Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Climatologia aplicada ao planejamento de cultivo da palma forrageira em bacia hidrográfica no semiárido do Nordeste brasileiro

Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley¹, Ranyére Silva Nóbrega², Rômulo Simões Cezar de Menezes³, Caio Lima dos Santos⁴, Joselma Araújo de Lucena⁵

¹ Doutorando do programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPE, Recife-PE. lucasaw.13@gmail.com (autor correspondente). ² Dr. em Meteorologia, Professor do Departamento de Geografia, UFPE, Recife-PE. ranyere.nobrega@yahoo.com.br. ³ Dr. em Agronomia, Professor do Departamento de Energia Nuclear, UFPE, Recife-PE. rmenezes@ufpe.br. ⁴ Doutorando do programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPE, Recife-PE. caiolima21@hotmail.com. ⁵ Doutoranda do programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPE, Recife-PE. joselma.geografia@gmail.com.

Artigo recebido em 17/01/2017 e aceito em 19/04/2017

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo, a partir de um estudo climatológico, investigar a disponibilidade hídrica para a cultura agrícola da palma forrageira na Bacia hidrográfica do Rio Taperoá, localizada na região semiárida do estado da Paraíba, Brasil. A deficiência hídrica existente na área estudada proporciona que a palma, por sua tolerância aos longos períodos de estiagem, seja um importante recurso forrageiro para os rebanhos pecuários na bacia hidrográfica. As distinções climáticas no interior da bacia do rio Taperoá, referentes principalmente à distribuição espacial da precipitação, definem áreas mais ou menos propícias aos cultivos em regime de sequeiro e justificam a análise da disponibilidade hídrica para essa lavoura a fim de gerar dados aplicáveis ao planejamento agropecuário. Os resultados demonstram a existência de quatro regiões pluviométricas no interior da bacia, resultantes da circulação secundária da atmosfera em consonância com fatores físico-geográficos locais, especialmente o relevo. O balanço hídrico de Thornthwaite aplicado à cultura da palma revela a existência de maiores deficiências hídricas nos setores central e sudeste da bacia do Taperoá, com valores superiores a 190 mm anuais. Os maiores valores de armazenamento hídrico, superiores a 250 mm concentram-se no centro-oeste da área de estudo. Sazonalmente, a primavera e os dois primeiros meses de verão são os períodos de maior escassez hídrica para essa planta em todas as regiões da bacia.

Palavras-chave: climatologia, palma forrageira, balanço hídrico.

Climatology applied to forage palm cultivation planning in the semi-arid hydrographic basin of the Brazilian Northeast

ABSTRACT

The present work aims to elaborate a climatological study applied to the investigation of the water availability for forage palm crop in the Taperoá River hydrographic basin, located in the semiarid region of Paraíba, Brazil. The water deficiency in the studied area allows that the palm, due to its tolerance to long periods of drought, to be an important forage resource for the livestock herds in the Taperoá basin. The climate distinctions inside Taperoá river hydrographic basin, concerned mainly to precipitation's space distribution, define areas that are more or less suitable to culture in dryness regime and justify the hydric availability analysis for this tillage in order to generate applicable data to agricultural planning. The results showed the existence of four pluviometric regions within the basin, resulting from atmosphere secondary circulation in accordance with local physical-geographical factors, especially the relief. The Thornthwaite water balance applied to the palm crop reveals the existence of major water deficiencies in the central and southeastern sectors of the Taperoá basin, with values greater than 190 mm per year. The highest water storage values, greater than 250 mm, are concentrated in the center-west of the study area. Seasonally, spring and the first two summer months are the periods of greatest drought for this plant in all basin's regions.

Keywords: climatology, forage palm, water balance.

Introdução

A variabilidade climática é um dos fatores mais influentes na produção agropecuária. Nas

regiões tropicais a irregularidade das chuvas diminui a eficiência da produção agrícola, quando

baseada em práticas de cultivo equivocadas, em tecnologias inadequadas ou em zoneamentos que desconsideram o ritmo climático na composição dos agrossistemas (Sant'Anna neto, 1998).

Nas regiões tropicais áridas e semiáridas do planeta a irregularidade pluviométrica se manifesta de maneira mais intensa. Por esta razão, esses locais representam desafios ainda maiores na tentativa de desenvolver manejos da terra adequados às características ambientais. Entre as alternativas existentes de melhor empregar os recursos disponíveis no desenvolvimento de manejos compatíveis com as terras secas, ou seja, aqueles que proporcionem maior capacidade de resiliência aos agrossistemas, está a utilização de espécies vegetais e animais adaptadas às condições climáticas locais. Essas espécies geralmente possuem metabolismos que proporcionam o uso mais eficiente da água, o que reduz os custos relativos à tecnologia de produção empregada (Oliveira et al. 2010; Pinheiro et al. 2014).

