

BALANÇO DE ÁGUA EM SOLOS COESOS DE TABULEIROS COSTEIROS SOB EUCALIPTO, PASTAGEM E MATA NATIVA

EMANUELA BARBOSA SANTOS¹; LUCIANO DA SILVA SOUZA²; FELIPE GOMES FREDERICO DA SILVEIRA³; ELTON DA SILVA LEITE⁴ E EVELLYN FREIRE DA SILVA⁵

¹Engenheira Agrônoma e Doutoranda em Ciência do Solo, Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Avenida Mister Hull, 2977, Pici, 60356-000, Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: emanuelabarbbosa@gmail.com

²Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor Adjunto do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, 44.380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. E-mail: lsouza@ufrb.edu.br

³Engenheiro Agrônomo, Doutor em Produção Vegetal, Professor do Polo de Engenharia da Faculdade de Ciências e Empreendedorismo, Praça Dr. Renato Machado, 10, Centro, 44430-158, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil. E-mail: felipe.silveira@facemp.edu.br

⁴Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Agrícola, Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, 44.380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. E-mail: elton@ufrb.edu.br

⁵Engenheira Agrônoma e Doutoranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Departamento de Engenharia de Biotecnologia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Avenida Pádua Dias, 11, São Dimas, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. E-mail: evellynagro@gmail.com

1 RESUMO

A complexidade físico-climática dos Tabuleiros Costeiros exige conhecimento sobre o regime hídrico do solo e a disponibilidade de água para as plantas de maneira crucial para o desenvolvimento sustentável nessa região do Nordeste Brasileiro. Com isso, objetivou-se com esse trabalho avaliar o regime hídrico de solos com horizonte de caráter coeso de Tabuleiros Costeiros sob eucalipto, pastagem e mata nativa, por meio do estudo do balanço de água no solo. Os solos sob mata nativa e pastagem foram classificados como ARGISSOLO AMARELO e sob eucalipto como LATOSSOLO AMARELO. As medidas foram realizadas no Município de Cruz das Almas, Bahia, durante dez meses, incluindo períodos chuvosos e secos. Foram instaladas seis sondas de TDR no solo nas profundidades de 0,10 a 1,10 m, em cada área, com medições semanais. Encontrou-se nas áreas ocupadas por pastagem e eucalipto uma maior demanda evapotranspirativa em comparação com a mata nativa, indicando que a conversão do uso da terra tem impacto direto no balanço hídrico. A evapotranspiração (ET) seguiu as variações da precipitação pluvial, sendo que a redução da ET coincidiu com o período de maior déficit hídrico no solo entre as épocas avaliadas.

Palavras-chave: armazenagem de água, dinâmica de água, evapotranspiração.

**SANTOS, E.B; SOUZA, L. S; SILVEIRA, F. G. F; LEITE, E. S; SILVA, E.F.
WATER BALANCE IN COHESIVE SOILS OF COASTAL TABLE LANDS UNDER
EUCALYPTUS, PASTURE AND NATIVE FOREST**

2 ABSTRACT

The physical-climatic complexity of the Coastal Table Lands requires knowledge about the soil water regime and the availability of water for plants, crucially for sustainable development in this region of Northeastern Brazil. The objective of this work was to evaluate the water regime of cohesive soils of this ecosystem under eucalyptus, pasture and native forest, through the study of soil water balance. Soils under native forest and pasture were classified as Oxisol and under eucalyptus as Ultisol. The measures were carried out in the Municipality of Cruz das Almas, Bahia, Brazil, in ten months, including rainy and dry periods. Six TDR probes were installed in the soil at depths of 0.10 to 1.10 m, in each area, with weekly measurements. It was concluded that the soil water balance showed that pasture and eucalyptus showed higher evapotranspirative demand compared to native forest, allowing to infer that more attention is needed in relation to water resources in areas where those crops are present. The evapotranspiration (ET) followed the rainfall variations, and the ET reduction coincided with the greatest water deficit in the soil between the evaluated periods.

Keywords: evapotranspiration, water dynamics, water storage.

3 INTRODUÇÃO

No Brasil, os Tabuleiros Costeiros representam uma área que vai desde a Região Amazônica até o Rio de Janeiro e possui uma área estimada em 20 milhões de hectares, sendo que a Região Nordeste ocupa uma área de aproximadamente 10 milhões de hectares (SOUZA et al., 2008). As principais classes de solos encontradas nos Tabuleiros Costeiros são Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos (CORRÊA et al., 2008), ambos apresentando atributos físicos e químicos restritivos ao uso e manejo.

A presença da camada coesa é comum em solos dos Tabuleiros Costeiros e, portanto, esses solos apresentam dificuldade no movimento e armazenagem de água, que impedem o aprofundamento radicular das plantas. Ademais, a seca que atingiu o Nordeste no início de 2012, e se prolonga até os dias atuais, foi a pior dos últimos 30 anos e o Estado da Bahia, principalmente a porção norte, foi o mais atingido com a falta de chuvas. As secas fazem parte da variabilidade natural do clima dos Tabuleiros Costeiros que ocorreram no passado, estão ocorrendo no

presente e, de acordo com as projeções de mudanças climáticas, é provável que continuem e se intensifiquem no futuro (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016). Conhecer profundamente o regime hídrico do solo e a disponibilidade de água para as plantas nessa região é crucial para aplicar estratégias de manejo agrícola e ambiental visando o maior aproveitamento dos recursos hídricos e conservação do solo (CINTRA et al., 2009).

A dinâmica da água de um ecossistema pode ser estudada a partir do balanço hídrico no solo, o qual é obtido a partir dos dados de variação de armazenagem de água no perfil do solo, precipitação pluviométrica, volume de água aplicado via sistema de irrigação, drenagem, ascensão capilar e evapotranspiração (SILVA; COELHO; COELHO FILHO, 2015). Segundo Consoli et al. (2015), estimativas mais precisas da taxa de evapotranspiração das plantas e a dinâmica e/ou o movimento de água no solo podem ser estratégias para melhorar o gerenciamento do uso da água.

