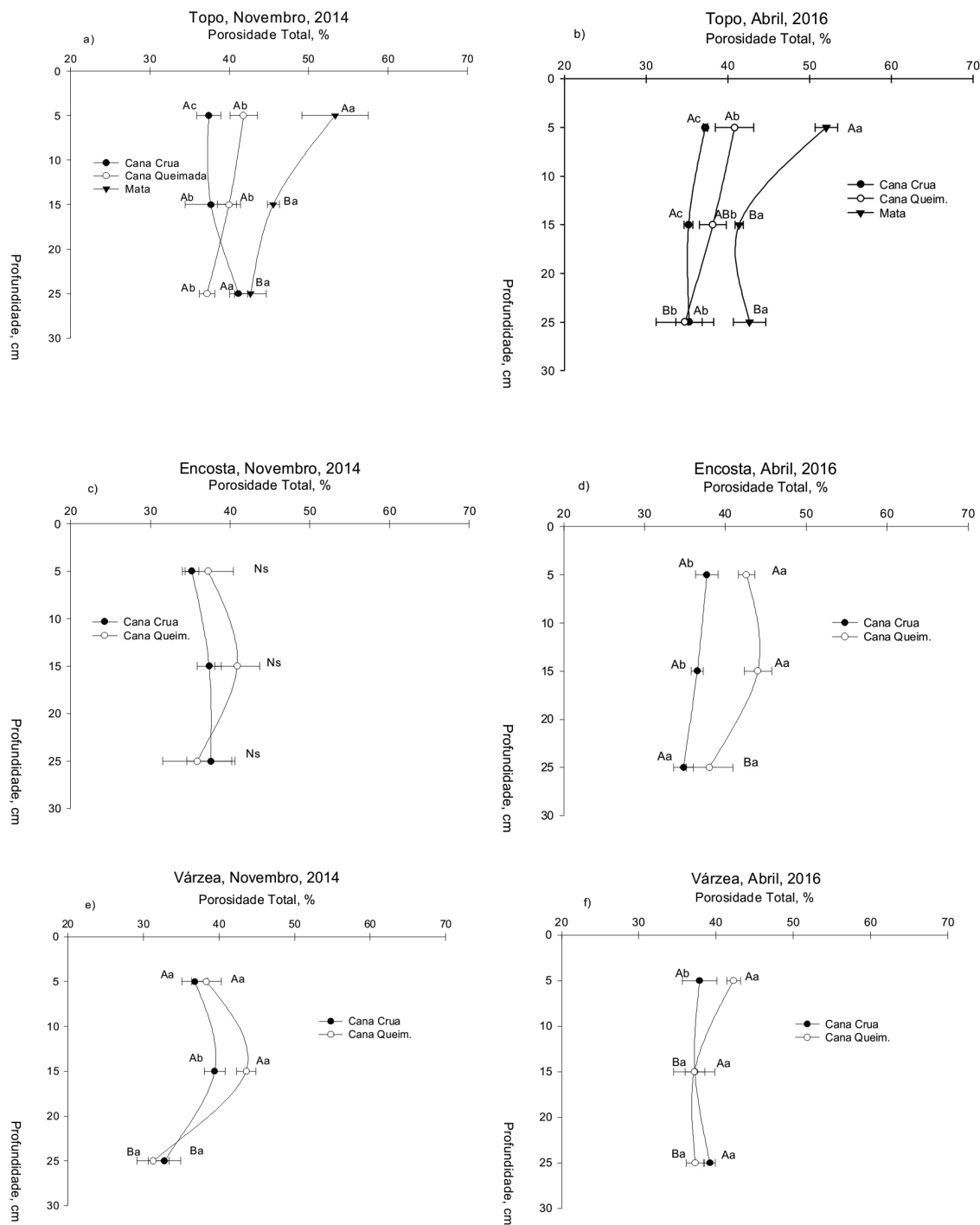


**Figura 3.** Valores médios de densidade do solo (Ds) (n=3), em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar e na área de referência, em duas épocas de coleta (a, c, e: novembro de 2014; b, d, f: abril de 2016) e em distintas posições na paisagem (a, b: topo; c, d: encosta; e, f: várzea) e profundidades do solo, em Coruripe, AL. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan  $p < 0,10$ . Barras representam o erro padrão da média.

Os valores de Ds determinados são típicos de solos arenosos (Reichert et al., 2009). O aumento na Ds na camada superficial das áreas cultivadas se deve provavelmente ao maior tráfego de máquinas durante as operações de preparo do solo e de tratos culturais. Com a implementação do sistema de colheita mecanizado, esse tráfego tende a se intensificar, com tendência geral de maiores valores na Ds de área de cana colhida crua na camada de 0-10 cm, apesar da deposição da palhada. Na área de mata, o aumento da Ds em profundidade pode ser atribuído ao caráter coeso, característica natural comumente observada na camada de 20 cm a 40 cm, correspondente aos horizontes transicionais AB e BA dos solos de Tabuleiros Costeiros, no litoral do Nordeste (Jacomine, 1996; Cintra; Libardi, 1998).

Os valores de PT tenderam, em geral, a diminuir com a profundidade nas áreas de cultivo e na região de mata, sendo as diferenças mais pronunciadas em profundidade na área de mata (Figuras 4a e 4b).