O clima semiárido, predominante no Nordeste Brasileiro, ainda representa um desafio na busca de manejos da terra adequados às suas características ecológicas. Desde o início da ocupação, o interior dessa região brasileira tem a pecuária como principal atividade econômica desenvolvida no ambiente das Caatingas. No entanto, uma das principais limitações para essa atividade decorre da escassez de alimento para os rebanhos durante os ciclos secos (Ramos et al. 2011).

Nesse contexto, a palma forrageira, uma cactácea originária do México, é considerada como um dos melhores complementos alimentares para o gado, por ter capacidade de atingir produtividades elevadas em regimes de sequeiro. A palma foi introduzida no Brasil durante o século XVIII e teve seu uso difundido como planta forrageira durante o século XX (Menezes et al. 2005). Essa planta, além de tolerar longos períodos de estiagem, apresenta alta digestibilidade e palatibilidade para os animais, servindo como uma importante fonte energética (Dubeux Júnior, 2005; Ramos et al. 2011).

No entanto, durante a década de 2000 a principal variedade de palma forrageira cultivada (a palma gigante) teve sua área plantada bastante reduzida como consequência do alastramento da praga da Cochonilha do Carmim (*Dactylapius*

opuntiae). Nesse cenário, além do uso de defensivos no controle da praga, surge como alternativa a utilização de clones do gênero *Opuntia* resistentes ao ataque da cochonilha do Carmim. Estudos têm mostrado que os clones de palma forrageira Miúda, Orelha de elefante, Orelha de Onça e a azul são resistentes à praga (Vasconcelos et al. 2009).

Diante desse fato, são importantes para o planejamento da atividade pecuária estudos que investiguem a viabilidade de cultivo de clones resistentes, como a variedade Orelha de Elefante (*Opuntia stricta* Haw), nas distintas unidades de paisagem do semiárido. Entre os condicionantes ambientais do Sertão nordestino que influenciam a produtividade dos palmais destaca-se o clima, pois a irregularidade das chuvas e os elevados índices de evapotranspiração afetam o desenvolvimento das lavouras em regime de sequeiro.

Entre as áreas tradicionais de produção agropecuária no semiárido, que tiveram seus palmais dizimados pela Cochonilha do Carmim, destaca-se a Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, inserida na região central do estado da Paraíba. Como alternativa de recuperação dos palmais, diante do intenso ciclo seco que se estende desde o ano de 2012, muitos agricultores têm optado pela utilização do clone Orelha de Elefante Mexicana.

No intuito de contribuir com informações aplicáveis ao planejamento agropecuário da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, o presente trabalho tem como objetivo investigar a disponibilidade hídrica para a cultura agrícola da palma forrageira.

Material e métodos

Área de estudo

A Bacia do Rio Taperoá está localizada na parte central do estado da Paraíba (Figura 1) e possui uma área de aproximadamente 5700 km², estando completamente inserida no Semiárido Brasileiro. Sua área inclui vinte e um municípios, sete microrregiões do estado (Campina Grande, Curimataú, Seridó Oriental, Seridó Ocidental, Cariri Oriental, Cariri Ocidental e Serra do Teixeira) e três mesorregiões (Agreste, Borborema e Sertão).

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá e dos postos pluviométricos nela inseridos. Fonte: adaptado AESA/IBGE. Fonte: Wanderley (2016).

Condicionantes do relevo

A climatologia da área de estudo é influenciada pelos condicionantes geográficos locais, em especial pelo relevo. Por este motivo, faz-se necessário investigar os principais compartimentos de relevo local. De acordo com a classificação de Corrêa et al (2010), a área de

estudo (Figura 02) está inserida em dois compartimentos principais do Planalto da Borborema: a Depressão Interplanáltica Paraibana e os Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal.

Figura 2. Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. Fonte: Wanderley (2016).

A maior parte da bacia está inserida no domínio da Depressão Interplanáltica Paraibana, na região central da Borborema. Pelo fato de não apresentar perturbações tectônicas intensas, esse compartimento apresenta feições de relevo planas rebaixadas no interior do planalto, delimitadas por compartimentos de encosta.

Os setores limítrofes da bacia a oeste, sudoeste e norte estão inseridos no domínio dos Maciços Remobilizados da Zona Transversal, o qual corresponde à área do planalto mais afetada pelos arqueamentos, apresentando as cimeiras mais altas. Nessa área, o relevo se apresenta como uma sucessão de maciços isolados, cristas e depressões interplanálticas estreitas, destacando-se o batólito da Serra do Teixeira, como um dos principais divisores de água da bacia hidrográfica do Rio Taperoá no limite entre os estados de Pernambuco e da Paraíba (Correa et al. 2010).

