

Exigência térmica e filocrono da emissão de cladódios da cactácea forrageira mais cultivada no mundo¹

Thieres George Freire da Silva²; Maria Gabriela de Queiroz³; José Edson Florentino de Moraes⁴,
Marcela Lúcia Barbosa³; Lucivania Rodrigues Lima⁵; Poliana de Caldas Pereira³

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

² Professor Adjunto III, UFRPE/UAST, Fone: (87) 3929-3208, e-mail: thieres_freire@yahoo.com.br

³ Pós-graduandos do PPGMA, UFV/DEA, e-mail: mg.gabi@hotmail.com, po.caldas@hotmail.com, marcelalucia.ufrpe@hotmail.com

⁴ Mestrandos do PPGPV, UFRPE/UAST, e-mail: joseedson50@hotmail.com

⁵ Mestre em Produção Vegetal, UFRPE/UAST, e-mail: lucivania_rodrigues@hotmail.com

RESUMO: A palma é a maior cactácea forrageira cultivada no mundo. Assim, objetivou-se estabelecer a exigência térmica fenológica vegetativa e anual da espécie *Opuntia stricta*, e o seu filocrono de emissão de cladódios. O número de cladódios por ordem de surgimento e o total por planta foi monitorado em 11 datas entre os meses de junho de 2012 e junho de 2013, em um cultivo irrigado no município de Serra Talhada, PE. Com base no método do menor Quadrado Médio do Erro (QME) e máximo coeficiente de determinação da regressão entre a soma térmica acumulada e o número total de cladódios, definiu-se a temperatura base inferior (tb), e subsequentemente, a exigência térmica da cultura. O coeficiente angular dessa relação representou a taxa de aparecimento de cladódios (TAC, cladódio °Cdia⁻¹), enquanto a sua inversão resultou no filocrono (FIL, °Cdia cladódio⁻¹). Os resultados revelaram que a tb para emissão de cladódios da *Opuntia stricta* é 20°C. A TAC foi de 0,0065 cladódio °Cdia⁻¹, resultando em FIL de 167°Cdia cladódio⁻¹. Essa soma térmica é necessária para a superação da fase fenológica vegetativa FV0, quando o primeiro cladódio de 1ª ordem está em formação. A FV1, em que a taxa de emissão de cladódios de 1ª ordem é superior às taxas das demais ordens, é finalizada após o incremento de mais 853°Cdia. A FV2, quando a emissão de cladódios é superior na 2ª ordem, 1239°Cdia são necessários para o seu térmico. Ao final de um ano de ciclo, quando a fase ocorrente era a FV3, a soma térmica acumulada foi 2.767°Cdia. Conclui-se que, devido à alta magnitude da temperatura base de emissão de cladódios da palma forrageira, o acúmulo térmico diário pela cultura é baixo, o que implica na necessidade de maior energia para a emissão de um novo cladódio e, logo, justifica a reduzida evolução do seu dossel.

PALAVRAS-CHAVE: evapotranspiração de referência, irrigação, *Opuntia stricta*, Semiárido

Thermal requirement and phyllochron of cladode emission of forage cactacea more cultivated in the world

ABSTRACT: The cactus forage is the largest forage cactacea cultivated in the world. Thus, the objective was to establish the thermal requirement of phenological phases and annual of the specie *Opuntia stricta*, and your phyllochron of cladode emission. The cladode number by order of appearance and the total per plant was monitored on 11 dates between June of 2012 and June 2013, in an irrigated cultivation in the municipality of Serra Talhada, State of Pernambuco. The method of least Mean Square Error (MSE) and coefficient determination maximum of the regression between the accumulated thermal sum and the data of the total number of cladode issued were used for to define the lower base temperature (tb), and subsequently, the crop thermal requirement. The angular coefficient of the relationship represented the cladode appearance rate (TAC, cladode °Cday⁻¹), while its inversion resulted in phyllochron (PHY, °Cday cladode⁻¹). The results revealed that the tb for cladode emission of *Opuntia stricta* is 20°C. The TAC was 0.0065 cladode °Cday⁻¹, resulting in PHY de 167°Cday cladode⁻¹. This thermal sum is required for overcoming the vegetative phenology phase FV0, when the first cladode of first order is in formation. The FV1, in which the emission rate of cladode 1st order is higher than the other orders, is finalized after

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

the increment of more 853°Cday. The phase FV2, where the emission of cladode is higher in the second order, is needed 1239°Cday for its finalization. When the current phase was the FV3, the accumulated heat sum was 2,767°Cday. Thus due to the high magnitude of base temperature of emission of cladode, the daily thermal by crop is low, which implies the need for greater energy to the emission a new cladode and therefore justifies the reduced evolution of your canopy.