Nesse sentido, a técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR - Time Domain Reflectometry) é um dos

métodos mais precisos de medição de água no solo, a qual é baseada no efeito da umidade do solo sobre a velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas em hastes de sensores inseridas em um meio poroso (UMENYIORA et al., 2012). Naranjo e Ataroff (2015) destacam essa técnica em relação às demais por ser um método rápido, não destrutivo e torna possível a automação para aquisição dos dados, permitindo continuidade e automação na coleta deles, em grande número de repetições por um longo período de tempo.

A hipótese desse estudo é que se os horizontes com caráter coeso presentes em solos de Tabuleiros Costeiros restringem o fluxo vertical da água no perfil, reduzindo a armazenagem de água em profundidade ao longo do tempo, então é possível que ocorra períodos de déficit hídrico para o eucalipto, pastagem e mata nativa durante o ano. Isto pode ser detectado por meio do balanço de água no solo ao longo do tempo e permitirá, inclusive, discriminar essas três coberturas vegetais quanto ao consumo de água.

Diante do exposto, objetivou-se com esse trabalho avaliar o regime hídrico de solos com horizonte de caráter coeso de Tabuleiros Costeiros sob cultivos de eucalipto, pastagem e mata nativa, por meio do estudo do balanço de água no solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição dos locais do experimento

As medidas para a realização do balanço hídrico foram efetuadas em três ambientes distintos no Município de Cruz das Almas no Estado da Bahia: em área de

pastagem com *Brachiaria decumbens* cobrindo toda a superfície do solo, onde se localiza a Estação Meteorológica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB); em área cultivada com o híbrido de eucalipto *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, situada também na UFRB; e no Parque Florestal da Mata de Cazuzinha, em floresta subperenifólia. A área com eucalipto foi dividida em dois tratamentos: uma área com subsolagem a 0,57 m de profundidade e outra sem subsolagem com plantio por cova com 0,30 m de profundidade e 0,40 m de diâmetro, sendo que o transplântio foi realizado em setembro de 2013 (MELO et al., 2018) e o presente estudo entre julho de 2016 e maio de 2017.

Em cada área experimental foram abertos perfis ao lado dos pontos sob avaliação para descrição morfológica e classificação dos solos, além da coleta de amostras por horizonte para caracterização física.

4.2 Análises físicas dos solos

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (GEE; OR, 2002). Os solos sob pastagem e sob mata nativa foram classificados como ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso [Ferralic Xanthic Ferralsol (Densic); Oxisol] e o sob eucalipto como LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso [(Ferralic Xanthic Acrisol (Densic); Ultisol)] (SANTOS et al., 2018; STAFF, 2003).

Os resultados das análises granulométricas e as respectivas classes texturais estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise granulométrica dos solos cultivados sob pastagem, eucalipto e mata nativa, avaliados em Cruz das Almas, Bahia

Horizontes	Prof.	Areia total	Silte	Argila	Classe textural
	----- m -----	----- g kg ⁻¹ -----			
ARGISSOLO AMARELO Distrocioso (Pastagem)					
A	0-0,13	880	20	100	Areia franca
AB	0,13-0,26	800	60	140	Franco arenosa
BA	0,26-0,60	740	80	180	Franco arenosa
Bt ₁	0,60-1,21	620	55	325	Franco-argiloarenosa
Bt ₂	1,21-1,40 ⁺	535	55	410	Argila arenosa
LATOSSOLO AMARELO Distrocioso (Eucalipto com e sem subsolagem)					
A	0-0,13	720	80	200	Franco-argiloarenosa
AB	0,13-0,42	650	55	295	Franco-argiloarenosa
BA	0,42-0,84	580	75	345	Franco-argiloarenosa
Bw ₁	0,84-1,12	480	85	435	Argila arenosa
Bw ₂	1,12-2,03 ⁺	440	40	520	Argila arenosa
ARGISSOLO AMARELO Distrocioso (Mata nativa)					
A ₁	0-0,07	725	60	215	Franco-argiloarenosa
AB ₁	0,07-0,21	750	60	240	Franco-argiloarenosa
AB ₂	0,21-0,38	640	60	300	Franco-argiloarenosa
BA	0,38-0,56	560	60	380	Argila arenosa
Bt ₁	0,56-0,85	550	70	380	Argila arenosa
Bt ₂	0,85-1,30 ⁺	420	50	530	Argilosa

A densidade de partículas (D_p) foi obtida pelo método do balão volumétrico (50 mL) e a densidade do solo (D_s) pelo método do cilindro volumétrico (GROSSMAN; REINSCH, 2002). A porosidade total (PT) foi obtida a partir dos valores de D_p e D_s e a microporosidade pelo

método da mesa de tensão (OLIVEIRA, 1968), sendo representada pela umidade volumétrica na amostra após ser submetida à tensão de 6 kPa. Já a macroporosidade ($m^3 m^{-3}$) foi obtida pela diferença entre a PT e a microporosidade. Esses últimos atributos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Atributos físicos dos solos cultivados sob pastagem, eucalipto e mata nativa, avaliados em Cruz das Almas, Bahia