O relevo da área de estudo desempenha papel de destaque na distribuição das médias pluviométricas e térmicas da área de estudo. A orientação da drenagem de noroeste para sudeste facilita a penetração das massas de ar originárias do Oceano Atlântico (Francisco, 2013). Durante a maior parte do ano atua sobre a Região Nordeste uma massa de ar oriunda do Anticiclone semifixo do Atlântico Sul, produzindo os ventos alísios de sudeste. Essa massa de ar, que possui sua gênese associada a uma célula de altas pressões atmosféricas, possui uma baixa camada de inversão dos alísios, gerando em associação ao arranjo do relevo, estabilidade atmosférica sobre as áreas depressivas à sotavento do Planalto da Borborema (Correa, 2006). Dessa maneira, as distintas altitudes e arranjo das formas de relevo na bacia são os principais condicionantes da escala secundária de controle climático.

Obtenção dos dados

Os dados utilizados no desenvolvimento do trabalho foram valores mensais de Temperatura e precipitação pluviométrica no período de 1998 a 2015. Os dados de precipitação foram adquiridos no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESA).

Os valores de temperaturas máximas, mínimas e médias mensais foram estimados com a utilização do *software* Estima-T, desenvolvido no Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (DCA/UFCG). Esse software foi desenvolvido com objetivo de estimar temperaturas no Nordeste Brasileiro através de regressões múltiplas, utilizando como dados de entrada latitude, longitude e altitude. Tal ferramenta foi recorrida

pela inexistência de dados térmicos aferidos em campo na área estudada.

Balanço Hídrico pelo método de Thornthwaite-Mather (1955)

Para a execução do presente trabalho foi calculado o Balanço Hídrico (BH) obtido através do método de Thornthwaite e Mather (1955). O BH estima a entrada e saída dos fluxos de água no sistema solo-planta-atmosfera e é utilizado para acompanhar o volume hídrico armazenado no solo, o qual pode ser utilizado pelas plantas. Por isso, é uma ferramenta importante em agroclimatologia e agrometeorologia para planejar as atividades agropecuárias (Alves, 2012; Ribeiro et al. 2016).

Para o cálculo do BH pelo método proposto foi adotada a capacidade de água disponível no solo (CAD) de 42 mm. O CAD corresponde ao volume máximo de água que pode ser retido mensalmente em determinado tipo de solo, e é obtido em função das características físicas do mesmo e do sistema radicular da cultura agrícola. A partir das características gerais do solo, Doorenbos e Kassan (1994) propõe o cálculo do CAD a partir da fórmula 1.

$$CAD = CAD_{média} * Z_r \quad (1)$$

Onde o CAD média corresponde aos valores médios de CAD de acordo com a textura dos solos; argiloso (2,0 mm), textura média (1,4 mm) e solos arenosos (0,6 mm). Para o presente estudo foi utilizado o CAD média correspondente ao solo de textura média, considerado ideal para o desenvolvimento da palma forrageira (FARIAS, et al. 1994). Z_r é a profundidade média alcançada pelo sistema radicular das plantas. No caso das palmas forrageiras considera-se a profundidade máxima de 30 cm (Sudzuck-Hills, 2001).

A próxima etapa para o cálculo do BH consiste em estimar o valor do armazenamento hídrico mensal de água solo (ARM), que pode ser obtido a partir das equações 2 e 3 para os períodos secos e a partir da equação 4 para os períodos úmidos:

$$\text{Se } NegAc = 0 \quad ARM = CAD \quad (2)$$

$$\text{Se } NegAc < 0 \quad ARM = CAD.e^{-[NegAc / CAD]} \quad (3)$$

$$ARM_m = ARM_{m-1} + (P - ETP)_m \quad (4)$$

Onde o m é referente ao mês analisado, P -ETP é a diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETP). O negativo acumulado (NegAC) foi calculado pelas equações 5 e 6 nos períodos secos e pela equação 7 nos períodos úmidos:

$$\begin{aligned} \text{Se } P\text{-PET} \geq 0 \quad \text{NegAc} &= 0 \quad (5) \\ \text{Se } P\text{-PET} < 0 \quad \text{NegAc} &= \text{NegAc}_{m-1} + (P\text{-PET}) \\ (6) \quad \text{NegAc} &= \text{CAD} - \ln(\text{ARM}/\text{CAD}) \quad (7) \end{aligned}$$