KEYWORDS: reference evapotranspiration, irrigation, *Opuntia stricta*, Semiarid

INTRODUÇÃO

A palma é a cactácea forrageira mais cultivada no mundo, e tem papel estratégico em ambientes áridos e semiáridos, como fonte alimentar do rebanho. Embora muito adaptada a esses ambientes, o bom desempenho produtivo da palma está atrelado ao uso sustentável de práticas de manejo em consonância com as variáveis ambientais.

É de amplo conhecimento, que uma das variáveis mais importantes é a temperatura do ar, que afeta de maneira direta no desenvolvimento das espécies (HANAUER et al., 2014), sobretudo no avanço das fases fenológicas, que ocorre pela mudança de aspectos vegetativos, e também de características reprodutivas.

Na palma, as funções fotossintéticas são realizadas nos cladódios, assim, a evolução do dossel acaba sendo diferenciado, uma vez que ocorre de maneira indeterminada e é condicionado pelo hábito de crescimento, suporte de sustentação da planta e pelo manejo adotado.

Apesar de sua importância para a exploração da pecuária no Semiárido brasileiro e uso sustentável do Bioma Caatinga, poucos são os parâmetros agrometeorológicos obtidos para a palma forrageira, principalmente diante dos cenários de mudanças climáticas e processos de desertificação, que podem culminar o uso de atividades agrícolas com base em espécies MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas).

Com base no exposto, objetivou-se estabelecer a exigência térmica fenológica vegetativa e anual da espécie *Opuntia stricta* de palma forrageira, e o seu filocrono de emissão de cladódios, visando o avanço das pesquisas agrometeorológicas e, em seguida, a geração de informações que fundamentem ações políticas de adaptação do setor pecuário às alterações do clima.

MATERIAIS E MÉTODOS

As análises desse estudo foram feitas a partir de dados experimentais de um cultivo de *Opuntia stricta*, conduzido em condições irrigadas, durante 380 dias de ciclo, no segundo ciclo produtivo da cultura, no município de Serra Talhada, Estado de Pernambuco. O experimento foi disposto em blocos casualizados, com quatro repetições, em que a cultura foi submetida ao sistema de plantio exclusivo com cinco lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração de referência (ET_o) (0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35%.ET_o).

Ao longo do tempo, durante 11 datas entre junho de 2012 e junho de 2013, a emissão de cladódios por ordem de surgimento (1ª ordem, 2ª ordem, etc.) e o número total de cladódios foram monitorados em 12 plantas por tratamento (três em cada bloco), e na ocasião da colheita foi quantificado o rendimento da cultura, o qual se usou como critério na definição da condição de maior desenvolvimento da palma forrageira.

Nesse caso, a lâmina de irrigação complementar de 8,75%.ET_o acrescida da lâmina de uniformização e a precipitação pluviométrica, que totalizaram 1048 mm ano⁻¹, foi a condição de disponibilidade de água que resultou em maior emissão de cladódio pela cultura e produtividade. Assim,

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

os dados resultantes desse tratamento foram usados na delimitação das fases fenológicas, e nos cálculos da temperatura base inferior da exigência térmica fenológica e anual da cultura.

