



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Agroecossistema da cactácea palma forrageira (*Opuntia stricta*): retenção de água e modelagem da evapotranspiração efetiva pela aplicação do balanço de água no solo¹

José Edson Florentino de Morais², Thieres George Freire da Silva³; Carlos André Alves de Souza⁴; Marcela Lúcia Barbosa⁵; Maria Gabriela de Queiroz⁵; Wellington Jairo da Silva Diniz²

¹Dados experimentais de projetos de pesquisa coordenados pelo primeiro autor e financiado pelo CNPq e FACEPE

²Mestrandos do PPGPV, UFRPE/UAST, e-mail: joseedson50@hotmail.com, wellingtonjairo@hotmail.com

³Professor Adjunto III, UFRPE/UAST, Fone: (87) 3929-3208, e-mail: thieres_freire@yahoo.com.br

⁴Graduando, Agronomia, UFRPE/UAST, Fone: (87) 3929-3208, e-mail: carlosandre08_msn.com

⁵Pós-graduandos do PPGMA, UFV/DEA, e-mail: marcelalucia.ufrpe@hotmail.com, mg.gabi@hotmail.com

RESUMO: Espécies cactáceas podem promover interpretação errônea da evapotranspiração real (ET) quando se utiliza método do balanço de água no solo (BAS) na sua estimativa, logo que as plantas possuem alto acúmulo de água. Assim, objetivou-se mensurar a retenção de água e a sua real transferência para a atmosfera (evapotranspiração efetiva, ET_{EF}) a partir de um agroecossistema de *Opuntia stricta* (palma forrageira). A ET foi calculada por resíduo do BAS, denominando-se ET_{BAS} , de fevereiro de 2012 a agosto de 2013, em um cultivo irrigado, em Serra Talhada, PE. Dados biométricos foram registrados para cálculo do índice de área do cladódio (IAC, $m^2 m^{-2}$) e da área de ocupação da planta (AOP, m^2). Na ocasião da colheita foi obtida a massa fresca e seca individual do cladódio (MFC e MSC, kg) e contabilizado o número total de cladódios por planta (NTC, unidades). Os valores de água retida pela palma (ARP, L/planta) foram quantificados por: $[MFC - MSC].NTC.d_{\text{água}}$, em que $d_{\text{água}}$ = densidade da água (kg/L), e em seguida relacionados aos dados de IAC. Dois modelos sigmóides foram ajustados para a estimativa de dados de IAC e AOP em função DAC (dias após o corte). O primeiro foi usado no cálculo diário dos valores de ARP. A diferença $ARP_{(i)} - ARP_{(i-1)}$ (sendo, (i) = dia atual e (i - 1) = dia anterior) resultou no acúmulo diário de água pela planta, que dividido pelos dados diários de AOP, converteu os valores em mm. Como resultado, obteve-se que a ARP pode ser estimada pela expressão: $ARP(\text{mm}) = [4,4366.IAC + 1.4024]/AOP$. A ET_{BAS} acumulada da *Opuntia stricta* foi 788 ± 6 mm, dos quais 28 ± 9 mm foram retidos pela planta, resultando em ET_{EF} de 760 ± 9 mm ($p < 0,05$). Conclui-se que, a aplicação do método BAS para a determinação da ET de agroecossistemas de cactáceas deve ser acompanhada da estimativa da ARP.

PALAVRAS-CHAVE: área de ocupação da planta, índice de área do cladódio, modelagem

Agroecosystem of cactaceae cactus forage (*Opuntia stricta*): water retention and modelling of effective evapotranspiration by application of soil water balance

ABSTRACT: Cactaceae species can promote erroneous interpretation of the actual evapotranspiration (ET) when using water balance method in soil (BAS) on your estimate as soon as the plants have high accumulation of water. Thus, the objective of measuring water retention and its real transfer to the atmosphere (effective evapotranspiration, ET_{EF}) from an agro-ecosystem of *Opuntia stricta* (cactus forage). The ET was calculated by residue of BAS, styling themselves ET_{BAS} , of February 2012 to August 2013, in an irrigated cultivation, in Serra Talhada, State of Pernambuco. Biometric data were recorded for calculation of cladode area index of (IAC, $m^2 m^{-2}$) and the plant occupation area (AOP, m^2). At the time of the harvest was obtained matter fresh and dried individually of cladode (MFC and MSC, kg) and counted the total number of cladode per plant (NTC, units). The values of water retained by cactus forage (ARP, L/plant) were quantified by: $[MFC - MSC].NTC.d_{\text{water}}$, where d_{water} = water density (kg/L) and then data related to IAC. Two models sigmoid were adjusted for the estimation of data from