A partir de então a evapotranspiração real (ETR) pôde ser estimada pelas equações 8 e 9:

$$\begin{aligned} \text{Se } (P\text{-ETP}) \geq 0, \text{ETR} &= \text{ETP} \quad (8) \\ \text{Se } (P\text{-ETP}) < 0, \text{ETR} &= P\text{-ALT} \quad (9) \end{aligned}$$

A alteração (ALT) corresponde a variação no volume de água no solo e é estimada pela equação 10:

$$\text{ALT} = \text{ARM}_m - \text{ARM}_{m-1} \quad (10)$$

A partir dos valores obtidos até então é possível estimar a deficiência hídrica no solo (DEF) pela diferença entre a ETP e a ETR. Para a obtenção do excedente hídrico, ou seja, o volume de água percolado no solo, foi utilizada a equação 11 para os valores positivos de P-ETP e $\text{ARM} = \text{CAD}$. Quando o valor obtido de P-ETP foi negativo $\text{EXC} = 0$.

$$\text{EXC} = (P\text{-ETP}) - \text{ALT} \quad (11)$$

Como última etapa, o cálculo da reposição hídrica no solo (R) foi estimado pelas equações 12 e 13.

$$\begin{aligned} \text{Se } \text{ALT} \leq 0, \text{R} &= \text{ETR} \quad (12) \\ \text{Se } \text{ALT} > 0, \text{R} &= \text{ETR} + \text{ALT} \quad (13). \end{aligned}$$

Evapotranspiração das culturas (ETC)

A evapotranspiração da cultura agrícola foi estimada a partir da equação 14 com o intuito de calcular a necessidade hídrica da palma forrageira. Foi utilizado o método proposto Brouwer e Heibloen (1986):

$$\text{ETP} \times K_c = \text{ETc} \quad (14)$$

Onde ETP corresponde a evapotranspiração de referência (mm/dia, mês, ano) e K_c é o fator de cultura, o qual depende do tipo de cultura, estágio de crescimento e clima. No presente estudo foi considerado K_c de 0,52 estimado por Queiroz (2014) para o clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Com os dados mensais de ETC foi possível calcular o Balanço hídrico da cultura pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), obtendo-se os valores de ARM, DEF e EXC hídrico no solo.

Base Cartográfica

Foi utilizada a base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o qual adota o Sistema Geocêntrico de Referência para as Américas (SIRGAS 2000). Os mapas foram organizados com o auxílio dos *softwares* Arcgis 10.1 e Qgis 2.14. A técnica estatística espacial empregada foi a Interpolação através do Inverso Ponderado da Distância (*Inverse Distance Weighting – IDW*), que estima valores para pontos desconhecidos a partir da soma ponderada dos valores de N pontos conhecidos (Landim, 2000).

Resultados e discussão

Climatologia da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá

A Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá possui os tipos de tempo determinados pela interação entre centros de ação climáticos - anticiclones semifixos do Atlântico e Zona de Convergência Intertropical - (Molion e Bernardo, 2002) e os fatores geográficos determinantes da escala secundária de circulação atmosférica. Nesse contexto, os sistemas da circulação primária, de abrangência escalar maior, interagem com os fatores locais, em especial o relevo, para originar as peculiaridades climáticas locais.

Regime térmico e pluviométrico

O clima é caracterizado por um regime de precipitação bastante irregular e elevadas temperaturas médias anuais. A temperatura média anual na bacia hidrográfica é de 23,2°C, com valor máximo no município de Cabaceiras (24,1°C) e mínimo em Pocinhos e Teixeira (22°). A diferenciação térmica no interior da área de estudo está relacionada com o relevo; as áreas mais baixas tendem a possuir maiores valores de temperatura média anual, enquanto que as localidades mais elevadas possuem menores valores médios.

A Figura 3 exibe o comportamento médio anual da temperatura na bacia hidrográfica estudada. É possível observar que existe uma pequena amplitude térmica anual (3,3°C), ou seja, a diferença entre o valor correspondente ao mês de maior temperatura média (dezembro) e aquele de menor valor (julho). O período mais quente do ano vai de outubro a abril, com picos de temperatura durante o verão (dezembro e janeiro), registrando temperaturas médias de 24,6° para esses dois meses, médias das máximas de 32°C e média das mínimas de 19,9°C. Já o período mais ameno se estende de maio a setembro, com valores mínimos entre junho e agosto, registrando temperaturas

médias de 22,1, média das mínimas de 17,3°C e das máximas de 27,8°C.

A amplitude mensal entre as médias das máximas de temperatura e das mínimas revela uma amplitude média de 10,8°C, com valores máximos em outubro, novembro e dezembro (12,4°C) e

mínimos entre abril e julho (9,4°C). Portanto, apesar da pequena amplitude térmica anual, há uma amplitude térmica diária elevada, indicando valores contrastantes de temperatura diurnos e noturnos.