Para isso foi aplicado o método do menor quadrado médio do erro (QME) da regressão linear entre o número total de cladódios, incluindo o cladódio basal, (NTC) e a soma térmica acumulada (STac.) entre as 11 datas de mensuração. A soma térmica diária (STd.) foi calculada considerando os valores da temperatura máxima ($t_{\text{máxima}}$) e mínima ($t_{\text{mínima}}$), e da temperatura base inferior (t_b): $STd. = [(t_{\text{máxima}} + t_{\text{mínima}}) / 2] - t_b$. A t_b foi obtida a partir de incrementos contínuos de $0,5^\circ\text{C}$, entre $0,5^\circ\text{C}$ a 25°C , e aplicação do método do QME e do coeficiente de determinação (R^2). O menor valor QME associado ao máximo R^2 da relação NTC, incluindo o cladódio basal, e STac. foi o critério usado na escolha da t_b e, em seguida, definição da exigência térmica entre as fases fenológicas e anual da palma.

Os dados de temperatura do ar, necessários na estimativa da soma térmica, foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (www.inmet.gov.br), referente à estação automática situada a 1400 metros da área experimental.

A regressão entre o NTC e a STac., com base na t_b anteriormente definida, permitiu a quantificação da taxa de aparecimento de cladódios (TAC, cladódios $^\circ\text{Cdia}^{-1}$) pelo coeficiente angular da reta ($NTC = a.STac. + b$). O filocrono (FIL, $^\circ\text{Cdia cladódio}^{-1}$) foi estimado pelo inverso da TAC ($FIL = 1/TAC$). A partir da taxa de emissão de cladódios por ordem foram definidos os limites das fases fenológicas. A taxa de emissão de cladódios por ordem foi estabelecida mediante o ajuste e derivação de equações matemáticas do número de cladódios por ordem em função da STac., antes definida com base na t_b , entre as 11 datas de mensuração. A STac. até o momento da transição entre duas fases sucessivas representou a sua exigência térmica fenológica. Enquanto, a STac. ao longo do ciclo resultou na exigência térmica anual.

Todos os procedimentos de manipulação de dados e regressões foram feitas no programa Excel do pacote computacional Microsoft, por meio da ferramenta “Solver”, e as significâncias da equação definitiva da relação NTC e STac., e de seus respectivos parâmetros foram avaliadas no Sigmaplot, versão 10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As regressões entre o número total de cladódios, incluindo o cladódio basal, (NTC) e a soma térmica acumulada (STac.), calculada com valores de temperatura base inferior (t_b) de $0,5^\circ\text{C}$ e 25°C com incrementos de $0,5^\circ\text{C}$, resultaram em coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,9726, indicando a alta influência da temperatura do ar sobre a dinâmica de emissão de cladódios pela palma forrageira, *Opuntia stricta*. Na Figura 1A é indicado o valor de t_b que resultou a menor soma do quadrado médio do erro (QME), podendo assim ser considerado o valor de 20°C , àquele a ser usado na estimativa da exigência térmica da cultura.

A equação linear da relação entre o NTC mais o cladódio basal e a STac. (Figura 1B), com base no valor de t_b de 20°C , obteve R^2 de 0,9820, e coeficiente angular de 0,0060, representando a taxa de aparecimento de cladódios (TAC), em cladódio $^\circ\text{Cdia}^{-1}$. A relação linear indica que a taxa de emissão de cladódios pela cultura não sofre fortes variações ao longo do ciclo (HANAUER et al., 2014). O alto grau de associação entre NTC e STac. afirma que a t_b de 20°C foi adequada na estimativa da exigência térmica da palma, e que o acúmulo diário de energia térmica para emissão de cladódios é baixo. O valor de t_b é bem superior àqueles relatados para emissão de folhas de muitas culturas agrícolas como oliveira ($10,5^\circ\text{C}$ a 11°C , MARTINS et al., 2012), milho ($8,6^\circ\text{C}$ a $9,4^\circ\text{C}$, TSIMBA et al., 2013) e trigo ($1,9^\circ\text{C}$, WHITE et al., 2012). Porém é mais próximo à temperatura base inferior de estruturas não foliares como colmo da cana-de-açúcar (16°C , INMAN-BAMBER, 1994). Ainda pela Figura 1B, o inverso da TAC resultou no filocrono de emissão de cladódios, que foi igual a $167^\circ\text{Cdia cladódio}^{-1}$. Esse valor é bem superior a outros relatados para culturas C3 e C4, mostrando que a palma forrageira necessita de maior quantidade

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

de energia térmica para a formação de uma unidade de cladódio. Para a cana-de-açúcar, Hanauer et al. (2014) encontraram filocrono total entre 103,9 e 117,3°Cdia folha⁻¹, todavia a sua magnitude varia em função da fase de aparecimento foliar (acima ou abaixo de 15 folhas).

A evolução de emissão de cladódios em função da soma térmica acumulada, com base na tb de 20°C, Figura 1C, mostra a delimitação das fases fenológicas da *Opuntia stricta*. No início do ciclo, quando a taxa de emissão de cladódios de 1ª ordem ainda é ascendente ocorre a fase fenológica vegetativa 0 (FV0), até o momento em que o valor do filocrono é atingido (167°Cdia cladódio⁻¹). A partir desse momento, inicia-se a FV1 com a ocorrência da máxima taxa de emissão de cladódios dessa ordem, quando comparada às demais ordens, e seguida redução, até ser superada pela taxa de emissão dos cladódios de 2ª ordem e dá início a FV2. A FV2 é mais prolongada do que a FV1, logo que a emissão de cladódios tende a ser superior, uma vez que o maior número de cladódios nessa ordem é passível de emitir cladódios de 2ª ordem, e assim sucessivamente. A finalização da FV2 ocorreu quando a taxa de emissão de cladódios de 3ª ordem superou a de 2ª ordem. Até a ocasião da colheita, um ano produtivo, a fase ocorrente ainda manteve-se na FV3, com taxa de emissão de cladódios de 3ª ordem ainda em ascensão. Matematicamente, a dinâmica de emissão de cladódios em função do regime térmico do ambiente de cultivo pode ser representada conforme as equações da Figura 1C, de tal modo que permite definir os limites das fases fenológicas da *Opuntia stricta*.

Com isso, na Tabela 1 são demonstrados os valores de soma térmica acumulada para as diferentes fases fenológicas vegetativa, e anual da palma forrageira. O incremento térmico para o avanço das fases FV0, FV1 e FV2 foi de 167°Cdia, 853°Cdia e 1239°Cdia, nessa ordem. E para finalização do ciclo, ainda dentro da fase FV3 foi de 501°Cdia. No total foram necessários 2767°Cdia para a finalização de um ciclo produtivo anual. Não há muitos registros de exigência térmica para a formação de estrutura vegetativa ou reprodutiva de espécies de palma.

CONCLUSÕES

Conclui-se que, devido a alta magnitude da temperatura base de emissão de cladódios (tb = 20°C), o acúmulo térmico diário pela palma forrageira é baixo, implicando na necessidade de maior tempo para a emissão de um novo cladódio (filocrono de 167°Cdia cladódio⁻¹), e para a finalização do ano produtivo (2767°Cdia⁻¹); logo, justifica a reduzida evolução do seu dossel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HANAUER, J. G.; STRECK, N. A.; LANGNER, J. A.; KRÄULICH, B.; UHLMANN, L. O. Desenvolvimento e crescimento foliar e produtividade de cana-de-açúcar em cultivo de cana-planta e de cana-soca. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v.30, n.4, p.1077-1086, 2014.

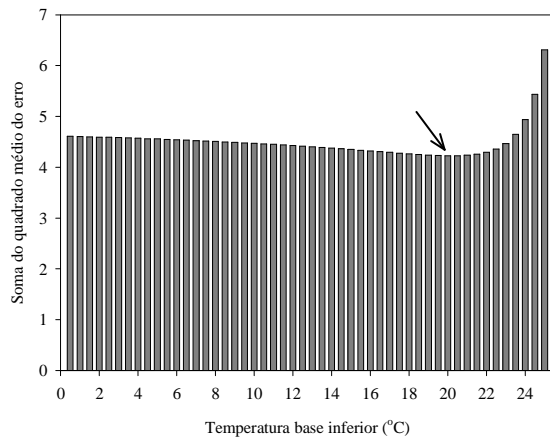
INMAN-BAMBER, N.G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.36, p.41-51, 1994.

MARTINS, F. B.; REIS, D.da F.; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.42, n.11, nov., 2012.