**Figura 4.** Valores médios da porosidade total ( $n=3$ ), em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar e na área de referência, em duas épocas de coleta (a, c, e: novembro 2014; b, d, f: abril 2016) e em distintas posições na paisagem (a, b: topo; c, d: encosta; e, f: várzea) e profundidades do solo, em Coruripe, AL. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan  $p<0,10$ . Barras representam o erro padrão da média.

Na área de encosta, os valores foram menores na cana crua em relação a cana queimada nas profundidades de 0 cm a 10 cm e 10 cm a 20 cm, com diferenças significativas ( $p<0,10$ ) na coleta em abril de 2016, variando muito pouco em profundidade (Figuras 4c e 4d). Na várzea, a PT reduziu com o aumento da profundidade, com menores valores na camada de 20 cm a 30 cm (Figura 4e). Entre os sistemas de colheita, a PT foi maior na cana queimada do que na cana crua na camada de 10 cm a 20 cm (Figura 4e) e na camada de 0 cm a 10 cm (Figura 4f). Na camada de 20 cm a 30 cm, em nenhuma época de coleta houve diferença significativa entre os sistemas de colheita (Figuras 4e e 4f). Isso denota que a deposição de palhada na área de várzea pode

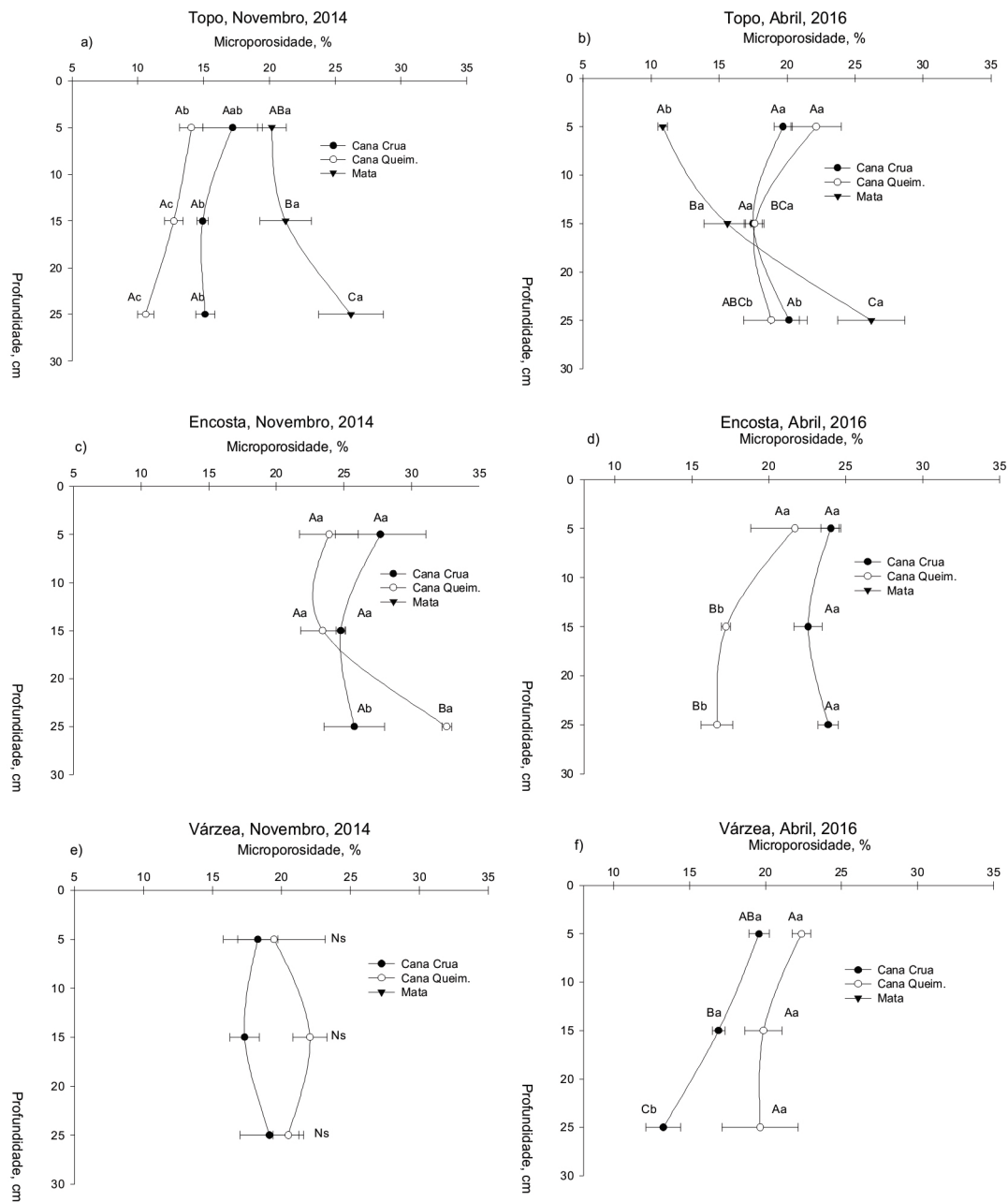
não ser suficiente para melhorar as condições físico-hídricas para adequado crescimento e desenvolvimento da cultura.