Figura 3. Gráfico de temperaturas máximas, médias e mínimas mensais (1998-2015) para a Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. Fonte: adaptado DCA/UFCG –Estima-T. Organizado pelo autor.

A média anual das precipitações no interior da bacia é de 542,4 mm e desvio padrão de 231,6 mm, seguindo um comportamento interanual bastante irregular. A precipitação média mensal da bacia hidrográfica está concentrada nos meses de fevereiro, março, abril e maio, os quais representam 61,6 % do volume médio total anual na bacia hidrográfica (Figura 04).

A época mais seca do ano corresponde ao segundo semestre, quando a ZCIT migra para o

Hemisfério Norte e as precipitações tornam-se escassas. A quantidade média de chuva entre julho e dezembro corresponde a 16,2% do volume total anual, o que caracteriza um período seco longo e acentuado. Nos meses de inverno e primavera a expansão das altas pressões subtropicais que atuam sobre o interior da Região Nordeste inibe a ocorrência de precipitação (Molion e Bernardo, 2002).

Figura 4. Precipitação mensal média (1998-2015) para a Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. Fonte: adaptado AESA. Organizado pelo autor.

Parâmetros climáticos e o desenvolvimento da palma forrageira

O zoneamento elaborado por Moura et al. (2011) no município de Petrolina, no estado de Pernambuco, demonstra que o maior potencial produtivo da palma forrageira é obtido quando a temperaturas máximas varia entre 28,5° e 31,5°C e mínimas entre 8,6° e 20,4°C. Ainda de acordo com esses autores, o volume de precipitação anual ideal se encontra entre 368,4 e 812,4 mm. O cultivo dessa planta é prejudicado em áreas com excedentes de chuva, com precipitação média acima dos 1100 mm anuais.

Esses dados demonstram que o comportamento médio do clima na área de estudo apresenta condições propícias ao desenvolvimento das *Opuntias*. As noites amenas e o volume médio de precipitação anual enquadram a climatologia da área estudada como favorável ao desenvolvimento das cactáceas. Todavia, as diferenças climáticas no interior da bacia, resultantes da circulação secundária da atmosfera, sugerem a existência de uma variação climática espacial que deve ser considerada no planejamento agrícola da referida área.

Regimes pluviais da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá

De acordo com os volumes médios anuais e mensais de chuva na área de estudo, é possível dividi-la em quatro regimes pluviais (figura 5). As precipitações tendem a aumentar de leste para oeste na bacia do Taperoá. É possível estabelecer relação entre o arranjo do relevo e a distribuição média das

chuvas, considerando o efeito de sotavento (leste da bacia) e barlavento (oeste da bacia) produzido pela entrada da massa de ar Tropical Atlântica pelo quadrante sudeste da área de estudo.

O regime 1, apresentado na Figura 5, localizado a leste da bacia hidrográfica, apresenta os menores volumes de chuva. A média de precipitação anual para essa área é de 393,5 mm concentrados nos seis primeiros meses do ano. O período compreendido entre março de junho acumula 50% do volume médio anual de chuva, com precipitação mensal máxima de 51,1 mm no mês de março. No regime pluviométrico 2 (figura 5) chove em média 502,7 mm por ano. O período mais chuvoso ocorre entre fevereiro e maio, com inflexões nos meses março (90,8 mm) e abril (75,2 mm).

Ainda em relação a Figura 05, a média pluviométrica do regime pluvial 3 é de 546,7 mm anuais. A altura média de chuva é concentrada entre os meses de janeiro e maio, com valores máximos em março (113,8 mm) e abril (91,4 mm), os quais acumulam em média 37% da chuva anual. O regime pluvial 4 é o que possui o maior valor de precipitação anual, com média pluviométrica de 738,2 mm. Nessa área, o efeito orográfico da Serra do Teixeira favorece a convecção ocasionada pela atuação da ZCIT entre os meses de janeiro a maio. Os maiores volumes médios mensais são registrados nos meses de março (156,8 mm) e abril (133,3 mm), com concentração de 67% da chuva anual entre janeiro e abril.

Figura 5. Regimes pluviais da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá e médias pluviométricas mensais (1998-2015) referentes aos respectivos regimes. Fonte: modificado Wanderley (2016).

Balanço Hídrico para a cultura agrícola da palma forrageira

O cálculo do balanço hídrico climatológico para a palma forrageira, na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, revelou que o valor médio de evapotranspiração dessa cultura agrícola é de 615,5 mm. Os maiores índices de evapotranspiração ocorrem no sul e no centro da bacia hidrográfica, como é possível observar na Figura 06. Valores de evapotranspiração de até 650 mm estão concentrados nas áreas de menores altitudes, as quais apresentam temperaturas médias mais elevadas. Os índices inferiores a 598 mm estão localizados no nordeste, norte e oeste da área estudada, as quais apresentam as maiores altitudes e menores valores médios de temperatura.