Horizontes	Prof.	PT ⁽¹⁾	Ma	Mi	Ds	Dp
	---- m ----	----- m ³ m ⁻³ -----	-----	-----	----- kg dm ⁻³ -----	-----
ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso (Pastagem)						
A	0-0,13	0,3643	0,2243	0,1400	1,69	2,66
AB	0,13-0,26	0,4219	0,2836	0,1383	1,54	2,66
BA	0,26-0,60	0,4157	0,2533	0,1625	1,55	2,66
Bt ₁	0,60-1,21	0,3798	0,1615	0,2183	1,54	2,48
Bt ₂	1,21-1,40 ⁺	0,4144	0,1582	0,2562	1,46	2,50
LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso (Eucalipto com e sem subsolagem)						
A	0-0,13	0,3407	0,1206	0,2201	1,63	2,47
AB	0,13-0,42	0,3802	0,1738	0,2065	1,55	2,51
BA	0,42-0,84	0,3875	0,1320	0,2555	1,52	2,47
Bw ₁	0,84-1,12	0,4348	0,1517	0,2831	1,43	2,54
Bw ₂	1,12-2,03 ⁺	0,4317	0,1289	0,3029	1,39	2,44
ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso (Mata nativa)						
A ₁	0-0,07	... ⁽²⁾
AB ₁	0,07-0,21	0,4701	0,0948	0,3753	1,25	2,36
AB ₂	0,21-0,38	0,4427	0,2325	0,2102	1,42	2,54
BA	0,38-0,56	0,4689	0,2509	0,2179	1,36	2,57
Bt ₁	0,56-0,85	0,3839	0,2067	0,1771	1,47	2,38
Bt ₂	0,85-1,30 ⁺	0,4005	0,2585	0,1419	1,48	2,47

⁽¹⁾PT = porosidade total; Mp = macroporos; mp = microporos; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partículas.

⁽²⁾Não foi possível amostrar o horizonte A₁ por possuir espessura muito próxima à altura do cilindro de amostragem.

As curvas características de água no solo foram elaboradas, para cada horizonte, utilizando amostras com estrutura preservada, coletadas em cilindros volumétricos, com capacidade para 100 cm³, para as tensões de 10, 33, 100, 300 e 500 kPa; para a tensão de 1.500 kPa utilizou-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) acondicionada em anel de borracha. O equipamento utilizado na determinação foi a câmara de Richards (RICHARDS, 1949).

Ao final da aplicação das tensões, as amostras foram secas em estufa a 105 °C até obter peso constante para a determinação da umidade gravimétrica (kg kg⁻¹), sendo então transformada em umidade volumétrica (m³ m⁻³) multiplicando-se pela D_s.

A partir dos valores de umidade associados às tensões aplicadas na câmara de Richards foram obtidos os parâmetros empíricos da equação proposta por Van Genuchten (1980) (Eq. 1). O ajuste das curvas foi feito utilizando o aplicativo Soil Water Retention Curves (SWRC) (DOURADO NETO et al., 1990).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\phi_m|)^n]^m} \quad (1)$$

Em que: θ – umidade volumétrica em m³ m⁻³; θ_r – umidade residual em m³ m⁻³; θ_s – umidade de saturação em m³ m⁻³; ϕ_m – potencial mátrico em kPa; α , m e n – coeficientes empíricos da equação.

Foi realizada a calibração quanto às leituras de umidade das sondas de TDR mediante a coleta de amostras de solo com estrutura indeformada. Após esse ajuste, os dados de umidade volumétrica obtidos pelas sondas, instaladas nas áreas experimentais, foram convertidos em potencial mátrico, explicitando-o da equação 1. Em seguida, calculou-se o potencial total (somatório dos potenciais mátrico e gravitacional) e o gradiente de potencial total da água no solo em cada profundidade pela equação de Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2018) (Eq. 2) que rege o fluxo de água em solo não saturado:

$$q = -K(\theta) \frac{\phi_t(A) - \phi_t(B)}{L} \quad (2)$$

Em que: q – densidade de fluxo de água no solo em $m\ s^{-1}$; $K(\theta)$ – condutividade hidráulica em função do conteúdo de água medido pelos sensores de umidade, em $m\ s^{-1}$; ϕ_t – potencial total da água no solo nos pontos A e B em m; L – distância entre os dois pontos em m.

O cálculo do gradiente de potencial total da água no solo objetivou verificar se

houve drenagem (valores positivos) ou ascensão capilar (valores negativos) no limite inferior do volume de solo avaliado.

4.3 Instalação do experimento e determinação do balanço de água no solo

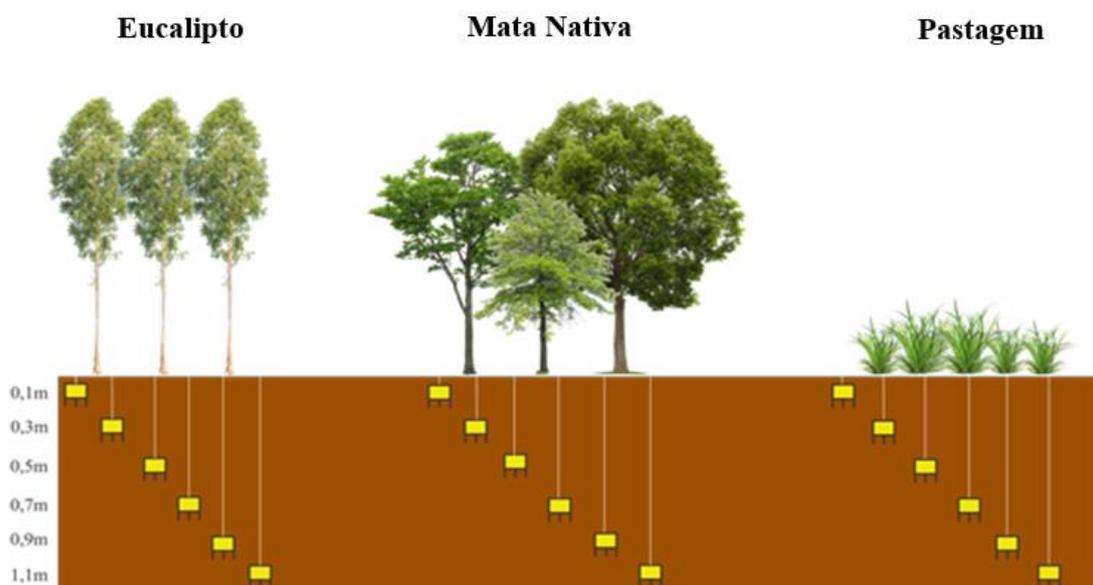
As sondas de TDR foram introduzidas no solo em seis profundidades (0,10; 0,30; 0,50; 0,70; 0,90 e 1,10 m) com três repetições, totalizando 18 sondas no sentido vertical em cada ambiente (Figura 1), sendo que na área com eucalipto ocorreram dois tipos de manejo, sem subsolagem (SS) e com subsolagem (CS), totalizando, portanto, 72 unidades experimentais.