Os valores de microporosidade (Mi) são apresentados na Figura 5. Na área de topo, em novembro de 2014, após a colheita, o volume de Mi obedeceu à seguinte ordem: cana queimada < cana crua < mata, com diferenças significativas ( $p < 0,10$ ) na camada de 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm (Figura 5a). Em abril de 2016, houve aumento da Mi nas áreas cultivadas em relação à mata de referência na camada de 0 cm a 10 cm, com elevado incremento em profundidade na área de mata (Figura 5b). Nesse mesmo período, na área de encosta, em solo com textura argilosa em subsuperfície, em geral, houve aumento no volume de Mi na colheita com cana crua em relação à queimada, com diferenças significativas nas camadas de 10 cm a 20 cm e de 20 cm a 30 cm (Figura 5d). Na várzea, o volume de Mi foi maior na cana queimada do que na cana crua (Figuras 5d e 5e). De modo geral, o maior volume de Mi nas áreas de cana crua favorece a retenção e o armazenamento de água no solo, possibilitando maior conteúdo de água disponível, principalmente para as posições de topo e encosta. No entanto, esse conteúdo de água no solo nas áreas de cana crua pode ser limitado pelo aumento na Ds e da RP.

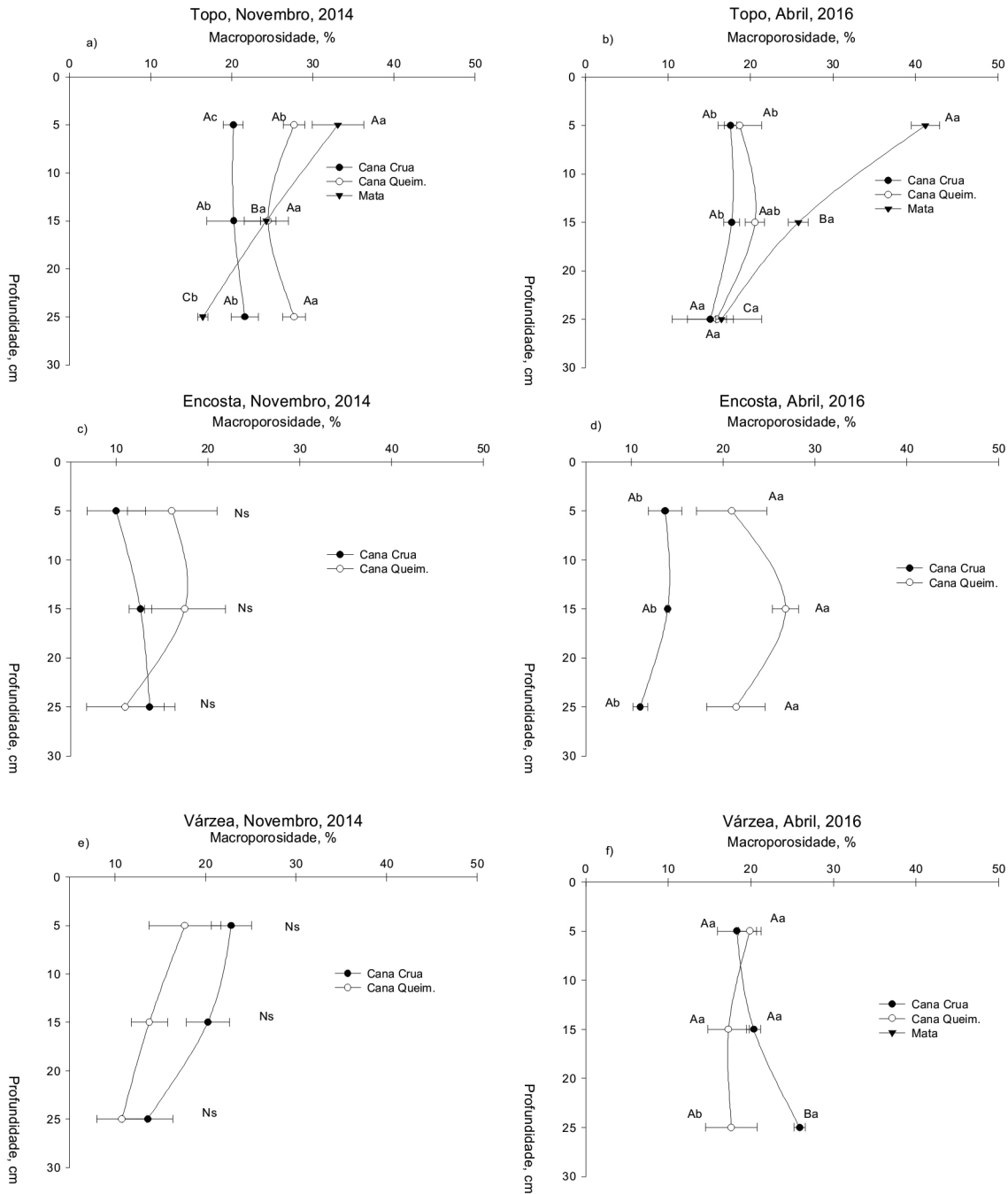
O principal indicador para avaliar as condições de trocas gasosas no solo é representado pelo volume de macroporos (Ma), tendo como valor limite mínimo  $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  para garantir adequado funcionamento dessas trocas no solo (Letey, 1985). O volume de Ma é apresentado na Figura 6. Observa-se que, na área de topo, em novembro de 2014, houve redução do volume de Ma na área de cana colhida crua em relação à cana queimada e mata, na camada de 0 cm a 10 cm. Na camada de 20 cm a 30 cm, o volume de Ma na cana crua apresentou valores intermediários em relação aos das duas outras áreas (Figura 6a). Em abril de 2016, a redução no volume de Ma nas áreas cultivadas em relação à mata foi significativa nas camadas de 0 cm a 10 cm e 10 cm a 20 cm, não diferindo na camada de 20 cm a 30 cm (Figura 6b). Percebe-se que o volume de Ma reduz com o aumento da profundidade na área de mata, evidenciando o caráter coeso dos solos dos Tabuleiros Costeiros. Na área de encosta, observa-se que o modo de colheita sem despalha a fogo reduziu o volume de Ma, com diferenças significativas em abril de 2016 (Figuras 6c e 6d). Na várzea, ocorreu o contrário, com o sistema com cana crua apresentando maior volume de Ma do que no sistema com cana queimada (Figuras 6e e 6f), exceto pela camada superficial, coleta em abril de 2016. Apesar das alterações no volume de Ma, observa-se que, em nenhuma das situações, em média, foram observados valores considerados críticos, ou seja, abaixo do valor limitante de  $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , o que poderia restringir a disponibilidade de ar para as plantas.