Em estudo experimental realizado no município de Serra Talhada, Pernambuco, Queiroz (2015) sugere condições de disponibilidade hídrica ideais de 1048 a 1096 mm ano⁻¹ para a cultura da palma forrageira da variedade Orelha de Elefante Mexicana. Em condições ambientais semelhantes, também no município de Serra Talhada em

condições irrigadas, Pereira (2013) verificou uma demanda atmosférica diária de 5,1 mm dia⁻¹ para a palma entre junho de 2012 e fevereiro de 2013.

Essa diferença entre esses achados e os resultados obtidos no presente estudo pode ser explicada pela distinção entre os fatores ambientais das áreas estudadas: as médias térmicas verificadas na Depressão Sertaneja, onde se localiza o sítio experimental de Serra Talhada, são superiores àquelas verificadas nas áreas planálticas da bacia do Taperoá, resultando em maiores índices de evapotranspiração. Além disso, os intervalos temporais utilizados nos estudos no semiárido de Pernambuco foram menores e inseridos em um período seco acentuado. Essas constatações corroboram a existência de uma diversidade de paisagens, de uma variabilidade interanual dos controles fisiográficos ambientais no semiárido brasileiro e remetem à importância de maiores investigações acerca da necessidade hídrica dessa cultura agrícola.

Figura 6. Valores médios de evapotranspiração para a cultura agrícola da palma forrageira na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (1998-2015). Fonte: adaptado AESA. Organizado pelo autor.

O volume médio anual de armazenamento hídrico no solo disponível para a palma na Bacia do Taperoá é de 239,9 mm. A distribuição espacial desses valores (Figura 07) revela uma relação direta com os índices médios de chuva. O regime

pluviométrico 1, apresentada na figura 05, registra os menores índices de chuva e possui uma menor quantidade de água armazenada disponível para a cultura da palma forrageira, com índices inferiores a 176 mm.

Figura 7. Valores do armazenamento hídrico médio para a cultura da palma forrageira na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (1998-2015). Fonte: adaptado AESA. Organizado pelo autor.

A distribuição espacial dos valores de deficiência, apresentada na figura 08, é resultante da combinação entre os índices de precipitação e evapotranspiração sobre a área de estudo, dessa maneira as áreas mais elevadas, as quais apresentam temperaturas mais amenas, apresentam as menores taxas de evapotranspiração. Nesse contexto, as áreas mais elevadas do oeste da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, localizadas na Serra do Teixeira (figura 02), juntamente com uma

pequena porção no extremo leste apresentam as menores deficiências, com valores inferiores a 167,7 mm anuais. Já as áreas localizadas nas porções centrais e sudeste da bacia apresentam as maiores deficiências, com índices superiores a 193,9 mm. Esses valores elevados de deficiência podem ser explicados pela combinação entre os mais baixos índices de precipitação e os maiores índices de evapotranspiração.

Figura 8. Valores médios de deficiência hídrica anual para a cultura agrícola da palma forrageira na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (1998-2015). Fonte: adaptado AESA. Organizado pelo autor.

A Figura 9 relativa à distribuição espacial dos excedentes hídricos médios na bacia do Taperoá revela um aumento dos valores de leste para oeste. A concentração de excedentes elevados nas áreas do alto curso da bacia (superiores a 206 mm), e excedentes inferiores a 74 mm nas regiões

pluviométricas 1, 2 e 3 apresentadas na Figura 5 demonstra relação expressiva com a distribuição dos índices de chuva médios.

Figura 9. Valores médios anuais de excedente hídrico para cultura agrícola da palma forrageira na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (1998-2015). Fonte: adaptado AESA. Organizado pelo autor.

A partir da análise das figuras observa-se que a relação entre os índices hídricos, das entradas e saídas de água dos agrossistemas, não é explicada apenas pelos valores médios anuais. Por esta razão, fez-se necessário analisar a distribuição mensal dos índices do balanço hídrico, para a palma forrageira, nos distintos regimes pluviométricos da bacia hidrográfica.