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

IAC and AOP in function of DAC (days after cutting). The first model was used in the calculation of the daily values of ARP. The difference $ARP_{(i)} - ARP_{(i-1)}$ (being, (i) = current day and (i-1) = previous day) resulted in the accumulation of daily water for the plant, which divided by the daily data of AOP, converted the values in mm. As a result, it was obtained that ARP can be estimated by the expression: $ARP \text{ (mm)} = [4.4366 \cdot IAC + 1.4024] / AOP$. The ET_{BAS} accumulated by *Opuntia stricta* was 788 ± 6 mm, of which 28 ± 9 mm were retained by the plant, resulting in ET_{EF} of 760 ± 9 mm ($p < 0.05$). It is concluded that the application of the method BAS for the determination ET of cactaceae agroecosystems must be accompanied by the estimation of the ARP.

KEYWORDS: plant occupation area, cladode area index, modeling

INTRODUÇÃO

No Brasil, considerando-se a aptidão agroecológica por regiões, evidencia-se uma fração reduzida de áreas apropriadas para a agricultura (Lira et al., 2006). Por sua vez, na região Nordeste, a baixa disponibilidade hídrica é um dos principais fatores limitantes à produção de forragem e de biomassa resultante de pastagens nativas. Assim, no período de estiagem os produtores passam a depender de volumosos conservados (fenos e silagens) ou concentrados comerciais para a alimentação do seu rebanho, o que onera os custos de produção (Santos et al., 2010; Nascimento, 2008).

Diante disso, a palma forrageira passa a ser um recurso forrageiro com alta capacidade de contribuir para a oferta de alimento, quando comparada com a vegetação nativa (Sales et al., 2006). Aspectos fisiológicos como, cutícula impermeável, menor número de estômatos e aparelho fotossintético tornam essa cultura uma opção interessante para zonas áridas e semiáridas.

Devido ao “metabolismo ácido crassuláceo” (MAC), essa espécie tem a capacidade de captar a energia solar durante o dia e fixar o CO_2 durante a noite, reduzindo a perda de água por evapotranspiração (Araújo et al., 2005; Ramos et al., 2011); consequentemente, obtém maior eficiência no uso da água, sendo até 11 vezes mais eficientes que as C3 e C4 (Lira et al., 2005).

A cutícula impermeável garante a manutenção do equilíbrio hídrico, retendo água no interior dos cladódios (ramos achatados), refletindo a luz e reduzindo a temperatura interna (Menezes et al., 2005).

Apesar das características de adaptação, estudos têm mostrado que o uso de irrigação no sistema de produção da palma forrageira é uma ótima opção para incrementar o rendimento anual da cultura (Flores-Hernández et al., 2004). Em regiões áridas e semiáridas o uso da irrigação complementar, além de garantir a estabilidade na oferta de forragem, fornece condições para que o material genético expresse o potencial produtivo (Hsiao et al., 2007; Padilla et al., 2011).

Neste sentido, o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas, ou seja, sua evapotranspiração torna-se um aspecto essencial no manejo da agricultura irrigada. A sua estimativa pode ser feita por meio de métodos indiretos (micrometeorológicos e equações empíricas) ou diretos (lisímetros e balanço de água no solo), entre outros (Billesbach, 2011; Consoli et al., 2013). O balanço de água no solo (BAS) permite computar as entradas e saídas de água num determinado volume de controle, e, devido sua complexidade tem apresentado resultados satisfatórios (Ghiberto et al., 2011; Evett et al., 2012; Payero & Irmak, 2013).

Em cactáceas, no entanto, como é o caso da palma forrageira que possui alto teor de umidade nos tecidos (85 a 90%) o método do BAS pode promover uma interpretação errônea na estimativa da evapotranspiração real da cultura, logo que não considera a quantidade de água que saiu do volume controle e ficou retida fazendo parte da constituição dos tecidos da planta.

Assim, objetivou-se mensurar a retenção de água e a sua real transferência para a atmosfera (evapotranspiração efetiva, ET_{EF}) a partir de um agroecossistema de *Opuntia stricta* (palma forrageira).

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (latitude: 7°59' S, longitude: 38°15' O e altitude: 431 m), Serra Talhada, PE, em uma área com a variedade de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*). A cultura se encontrava no segundo ciclo de cultivo e foi avaliada no período de junho de 2012 a agosto de 2013 (424 dias após o plantio).

O município apresenta uma média histórica de precipitação pluvial de 642 mm ano⁻¹, temperatura do ar de 20,1 a 32,9°C, umidade relativa do ar em torno de 63% e evapotranspiração de referência de 1861,5 mm ano⁻¹ (Silva et al., 2007). A região é caracterizada por apresentar clima do tipo BSh, segundo a classificação de Köppen, (Semiárido quente com incidência de chuva nos meses mais quentes) (Alvares et al., 2014). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico franco arenoso, conforme sistema brasileiro de classificação de solos da Embrapa (2006).

O preparo do solo foi realizado por meio de aragem e gradagem do solo, além de adubação de fundação nitrogenada e orgânica, 130 kg ha⁻¹ de ureia e 3000 kg ha⁻¹ de esterco bovino de acordo com recomendações de Dubeux Júnior & Santos (2005). Após o plantio, foi realizada mensalmente adubação química de cobertura com NK (14-18, 16 de S), controle fitossanitário por meio de capinas manuais (herbicida Diuron®) e inseticida (Óleo mineral). O espaçamento utilizado no plantio foi de 1,6 m x 0,2 m, numa densidade de 31.250 plantas ha⁻¹. Em fevereiro de 2012 (686 dias após o plantio - DAP), foi realizada a colheita da área experimental, um corte de uniformização, mantendo apenas o cladódio basal.

A palma forrageira foi irrigada por meio de um sistema de gotejamento (vazão de 1,35 L h⁻¹), com a lâmina de irrigação de 7,5 mm e intervalo de reposição de água no solo de 7 dias.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), com três repetições. Cada parcela era composta por quatro fileiras com 20 plantas cada, sendo considerada como área útil duas fileiras centrais.

A evapotranspiração real (ET_{BAS}) foi determinada pelo resíduo do método simplificado do balanço de água no solo (BAS) realizado em intervalos de 14 dias, para um volume de controle de 0,60 m, pela equação de Libardi (2005):

$$-ET_{BAS}(\text{mm}) = P + I + R \pm Q_z \pm \Delta A_z$$

em que, P = precipitação pluvial (mm); I = irrigação (mm); Q_z = fluxo ascendente (ascensão capilar) ou descendente (drenagem profunda) (mm); ΔA_z = variação do armazenamento de água no solo em um volume controle (mm).

O monitoramento das variáveis meteorológicas foi feito por meio de uma estação automática, pertencente à Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC), localizada a cerca de 200 m da área experimental, sendo obtida temperatura do ar (t, °C); umidade relativa do ar (UR, %); radiação solar (R_g, MJ m² dia⁻¹); velocidade do vento (u, m s⁻¹) e precipitação pluvial (P, mm).

A I foi contabilizada a partir da vazão e distribuição de água pelo sistema de irrigação.

O R foi estimado por meio do método da “Curva Número”, proposto pelo SCS-USDA (Serviço de conservação dos solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), que considera as propriedades hidrológicas do local e o sistema solo-vegetação:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

$$R = \frac{\left(P - 0,2 \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \right)^2}{P + 0,8 \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)}$$

onde, P = precipitação pluviométrica (mm); CN = número dacurva, sendo adotado 75, que representa uma condição desolo com moderada taxa de infiltração quando completamente úmido e plantio em fileirascom curvas de nível.

O Q_z por ascensão capilar ou drenagem profunda foi estimado a partir da equação de Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005):

$$Q_z = q \Delta t$$

onde, q = densidade do fluxo (mm dia⁻¹); Δt = intervalo de tempo do BAS (dias).

A densidade de fluxo foi obtida pela equação:

$$q = -K(\theta) \frac{\partial \Psi_t}{\partial z}$$

onde, K = condutividade hidráulica do solo (mm dia⁻¹); Ψ_t = potencial total de água (mm); z = coordenada vertical de posição (mm). A K e Ψ_t foram estimados por meio das equações abaixo ajustadas com base em dados obtidos na área experimental pelo método do perfil instantâneo (MPI), conforme utilizado por Araújo Primo (2013):

$$K_s(\theta) = 0,0001e^{(67,847)(\theta - 0,3105)}$$

$$\Psi_{t(0,5)} = 249,9288e^{(-20,2236 \theta)}$$

$$\Psi_{t(0,7)} = 789,0253e^{(-19,1510 \theta)}$$

onde, $\Psi_{t(0,5)}$ e $\Psi_{t(0,7)}$ = potencial total de água no solo nas camada de 0,5 e 0,7 m.

Foram instalados tubos de acesso um por parcela numa profundidade de 0,70 m e a 0,10 m da fileira da palma forrageira para realizar o monitoramento do conteúdo de água no solo a cada 0,10 m, por meio de um sensor capacitivo (Diviner@2000®, SentekPty Ltda., Austrália), calibrado localmente conforme descrito por Araújo Primo (2013):

$$\theta_v = 0,4687 FRa^{(3,7350)}$$

em que, θ_v = umidade volumétrica (m³ m⁻³); FRa = frequência relativa do sensor capacitivo.

O armazenamento (A) e a variação no armazenamento (ΔA) foram determinados pelas equações:

$$A = \theta_v Z$$

$$\Delta A = A_f - A_i$$

onde, Z = camada do solo (m); A_f e A_i = armazenamento final e inicial no período de 14 dias (mm).

Foram realizadas campanhas biométricas em um intervalo de aproximadamente 30 dias, para obtenção das variáveis de largura do dossel da planta (LP, m), e comprimento (CC, cm), largura (LC, cm) e número (NC, unidades) dos cladódios de 1ª, 2ª, e n ordens.

A partir dos dados de CC e LC foram calculados os valores de área do cladódio (AC, cm²), conforme Silva et al. (2014):

$$AC = \left(\frac{0,7086 \cdot (1 - e^{(-0,00004576 \cdot 5 \cdot CC \cdot LC)})}{0,00004576 \cdot 5} \right)$$

A AC foi usada para a obtenção do índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²), pode meio de:

$$IAC = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (AC_i \cdot NC_i) / 10000}{E1 \cdot E2} \right)$$

onde, ACO = área de um cladódio de ordem $i = 1, 2, 3, n$ (cm²), NC = número de cladódios da ordem qualquer (unidades), E1.E2 = espaçamento (1,6 m x 0,2 m).

Os dados de IAC foram ajustados aos valores de dias após o corte (DAC) das respectivas datas de monitoramento dos dados biométricos, por meio de equações sigmóides, de modo que permitisse a estimativa do IAC para cada dia ao longo do ciclo (IAC_{estimado}). O mesmo foi feito com os dados de LP, obtendo-se ao longo do tempo o LP_{estimado} para cálculo da área de ocupação da planta (AOP_{estimada}, m²), ao longo do tempo:

$$AOP_{estimada} = \frac{\pi \cdot LP_{estimada}^2}{4}$$

Ao final do experimento, em agosto de 2013, foram coletados cinco cladódios representativos para obtenção do número total de cladódios (NTC, unidades), deixando-se apenas o cladódio basal, e da massa fresca individual do cladódio (MFC, Kg), por meio da amostragem e pesagem de cinco cladódios por planta e repetição de tratamento. Em seguida, os mesmos foram fragmentados, acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa de ventilação forçada a 65°C, no laboratório do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, para obtenção da massa seca individual por cladódio (MSC, Kg).

Com estes dados foi obtida a água retida pela planta observada (ARP_{observada}, L planta⁻¹), por meio da equação:

$$ARP_{observada} = [MFC - MSC] \cdot NTC \cdot d_{\text{água}}$$

onde, $d_{\text{água}}$ = densidade da água (Kg L⁻¹).

Os valores de ARP_{observada} foram relacionados aos dados de IAC da ocasião da colheita, e a equação resultante foi utilizada para a estimativa da ARP acumulada, em litros, ao longo do ciclo

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

($ARP_{IAC_{estimado}}$), aplicando-se na mesma, o modelo do $IAC_{estimado}$, antes descrito. Assim, resultou a $ARP_{IAC_{estimado}}$, que dividido pelos valores de $AOP_{estimada}$ converteu o resultado para mm:

$$ARP_{IAC_{estimado}} = \frac{[MFC - MSC].NTC.d_{\text{água}}}{AOP_{estimada}}$$

A diferença entre os valores de $ARP_{IAC_{estimada}}$ de dois dias consecutivos resultou na $ARP_{IAC_{estimada}(\text{dia})}$, em mm, ou seja, a quantidade de água retida diariamente pela planta:

$$ARP_{estimada(\text{da})} = ARP_{estimada(i)} - ARP_{estimada(i-1)}$$

onde, (i) = dia atual e (i - 1) = dia anterior.

Os valores de $ARP_{IAC_{estimada}(\text{dia})}$ foram integrados para os intervalos de 14 dias da ET_{BAS} , de tal modo que, calculou-se a evapotranspiração real efetiva (ET_{EF}) da cultura:

$$ET_{EF} = [ET_{BAS} - ARP_{IAC_{estimada}}]$$

Os dados de ET_{BAS} e ET_{EF} foram submetidos à ANOVA (5%), utilizando-se o software de Assistência Estatística - ASSISTAT Versão 7.7 beta (Silvae Azevedo, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A equação resultante para a estimativa da ARP acumulada (água retida pela planta), em litros por planta, em função do IAC (índice de área do cladódio), em m^2 , é representada abaixo. O IAC explicou 85% da variação dos valores de ARP , conforme coeficiente de determinação.

$$ARP = 4,4366.IAC + 1,4024$$

A substituição dos valores de IAC da equação acima pelos valores estimados de IAC ao longo do tempo ($IAC_{estimado}$), e sua razão com a AOP (área de ocupação da planta, em m^2), resultou nos valores de $ARP_{IAC_{estimado}}$, em mm, integrados para períodos de 98 dias ou 42 dias, conforme Tabela 1.

Percebe-se que a lâmina de água retida pela palma forrageira varia conforme a evolução do seu crescimento, que está relacionado com a condição do ambiente de cultivo, incluindo a disponibilidade de água para a cultura. Esta retenção de água em cactáceas ocorre, principalmente, no parênquima aquífero e nos grandes vacúolos (Taiz e Zeiger, 2009; Raven et al. 2014).

Os maiores valores de $ARP_{IAC_{estimado}}$ são observados nos intervalos de dezembro de 2012 a julho de 2013, período em que ocorreu a maior precipitação pluvial, totalizando no ciclo 28 mm (3,4% do total aplicado), ou seja, $280 m^3 \text{ água ha}^{-1}$. Essa sensibilidade dos valores de $ARP_{IAC_{estimado}}$ aos eventos de chuva mostram a capacidade do modelo detectar variações do crescimento da cultura em função da modificação das condições do ambiente de cultivo.

Brito et al. (2013), em estudos realizados em Batalha, AL, para a cv. Miúda ($10.000 \text{ plantas ha}^{-1}$) com três anos de idade encontraram variação no conteúdo de água nos cladódios na ordem de 38,12% ao longo de três meses, quando a precipitação pluviométrica acumulada foi de 134 mm. Em estudo realizado por Han e Felker (1997), no Semiárido de Kingsville, Texas - EUA, com cv. *Opuntia ellisiana* L., cultivada em condições de sequeiro e com precipitação acumulada de 1495 mm ao longo dos dois anos, constataram, na ocasião da colheita em relação ao início do ciclo, acúmulo de 29 mm pela planta.

Tabela 1. Precipitação pluvial (P, mm), Irrigação (I, mm), evapotranspiração real acumulada (ETR_{BAS} , mm), água retida pela planta (ARP, mm) e evapotranspiração real efetiva (ETR_{EF} , mm) da palma forrageira (*Opuntia stricta*) cultivada sob condições irrigadas no Semiárido brasileiro.

Data	Data	Dias	P	I	ARP_{IA} Estimado	ET_{BAS}	ET_{EF}
Início	Término	-	Mm	mm	mm	mm	mm
06-06	12-09-2012	98	14,5	150	4,10	-115,35	-111.25
13-09	19-12-2012	98	5,8	112,2	4,23	-118,92	-114.70
20-12	27-03-2013	98	150,4	105	9,16	-257,67	-248.52
28-03	03-07-2013	98	129,2	105	8,48	-238,69	-230.21
04-07	14/08/2013	42	20,6	45	2,04	-57,42	-55.38
Soma			321	517	28	-788a	-760b

Médias seguidas pela mesma letra na horizontal, entre as colunas da ET_{BAS} e ET_{EF} , não se diferenciam entre si pelo teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Comparando os valores acumulados de ET_{BAS} e ET_{EF} acumulados para o ciclo da cultura, conforme Tabela 1, verificou-se diferenças entre si ($p < 0,05$). A evapotranspiração real efetiva (ETR_{EF}) pela subtração da ARP da evapotranspiração real obtida pelo balanço de água no solo (ETR_{BAS} , 788 mm), foi de -760, indicando que a ETR_{BAS} superestima a estimativa da demanda de água da palma forrageira em 3,3%.

CONCLUSÕES

Assim, conclui-se que a aplicação do método do balanço de água no solo para a quantificação da evapotranspiração real de agroecossistemas de cactáceas deve ser acompanhada da estimativa da água retida pela planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ARAÚJO PRIMO, J. T. **Dinâmica de água no solo e indicadores de eficiência do uso de água e nutrientes da palma forrageira no Semiárido brasileiro.** 98 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, PE, 2013.

ARAÚJO, L. F. et al. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: Relação com a umidade ótima para fermentação sólida. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 379-384, 2005.

BILLESBACH, D. P. Estimating uncertainties in individual eddy covariance flux measurements: a comparison of methods and a proposed new method. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, n. 3, p. 394-405, 2011.

BRITO, D. R. Importância da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) para a agropecuária do semiárido alagoano. *Revista Ambientale*, v. 1, p. 1984-9915, 2013.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of evapotranspiration and annual biomass productivity of a cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) orchard in a Semi-arid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 1, p. 1-15, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2 ed., 2006. 306 p.

EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R. C.; CASANOVA, J. J.; HENG, L. K. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 1-9, 2012.

FLORES-HERNÁNDEZ, A. et al. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 70, p. 97-107, 2004.

GHIBERTO, P. J. et al. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. **Agricultural Water Management**, v. 102, p. 1-7, 2011.

HAN, H.; FELKER, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments**, v. 36, p. 133-148, 1997.

HSIAO, T. C.; STETUTO, P.; FERERES, E. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, v. 25, p. 209-231, 2007.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 41-277, 2005.

LIRA, M. A. et al. Sistemas de produção de forragem: alternativas para a sustentabilidade da produção. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, João Pessoa-PB, 2006. **Anais...** Sociedade Brasileira de Zootecnia, João Pessoa, p. 491-511, 2006.

LIRA, M. A. et al. Utilização da palma forrageira na pecuária leiteira do semiárido. **Anais...** Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife-PE, v. 2, p. 107-120, 2005.

MENEZES, R. S. C. et al. Produtividade de palma em propriedades rurais. In: **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Ed. RÔMULO, S.C. et al. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. 258 p.

NASCIMENTO, J. P. **Caracterização morfométrica e estimativa da produção de *Opuntia ficus-indica* Mill. sob diferentes arranjos populacionais e doses de fósforo no semi-árido da Paraíba**. 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Campina Grande, Patos - PB, 2008.

PADILLA, F. L. M.; GONZÁLEZ-DUGO, M. P.; GAVILAN, P., DOMÍNGUEZ, J. Integration of vegetation indices into a water balance model to estimate evapotranspiration of wheat and corn. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 1213-1225, 2011.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Construction, installation, and performance of two repackaged weighing lysimeters. **Irrigation Science**, v. 26, p. 191-202, 2008.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



RAMOS, J. P. F. et al. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 41-48, 2011.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Guanabara Koogan S.A., RJ, 2014, 906 p.

SALES, A.T. et al. Potencial de adaptação de variedades de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenilifera*) no Cariri Paraibano. In: IV Congresso Nordestino de Produção Animal, Petrolina - PE, 2006. **Anais....** Congresso Nacional de Produção Animal, Petrolina - PE, p. 434-438, 2006.

SANTOS, D. C. et al. Desempenho produtivo de vacas 5/8 Holando/Zebu alimentadas com diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia Nopalea*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 1, p. 12-17, 2001.

SANTOS, M V. F.; LIRA, M.A.; DUBEUX JR, J. C. B. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 204-215, 2010.

SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. **Valor Nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, p. 243-257, 2005.

SILVA, T. G. F. et al. Umidade relativa do ar: estimativa e espacialização para o estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007. Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia e EMBRAPA/Tabuleiros Costeiros. 2007.b

SILVA, F. A. S. E; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the Software Assistat-statistical assistance. In: 7th World Congress on Computers in Agriculture, 2009.

SILVA, T. G. F. et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

SNYMAN, H. A. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus indica* and *Opuntia robusta*. **Journal of Arid Environments**, v. 65, n. 4, p. 529-542, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.