O equipamento TDR estava programado para realizar leituras estimando o conteúdo de água no solo por meio da equação de Ledieu et al. (1986) (Eq. 3):

$$\theta = 0,1138\sqrt{Ka} - 0,1758 \quad (3)$$

Em que: θ – conteúdo de água no solo, $m^3\ m^{-3}$; Ka – constante dielétrica do solo, adimensional.

Figura 1. Sondas de TDR instaladas nas seis profundidades (0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 e 1,1 m) em cada ambiente estudado (eucalipto, mata nativa e pastagem).



Fonte: Autores.

Foram realizadas leituras de umidade durante 10 meses, utilizando-se o equipamento TDR 100 fabricado pela Campbell Scientific. Essas leituras foram feitas semanalmente, exceto quando chovia entre uma leitura e outra, assim, era realizada uma leitura adicional um dia após a chuva. A armazenagem de água no solo foi determinada utilizando-se os valores de umidade obtidos pelas leituras semanais com a TDR nos intervalos das profundidades de 0,0-1,10 m, ou seja, no volume de controle de solo.

Os dados de precipitação foram obtidos por meio da Estação Meteorológica pertencente à instituição para os ambientes de eucalipto e pastagem e para o ambiente de mata nativa, que era externo à instituição, foi instalado um pluviômetro numa árvore próxima às sondas no qual era medido o valor de precipitação.

O balanço hídrico foi estimado com base no princípio da conservação das massas, o qual pode ser representado pela relação matemática das entradas e saídas de água em determinado volume de solo e pode ser descrito pela equação (Eq. 4):

$$\Delta ARM = P \pm D - ET \quad (4)$$

Em que: ΔARM – variação de armazenagem de água no perfil do solo durante o período considerado, em mm; P – precipitação pluvial, em mm; D – densidade de fluxo, que pode ser drenagem interna ou a ascensão capilar, em mm; ET – evapotranspiração, em mm.

Os parâmetros I (irrigação) e R (deflúvio superficial e subsuperficial), que normalmente fazem parte da equação do balanço hídrico do solo, não foram considerados neste trabalho em virtude de o experimento ter sido realizado sob condições de sequeiro e em solo com relevo praticamente plano, onde o deflúvio foi considerado nulo.

O parâmetro D não foi mensurado devido à inexistência da função $K(\theta)$ (condutividade hidráulica x umidade do solo), a qual não pôde ser obtida pelo método do perfil instantâneo nas três áreas, por questões práticas. Foram estimados, no entanto, os gradientes de potencial total da água no solo, que fazem parte da equação de Darcy-Buckingham (Eq. 2), de modo a possibilitar a estimativa da densidade de fluxo de água no limite inferior do volume de controle de solo, o qual correspondeu a 1,10 m de profundidade.

Assim, com os dados de umidade no perfil do solo e de precipitação pluvial, o cálculo da evapotranspiração foi realizado explicitando o termo na equação anterior (Eq. 5):

$$ET = P - \Delta ARM \quad (5)$$

O balanço de água no solo foi realizado em quatro épocas, com duração de 98, 96, 62 e 75 dias. Essa subdivisão teve como objetivo caracterizar períodos mais chuvosos (primeiro e quarto períodos) e períodos mais secos (segundo e terceiro períodos). Os componentes do balanço de água foram calculados a cada oito dias e integrados nas quatro épocas avaliadas.

4.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com parcelas subdivididas. Os dados de evapotranspiração foram submetidos à análise de variância, considerando os ambientes como parcelas e os períodos como subparcelas. Foi realizado o desdobramento da interação significativa entre ambientes x períodos e na comparação das médias de evapotranspiração utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). A análise estatística foi realizada por meio do software SAS 9.0 (SAS INSTITUTE, 2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

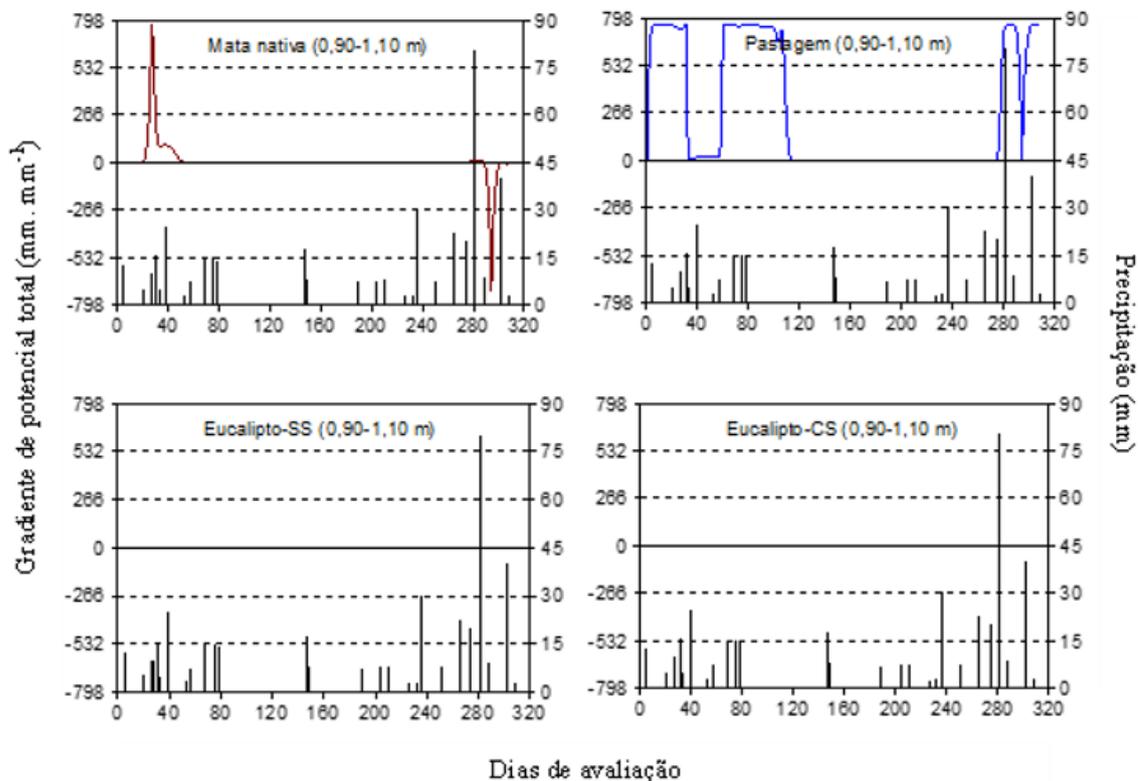
Valores positivos de gradiente de potencial total indicam drenagem e valores negativos, ascensão capilar. Os gradientes de potencial total entre as profundidades de 0,90-1,00/1,00-1,10 m, portanto, no limite inferior do volume de solo avaliado, estiveram próximos a zero na maior parte do período de avaliação (Figura 2).

Além disso, o potencial mátrico no limite inferior do volume de solo apresentou valores próximos ou iguais a -1500 kPa na maior parte do período de avaliação (Figura 3). É factível admitir que a condutividade hidráulica naquele local se encontrava em valores extremamente baixos, permitindo assumir densidades de

fluxos baixas ou nulas, seja por drenagem ou por ascensão capilar, mesmo nos períodos mais chuvosos. Portanto, justificou-se o fato desses componentes serem considerados irrelevantes no cálculo do balanço de água.

Silveira et al. (2014), estudando a redistribuição da água e o processo de secamento em diferentes horizontes de um Latossolo Amarelo Distrocoeso de Tabuleiro Costeiro, verificou que a redução do potencial mátrico ao longo do tempo foi mais lenta nos horizontes AB e BA, geralmente os que apresentam adensamento pedogenético no solo avaliado. Esses horizontes estão logo acima do horizonte que definimos como limite inferior no presente estudo (Tabela 2).

Figura 2. Gradiente de potencial total nos limites inferiores do solo durante o período de avaliação dos ambientes, em Cruz das Almas, Bahia



Durante todo o período de avaliação, os valores de potencial mátrico no limite inferior de solo avaliado

permaneceram constantes no ambiente de eucalipto (Figura 3), onde essa situação pode estar condicionada aos atributos

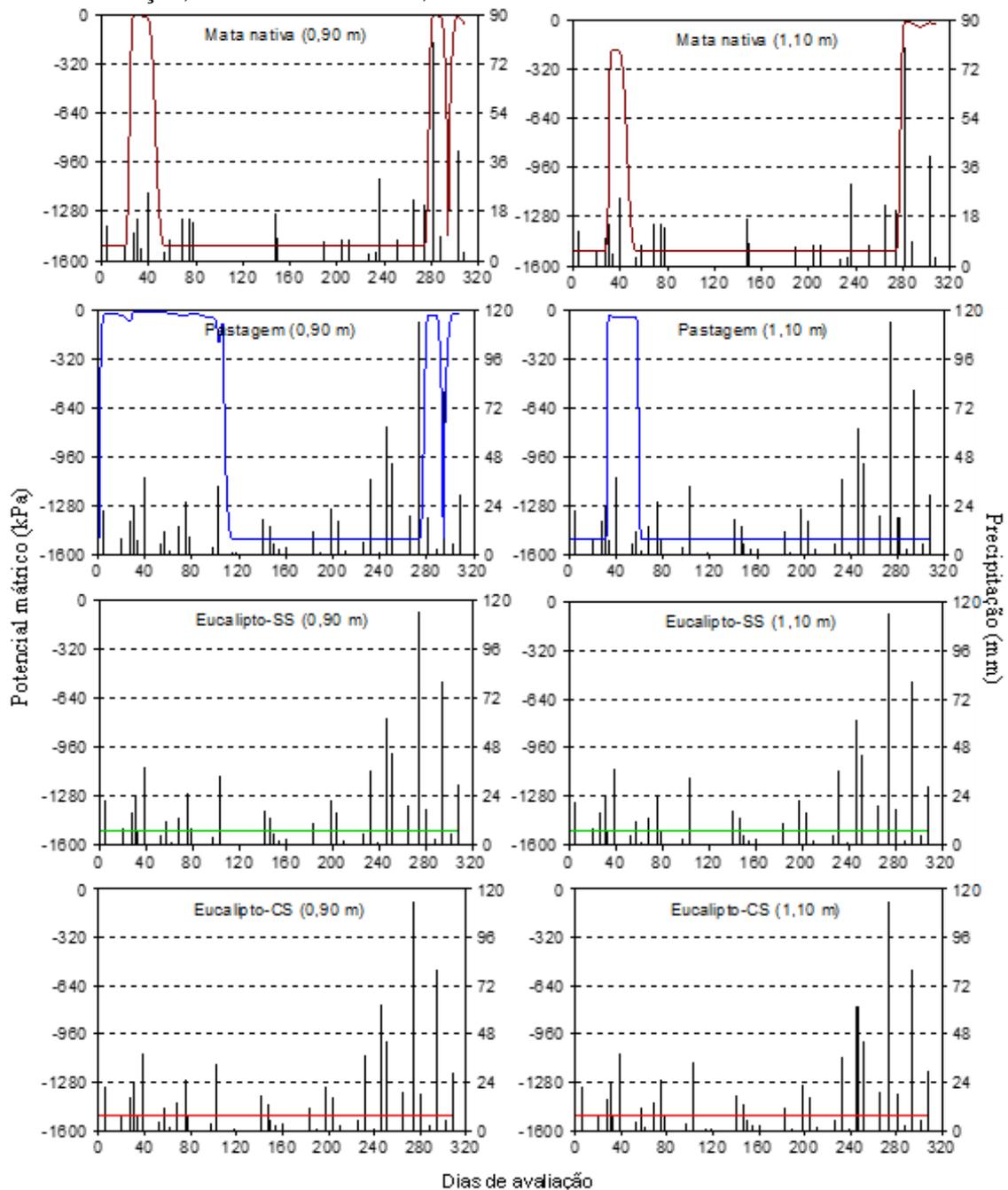
físicos do solo. Observou-se que microporos predominam em relação aos macroporos em todo o perfil do solo, inclusive no horizonte Bw_1 , no qual está inserido o limite inferior avaliado (Tabela 2). De acordo com Brady e Weil (2012), os microporos são responsáveis pela retenção hídrica no solo e, portanto, a água da chuva que infiltrava no perfil permanecia retida por esses poros capilares e não percolava em profundidade pelo perfil.

O solo sob pastagem apresentou valores de macroporos superiores em relação aos microporos nos primeiros horizontes (Tabela 2), facilitando a percolação de água pelo perfil na primeira época chuvosa. Porém, a partir do horizonte

Bt_1 , logo abaixo da camada coesa, os microporos prevaleceram, o que dificultou a drenagem, impossibilitando que a água chegasse até o limite inferior (1,10 m), como apresentado na figura 3.

Já o solo sob mata nativa, apresentou valores de macroporos superiores em relação aos microporos em todo o perfil, a partir dos 0,21 m (Tabela 2), e isso permitiu a percolação da água em profundidade, alcançando valores de potencial mátrico próximos a zero no limite inferior nas épocas chuvosas. Entretanto, o gradiente de potencial total permaneceu próximo a zero (Figura 2) e o potencial mátrico próximo a 1.500 kPa (Figura 3) na maior parte do período avaliado.

Figura 3. Potencial mátrico nos limites inferiores do solo dos ambientes durante o período de avaliação, em Cruz das Almas, Bahia



A interação entre ambientes x épocas de avaliação foi significativa e o seu desdobramento revelou que o ambiente de mata nativa diferiu dos demais ambientes em todas as épocas, sendo que as áreas de eucalipto e pastagem não diferiram entre si; em contrapartida, houve diferença entre o 2º e 3º período na pastagem, o que não foi observado nos demais ambientes (Tabela

4).

Houve diferença em todas as épocas de avaliação, sendo que a 3ª época, caracterizada como época mais seca, apresentou a menor média de evapotranspiração (64,5 mm) e a 4ª época, caracterizada como a mais chuvosa, a maior média (292,4 mm) (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância para ambientes (A) e épocas de avaliação (E) e desdobramento da interação A x E com suas respectivas médias de evapotranspiração em Cruz das Almas, Bahia

Fontes de variação	G. L	Q. M	F
Ambientes (A)	3	29.229,85	2225,17 **
Épocas (E)	3	127.916,47	42,45**
Interação A x E	9	3148,68	26,26**
Resíduo	62	271,86	-
Total	71		
CV (%)	10,9		

Ambientes	Épocas de avaliação ⁽¹⁾				Médias
	1	2	3	4	
Pastagem	-178,4 bA ⁽²⁾	-131,8 bB	-70,7 bC	-325,1 bD	-176,5 b
Eucalipto sem subsolagem	-181,5 bA	-82,8 bB	-82,5 bB	-342,8 bC	-173,9 b
Eucalipto com subsolagem	-182,6 bA	-82,4 bB	-80,7 bB	-348,8 bC	-170,9 b
Mata nativa	-80,6 aA	-38,3 aB	-24,1 aB	-157,6 aC	-75,2 a
Médias	-155,8 C	-83,8 B	-64,5 A	-292,4 D	-149,1
CV (%)	7,2				

⁽¹⁾1 = 29/07/16 a 28/10/16; 2 = 29/10/16 a 26/01/17; 3 = 27/01/17 a 23/03/17; e 4 = 24/03/17 a 31/05/17.

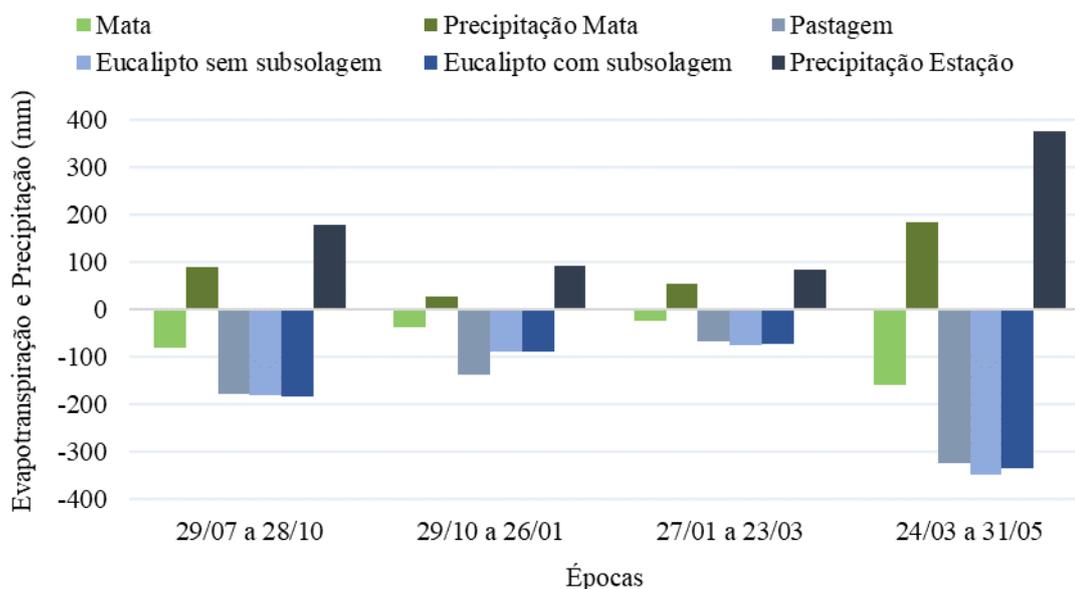
⁽²⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O balanço hídrico permitiu verificar que os maiores valores de ET ocorreram na época de maior disponibilidade hídrica e os menores valores, na época mais seca (Figura 4). Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Almeida et al. (2018), Souza et al. (2013) e Silva et al.

(2014), que obtiveram maiores valores de ET em períodos com maiores precipitações.

Grande parte da água da chuva fica retida na copa das árvores, não atingindo o solo, o que justifica a precipitação da mata ter apresentado menores valores de precipitação em todas as épocas (Figura 4).

Figura 4. Evapotranspiração e precipitação nas épocas de avaliação em cada ambiente estudado em Cruz das Almas, Bahia

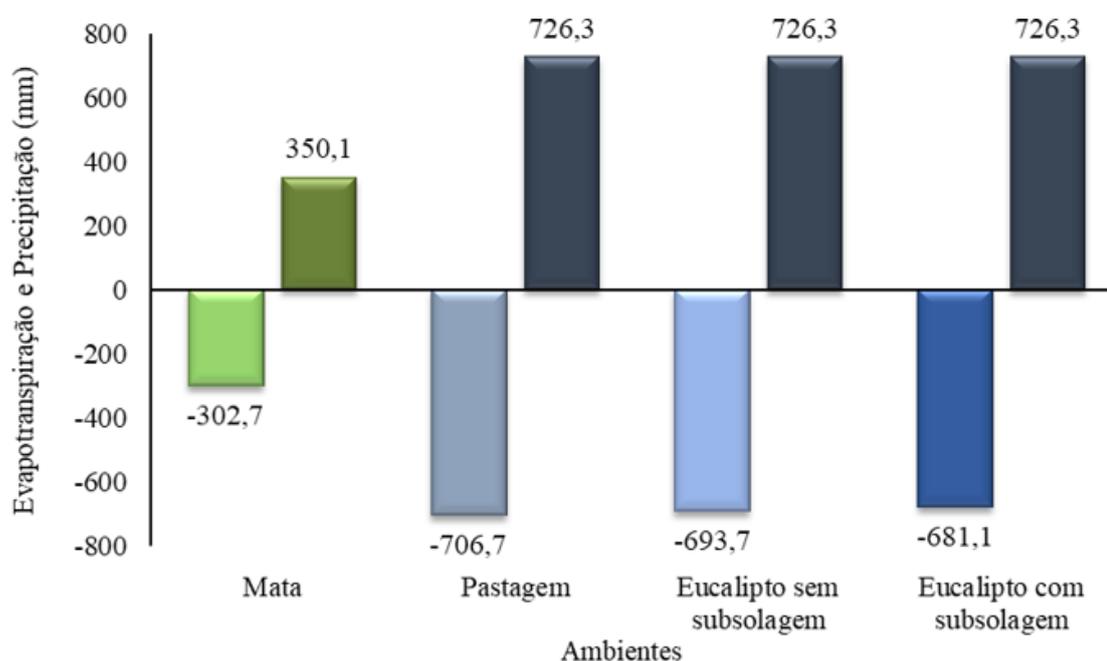


Ao observar a figura 4, notou-se que na 2ª época de avaliação houve elevada ET do ambiente de pastagem, comparada aos demais ambientes, mesmo sendo caracterizada como uma época seca. Esse fato pode ser explicado pelo fato de as gramíneas cobrirem toda a superfície do solo, o que contribui para que a água, decorrente da época anterior (chuvosa),

permaneça armazenada no perfil do solo por mais tempo e sendo evapotranspirada paulatinamente, sendo contabilizada no período seguinte.

Isto, portanto, influenciou na alta ET da pastagem, apresentando, inclusive, o maior valor nessa época, o que refletiu, também, em maior valor absoluto de ET no período total de avaliação (Figura 5).

Figura 5. Evapotranspiração e precipitação durante o período total de estudo nos ambientes avaliados em Cruz das Almas, Bahia



O cálculo da relação entre milímetro da lâmina evapotranspirada por milímetro de lâmina precipitada revelou os seguintes valores: 0,86 mm mm⁻¹ para a mata; 0,97 mm mm⁻¹ para a pastagem; 0,94 e 0,96 mm mm⁻¹ para o eucalipto em solo com e sem subsolagem, respectivamente (Figura 5). Queiroz et al. (2017) encontraram valores entre 1,2 e 1,4 mm mm⁻¹ para eucalipto, enquanto Muniz et al. (2014) trabalhando com capim elefante obtiveram valor de 0,85 mm mm⁻¹, valores semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Observou-se na figura 5 que o balanço hídrico na área de eucalipto submetida à subsolagem apresentou valor absoluto menor do que na área sem

subsolagem, embora não tenha apresentado diferença estatística (Tabela 4). Provavelmente na gleba em que não houve a passagem do subsolador, a água, após a chuva, permaneceu na camada sobrejacente à camada adensada, devido à dificuldade que essa camada impõe à redistribuição de água no perfil do solo; por isso, é possível que, nesse ambiente, ocorreu maior contribuição da evaporação direta da água através da superfície do solo no processo de evapotranspiração.

Sabe-se que a evapotranspiração é o somatório da evaporação através da superfície do solo e da transpiração das plantas. Porém, pode ser que haja uma contribuição maior devido ao primeiro fator

do que o segundo e vice-versa, ou seja, em diferentes ocasiões é possível que a transpiração seja mais intensa em função da área foliar da vegetação avaliada ou ainda que a evaporação contribua para a transferência de água para a atmosfera em maior quantidade, caso o solo sob a cultura estudada esteja descoberto, por exemplo.

Vale ressaltar também que o solo sob pastagem é mais arenoso na superfície, acima da camada coesa, e que apresentou menor porosidade total e maior densidade do solo (Tabela 2), devendo então ter ocorrido restrição à redistribuição da água no perfil, a qual ficou acumulada nos horizontes mais superficiais, presumindo-se então maior perda por evaporação.

Devido às limitações edáficas e de disponibilidade de água dos solos dos Tabuleiros Costeiros, o regime hídrico nesses solos já é bastante limitado devido ao caráter coeso que dificulta a movimentação de água e, por isso, pode ter refletido na variação de armazenagem de água no solo com a falta de chuvas na maioria da época em estudo.

7 CONCLUSÕES

1. Os ambientes de pastagem e eucalipto têm maior demanda evapotranspirativa comparada à mata nativa, indicando que a conversão do uso da terra tem impacto direto no balanço hídrico.
2. O horizonte coeso restringe a distribuição de água do perfil e contribui para o aumento da evapotranspiração das camadas de solo superiores a ele.
3. A redução da evapotranspiração coincide com o período de maior déficit hídrico no solo.
4. Em novas pesquisas dessa natureza é aconselhável quantificar a evaporação direta da água através da superfície do solo para discriminar as contribuições individuais da evaporação e da transpiração na composição da evapotranspiração em diferentes sistemas culturais.

8 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas por ter oferecido o curso de mestrado, à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia por ceder as áreas experimentais para realizar os estudos e à CAPES pela concessão da bolsa de estudos, a qual permitiu a realização da pesquisa.

9 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, K. S. S. A.; SOUZA, L. S.; PAZ, V. P. S.; COELHO FILHO, M. A.; HOCES, E. H. Balanço de água em solo cultivado sob pomar adensado de laranja 'Pêra' enxertada em diferentes porta-enxertos. **Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 2, p. 235-248, 2018. 1 CD-ROM.

BRADY, N. C.; WEIL, R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. D. L. S.; PORTELA, J. C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1041-1051, 2009.

CONSOLI, S.; LICCIARDELLO, F.; VANELLA, D.; PASOTTI, L.; VILLANI, G.; TOMEI, F. Testing the water balance model criteria using TDR measurements, micrometeorological data and satellite-based information. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 170, p. 68-80, 2016.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRON, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T. C. P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 297-313, 2008.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Programa computacional para modelagem de curvas de retenção de água no solo (SWRC, versão 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

GEE, G. W.; OR, D. Particle size analysis. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (ed.). **Methods of soil analysis: Physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. cap. 16, p. 255-294. (SSSA Book Series, 5).

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (ed.). **Methods of soil analysis: Physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. cap. 2, p. 201-228. (SSSA Book Series, 5).

LEDIEU, J.; RIDDER, P.; CLERCK, P.; DAUTREBANDE, S. A method for measuring soil water moisture by time domain reflectometry. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 88, n. 3-4, p. 319-328, 1986.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 3. ed. Piracicaba: Edusp, 2018.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, São José dos Campos, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2016.

MELO, I. N.; LEITE, E. S.; SOUZA, D. R.; NOBREGA, J. C. A.; SANTOS, J. S.; DIAS, C. N. Variabilidade espacial e temporal no crescimento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob diferentes preparos de solo, adubações e materiais genéticos. In: ALFARO, A. T. S.; TROJAN, D. G. (org.). **Agronomia: Elo da cadeia produtiva**. 2. ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018. v. 2, p. 277-292.

MUNIZ, R. A.; SOUSA, E. F. D.; MENDONÇA, J. C.; ESTEVES, B. D. S.; LOUSADA, L. D. L. Balanço de energia e evapotranspiração do capim Mombaça sob sistema de pastejo rotacionado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 1, p. 47-54, 2014.

NARANJO, M. E.; ATAROFF, M. Calibración de equipos TDR para su uso en suelos no disturbados. **Interciencia**, Caracas, v. 40, n. 6, p. 416-422, 2015.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 39, n.1, p. 197-200, 1968.

QUEIROZ, T. B.; ROCHA, S. M. G.; FONSECA, F. S. A.; MARTINS, E. R.; ALVARENGA, I. C. A. Efeitos do déficit hídrico no cultivo de mudas de Eucalipto. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 4, p. 659-659, 2017.

RICHARDS, L. A. Methods of measuring soil moisture tension. **Soil Science**, Baltimore, v. 68, p. 95-112, 1949.

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

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. 4. ed. Raleigh: SAS Institute Inc., 2004. v. 9.

SILVA, R. A. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; GONDIM, P. S. S.; SOUZA, E. S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n.1, p. 147-157, 2014.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A. Water extraction variability in the banana root zone affects the reliability of water balance. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 1, p. 1-10, 2015.

SILVEIRA, F. G. F.; SOUZA, L. S.; PEREIRA, F. A. C.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, F. T. S. Redistribuição da água e capacidade de campo em Latossolo Amarelo distrocoeso. **Revista Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, p. 221, 2014.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma toposequência de solos de Tabuleiro Costeiro do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 503-513, 2008.

SOUZA, C.; ANDRADE, A. P.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n.1, p. 3-10, 2013.

STAFF, S. S. **Keys to Soil Taxonomy**. 9. ed. Washington: USDA, 2003.

UMENYIORA, C. A.; DRUCE, R. L.; CURRY, R. D.; NORGARD, P.; MCKEE, T.; BOWDERS, J. J.; BRYAN, D. A. Dielectric constant of sand using TDR and FDR measurements and prediction models. **IEEE Transactions on Plasma Science**, New York, v. 40, n. 10, p. 2408-2415, 2012.