Balanço hídrico climático para a cultura da palma forrageira para os regimes pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá

No regime pluvial 1, apresentado na Figura 5, o balanço hídrico climático aplicado à cultura da

palma forrageira se apresenta deficitário (Figura 10). Deficiências hídricas entre 16 e 5 mm são observadas de janeiro a abril, enquanto que déficits mais pronunciados ocorrem entre setembro e dezembro, com valor máximo em novembro (48,2 mm). Os armazenamentos hídricos disponíveis no solo são restritos, e os maiores volumes ocorrem nos meses de junho (12,8 mm) e julho (12 mm). Portanto, a disponibilidade hídrica no regime pluvial 1 não supre as necessidades produtivas da palma forrageira em nenhum mês para anos habituais.

Figura 10. Balanço hídrico climático mensal para a cultura agrícola da palma forrageira no regime pluvial 1 da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (1998-2015). Fonte: adaptado AESA. Organizado pelo autor.

No regime pluvial 2, apresentado na Figura 5, o balanço hídrico no solo para a cultura da palma apresenta uma disponibilidade hídrica sazonal (Figura 11). Entre os meses de fevereiro e julho o armazenamento hídrico atende as necessidades da cactácea, atingindo a capacidade máxima (42 mm) do solo disponível para essa cultura agrícola entre março e junho. Volumes hídricos excedentes

ocorrem nos meses de abril (21 mm), maio (24,5 mm) e junho (8 mm). As deficiências de disponibilidade hídrica têm ocorrência durante o segundo semestre, entre setembro e dezembro, durante o período em que há maiores déficits para a palma forrageira, com valor máximo em novembro (51,5 mm).

Figura 11. Balanço hídrico climático mensal para a cultura agrícola da palma forrageira no regime pluvial 2 da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (1998-2015). Fonte: adaptado AESA. Organizado pelo autor.

Quanto ao regime de chuvas, uma primeira e O balanço hídrico da palma para o regime pluvial 3, especificado na Figura 5, apresenta armazenamento hídrico sazonal, como acontece na regime 2. No entanto, os maiores volumes de chuva

nos meses úmidos garantem maiores volumes de armazenamento, com valores máximos entre os meses de fevereiro e julho (Figura 12). A capacidade máxima de armazenamento hídrico do solo é superada de março a junho, produzindo

excedentes em março (46,8 mm), abril (39 mm) e maio (18,5 mm). As deficiências ocorrem com

maior intensidade entre setembro e dezembro, com valor máximo em novembro (52,8 mm).

Figura 12. Balanço hídrico climático mensal para a cultura agrícola da palma forrageira no regime pluvial 3 da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (1998-2015). Fonte: adaptado AESA. Organizado pelo autor.

No regime pluvial 4, especificado na Figura 5, ocorrem armazenamentos máximos de janeiro a junho, como resposta ao volume de precipitação médio registrado no primeiro semestre (Figura 13). Durante os meses de fevereiro a maio, em anos habituais, há volumes excedentes de água

entrando no agrossistema, com valores máximos mensais de 102,6 mm e 83,2 mm em março e abril, respectivamente. As deficiências hídricas ficam concentradas no segundo semestre com pontos de inflexão entre setembro e novembro.

Figura 13. Balanço hídrico climático mensal para a cultura agrícola da palma forrageira no regime pluvial 4 da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (1998-2015). Fonte: adaptado AESA. Organizado pelo autor.

O balanço hídrico climático para a palma forrageira na área estudada demonstra que o regime pluvial 1 apresenta maiores restrições ao cultivo dessa cultura devido aos baixos valores médios de precipitação e aos elevados índices de evapotranspiração. No regime pluvial 4, dependendo do substrato selecionado para o plantio os excedentes hídricos, durante os períodos de máxima precipitação, também podem prejudicar a produtividade das lavouras. De maneira geral a primavera e o verão são os períodos com maiores restrições hídricas ao desenvolvimento pleno da *Opuntia stricta* Haw na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá.

Conclusões

A variação dos parâmetros climáticos médios anuais indica condições favoráveis ao desenvolvimento das palmas forrageiras do gênero *Opuntia* na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. As médias de precipitação entre 750 e 380 mm bem como as médias térmicas diurnas (31°) e noturnas (20°) indicam que o clima é propício à adaptação dessa cultura agrícola.

O balanço hídrico revela a existência de uma disponibilidade hídrica de armazenamento no solo sazonal. Dessa maneira, a eficiência máxima é favorecida no primeiro semestre, mais chuvoso, com maior potencial produtivo. O segundo semestre do ano apresenta restrições hídricas ao desenvolvimento pleno das cactáceas. A distribuição espacial dos índices associados ao balanço hídrico demonstra que áreas com maiores restrições ao cultivo da palma encontram-se nos regimes pluviais 1 e 2 da bacia hidrográfica.