Os resultados para resistência mecânica à penetração de raízes (RP) são apresentados na Figura 7.

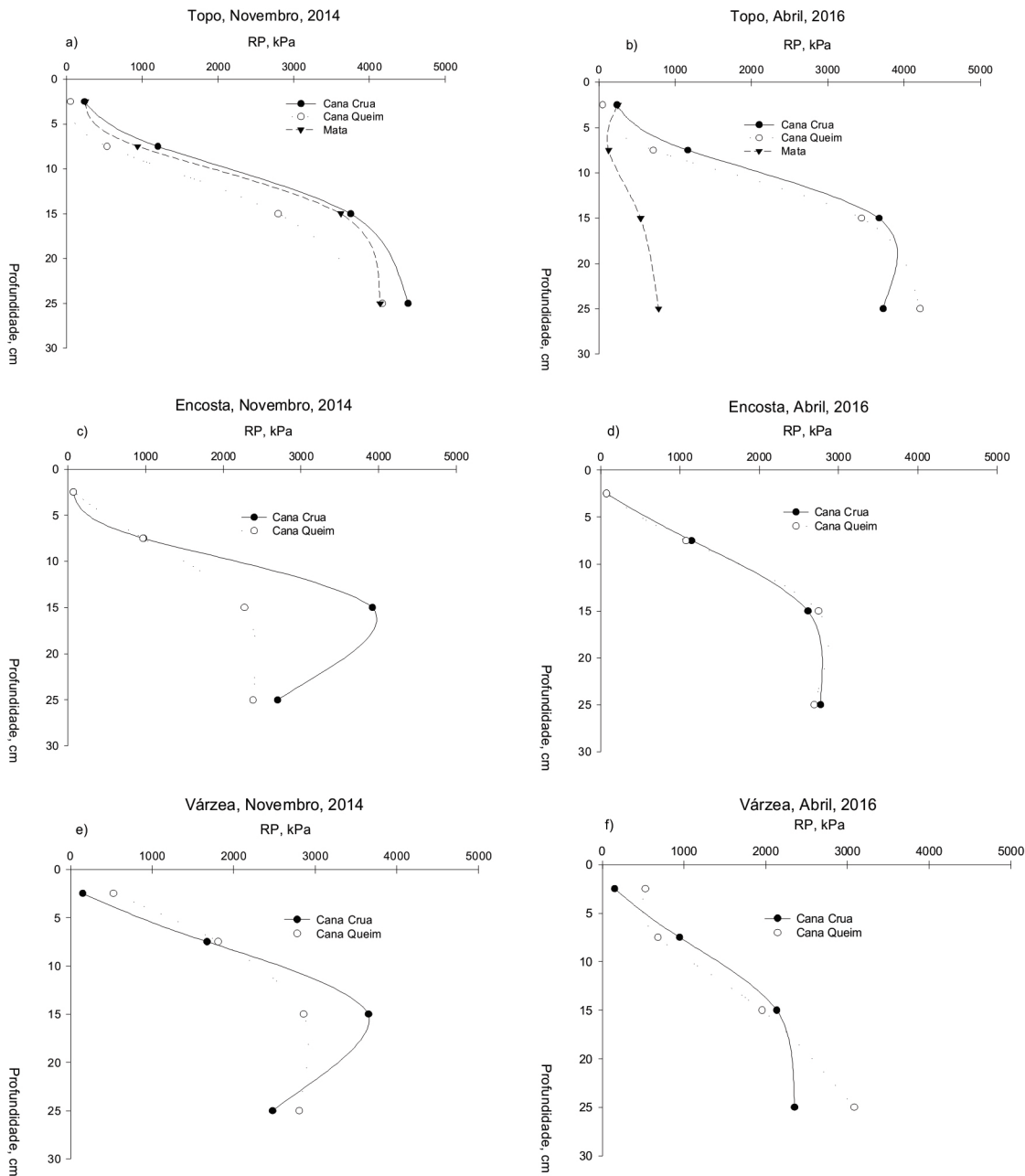
Observa-se que os valores de RP superaram, em média, o valor de 2.000 kPa, que é considerado crítico para o crescimento e desenvolvimento da maioria das culturas (Otto et al., 2011), nas profundidades superiores a 10 cm, inclusive na área de mata (referência) no período de novembro de 2014. A umidade gravimétrica nesse período era em média de  $5,65 \pm 2,77 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ , ou seja, o solo estava mais seco do que em abril de 2016, quando o valor médio da umidade gravimétrica no momento da determinação da RP era de  $9,65 \pm 2,11 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ . Essa condição de maior umidade do solo em abril de 2016 ocasionou valores acentuadamente menores do que 2.000 kPa na área de mata, em todas as camadas avaliadas (Figura 7b). Giarola et al. (2001) também observaram que, a partir de  $9,5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  de umidade do solo, os valores de RP tendem a ser menores, em razão de o solo apresentar a consistência friável, reduzindo a coesão. No entanto, apesar da maior umidade do solo em abril de 2016, observa-se que, nas áreas cultivadas, os valores de RP permaneceram altos, acima de 2.000 kPa, com maiores valores na camada de 15 cm a 20 cm (Figura 7b). Esses dados condizem com Pacheco e Cantalice (2011), que também observaram elevação da RP dos horizontes Ap, AB e Bt, de um Argissolo Amarelo Distrocoeso cultivado com cana-de-açúcar, em condições similares às deste estudo. Sá et al. (2016) observaram que, até o valor de 3.800 kPa, não estaria ocorrendo limitação ao crescimento e o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, para condição de solos do cerrado brasileiro. Investigações mais detalhadas relacionadas à RP e a cultura da cana-de-açúcar em solos da região dos Tabuleiros Costeiros, na região Nordeste, precisam ser realizadas, no intuito de elucidar se o valor de 2.000 kPa, considerado restritivo para a maioria das culturas, é também valor limitante aplicável para as condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros sob cultivo de cana-de-açúcar.



**Figura 5.** Valores médios do volume de microporos ( $n=3$ ), em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar e na área de referência, em duas épocas de coleta (a, c, e: novembro 2014; b, d, f: abril 2016) e em distintas posições na paisagem (a, b: topo; c, d: encosta; e, f: várzea) e profundidades do solo, em Coruripe, AL. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan  $p<0,10$ . Barras representam o erro padrão da média.

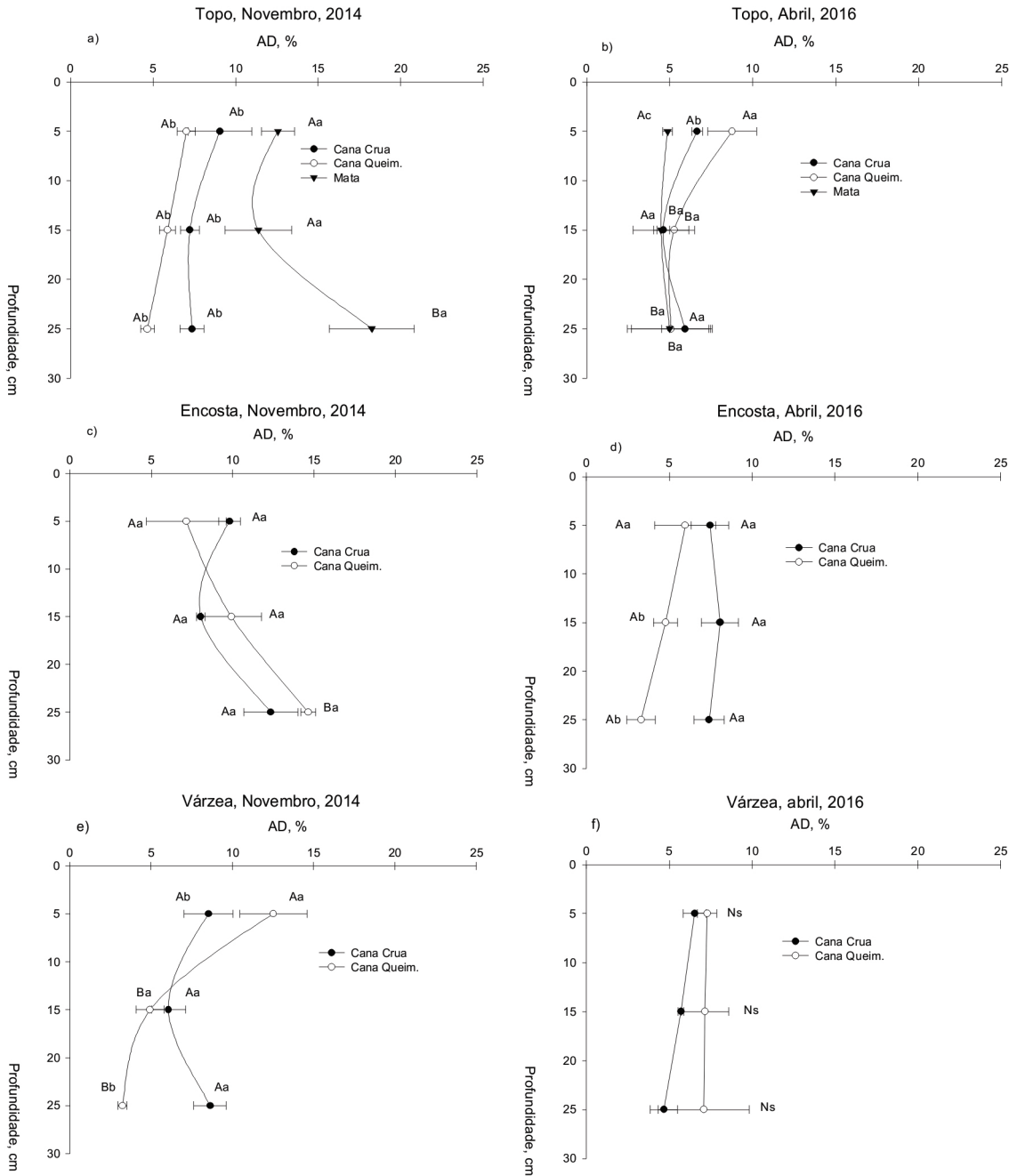


**Figura 6.** Valores médios do volume de macroporos (n=3), em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar e na área de referência, em duas épocas de coleta (a, c, e: novembro 2014; b, d, f: abril 2016) e em distintas posições na paisagem (a, b: topo; c, d: encosta; e, f: várzea) e profundidades do solo, em Coruripe, AL. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan  $p < 0,10$ . Barras representam o erro padrão da média.



**Figura 7.** Valores médios da resistência mecânica a penetração de raízes ( $n=3$ ), em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar e na área de referência, em duas épocas de coleta (a, c, e: novembro 2014; b, d, f: abril 2016) e em distintas posições na paisagem (a, b: topo; c, d: encosta; e, f: várzea) e profundidades do solo, em Coruipe, AL.

Os valores de água disponível em percentual de umidade volumétrica (AD) são apresentados na Figura 8. Observa-se que, em novembro de 2014, os valores foram maiores ( $p<0,10$ ) na área de referência (Mata), seguidos dos valores nas áreas da cana crua e queimada (Figura 8a). Em relação aos métodos de colheita, as diferenças foram significativas nas camadas de 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm, em favor da cana-de-açúcar colhida crua, na área de encosta, em abril de 2016 (Figura 8d). Na várzea, houve diferença significativa apenas em novembro de 2014, com maiores valores na cana queimada na camada de 0 cm a 10 cm e na cana crua na camada de 20 cm a 30 cm (Figura 8e).



**Figura 8.** Valores médios de água disponível (CC – PMP) (n=3), em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar e na área de referência, em duas épocas de coleta (a, c, e: novembro 2014; b, d, f: abril 2016) e em distintas posições na paisagem (a, b: topo; c, d: encosta; e, f: várzea) e profundidades do solo, em Coruripe, AL. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan  $p < 0,10$ . Barras representam o erro padrão da média.

Considerando as duas épocas de coleta e a camada de 0 cm a 30 cm de solo, observa-se que o conteúdo de AD é da ordem de  $0,082 \pm 0,0045 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e de  $0,075 \pm 0,0103 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  para cana crua e queimada na área de topo, respectivamente. Na posição de encosta, esses valores são da ordem de  $0,104 \pm 0,063 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e de  $0,091 \pm 0,0132 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , e, na área de várzea, situam-se na faixa de  $0,086 \pm 0,0071 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e de  $0,098 \pm 0,0185 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  para cana colhida crua e queimada, respectivamente. A aproximação das médias dos valores de AD nos dois sistemas de colheita, demonstra que, em geral, o modo de colheita não apresenta diferença significativa quanto ao conteúdo de AD, embora tenham sido observadas diferenças nas Ds e no volume de poros, decorrentes do modo de colheita. Isto pode ser decorrente do pequeno período de tempo

de implantação da colheita sem despalha a fogo (< 5 anos). Apesar de não ter sido encontrada grande diferença no conteúdo de AD entre os sistemas de colheita, observa-se que o modo colheita cana crua tende a apresentar maiores teores em média, nas posições de topo e encosta. Por outro lado, os maiores conteúdos de AD na encosta podem ser atribuídos aos maiores teores da fração argila na composição granulométrica do solo em relação as demais posições avaliadas (Figura 2).

Com o objetivo de analisar conjuntamente os atributos físico-hídricos e suas relações, foi obtida uma matriz de correlação dessas propriedades do solo nos diferentes períodos de colheita. Dessa análise, constata-se que as variáveis apresentaram coeficiente de variação (CV) na faixa de 9% a 57% e de 9% a 84% (Tabelas 1 e 2). A Ds foi a variável que apresentou menor CV 9%, classificado como baixo (<10%); a Pt apresentou CV médio, variando de 14% a 15%; o volume de Mi apresentou CV alto, de 23% a 30%; o volume de Ma apresentou CV alto (23%) a muito alto (40%); a AD apresentou CV muito alto (46%; 62%); o  $\Theta_{cc}$ ,  $\Theta_{pmp}$  e RP também apresentaram CV muito alto (43%, 39%), (47%, 38%) e (57%, 84%), respectivamente, com a maior variabilidade para a RP; a  $\Theta_g$  apresentou CV variando de alto (22%) a muito alto (49%), de acordo com Gomes (1984), Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1.** Matriz de correlação entre as variáveis englobando a camada de 0 cm a 30 cm (n=27) período de novembro de 2014, em Coruripe, AL.

Variável	$\mu$	$\sigma$	CV (%)	Ds	Pt	Mi	Ma	AD	$\Theta_{cc}$	$\Theta_{pmp}$	RP	$\Theta_g$
Ds	1,57	0,14	9	-								
Pt	41	6,31	15	-0,95*	-							
Mi	17	5,10	30	-0,52*	0,52*	-						
Ma	24	5,66	23	-0,58*	0,64*	-0,32 <sup>ns</sup>	-					
AD	9,3	4,32	46	-0,53*	0,52*	0,97*	-0,29 <sup>ns</sup>	-				
$\Theta_{cc}$	13,7	5,95	43	-0,58*	0,57	0,98*	-0,26 <sup>ns</sup>	0,97*	-			
$\Theta_{pmp}$	4,4	2,06	47	-0,56*	0,55*	0,82*	-0,12	0,70*	0,86*	-		
RP	2853	1617	57	0,40*	-0,35 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,43*	0,02 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-	
$\Theta_g$	5,65	2,77	49	-0,53*	0,48*	0,81*	-0,19 <sup>ns</sup>	0,82*	0,87*	0,78*	0,10 <sup>ns</sup>	-

$\mu$  = Média;  $\sigma$  = Desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Ds = densidade do solo; Pt = porosidade total; Mi = volume de microporos; Ma = volume de macroporos; AD = água disponível;  $\Theta_{cc}$  = umidade na capacidade de campo;  $\Theta_{pmp}$  = umidade no ponto de murcha permanente; RP = Resistência mecânica a penetração de raízes;  $\Theta_g$  = umidade gravimétrica no momento da determinação da RP.

\*Correlação significativa  $p < 0,05$ ; <sup>ns</sup> = correlação não significativa.

**Tabela 2.** Matriz de correlação entre as variáveis englobando a camada de 0 cm a 30 cm (n=27), período abril de 2016, em Coruripe, AL.

Variável	$\mu$	$\sigma$	CV (%)	Ds	Pt	Mi	Ma	AD	$\Theta_{cc}$	$\Theta_{pmp}$	RP	$\Theta_g$
Ds	1,63	0,15	9	-								
Pt	40	5,75	14	-0,98*	-							
Mi	19	4,46	23	0,30 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	-						
Ma	21	8,35	40	-0,84*	0,86*	-0,76*	-					
AD	7,1	4,39	62	-0,23 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,73*	-0,25 <sup>ns</sup>	-				
$\Theta_{cc}$	12,7	4,98	39	0,04 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,88*	-0,51*	0,91*	-			
$\Theta_{pmp}$	5,5	2,10	38	0,61*	-0,59*	0,56*	-0,71*	0,06 <sup>ns</sup>	0,47	-		
RP	2043	1714	84	0,57*	-0,60*	0,05 <sup>ns</sup>	-0,44*	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,51	-	
$\Theta_g$	9,65	2,11	22	0,14 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-

$\mu$  = Média;  $\sigma$  = Desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Ds = densidade do solo; Pt = porosidade total; Mi = volume de microporos; Ma = volume de macroporos; AD = água disponível;  $\Theta_{cc}$  = umidade na capacidade de campo;  $\Theta_{pmp}$  = umidade no ponto de murcha permanente; RP = Resistência mecânica a penetração de raízes;  $\Theta_g$  = umidade gravimétrica no momento da determinação da RP.

\*Correlação significativa  $p < 0,05$ ; <sup>ns</sup> = correlação não significativa.

A Ds apresentou correlação significativa com as demais variáveis estudadas demonstrando ser um importante atributo indicador de qualidade do solo em áreas dos Tabuleiros Costeiros cultivados com cana-de-açúcar. Em geral, as correlações entre a Ds e os demais atributos foram negativas, elucidando que o tráfego de máquinas eleva a Ds, reduzindo os atributos físico-hídricos favoráveis à agregação do solo, principalmente a porosidade total. Exceção ocorreu para a relação entre a Ds e a RP, a qual apresentou correlação positiva, ou seja, o aumento na Ds eleva a RP (Tabelas 1 e 2).

Em relação à AD, observa-se que, para as condições deste estudo, a AD esteve associada positivamente ao  $\Theta_{cc}$  nas duas épocas de coleta com valores acima de 0,9 ( $p < 0,05$ ), Tabelas 1 e 2. Isso indica que ações de manejo que favoreçam a agregação e estruturação do solo, tais como elevação ou manutenção dos teores de matéria orgânica, rotação de culturas, uso de leguminosas para adubação verde, menor revolvimento do solo e erradicação do fogo, são importantes para aumentar o conteúdo de AD no solo, principalmente nos solos de textura arenosa, característicos dos Tabuleiros Costeiros. Além disso, essas práticas contribuem para maior infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial. Com o objetivo de controlar a erosão hídrica, as práticas mecânicas de conservação do solo, a exemplo do cultivo em contorno e da construção de terraços agrícolas devem também estar associadas principalmente nas áreas de encosta, onde a declividade é mais acentuada. Outro aspecto importante em áreas de colheita mecanizada diz respeito ao desenvolvimento de maquinário adaptado para realização de tráfego controlado, reduzindo o percentual de área trafegada pelo rodado das máquinas agrícolas.

## Conclusões

O modo de colheita da cana-de-açúcar estudados influenciaram os atributos físico-hídricos na camada superficial do solo.

O cultivo de cana-de-açúcar promoveu aumento da densidade do solo com conseqüente redução da porosidade total, principalmente no volume de macroporos, na camada de 0 cm a 10 cm, promovendo aumento da resistência à penetração de raízes e redução na água disponível, em relação à mata de referência.

Nas áreas de topo e encosta de Tabuleiro Costeiro, o sistema com cana crua promove melhores condições para armazenamento e disponibilidade de água. Na área de várzea, a manutenção da palhada na superfície não foi favorável à estruturação do solo e ao armazenamento e disponibilidade de água.

Estudos mais detalhados precisam ser realizados para confirmar essas afirmações, bem como para definir estratégias de manejo conservacionista nas lavouras de cana-de-açúcar, principalmente nas áreas de topo e encosta, em função do caráter coeso presente nesses solos.

## Referências

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE. S313.3**: soil cone penetrometer. St. Joseph, 1999. 834 p.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; GOMES, E. C.; SILVA, F. H. B. B. da; OLIVEIRA NETO, M. B. de; PARAHYBA, R. da B. V.; CUNHA, T. J. F.; CAVALCANTI, A. C.; SANTOS, J. C. P. dos; SILVA, A. B. da; LOPES, O. F.; LEITE, A. P.; SILVA, M. S. L. da; RIBEIRO FILHO, M. R.; ACCIOLLY, F. A. M.; MARQUES, F. A.; AMARAL, A. J. do; LIMA, P. C. de. **Zoneamento agroecológico do estado de Alagoas**: levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Alagoas – relatório técnico. Maceió, AL: SEAGRI-AL; Recife, PE: Embrapa Solos – UEP Recife, 2012.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123 - 141. (SSSA. Special publication, 49).

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

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M. A.; CENTURION, J. F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 189-198, 2005.



- CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. A. de; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L.; TORMENA, A. C. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1541-1550, 2011.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agricola**, v. 55, p. 367-378, 1998.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 mar. 2016.
- CORRECHEL, V.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 165-173, 1999.
- DELGADO, A. A. Os efeitos da queima dos canaviais. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 3, n. 1, p. 42 - 45, 1995.
- FALKER. **PenetroLOG PLG1020 - Medidor Eletrônico de Compactação do Solo**. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/download.php>>. Acesso em: 14 fev. 2013.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; TORMENA, C.; SOUZA, L. S. RIBEIRO, L. P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 239-247, 2001.
- GOMES, F. P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1984. 160 p.
- GONÇALVES, W. G.; SEVERIANO, E. da C.; SILVA, F. G.; COSTA, K. A. de P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W. da S.; MELO, G. B. Least limiting water range in assessing compaction in a Brazilian Cerrado Latosol growing sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 432-443, 2014.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 11 - 18, 2001.
- JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1., 1996, Cruz das Almas, BA. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa-CPATC, 1996. p. 13-26.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277 - 294, 1985.
- OLIVEIRA, A. P. P.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 939-947, 2014.
- OTTO, R.; SILVA, A. P.; FRANCO, H. C. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 201-210, 2011.
- PACHECO, E. P.; CANTALICE, R. B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 403-415, 2011.
- PINHEIRO, E. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. **Plant Soil**, v. 333, p. 71-80, 2010.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree of compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, p. 242-254, 2009.
- SÁ, M. A. C. de; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos; RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FRANZ, C. A. B.; REIN, T. A. Qualidade física do solo e produtividade da cana-de-açúcar com uso da escarificação entre linhas de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1610-1622, 2016.
- SOUZA, G. S. de; SOUZA, Z. M. de; COOPER, M.; TORMENA, C. A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v. 72, p. 270-277, 2015.
- SOUZA, R. A.; TELLES, T. S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M. A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 155, p. 1-6, 2012.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 725-730, 2001.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTAN, A. TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

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

TROUSE JUNIOR, A. C.; HUMBERT, R. P. Some effects of soil compaction on the development of sugarcane roots. **Soil Science**, v. 91, p. 208–217, 1961.

UNGER, P. W.; KASPAR, T. C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, v. 86, p. 759-766, 1994.

VAN LIER, Q. de J.; GUBIANI, P. I. Beyond the “Least Limiting Water Range”: rethinking soil physics research in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 925-939, 2015.

WIDENFELD, B. Effects of green harvesting vs burning on soil properties, growth and yield of sugarcane in South Texas. **Journal of the American Society of Sugarcane Technologists**, v. 29, p. 102-109, 2009.