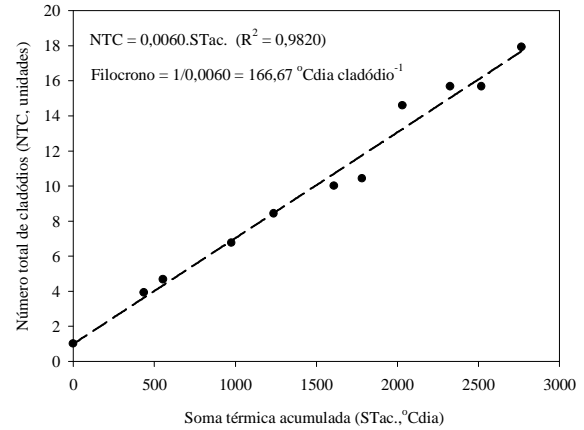
TSIMBA, R.; EDMEADES, G. O.; MILLNER, J. P.; PETER D. KEMP, P. D. The effect of planting date on maize: Phenology, thermal timedurations and growth rates in a cool temperate climate. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.150, p.145-155, 2013.

WHITE, J. W.; KIMBALL, B. A.; WALL, G. W.; OTTMAN, M. J. Cardinal temperatures for wheat leaf appearance as assessed from varied sowing dates and infrared warming. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.137, p.213-220, 2012.

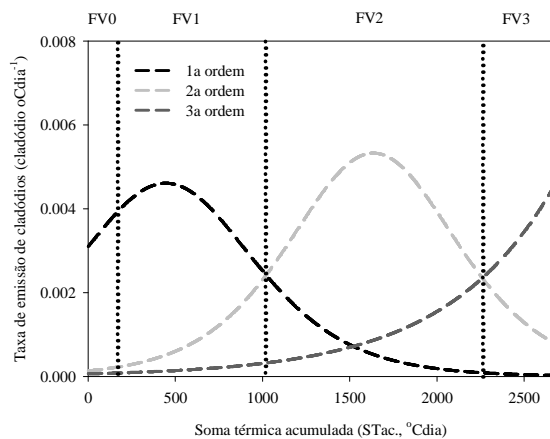
(A)



(B)



(C)



$$\frac{d(NC_{01})}{d(STac.)} = \frac{6,2722 \cdot \exp[-(STac. - 433,9006)/340,1773]}{1 + \exp[-(STac. - 433,9006)/340,1773]^2 \cdot 340,1773}$$

$$\frac{d(NC_{02})}{d(STac.)} = \frac{6,8919 \cdot \exp[-(STac. - 1634,0670)/323,4314]}{1 + \exp[-(STac. - 1634,0670)/323,4314]^2 \cdot 323,4314}$$

$$\frac{d(NC_{03})}{d(STac.)} = 0,0395 \cdot 0,0016 \cdot \exp(0,0016 \cdot STac.)$$

Figura 1.(A) Definição da temperatura base inferior de emissão de cladódios com base no método da menor soma do quadrado médio do erro; (B) Taxa de aparecimento (cladódios °Cdia⁻¹) e filocrono (°Cdia cladódio⁻¹) de emissão de cladódios, considerando a temperatura base inferior igual a 20°C; (C) Evolução da emissão de cladódios por ordem de surgimento na planta (cladódios °Cdia⁻¹) e delimitação fenológica da palma forrageira (*Opuntia stricta*).

Tabela 1. Exigência térmica fenológica e anual da palma forrageira (*Opuntia stricta*).

Fase fenológica vegetativa (FV)	Início	Término	Incremento	Caracterização
FV0	> 1° Cdia	≤ 167°Cdia	167°Cdia	Fase de formação completa do primeiro cladódio de 1ª ordem
FV1	> 167°Cdia	≤ 1020°Cdia	853°Cdia	Fase em que a emissão de cladódios de 1ª ordem supera as taxas das demais ordens
FV2	> 1020°Cdia	≤ 2259°Cdia	1239°Cdia	Fase em que a emissão de cladódios de 2ª ordem supera as taxas das demais ordens
FV3 - finalização do ano produtivo	> 2259°Cdia	≤ 2767°Cdia	501°Cdia	Fase em que a emissão de cladódios de 3ª ordem supera as taxas das demais ordens
Exigência térmica anual	> 1° Cdia	≤ 2767°Cdia	2767°Cdia	Duração entre duas colheitas anuais