Os meses de outono e inverno parecem ser mais favoráveis ao desenvolvimento das *Opuntias*, pois os menores índices de evapotranspiração e as temperaturas diurnas e noturnas amenas, em consórcio com os valores de armazenamento hídrico no solo indicam boas condições de desenvolvimento das lavouras. A primavera e os dois primeiros meses de verão (dezembro e janeiro) são os períodos mais críticos quanto à deficiência hídrica.

Ressalta-se a importância de maiores investigações voltadas para a compreensão das relações entre a climatologia e a disponibilidade hídrica para a produção de palma forrageira no semiárido brasileiro, diante da escassez de estudos com essa abordagem.

Agradecimentos

À Capes e à UFPE pelo financiamento e possibilidade de desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- Alves, T. L. B., 2012. Caracterização física e socioambiental da microbacia hidrográfica do riacho Namorado no município de São João do Cariri-PB. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFCG.
- Brouwer, C., Heibloen, M., 1986. Irrigation Water Manegment: Irrigation Water Needs. Disponível: <http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e00.H TM#Contents>. Acesso: 02 jul. 2016.
- Corrêa, A. C. B., Tavares, B. A. C., Monteiro, K. A., Cavalcanti, L. C. S., Lira, D. R., 2010. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. Revista do Instituto Geológico 31, 35-52.
- Corrêa, A. C. B., 2006. Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano. Revista de Geografia 23, 86-105.
- Doorenbos, J., Kassam, A. H., 1994. Efeito da água no rendimento das culturas. UFPB, Campina Grande.
- Dubeux Júnior, J. C. B., Santos, M. V. F., Lira, M. A., Santos, D. C., Farias, I., LIMA, L. E., Ferreira, R. L. C., 2006. Productivity of *Opuntia fícus-indica* (L) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brasil. Journal of Arid Enviroments 67, 357-372.
- Farias, I., Lira, M. A., Santos, D. C., Fernandes, A. P. M., Tavares Filho, J. J., Santos, M. V. F., 1996. Efeito da frequência e intensidade de cortes em diferentes espaçamentos na cultura da palma forrageira em consórcio com sorgo granífero. Disponível: <http://www.ipa.br/publicações>. Acesso: 10 out. 2016.
- Francisco, P. M., 2013. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, PB. Tese (Doutorado). Campina Grande, UFPB.
- Landim, P. M. B., 2000. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Editora da UNESP, Rio Claro.
- Menezes, R. S. C., Simões, D. A., Sampaio, E. V. S. B., 2005. A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Ed. Universitária da UFPE, Recife.
- Mollion, L. C. B., Bernardo, S. O., 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia 17, 1-10.
- Moura, M. S. B., Souza, L. S. B., Silva, T. G. F., Sá, I. I. S., 2011. Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado de Pernambuco. Embrapa Semiárido, Petrolina. Disponível: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstre>

- am/doc/916061/1/SDC242.pdf. Acesso: 02 jul. 2016.
- Oliveira, F. T., Souto, J. S., Silva, R. P., Andrade Filho, F. C., Pereira Júnior, E. B., 2010. Palma forrageira: Adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 5, 27-37.
- Pereira, P. C., 2013. Evapotranspiração e crescimento de clones de palma forrageira irrigada no semiárido brasileiro. Dissertação (Mestrado). Viçosa, UFV.
- Pinheiro, K. M., Silva, T. G. F., Carvalho, H. F. S., Santos, J. E. O., Moraes, J. E. F., Zolnier, S., Santos, D. C., 2014. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49, 939-947.
- Ramos, J. P. F., Leite, M. L. M. V., Oliveira Junior, S., Nascimento, J. P., Santos, E. M., 2011. Crescimento vegetativo de *Opuntia fícus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Caatinga*, Mossoró 24, 41-48.
- Ribeiro, E. P., Nóbrega, R. S., Mota Filho, F. O., Soares, D. B., 2016. Climatic water balance and climatic classification of the Pajeú River watershed. *Journal of Environmental Hydrology* 24, 1-16..
- Sant'anna Neto, J. L., 1998. Clima e organização do espaço. *Boletim de Geografia* 16, p.119-131.
- Sudzuki-Hills, F., 2001. Anatomia e fisiologia, in: Barbera, G., Inglese, P., Barrios, E. P. (Eds.), *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. SEBRAE, João Pessoa, pp. 28-34.
- Thornthwaite, C. W., Mather, J. R., 1955. The water balance. Drexel Institute of Technology, New Jersey.
- Vasconcelos, A. G. V., Lira, M. A., Cavalcanti, V. L. B., Santos, M. V. F., Willadino, L., 2009. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmin (*Dactylopius* sp). *Revista Brasileira Zootecnia* 38, 827-831.
- Wanderley, L. S. A., 2016. Climatologia como ferramenta de planejamento agrário na bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE.