

Correlação do intervalo hídrico ótimo com o crescimento de frutos e pseudofrutos de cajueiros

Fabricio Tomaz Ramos; Fernando Pivetta; Victor Arlindo Taveira de Matos; José Holanda Campelo Júnior; João Carlos de Souza Maia

Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Cuiabá. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, CEP 78060-900, Boa Esperança. Cuiabá, MT, Brasil. E-mails: fabricio.tomaz@hotmail.com; nand_ao@hotmail.com; victor_arlindo@hotmail.com; campelo@ufmt.br; jotace@terra.com.br.

Resumo: No Brasil, a cajucultura tem grande importância socioeconômica, sobretudo na região Nordeste. Entretanto, muitos agricultores deixam a lavoura dependente exclusivamente da chuva, principal entrave na produção e qualidade da castanha e do pedúnculo. Isso é agravado em solos compactados ou em via de compactação, onde o intervalo de água disponível as plantas pode se estreitar até um valor nulo, que conforme o método do intervalo hídrico ótimo (IHO) é denominado de densidade do solo crítica ($Ds_{crítica}$), quando o IHO = 0. Assim, objetivou-se em um Neossolo Quartzarênico determinar a variação do conteúdo de água no solo, considerando a evapotranspiração real dos cajueiros e verificar a frequência com que a água ficou fora ou dentro do IHO para então verificar a hipótese se o valor de $Ds_{crítica}$ foi restritivo ou não ao crescimento dos frutos e pseudofrutos de cajueiros, por meio da estatística de correlação de Pearson ($P < 0,05$). Verificou-se que à medida que se intensificou o secamento do solo a evapotranspiração dos cajueiros reduziu drasticamente, e ao atingir valores de conteúdo de água acima da $Ds_{crítica}$ ocorreram correlações elevadas e negativas com o crescimento de frutos e pseudofrutos, principalmente, quando não há precipitação pluviométrica em menos de 30 dias. Assim, como o conteúdo de água no solo ficou abaixo do limite inferior do IHO, isso restringiu o crescimento dos frutos e pseudofrutos de cajueiros o que valida portanto a hipótese que se pode utilizar a $Ds_{crítica}$ como meio para controlar e monitorar a qualidade física do solo.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale* L., Qualidade física do solo, Dinâmica da água no solo

Correlation of least limiting water range with the growth of fruits and pseudofruits of cashew

Abstract: In Brazil, the cashew cultivation has great socio-economic importance, particularly in the Northeast. However, many farmers leave farming entirely dependent on rain, the main obstacle in the production and quality of nuts and pseudofruit. This is aggravated in compacted soils or compaction situation where the available water range plants can narrow to a null value, which according to the method of the least limiting water range (LLWR) is called the critical bulk density ($Bd_{critical}$) when the LLWR = 0. In this context, the objective was to determine in a Typic Quartzarenic determine the variation of soil water content considering the actual evapotranspiration of cashew and check the frequency with which the water was inside or outside the LLWR to then verify the hypothesis that the value of $Bd_{critical}$ was restrictive or not the growth of fruits and pseudofruits cashew, using statistical correlation ($P < 0.05$). It was found that as the intensified soil drying, the actual evapotranspiration of cashew drastically reduced, and then to reach values of water content above $Bd_{critical}$, occurred large measures and negatively correlated with the growth of fruits

and pseudofruits of cashew, especially when there is no precipitation in less 30 days. Thus, as the water content in the soil was below the lower limit of the LLWR, it restricted the growth of fruits and pseudofruits of cashew, which therefore validates the hypothesis that one can use the $Bd_{critical}$ as a means for controlling and monitoring the physical quality of soil.

Keywords: *Anacardium occidentale* L., Physical soil quality, Dynamics of water in soil.

Introdução

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) tem-se destacado entre as frutíferas tropicais, em razão do melhoramento genético (EMBRAPA, 2014); e dos avanços tecnológicos ocorridos e planejados na industrialização do fruto e pseudofruto (THE NEW YORK TIMES, 2014). No Brasil, a cajucultura é de grande importância socioeconômica, pois complementa a renda de agricultores familiares, sobretudo na região Nordeste do país (SINDICAJU, 2014).

Entretanto, a distribuição equilibrada da chuva tem sido o principal entrave na produção e qualidade da castanha e do pedúnculo do caju brasileiro, pois muitos são os agricultores que deixam a lavoura dependente exclusivamente da chuva. Conforme o IBGE (2012), nos últimos dez anos houve variação de $\pm 100\%$ da produção nacional e, isso ocorre porque, assim como outras culturas a produtividade do cajueiro é condicionado pelo nível tecnológico adotado como, o uso de material genético produtivo, o controle de insetos, doenças e plantas daninhas, cuidados quanto aos tratamentos culturais (EMBRAPA, 2014); e, sobretudo, quanto ao manejo adequado da água e nutrientes no solo (REJANI e YADUKUMAR, 2010; EMBRAPA, 2014). Além disso, ocorre o efeito acumulado do pisoteio humano e do tráfego de maquinários nas entrelinhas dos cajueiros que ocasiona com o tempo a compactação do solo, que representa uns dos principais entraves à disponibilidade de água às plantas (HAMZA e ANDERSON, 2005).

Sabe-se que para que o rendimento de culturas seja maximizado, a água no solo deve ser mantida em níveis ótimos (SANTOS e CARLESSO, 1998; COLLARESET al., 2006; SENA et al., 2007; REJANI e YADUKUMAR, 2010). Mas, em solos compactados ou em via de compactação o intervalo de água disponível as plantas pode ser estreitar até um valor nulo, devido à baixa aeração em condições de drenagem ineficiente e elevada resistência do solo a penetração à medida que o mesmo seca

(SAFADOUSTA et al., 2014). Essa abordagem é conhecida como intervalo hídrico ótimo (IHO) (SILVA et al., 1994). A vantagem deste método, em comparação ao método clássico de capacidade de água disponível (CAD) é que com o IHO pode conhecer o valor da densidade do solo crítica ($Ds_{critical}$), quando o IHO = 0. Portanto, com base no IHO pode-se estimar a $Ds_{critical}$ e, possivelmente, utilizá-la como juízo para o controle e monitoramento da qualidade física do solo (MOREIRA et al., 2014).

Entretanto, segundo Blainski et al. (2012), apesar da $Ds_{critical}$ ser um indicador da degradação física do solo, também, deve-se levar em consideração a amplitude do IHO e a frequência com que a umidade do solo mantém-se dentro desse intervalo, pois pode acontecer de se ter um limite estreito do IHO, mas se a água se manter dentro desse intervalo pode não se ter restrições ao crescimento das plantas. Mais do que isso, quantificar e relacionar resultados de rendimento de plantas em função da física do solo é complexo, pois o mesmo é influenciado pela variabilidade espacial e temporal “solo-planta-atmosfera (SPA)” (MOREIRA et al., 2014).

Além disso, a possibilidade do uso da $Ds_{critical}$, conforme Klein e Camara (2007), carece de complementações como, a correlação com a produção vegetal, pois conforme Santos e Carlesso (1998), para o entendimento das respostas das plantas à medida que o solo seca é necessário relacionar o conteúdo da água no solo e analisar os efeitos nas plantas. Nesse sentido, parte-se da hipótese que o limite do IHO = 0, definido pela $Ds_{critical}$ pode ser avaliado com base no monitoramento da variação do conteúdo de água no solo versus o reflexo no crescimento das plantas.

Assim, objetivou-se no presente trabalho determinar a variação do conteúdo de água no solo, considerando a evapotranspiração dos cajueiros e verificar a frequência com que a água ficou fora ou dentro do IHO para então verificar se os valores de densidade do solo crítica ($Ds_{critical}$) (IHO = 0) foram restritivos ou não ao crescimento dos frutos e pseudofrutos de cajueiros.

Material e métodos

O trabalho foi realizado no período de 16/05/12 a 09/11/12, em um pomar de cajueiro anão (*Anacardium occidentale* L.), localizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso no município de Santo Antônio de Leverger: 15° 47' 11" de latitude Sul, 56° 04' 47" de longitude Oeste e altitude de 140 metros. O clima da região é Aw pela classificação de Köppen. O regime de chuvas é bem definido, com um período seco, de maio a setembro, e com um período chuvoso, de outubro a abril. A precipitação média anual é de 1320 mm ano⁻¹. A temperatura média mensal varia de 22 a 27 °C. O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico, fase cerrado, relevo plano (EMBRAPA, 2006), com a presença de uma camada de laterita a 0,40 ± 0,15 m de profundidade (Figura 1B).

Adotou-se o delineamento inteiramente

casualizado com três camadas de amostragem, em função do perfil do solo explorado pelo sistema radicular dos cajueiros (0,0-10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) e 30 repetições, quadrículas de 1,5 por 1,33 m. A unidade experimental foi constituída de uma subárea central do pomar de cajueiros (*Anacardium occidentale* L.) com 60 m², variedade FAGA 1 e FAGA 10 em duplicata (Figura 1A); plantadas em 2003 em espaçamento de 7,5 x 8,0 m, totalizando 0,324 ha cultivados. O controle das plantas espontâneas era realizado com roçadeira motorizada costal sob as copas e motorizada com trator na entre linha de plantio. As plantas não foram irrigadas durante a realização do experimento e a seguir tem-se a caracterização química para três camadas avaliados do solo de amostras coletadas no início do estudo (Tabela 1).

Figura 1 - Esboço da unidade experimental (A) e dos tubos de acesso no perfil do solo para medições com a sonda Diviner 2000® (B). Obs.: a área hachurada em diagonal corresponde aos locais de inserção dos tubos, cada qual representando uma faixa (F1 a F6), sem o anel externo, que foi cravado no solo apenas no final do experimento para fins de calibração.

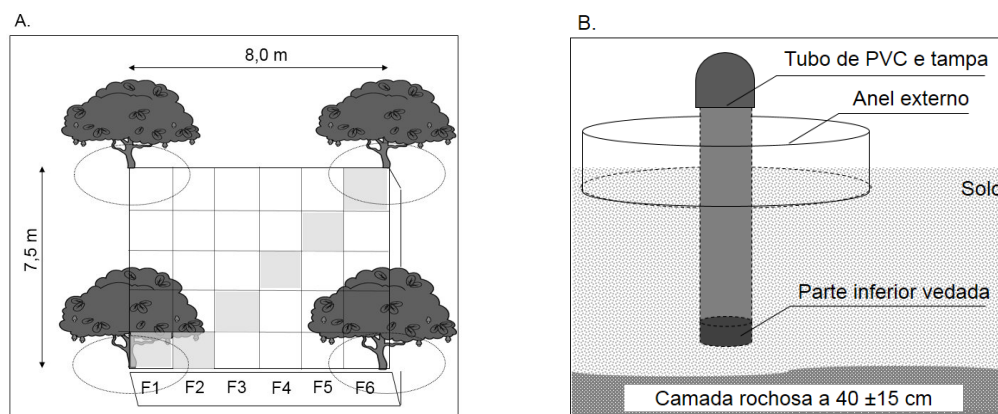


Tabela 1 - Caracterização química de um Neossolo Quartzarênico cultivado com cajueiros.

Camadas (m)	Caracterização química										
	pH	MO	Ca ⁺	Mg ⁺	H	Al	SB	CTC	K ⁺	P	V
	H ₂ O	g.dm ⁻³	cmol _c .dm ⁻³						mg.dm ⁻³		%
0- 0,10	6,2	7,8	1,1	0,6	1,4	0,0	1,9	3,3	66	3,2	56,8
0,10- 0,20	6,2	5,9	1,0	0,5	1,1	0,0	1,6	2,7	27	1,4	58,3
0,20- 0,30	6,1	2,4	0,8	0,4	1,2	0,0	1,2	2,4	19	0,6	52,1

Obs. pH (H₂O) na proporção 1:2,5 (solo: água); MO = matéria orgânica via oxidação com bicromato de potássio e determinação colorimétrica; P e K extraídos com HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ e, Ca, Mg e Al extraídos KCl 0,1 mol L⁻¹; H extraído com solução de acetato de cálcio a pH = 7,0 (Embrapa, 2011).

Coletaram-se amostras com estrutura deformada e indeformada na posição central em cada uma das 30 quadrículas, contemplando linha e entrelinha da cultura (Figura 1A). Com as primeiras determinaram-se a textura do solo via pipeta, usando mesa agitadora por 16 h; e a densidade de partículas do solo (EMBRAPA, 2011). Com as amostras indeformadas determinaram-se: a estabilidade de agregados via úmido, (EMBRAPA, 2011); e com as amostras coletadas na porção intermediária das camadas, via anel de aço inoxidável (50 mm de diâmetro por 50 mm de altura), utilizando trado tipo "Uhland" determinaram-se: a porosidade total do solo com base nos valores respectivos de densidade de partícula. Com base neste resultado, determinou-se a microporosidade do solo por meio da mesa de tensão tipo caixa de areia (Modelo 08.01, Eijkelkamp Agrisearch Equipment®) à tensão de 60 cm coluna d'água e, depois, a macroporosidade do solo pela diferença (EMBRAPA, 2011). Mas, antes de secar essas amostras para a determinação da densidade do solo, as 30 amostras de cada camada de solo foram divididas em dez grupos aleatórios de três amostras (repetições), para determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO). Após saturá-las em bandejas por capilaridade em água destilada por 72 horas, cada grupo foi submetido a diferentes potenciais hídricos, utilizando a caixa de areia para aplicar as tensões de 60, 80, e 100 cm de coluna d'água, e o extrator de placas pressurizado (Modelo 1500F1®, Soilmoisture Equipment Corp.) submetendo-as as pressões de 0,33, 1, 3 e 15 Bar.

Após atingirem o equilíbrio em cada tensão, as amostras foram pesadas, e em seguida, transferidas para um penetrógrafo eletrônico de bancada com velocidade constante de penetração de 10 mm min⁻¹, com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base com semiângulo de 30°, conectado a um computador para o registro das leituras (BIANCHINI et al., 2013). Determinou-se o valor central da resistência a penetração. O intervalo de leitura foi de 0,6 segundos, descontando os valores registrados no limite superior (≤ 1cm) e inferior do anel (≥ 4cm), obtendo-se o total de 300 medidas por amostra e, por fim, o valor médio. Em seguida, as amostras foram secas em estufa com ventilação a 105°C

por 48 horas para o cálculo da densidade do solo (EMBRAPA, 2011).

Em seguida, ajustou-se a curva de retenção de água (CRAS) e a curva de resistência mecânica do solo a penetração (CRSP) para cada camada avaliada, considerando a densidade do solo. A CRA foi determinada conforme Leão et al. (2005), Eq.1:

$$\theta = a\Psi^b Ds^c \quad (1)$$

em que: θ = teor de água no solo (m³ m⁻³); Ψ = potencial da água no solo (kPa); Ds = densidade do solo (Mg m⁻³), e a , b , c são os coeficientes obtidos no ajuste da Eq.1 aos dados.

Já a CRSP foi expressa pela relação entre θ e Ds conforme Busscher (1990), Eq.2:

$$RP = d\theta^e Ds^f \quad (2)$$

em que: RP = resistência do solo à penetração (MPa), e d , e , f são os coeficientes obtidos no ajuste da equação 2 aos dados. Os ajustes das equações 1 e 2 foram feitos com base em "script" digitado no software R Development Core Team (RDCT, 2009).

O intervalo hídrico ótimo (IHO) foi determinado conforme Silva et al. (1994). Ordenando os valores de densidade do solo em ordem crescente, o IHO foi definido em seu limite superior pelo valor do conteúdo de água relativo à capacidade de campo com base na tensão de 10 kPa (SILVA et al., 1994); e pela porosidade de aeração do solo assegurada em 10% (SILVA et al., 1994), Eq.3:

$$PT = [(1 - Ds/2,53) - 0,1] \quad (3)$$

em que: PT = porosidade de aeração do solo (m³ m⁻³); Ds = densidade do solo (Mg m⁻³); 2,53 = média da densidade de partículas (Mg m⁻³).

Em seu limite inferior o IHO foi definido pela umidade corresponde ao ponto de murcha permanente, tensão de 1500 kPa (SILVA et al., 1994); e pelo valor de resistência do solo a penetração limitante de 2,0 MPa (SILVA et al., 1994), usando a equação 2 reescrita conforme a Eq.4:

$$\theta_{RP} = \left[(RP/dDs^f)^{1/e} \right] \quad (4)$$

Assim, têm-se quatro possibilidades para calcular o IHO e dependem do conteúdo volumétrico de água estimado pelos ajustes:

- i. Se $(\theta_{PA} \geq \theta_{CC})$ e $(\theta_{RP} \text{ limite} \leq \theta_{PMP}) \rightarrow IHO = \theta_{CC} - \theta_{PMP}$;
- ii. Se $(\theta_{PA} \geq \theta_{CC})$ e $(\theta_{RP} \text{ limite} \geq \theta_{PMP}) \rightarrow IHO = \theta_{CC} - \theta_{RP} \text{ limite}$;
- iii. Se $(\theta_{PA} \leq \theta_{CC})$ e $(\theta_{RP} \text{ limite} \leq \theta_{PMP}) \rightarrow IHO = \theta_{PA} - \theta_{PMP}$;
- iv. Se $(\theta_{PA} \leq \theta_{CC})$ e $(\theta_{RP} \text{ limite} \geq \theta_{PMP}) \rightarrow IHO = \theta_{PA} - \theta_{RP} \text{ limite}$;

Do pressuposto calculou-se o IHO, subtraindo o valor limítrofe superior e inferior de umidade de cada amostra.

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi estimado por uma sonda de capacitância Diviner 2000® em tubos de acessos instalados oblíquos a linha dos cajueiros (Figura 1B). A calibração foi realizada conforme Sentek (2001). Assim, a umidade volumétrica foi calibrada com os dados de frequência relativa (FR) para cada camada de amostragem (0,0-10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m), Eq.5:

$$F_r = (F_{ar} - F_{solo} / F_{ar} - F_{água}) \quad (5)$$

em que: F_r = frequência relativa; F_{ar} = leitura da frequência no tubo de PVC totalmente suspenso no ar (162.480); F_{solo} = leitura da frequência no tubo de PVC no solo; $F_{água}$ = leitura da frequência no tubo de PVC vedado e imerso em água (121.850).

Em seguida, concomitante as leituras da sonda, realizavam-se medidas semanais do comprimento de frutos e pseudofrutos, os quais eram etiquetados na medida em que surgiam, considerando as quatro plantas da unidade experimental (Figura 1A). Também, paralelo as medições dos cajus estimou-se a "Evapotranspiração real dos cajueiros" com base na equação do balanço hídrico do solo. As observações meteorológicas de precipitação foram obtidas da Estação Agrometeorológica

Padre Ricardo Remetter, que faz parte da rede do 9º DISME/INMET, instalada a aproximadamente 1 km do local do experimento. A seguir tem-se a equação do balanço hídrico utilizada neste estudo, conforme Libardi (2012), Eq.6:

$$P + I + AC - D - R - ET_r = \Delta h \quad (6)$$

em que: P = precipitação pluvial (mm); D = drenagem (mm); AC = ascensão capilar (mm); ET_r = evapotranspiração real do cajueiro (mm dia^{-1}); Δh = variação da armazenagem de água no solo (mm). A irrigação (I) foi considerada nula porque o cultivo não foi irrigado. A drenagem e a ascensão capilar foram considerados nulos porque havia uma camada de impedimento à movimentação da água, no limite inferior do perfil do solo no local (Figura 1B). Entretanto, devido a esse impedimento a drenagem e, embora o relevo seja plano com declive de 0,7%, considerou-se o deflúvio subsuperficial (R), em que: $ET_r = P - \Delta h$, se $P - \Delta h < \text{Capacidade de campo do solo (CC)}$ até 0,30 m de profundidade, caso contrário com $P - \Delta h > \text{CC}$, tem-se ET_m , isto é, condição de evapotranspiração máxima.

Para calcular a armazenagem de água pelo solo (mm) em cada data de medição dos cajus até 0,3 m de profundidade fez o uso da seguinte equação, conforme Libardi (2012), Eq.7:

$$\Delta h \cong \sum_i^n \theta_i \cdot \Delta Z_i \cdot 1000 \quad (7)$$

em que: Δh = armazenagem de água no solo (mm) até 0,30 m; ΔZ = 0,10 m.

Todos os dados exibiram erros com distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($P > 0,05$). A acurácia das regressões linear e múltipla foram avaliadas por meio da significância do ajuste ($P < 0,05$); do coeficiente determinístico da regressão (R^2). Os valores de partículas primárias, estabilidade de agregados, densidade e porosidade total, macro e microporosidade do solo foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F e as médias das camadas comparadas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Por fim, por meio do teste de Pearson (r) foi averiguado, conforme Cairo et al. (2008), o grau de correlação da taxa de acúmulo relativo de água entre os intervalos das medições com a taxa de crescimento relativo dos frutos e pseudofrutos

dos cajueiros para verificar o grau de associação do conteúdo de água no solo quando se aproximava da densidade do solo crítica ($D_{s\text{crítica}}$), quando o IHO = 0, sendo a significância avaliada pelo teste t ($P < 0,05$) (Larson e Farber, 2010), Eq. 8 e 9:

$$TARA = L_n Q_2 - L_n Q_1 / t_2 - t_1 \quad (8)$$

$$TCR = L_n C_2 - L_n C_1 / t_2 - t_1 \quad (9)$$

em que: TARA = taxa de acúmulo relativo de água no solo para cada camada avaliada ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); L_n = logaritmo neperiano; Q_2 e Q_1 = quantidade de água posterior subtraído da medida anterior, respectivamente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); C_2 e C_1 = medida de comprimento de fruto e pseudofruto posterior subtraído da anterior (mm); t_2 e t_1 = intervalo de tempo posterior subtraído do anterior (número do dia do ano).

Resultados e discussão

Sobre a calibração da sonda, os ajustes foram significativos para as três camadas (Tabela 2). Como houve intersecção entre os erros padrão dos coeficientes, tomou-se como medida o modelo geral, por contemplar uma maior amplitude de umidade do solo e número de amostragens, o qual explicou 70% da variação da umidade volumétrica (R^2). Possivelmente, as calibrações entre as camadas não diferiram, porque as diferenças nos valores médios de atributos físicos do solo, a seguir discutidas, foram estreitas.

Quanto às partículas observou-se maior proporção de argila de 0,20 - 0,30 m e o inverso para a areia (Tabela 3). Não houve diferença em relação a porosidade total, mas verifica-se maior

volume de microporos e o inverso de macroporos, provavelmente, devido o maior valor de densidade do solo, pois considerando-se todos os pares de dados de ambas as camadas encontrou-se correlação forte e negativa entre a densidade (D_s) e a macroporosidade do solo (Ma) ($Ma = 0,532 - 0,250 \cdot D_s$; $r = 0,80$; $R^2 = 64$; $P < 0,0001$ pelo Teste F). Segundo Foth (1990), a compactação ocasiona o aumento da D_s e a redução do volume de Ma , que é acompanhado do aumento de microporos.

Além disso, a estrutura de um solo para um melhor desenvolvimento das plantas, conforme Dexter (2008) é determinada, sobretudo, por poros “estruturais” induzidos pelo manejo (estrutura secundária: microfissuras, bioporos, macroagregados), em vez de poros texturais induzidos pela “matriz”, estrutura primária (areia, silte e argila). Mas, em solos arenosos, conforme Correia et al. (2008), devido a menor superfície específica e a maior condutividade hidráulica à menores potenciais matriciais, o predomínio em relação ao armazenamento de água as plantas é dada pela porosidade textural, sobretudo, devido as partículas de argila (SANTOS e CARLESSO, 1998); pois solos arenosos podem ser destituídos de estrutura secundária, que foi esclarecido pela análise de estabilidade de agregados do solo em que verificou-se, independente da classe, mais de 60% de partículas inertes maiores que 2,00 mm (cascalho a classe de 4 a 2 mm e, também, preponderância de areia para “agregados” menores que 2,00 mm (Figura 2).

Do pressuposto, percebe-se que a análise combinada de estabilidade e textura de classes de tamanhos de agregados complementou o diagnóstico da qualidade física do solo, pois conforme White (2006), quanto maior a área superficial das partículas do solo, maior a tendência delas manterem-se unidas como agregados, maior a capacidade de retenção de água, nutrientes e outras substâncias químicas.

Tabela 2 - Equações de calibração da sonda Diviner 2000® para as camadas e com todos os dados.

Camadas (m)	Equações de calibração ⁽¹⁾	r	R ²	P Teste F	Erro Padrão ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Umidade (m ³ m ⁻³)	
							Mínima	Máxima
0 - 0,10	$\theta_v = 0,4506^{***} \cdot Fr^{1,5167^{***}}$	0,94	0,88	< 0,0001	0,0277	29	0,0294	0,2418
0,10 - 0,20	$\theta_v = 0,4091^{***} \cdot Fr^{1,5445^{***}}$	0,79	0,63	< 0,0001	0,0371	27	0,0339	0,2076
0,20 - 0,30	$\theta_v = 0,9440^{***} \cdot Fr^{1,6729^{***}}$	0,66	0,44	0,0004	0,0422	24	0,0540	0,2060
0 - 0,30	$\theta_v = 0,4291^{***} \cdot Fr^{1,5622^{***}}$	0,84	0,70	< 0,0001	0,0358	80	0,0294	0,2418

⁽¹⁾ *** (p < 0,0001) = coeficiente significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t; ⁽²⁾ Erro padrão da estimativa; ⁽³⁾ N= número de pares de dados usados para ajustar a equação.

Tabela 3 - Valores médios de atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico cultivado com cajueiros.

Camadas (m)	Atributos físicos do solo							
	Areia	Argila	Silte	Ds ³	Dp ⁴	Ma ⁵	PT ⁵	Mi ⁵
 (%)		(Mg.m ⁻³)	 (m ³ .m ⁻³)			
0- 0,10	73,123a ¹	17, 932b	8,944a	1,608b	2,528a	0,131a	0,353a	0,222b
0,10- 0,20	70,345b	19, 543b	10,110a	1,621ab	2,527a	0,124ab	0,354a	0,230ab
0,20- 0,30	67,123c	22, 877a	9,999a	1,651a	2,531a	0,118b	0,350a	0,232a
CV(%) ³	5,410	14,370	28,03	3,360	2,490	13,790	4,920	5,420

¹Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferenciam pelo teste Tukey (p < 0,05); ² CV (%) - coeficiente de variação; ³Ds- densidade do solo; ⁴Ds- densidade de partículas do solo; ⁵Ma, PT, Mi - macroporosidade, porosidade total e microporosidade do solo.

Diante disso, em solos arenosos, concomitante, o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) é em geral baixo (Tabela 1) e, por isso, as partículas ficam menos predispostas a formarem agregados. Todavia, conforme Rawls et al. (2003), o aumento na quantidade de material orgânico pode melhorar substancialmente a retenção de água de solos arenosos, principalmente em tensões menores que 33 kPa; principalmente resíduos orgânicos ricos em nitrogênio, mas com baixo conteúdo de celulose e moderado de lignina e polifenóis, que melhoram a estabilidade da vida microbiana no solo, o que torna mais eficiente a ciclagem de nutrientes (PUTTASO et al., 2011). Além disso, conforme Gregory (2006) e Chesworth (2008), a MOS é mais eficaz do que a argila na formação de agregados estáveis com areia, devido aos fenômenos de adsorção, emaranhamento físico e cimentação por mucilagens microbiana; ainda

conforme Chesworth (2008), a fração coloidal da MOS pode ser responsável por um terço ou mais da capacidade de troca de cátions na camada superficial de solos arenosos e isso tem uma influência significativa sobre diferentes propriedades químicas e físicas do solo e, assim, pode-se constituir em um fator significativo em agregar partículas do solo e, conseqüentemente, melhorar a qualidade do solo para o crescimento das plantas. Além disso, sabe-se que o grau de desenvolvimento dos agregados influencia o espaço poroso do solo, que por sua vez influencia o crescimento das raízes, a atividade microbiana e a quantidade de água de um solo pode reter (CHEN et al., 2014; MOREIRA et al., 2014; SAFADOUSTA et al., 2014). Nesse sentido, a deterioração da qualidade física do solo é revelada através da inadequada aeração, diminuição da água disponível, aumento da impedância à penetração radicular por causa da

compactação do solo, que constitui um sério problema em áreas agrícolas. Assim, sugere-se avaliar a água facilmente disponível para as plantas por meio do intervalo hídrico ótimo (IHO), pois em solos melhor estruturados, a resistência a penetração pode ocorrer a conteúdos de água abaixo do ponto de murcha permanente, mas em solos compactados a resistência pode ser limitante bem antes mesmo de atingir esse limite (MOREIRA et al., 2014).

A seguir, para o solo do presente trabalho avaliou-se sua qualidade física por meio do (IHO), obtendo-se os seguintes ajustes (Tabela 4). Observou-se que os ajustes explicaram significativamente ao nível de 5% de probabilidade mais de 90% (R^2) a umidade volumétrica do solo e mais de 80% (R^2) a resistência do solo a penetração com erro padrão médio de estimativa de no máximo 2 e 14%, respectivamente.

Com base nos ajustes construíram-se os gráficos e observou-se que, com o aumento da densidade do solo (D_s), tanto a umidade volumétrica equivalente aos níveis críticos de θ_{RP} (2,0 MPa) e θ_{CC} (0,01 MPa) determinaram, respectivamente, em maior proporção os limites inferior e superior do IHO (Figuras 3A, 3B e 3C). Portanto, os valores de umidade em que a resistência atingiu os valores de θ_{RP} ocorreram acima dos valores de θ_{PMP} para todos os valores de D_s , o que ocasionou a redução do IHO. Essa maior influência da $\theta_{RP_{limite}}$ na caracterização do IHO também, foi encontrada em diferentes classes de solos, desde muito argiloso, argilo-

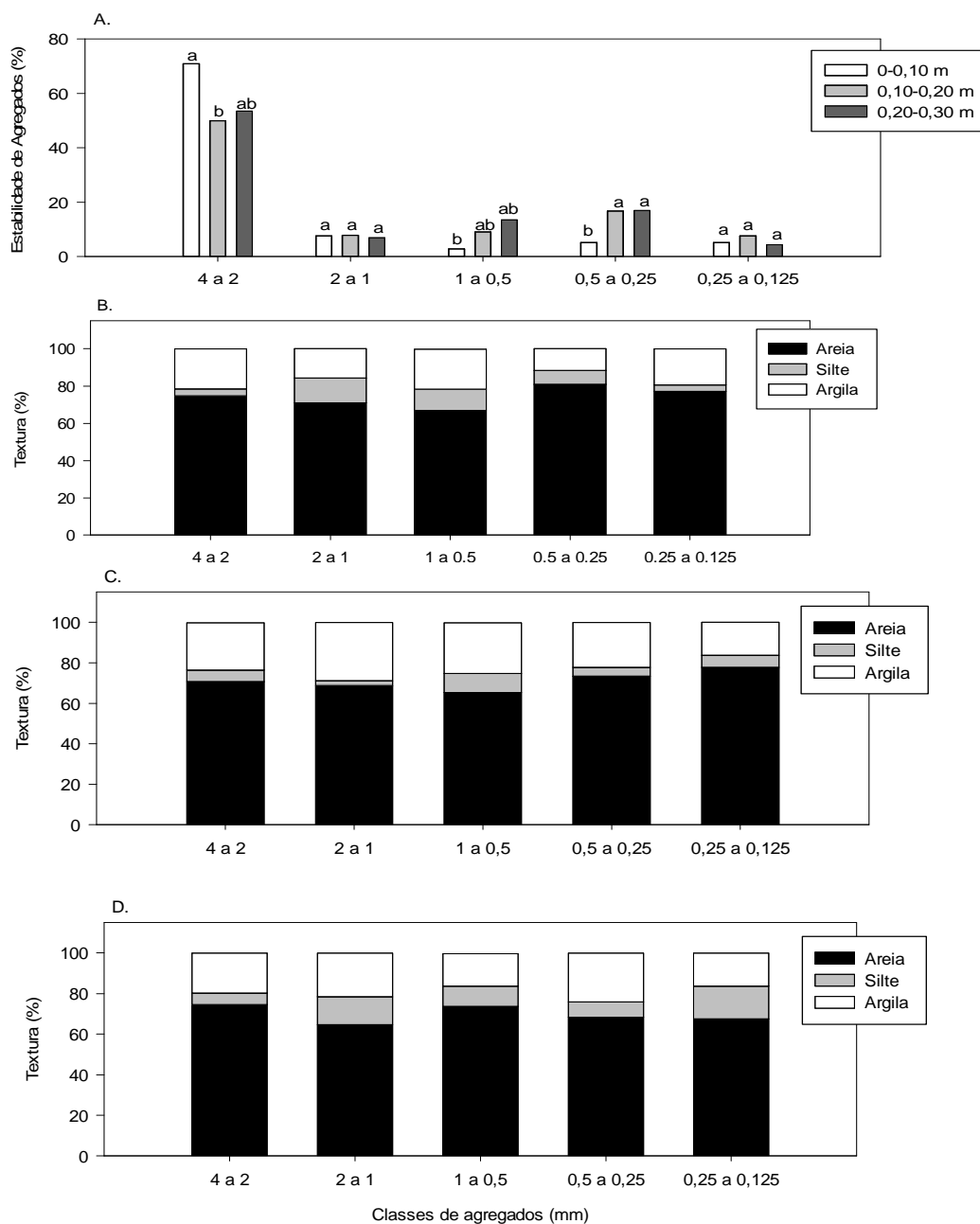
arenoso, franco-arenoso, franco-siltoso (LEÃO et al., 2005); argiloso (KLEIN e Camara, 2007); até siltoso e areia franca (SILVA et al., 1994; LEÃO et al., 2005); tal influência foi encontrada até na redução do crescimento radicular e da produtividade de grãos de feijão (COLLARES et al., 2006).

Tem-se que, conforme Collares et al. (2006) e Klein e Camara (2007), quando a umidade volumétrica do solo correspondente a $\theta_{RP_{limite}}$ substitui o limite inferior do IHO em vez da θ_{PMP} , em casos de veranicos, a maior coesão das partículas do solo pode restringir o desenvolvimento radicular. Ao contrário, quando é a θ_{PA} (10%) que substitui θ_{CC} (Figura 3C), em casos de períodos de chuvas ou irrigação superiores à capacidade de drenagem do solo, pode ocorrer difusão inadequada de gases no solo. Ambas as substituições são potencializadas com a compactação do solo e isso, conforme Collares et al. (2006), pode acarretar condições físicas desfavoráveis para o desenvolvimento de plantas.

No presente trabalho, com base nas medições do conteúdo volumétrico de água no solo ao longo do período de desenvolvimento dos frutos e pseudofrutos das plantas de caju verificou-se que para as camadas de 0 - 0,10 (Figura 3D); 0,10 - 0,20 (Figura 3E) e 0,20 - 0,30 m (Figura 3F), 70%, 100% e 100% das medições, respectivamente, ficaram fora, isto é, abaixo do limite inferior do IHO relativo aos níveis críticos de θ_{RP} (2,0 MPa), que substitui a θ_{PMP} na três camadas (Figura 3A, 3B e 3C).

F

Figura 2 - Estabilidade de agregados (%) (A) e textura das classes de agregados nas camadas 0-0,10 (B), 0,10-0,20 (C) e 0,20-0,30 m (D). Médias seguidas da mesma letra não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Obs. Classe: 4 a 2 = cascalho.



Esse resultado indica possível restrição hídrica ao crescimento dos órgãos vegetativos avaliados. Com isso, de modo a verificar essa hipótese (Figura 3D, 3E e 3F), isto é, para validar se à medida que a variação da umidade do solo ficava fora do limite inferior crítico as plantas de caju sofreriam estresse hídrico, correlacionou-se a taxa de crescimento de frutos e pseudofrutos de cajueiros com a taxa de acúmulo de água

de cada intervalo de avaliação, obtendo-se, separadamente, as correlações das variedades FAGA 1 e FAGA 10 (Tabela 5).

Observa-se que dos 26 e 31 frutos e pseudofrutos monitorados das variedades FAGA 1 e FAGA 10, respectivamente, houve mais correlações com a variedade FAGA 1, talvez por ser mais sensível ao estresse hídrico.

Tabela 4 - Ajustes obtidos em um Neossolo Quartzarênico cultivado com cajueiros.

Camadas (m)	Equações ⁽¹⁾		R ² (2)	EPR ⁽³⁾
	Curvas de retenção de água do solo - CRAS			
0- 0,10	$\theta = 0,5821 \cdot \Psi ^{-0,3188***} \cdot Ds^{-0,5277}$		0,9395	0,0196
0,10- 0,20	$\theta = 0,83461 \cdot \Psi ^{-0,28741***} \cdot Ds^{-1,40649*}$		0,9406	0,0194
0,20- 0,30	$\theta = 0,4103^{***} \cdot \Psi ^{-0,2626***} \cdot Ds^{-0,04065}$		0,9006	0,0184
Curvas de resistência do solo a penetração - CRSP				
0- 0,10	$RP = 0,0001512 \cdot \theta^{-1,581412***} \cdot Ds^{13,3653821***}$		0,9202	0,8210
0,10- 0,20	$RP = 0,0006159 \cdot \theta^{-1,6703963} \cdot Ds^{10,2088602}$		0,8364	1,2380
0,20- 0,30	$RP = 0,001254 \cdot \theta^{-2,166945***} \cdot Ds^{6,909439***}$		0,8804	1,4100

(1) *** (P < 0,0001), ** (P < 0,01), * (P < 0,05) = significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; θ = umidade volumétrica (m³ m⁻³); $|\Psi|$ = potencial matricial (kPa); Ds = densidade do solo (Mg m⁻³); RP = resistência mecânica do solo a penetração (MPa); (2) R² = coeficiente determinístico; (3) EPR = erro padrão residual para um grau de liberdade igual a 25.

Além disso, percebe-se que às vezes os mesmos frutos e pseudofrutos que correlacionaram com a umidade da camada de 0 - 0,10 m também correlacionaram-se com as outras camadas. No entanto, com base no somatório das correlações obtidas para cada camada, observou-se mais correlações de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m (Tabela 5).

Conforme Gregory (2006), a quantidade de água disponível no solo para as plantas é determinada também por outros fatores como, a profundidade e o volume total do solo explorado pelas raízes das plantas, dentre outros. Portanto, para um mesmo caju, frutos e pseudofrutos correlacionaram de modo não simultâneo, indicando suscetibilidade diferenciada com a variação do conteúdo de água no solo. Esse resultado é importante, quando considera-se um planejamento na industrialização do fruto ou pseudofruto (THE NEW YORK TIMES, 2014).

Com relação a raiz do cajueiro, Boni et al. (2008) ao avaliarem a distribuição do sistema radicular do cajueiro-anão precoce (clone CCP-09) em cultivo irrigado e sequeiro em um Neossolo Quartzarênico, encontraram independente do cultivo, maior comprimento do sistema radicular a um raio de 1 m do tronco, além disso a maioria das raízes se concentravam até a profundidade de 0,25 m. Isso sugere que o decaimento acentuado do conteúdo de água no solona camada de 0 - 0,10 m, que ultrapassou o limite inferior do IHO seja em função do exposto

da evaporação mais intensa nessa camada (Figura 3D).

É importante destacar que apenas os valores de umidade volumétrica estimada pela leitura da sonda nos tubos de acesso instalados nas "Faixas 2 e 5" correlacionaram com o crescimento dos frutos e pseudofrutos. Isso sugere que o sistema radicular concentrava-se justamente no limite da copa dos cajueiros (Figura 1A).

Além disso, verificou-se que as correlações apenas apareceram com a intensificação do secamento do solo, independente da variedade, isto é, isto é, FAGA 1 (Figura 4A, 4B, 4C e 4D) e FAGA 10 (5A, 5B, 5C e 5D). Isso ocorreu quando ocorreu decréscimo na água do solo e não houve precipitação pluviométrica em menos de 30 dias (Figura 6). Mesmo o conteúdo de água estando fora do limite inferior do IHO não houve correlações depois do número do dia do ano 250, em que se observa flutuação da umidade do solo, devido às chuvas (Figura 6). Segundo Santos e Carlesso (1998) e Sena et al. (2007), a frequência e a intensidade do déficit hídrico é que constituem os fatores mais importantes à limitação do rendimento de plantas cultivadas.

Diante dos resultados, verificou-se que a suposição de que o intervalo de água disponível as variedades de cajueiros pode se estreitar até um valor nulo, isto é, quando atingisse a $Ds_{critica}$ (IHO = 0) é apropriada, mas para uma mesma espécie de planta as variedades podem apresentar suscetibilidade diferenciada.

Figura 3 - Umidade volumétrica em função da densidade do solo nas camadas 0 - 0,10 (A), 0,10 - 0,20 (B) e 0,20 - 0,30 m (C), sendo o IHO a área hachurada; Variação da umidade no tempo nas camadas 0 - 0,10 (D), 0,10 - 0,20 (E) e 0,20 - 0,30 m (F), sendo o limite superior e inferior do IHO calculado pela média \pm desvio padrão, respectivamente, de cada camada, em um Neossolo Quartzarênico cultivado com cajueiros.

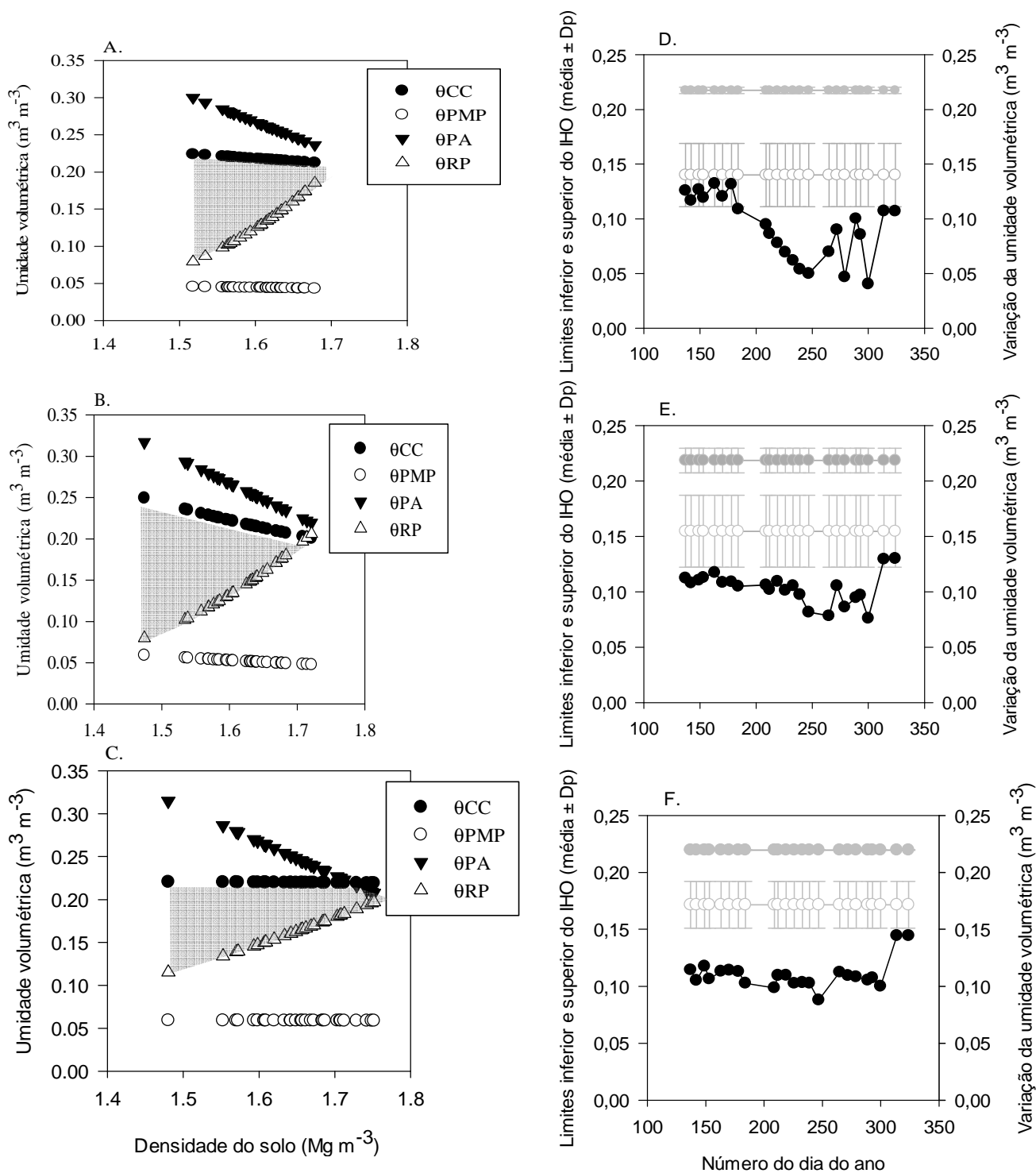


Tabela 5 - Correlações obtidas entre a taxa de acúmulo relativo de água com a taxa de crescimento relativo dos frutos e pseudofrutos de cajueiros.

Nº caju	Variedade FAGA 1						Nº caju	Variedade FAGA 10					
	0-0,10 m		0,10-0,20 m		0,20-0,30 m			0-0,10 m		0,10-0,20 m		0,20-0,30 m	
	Fruto	Pseudof.	Fruto	Pseudof.	Fruto	Pseudof.		Fruto	Pseudof.	Fruto	Pseudof.	Fruto	Pseudof.
01	0,89*	ns	0,99**	0,91*	0,89**	ns	01	0,90**	ns	0,87*	ns	0,90**	ns
02	0,86*	ns	ns	ns	ns	ns	02	ns	ns	ns	ns	ns	ns
03	0,99**	ns	ns	ns	ns	ns	03	ns	ns	ns	ns	ns	ns
04	0,99**	0,91*	0,97**	0,93*	0,95**	ns	04	ns	ns	ns	ns	ns	ns
05	0,98**	ns	0,95**	0,91*	0,88*	ns	05	ns	ns	ns	ns	ns	ns
06	0,97**	0,91*	0,99**	0,95**	0,98**	0,88*	06	ns	ns	ns	ns	ns	ns
07	0,98**	ns	0,96**	0,92**	0,95**	ns	07	ns	ns	ns	ns	ns	ns
08	0,88*	ns	ns	ns	0,95**	ns	08	0,93*	ns	ns	ns	ns	ns
09	ns	0,88*	ns	0,92*	ns	ns	09	ns	ns	ns	0,88*	0,91**	ns
10	0,80*	0,96**	ns	0,97**	ns	0,87*	10	ns	ns	ns	ns	ns	ns
11	ns	0,99**	ns	0,97**	ns	0,88*	11	0,79*	0,95**	ns	0,97**	ns	0,87*
12	0,80*	0,99**	ns	0,98**	ns	0,89*	12	0,91**	0,92**	0,81**	0,93**	ns	0,80*
13	0,90**	0,97**	ns	0,97**	ns	0,86*	13	ns	ns	ns	ns	ns	ns
14	ns	0,88*	ns	ns	ns	ns	14	ns	ns	ns	0,93**	ns	ns
15	0,79*	0,89*	ns	0,91*	ns	ns	15	ns	ns	ns	0,92*	ns	ns
16	ns	ns	ns	ns	ns	ns	16	ns	ns	0,98**	0,95*	ns	ns
17	ns	0,93**	ns	0,95**	ns	0,86*	17	ns	0,91*	ns	0,95**	ns	ns
18	ns	ns	ns	0,88*	ns	ns	18	ns	ns	ns	0,94*	ns	ns
19	ns	ns	ns	0,93*	ns	ns	19	ns	ns	0,98**	ns	ns	ns
20	ns	ns	0,85*	0,94**	ns	ns	20	ns	ns	0,86*	ns	ns	ns
21 a 26	ns	ns	ns	ns	ns	ns	21 a 31	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Σ	12	10	6	15	6	6	Σ	3	3	4	8	1	2

**($p < 0,01$); *($p < 0,05$) pelo teste t, em que $0 < r_{xy} < 0,3$ (correlação fraca); $0,3 \leq r_{xy} < 0,6$ (correlação moderada); $r_{xy} \geq 0,6$ (correlação forte) (CALLEGARI-JACQUES, 2003); ns = não significativo.

Portanto, com base no IHO pode-se estimar a $Ds_{\text{crítica}}$ e utilizá-la como meio para o controle e monitoramento da qualidade física do solo. No entanto, a possibilidade do uso da $Ds_{\text{crítica}}$, carece de mais pesquisas, pois devido às limitações laboratoriais e de tempo, os limites críticos do IHO são igualmente pré-estabelecidos para diferentes condições edafoclimáticas e de plantas e na maioria das vezes não é correlacionado com a produção vegetal. Isso sugere que conforme Silva et al. (2006), os limites admitidos como críticos precisariam ser ajustados de modo que coincidam com a resposta de uma determinada planta a um determinado estresse hídrico.

Do pressuposto, assume-se que valores de densidade do solo (Ds) aproximados ou $\geq Ds_{\text{crítica}}$ (IHO = 0) indicam maior suscetibilidade das plantas ao estresse hídrico e, conseqüentemente, uma possível redução no crescimento dos órgãos em estudo. No presente trabalho, os menores valores de IHO para as camadas avaliadas corresponderam aos seguintes valores de Ds = 1,6784 Mg m⁻³ (IHO = 0,01 m³ m⁻³ de 0 a 0,10 m), 1,7082 Mg m⁻³ (IHO = 0,0 m³ m⁻³ de 0,10 a 0,20 m) e 1,7517 Mg m⁻³ (IHO = 0,01 m³ m⁻³ de 0,20 a 0,30 m). Apenas na camada de 0,20 a 0,30 m houve três valores de Ds maiores que a $Ds_{\text{crítica}}$ (Figura 7C). No entanto, em função da variabilidade da densidade do solo, observam-se diferentes intervalos de água facilmente disponível para as plantas, determinados pelo intervalo hídrico ótimo para cada amostra e, assim, embora um ponto possa ser mais suscetível em outro ponto pode não ser (Figura 7A, 7B e 7C).

Em condições de deficiência hídrica no solo, conforme Sena et al. (2007), a perda de vapor d'água estomático pode exceder a água absorvida pelas raízes, especialmente em plantas com grande copa ou controle estomático moderado como, cajueiros. Os mesmos autores ao determinarem a resistência estomática e a transpiração de diferentes plantas tropicais como, guaranazeiro, cafeeiro, cajueiro, goiabeira e seringueira, verificaram que sob déficit hídrico as três últimas culturas foram menos resistentes a perda de vapor d'água via estômatos.

Segundo Baker e Rosenqvist (2004), o decréscimo no conteúdo relativo de água nas folhas inicialmente induz o fechamento

estomático, impondo uma redução no fornecimento de CO₂ no mesófilo celular e, conseqüentemente, resultando na diminuição da taxa fotossintética foliar. Essa explicação pode ser relacionada com o presente trabalho, onde se observa na figura 6, que a restrição de água no solo, causada pela ausência de chuva prolongada ao longo de 30 dias culminou na redução da "evapotranspiração real dos cajueiros (ET_r)" para valores próximos a ET_r = 0.

Diante disso, embora o estresse hídrico no solo seja uma situação comum à produção de muitas culturas, pode apresentar um impacto negativo significativo no crescimento e desenvolvimento das plantas, por diminuir, basicamente, a eficiência com que os fotoassimilados são convertidos para o desenvolvimento de partes novas na planta (SANTOS e CARLESSO, 1998); e no presente trabalho culminou na redução da taxa de crescimento de frutos e pseudofrutos de cajueiros (Tabela 5). Nesse sentido, a exploração do cajueiro sob condições de irrigação localizada pode-se mostrar bastante promissora, pois Mishra et al. (2008) ao avaliarem a resposta da produtividade de cajus, observaram que a produtividade pode aumentar cerca de 122%, comparado a irrigação convencional, ao adotar o sistema de gotejamento combinado com cobertura vegetal morta sobre o solo. Além disso, conforme Embrapa (2014) e Salam e Peter (2010), deve-se atentar que a resposta do caju ao estresse hídrico dependerá do genótipo e idade dos enxertos, do teor dos nutrientes no solo, parâmetros meteorológicos, da exposição das plantas à luz solar, latitude e altitude, práticas de colheita e manejo da cultura, incidência de pragas e doenças.

Portanto, o manejo integrado desempenha um papel fundamental na floração e frutificação em cajueiros e, assim, são técnicas que podem ser adotadas para reduzir o estresse hídrico na cultura do caju.

Figura 4 - Variação da umidade volumétrica nas camadas 0-0,10 (A, B), 0,10-0,20 (C, D) e 0,20-0,30 m (E, F) sobreposta com o intervalo de desenvolvimento de frutos e pseudofrutos correlacionados da variedade FAGA 1; C = nº do caju referente à Tabela 4.

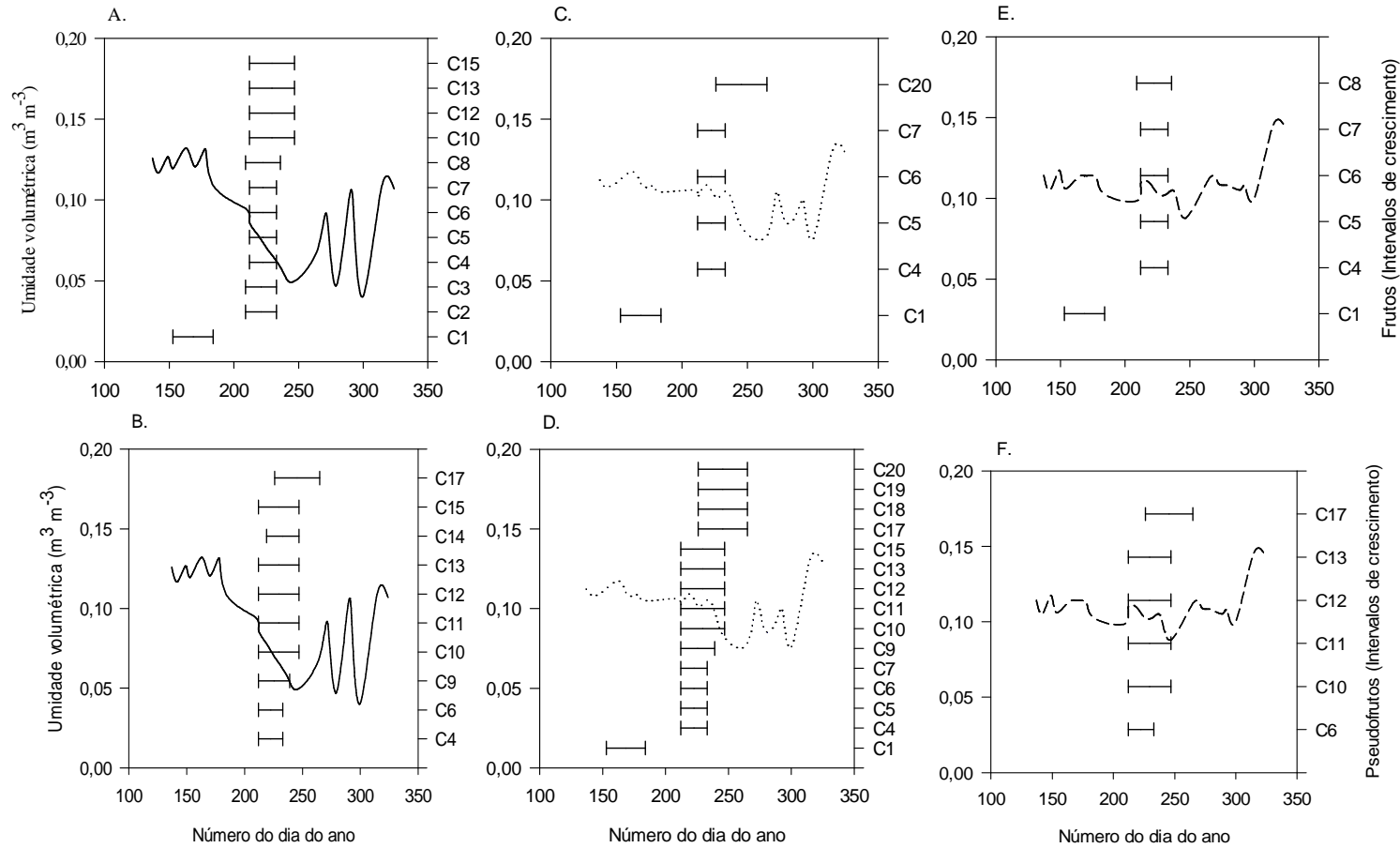


Figura 5 - Variação da umidade volumétrica nas camadas 0-0,10 (A, B), 0,10-0,20 (C, D) e 0,20-0,30 m (E, F) sobreposta com o intervalo de desenvolvimento de frutos e pseudofrutos correlacionados da variedade FAGA 10; C = nº do caju referente à Tabela 4.

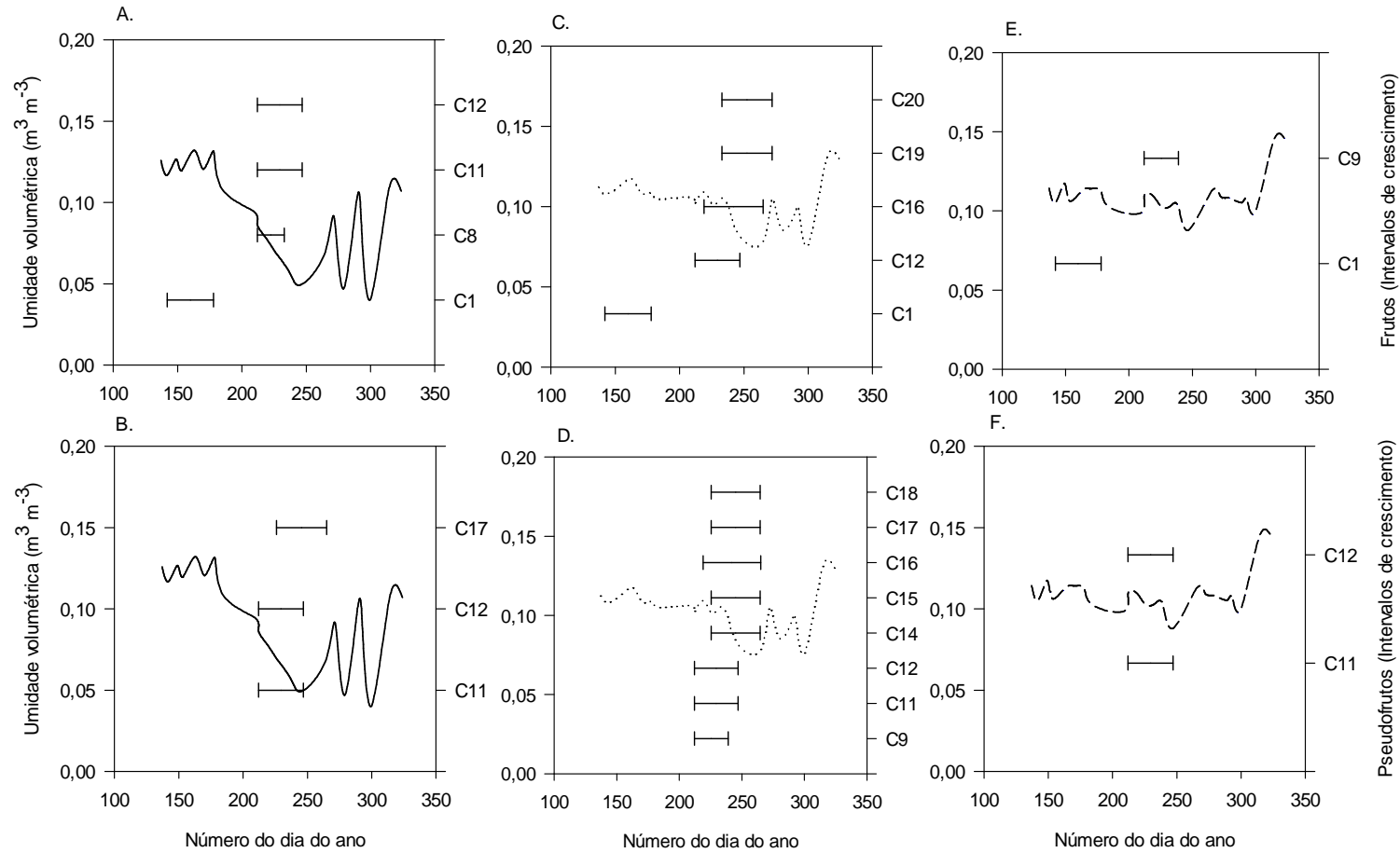


Figura 6 - Umidade volumétrica no solo versus precipitação em um Neossolo Quartzarênico cultivado com cajueiros. Obs.: Apenas na última observação ocorreu o caso com $P - \Delta h > CC$, em que $E_{Tr} = E_{Tm}$, conforme Eq.6, isto é, condição de evapotranspiração máxima.

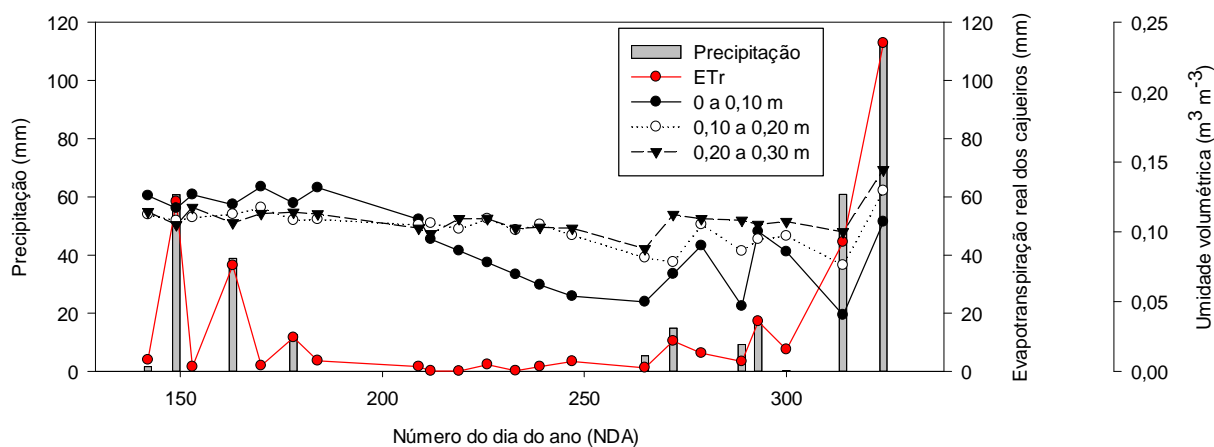
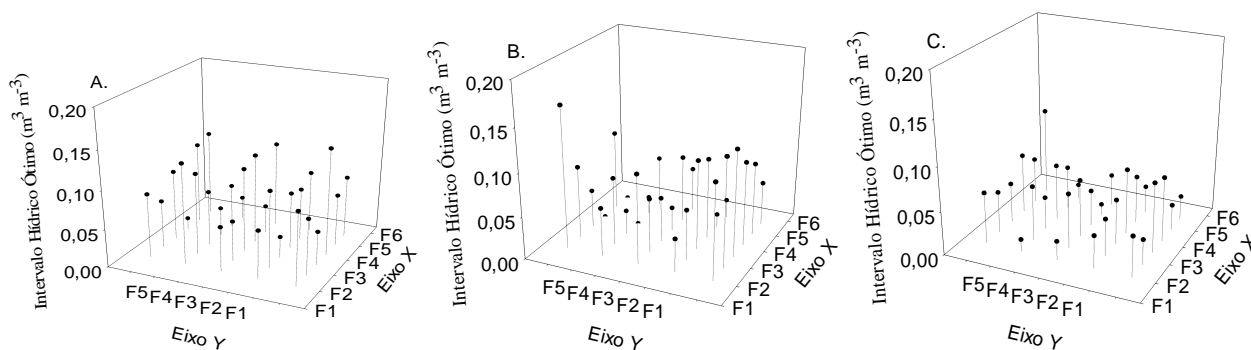


Figura 7 - Variabilidade da água facilmente disponível, determinada pelos limites do intervalo hídrico ótimo de cada amostra, totalizando 30 valores para cada camada avaliada: 0 a 0,10 (A), 0,10 a 0,20 (B) e 0,20 a 0,30 m (C). Essa figura é derivada do esboço da unidade experimental (Figura 1A).



Conclusões

Verificou-se que à medida que se intensificou o secamento do solo a evapotranspiração dos cajueiros reduziu drasticamente, e ao atingir valores de conteúdo de água acima da densidade do solo crítica ($D_{s\text{crítica}}$), quando o IHO = 0, ocorreram correlações elevadas e negativas com o

crescimento de frutos e pseudofrutos, principalmente, quando não há precipitação pluviométrica em menos de 30 dias. Assim, como o conteúdo de água no solo ficou abaixo do limite inferior do IHO, isso restringiu o crescimento dos frutos e pseudofrutos de cajueiros o que valida portanto a hipótese que se pode utilizar a $D_{s\text{crítica}}$ como meio para controlar e monitorar a qualidade física do solo.

Referências

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop

production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 403, p.1607-1621, 2004.

BIANCHINI, A.; ROQUE, M.W.; ROSA, R.P. Development of an automated bench top electronic penetrometer. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, SP, v. 33, n. 6, p. 1191-1199, 2013.

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

BONI, G.; COSTA, C. A. G.; GONDIM, R. S.; MONTENEGRO, A. A. T.; OLIVEIRA, V. H. de. Distribuição do sistema radicular do cajueiro-anão precoce (clone CCP-09) em cultivo irrigado e sequeiro, Ceará, Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, CE, v. 39, n. 1, p. 1-6, 2008.

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *American Society of Agricultural Engineers*, v. 33, n. 2, p. 519-524, 1990.

CAIRO, P.A.R.; OLIVEIRA, L.E.M.; MESQUISTA, A.C. Análise de crescimento de plantas. Edições UESB: Vitória da Conquista, 2008. 72p.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 256 p.

CHEN, G; WEIL, R. R.; HILL, R. L. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. *Soil and Tillage Research*, v. 136, n. 1, p. 61–69, 2014.

CHESWORTH, W. *Encyclopedia of Earth Sciences*. Springer, 2008. 860p.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v.41, n.11, p.1663-1674, nov. 2006.

CORREIA, G. G.; MOURA, R. F. de; RODRIGUES, J.J.V.; BARROS, M. F.C.; CORREIA, K.G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de

tabuleiro costeiro Paraibanos. *Caatinga*, Mossoró, RN, v. 21, n. 3, p.156-162, 2008.

DEXTER, A. R., CZYZ, E. A., RICHARD, G., RESZKOWSKA, A. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. *Geoderma*, v. 143, n. 3, p. 243-253, 2008.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). Cultivo do cajueiro. *Embrapa Agroindústria Tropical*, versão eletrônica, janeiro de 2013 (Sistemas de Produção, 1) Disponível em: > <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 30 set. 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solo*. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2 ed. rev. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FOTH, H, D. *Fundamentals of Soil Science*. 8th Edition. John Wiley & Sons, USA, 384p.1990.

GREGORY, P.J. *Plant roots: their growth, activity, and interaction with soils*. Blackwell Publishing, 2006. 340p.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, v. 82, p.121-145, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. *Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*: Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p.1-86, abril, 2013.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.

- LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada**. 4 ed. Pearson Prentice Hall: São Paulo, 2010. 640p.
- LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; PERFECT, E.; TORMENA, C. A. An Algorithm for Calculating the Least Limiting Water Range of Soils. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 1210–1215, 2005.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2 ed. EDUSP: São Paulo, 2012. 352p.
- MISHRA, J. N.; PAUL, J. C.; PRADHAN, P. C. Response of cashew to drip irrigation and mulching in coastal Orissa. **Journal of soil and water conservation**, v. 7, n. 3, p. 36-40, 2008.
- MOREIRA, F. R.; DECHEN, S. C. F.; SILVA, A. P. de; FIGUEIREDO, G. C.; DE MARIA, I. C.; PESSONI, P. T. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho cultivado em sistema semeadura direta por 25 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, Viçosa, MG, p. 118-127, 2014.
- PUTTASO, A.; VITYAKON, P.; SAENJAN, P.; TRELO-GES, V.; CADISCH, G. Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 89, n. 2, p. 159-174, 2011.
- RAWLSA, W.J.; PACHEPSKYB, Y.A.; RITCHIEA, J.C.; SOBECKIC, T.M.; BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v. 116, n. 1, p. 61-76, 2003.
- RDCT - R Development Core Team. **R: A Language and Environment Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2009.
- REJANI, R.; YADUKUMAR, N. Soil and water conservation techniques in cashew grown along steep hill slopes. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n. 3, p.371–378, 2010.
- SAFADOUSTA, A.; FEIZEEA, P.; MAHBOUBIB, A. A.; GHARABAGHIB, B.; MOSADDEGHIC, M. R.; AHRENSD, B. Least limiting water range as affected by soil texture and cropping system. **Agricultural Water Management**, v. 136, n. 1, p. 34-41, 2014.
- SALAM, M. A.; PETER, K. V. **CASHEW: A Monograph**. Studium Press (India) Pvt. Ltd., 2010. 257p.
- SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, n.3, p.287-294, 1998.
- SENA, J.O.A. DE; ZAIDAN, H.A.; CAMARGO E CASTRO, P.R. Transpiration and stomatal resistance variations of perennial tropical crops under soil water availability conditions and water deficit. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.50, n. 2,p.225-230, 2007.
- SENTEK. **Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors**. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2001.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994.
- SILVA, A.P.; KAY, B.D.; TORMENA, C.A.; IMHOFF, S. **Least Limiting Water Range of Soils**. In: Encyclopedia of Soil Science. 2 ed. New York: Marcel Dekker, Taylor & Francis. 2006. p. 1026-1029.
- SINDICAJU – Sindicato das indústrias de beneficiamento de castanha de caju e amêndoas vegetais do estado do Ceará. **Cadeia produtiva**. Disponível em: <<http://sindicaju.org.br/perfil-do-setor/cadeia-produtiva/>>._ Acesso em: 09 maio 2014.
- THE NEW YORK TIMES: **Cashew Juice, the Apple of Pepsi's Eye** (2014) Disponível em: > http://www.nytimes.com/2014/08/09/business/international/cashew-juice-the-apple-of-pepsis-eye.html?_r=1. Acesso em 30 set. 2014.
- WHITE, R. E. **Principles and Practice of Soil Science: The soil as a natural resource**. 4th ed. Malden, Mass.: Blackwell, 2006, 363p.

Recebido em: 23/07/2013
Aceito em: 04/06/2014