

ISSN 0104-1347

Avaliação da produtividade potencial de *Brachiaria ruziziensis* (Germain & Evard) em função de unidades fototérmicas

Potential productivity of *Brachiaria ruziziensis* as a function of photothermal units.

Nilson Augusto Villa Nova¹, Euro Roberto Detomini², Durval Dourado Neto³, Felipe Gustavo Pilau⁴, Carlos Guilherme Silveira Pedreira⁵

- NOTA TÉCNICA / TECHNICAL NOTE -

Resumo: Com o objetivo de propor uma metodologia para descrever a relação funcional entre produtividade potencial de *Brachiaria ruziziensis* e unidade fototérmica, que denota o efeito combinado entre a temperatura do ar e do fotoperíodo, um modelo já aplicado em capim Elefante foi ajustado utilizando dados experimentais de massa de matéria seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis* (Germain & Evard), sob irrigação, de Jaboticabal, SP. As variáveis de entrada foram: latitude, dia da desfolha, duração do ciclo da cultura e temperatura máxima e mínima do ar. Em função dos resultados obtidos, verificou-se que o modelo pode ser utilizado para caracterizar a ordem de grandeza da produtividade potencial (sem deficiência hídrica e/ou nutricional) dessa forragem específica.

Palavras chaves: fitomassa, forragem, clima, modelagem.

Abstract: The aim of this study was to propose a method to describe the functional relationship between potential productivity of *Brachiaria ruziziensis* and the photothermic index, which denotes the interaction of air temperature and photoperiod. A model already employed for a forage crop (Elephant grass, cv. Napier) was adjusted using experimental data (*Brachiaria ruziziensis* shoot dry matter under irrigation) obtained in Jaboticabal, state of São Paulo, Brazil. The input variables were: latitude, cutting date, crop cycle duration and maximum and minimum air temperature. The results allowed verify that the proposed model can be used to characterize the magnitude order of the potential productivity (with no water and/or nutritional stresses) of this specific forage.

Key-words: phytomass, forage, climate, modeling.

Introdução

Durante a fase vegetativa, em condições nutricionais ótimas e sem deficiência hídrica, assume-se que a produtividade potencial da massa seca (produção por unidade de área) é dependente da temperatura do ar e da disponibilidade de energia

(a qual pode ser estimada por intermédio do número de horas de insolação).

A radiação solar e a temperatura desempenham papéis diferentes do ponto de vista fisiológico. A radiação solar funciona como a fonte de energia que será convertida em biomassa vegetal

¹ Professor Associado Aposentado, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP. 13418-900. Bolsista CNPq.

² Engenheiro Agrônomo, M.Sc. Doutorando em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP, Piracicaba-SP. 13418-900.

³ Professor Associado, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP. 13418-900. Bolsista CNPq.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Física do Ambiente Agrícola, ESALQ/USP. 13418-900.

⁵ Professor Associado, Departamento de Zootecnia, ESALQ/USP, Piracicaba-SP. 13418-900. Bolsista CNPq.

(HEEMST, 1986), ao passo que a temperatura está associada à eficiência dos processos metabólicos envolvidos nessa conversão, pelo fato de alterar a plasticidade de diversas enzimas da planta (BONHOMME, 2000). A conformação da enzima é um passo essencial à reação na qual ela irá participar: (i) sob baixas temperaturas, as enzimas não se tornam aptas às mudanças de conformação requeridas pela reação; e (ii) sob altas temperaturas, as enzimas coagulam e uma nova estrutura é formada, mas é incapaz de catalisar a reação. A curva de ação da temperatura nessas enzimas apresenta então duas etapas: (a) uma tendência inicial crescente, onde a ativação térmica das moléculas melhora a eficiência das reações; e (b) uma tendência posterior decrescente, em que altas temperaturas inativam progressivamente as enzimas (BONHOMME, 2000).

Em função disso, define-se uma faixa de crescimento e desenvolvimento de uma planta, cujos limites representam as temperaturas basais, superior (T_{b_s}) e inferior (T_{b_i}). É nesse intervalo que se baseia o conceito de graus-dia, definida pela primeira vez por Reaumur, citado por BONHOMME (2000). Os "graus-dia" ou "soma térmica" estabelecem uma relação entre a temperatura do ar e a taxa de acúmulo de fitomassa na fase vegetativa das plantas. Embora exista uma não-linearidade entre as variáveis referentes aos diversos processos biológicos (YIN et al., 1995; BONHOMME, 2000). O conceito de graus-dia aplica-se a situações em que outras variáveis que afetam o crescimento e o desenvolvimento não são restritivos.

O conceito de graus-dia tem sido extensivamente usado para estimativa da duração de subperíodos e do ciclo fenológico de culturas. VILLA NOVA (1983) et al. utilizaram um índice que leva em conta a ação combinada da temperatura do ar e do fotoperíodo na produção de matéria seca de cana-de-açúcar, índice esse denominado pelos autores de "unidades fototérmicas". Ele foi usado posteriormente por LEMOS et al. (1997) para estimar o crescimento de gemas de *Hevea* e por VILLA NOVA et al. (1999) em modelo para estimar a produtividade do capim Elefante em função da temperatura do ar, do fotoperíodo e da freqüência de desfolha. A temperatura do ar, a radiação solar global incidente, o fotoperíodo e a umidade do solo são considerados os principais determinantes ambientais que condicionam as variáveis estacionais de produção de forragem (EAGLES &

WILSON, 1982; KORTE et al., 1987). Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo propor um modelo capaz de estimar a variação temporal (ao longo de um ciclo vegetativo de rebrota) da produtividade potencial de fitomassa seca da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis* em condições de irrigação, com uso de unidades fototérmicas, conforme metodologia empregada por VILLA NOVA et al. (1999) em capim elefante.

Material e Métodos

A determinação da temperatura basal inferior (T_{b_i}) é possível quando se dispõe de valores de produtividade potencial de fitomassa obtida a partir de uma amplitude de variação de temperatura, e quando não existir limitação de outros fatores, tais como estresse hídrico e nutricional, e fotoperíodo inadequado (BONHOMME, 2000).

Para determinação da unidade fototérmica ($^{\circ}\text{C}.\text{dia}$), tem-se que (VILLA NOVA et al., 1999):

$$UF = \frac{\frac{n}{2} \cdot (GD)}{\left(\frac{N_f}{N_i} + 1 \right)} \quad (1)$$

em que N_i e N_f se referem ao fotoperíodo (horas) calculado, em função da declinação solar (dependente do dia do ano) e da latitude local, no dia de corte e no dia final do subperíodo vegetativo, respectivamente; n ao número necessário de dias para que ocorra o acúmulo de massa de matéria seca; e GD ao número de graus-dias ($^{\circ}\text{C}.\text{dia}^{-1}$).

Na escala diária, para a maioria dos casos no Brasil, o número de graus-dia acumulado (GD , $^{\circ}\text{C}.\text{dia}$) pode assim ser determinado, sendo T_{max} e T_{min} as temperaturas máxima e mínima do dia e T_{bs} e T_{bi} as temperaturas base superior e inferior, respectivamente:

$$GD = \frac{(T_{\text{max}} - T_{\text{bi}})^2}{2(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})} \quad (2)$$

Se $T_{\text{bs}} > T_{\text{max}}$ e $T_{\text{bi}} > T_{\text{min}}$

$$GD = \frac{(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})}{2} + T_{\text{min}} - T_{\text{bi}} \quad (3)$$

Se $T_{\text{bs}} > T_{\text{min}}$ e $T_{\text{bi}} < T_{\text{min}}$

Se $T_{bs} < T_{max}$, será aplicada uma correção C nas equações (2) e (3)

$$C = \frac{(T_{max} - T_{bs})^2}{2(T_{max} - T_{min})}$$

Assumindo que a unidade fototérmica está correlacionada com o potencial de acúmulo de fitomassa seca da parte aérea da cultura (VILLA NOVA et al., 1999), pode-se estabelecer previamente algumas condições (Tabela 1) a serem verificadas, em função do conhecimento prévio do fenômeno, para que seja posteriormente definido o modelo descritor.

Dessa maneira, a unidade fototérmica estabelece uma relação entre temperatura do ar, fotoperíodo e

acúmulo de fitomassa durante a fase vegetativa de *Brachiaria ruziziensis* (YIN et al., 1995; BONHOMME, 2000). Para estimar a temperatura basal inferior, assumiu-se que:

$$\frac{n_j \cdot (GD_j)^{\left(\frac{N_f-1}{N_i}\right)_j}}{\frac{\left(\frac{N_f}{N_i}+1\right)}{UF_j}^{\left(\frac{N_f-1}{N_i}\right)_j}} = \frac{P_j}{UF_k} \quad (4)$$

$$\frac{n_k \cdot (GD_k)^{\left(\frac{N_f-1}{N_i}\right)_k}}{\frac{\left(\frac{N_f}{N_i}+1\right)}{UF_k}^{\left(\frac{N_f-1}{N_i}\right)_k}} = \frac{P_k}{UF_j}$$

em que P_j e P_k se referem às produtividades observadas nos respectivos número de dias (n_j e n_k) necessários para que ocorram esses acúmulos

Tabela 1. Condições necessárias para definição do modelo descritor referentes à relação funcional entre produtividade de fitomassa seca da parte aérea da cultura de *Brachiaria ruziziensis* (P , kg.ha⁻¹) e unidade fototérmica (UF, °C.dia).

Condição	Restrição	Critério	Descrição
1	$UF = 0$	$P = P_{ini}$	No dia do corte (início do subperíodo vegetativo) ($UF=0$), há um valor inicial (P_{ini} , kg.ha ⁻¹) de fitomassa seca da parte aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> .
2	$UF = UF_{max}$	$\lim_{UF \rightarrow \infty} P = P_{max}$	No dia final do subperíodo vegetativo ($UF=UF_{max}$), a produção de fitomassa seca da parte aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> atinge um valor máximo (P_{max} , kg.ha ⁻¹).
3	$UF = UF_c$ $0 < UF_c < UF_{max}$	$\frac{d^2 P}{dUF^2} = 0$	A máxima taxa de crescimento, referente à produção de fitomassa seca da parte aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> , ocorre durante o subperíodo vegetativo.
4	$0 < UF < UF_{max}$	$\frac{dP}{dUF} > 0$	Durante todo subperíodo vegetativo, a taxa de crescimento, referente à produção de fitomassa seca da parte aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> , é sempre positiva.
5	$0 < UF < UF_c$	$\frac{d^2 P}{dUF^2} > 0$	Durante a primeira fase do subperíodo vegetativo ($0 < UF < UF_c$), a taxa de crescimento, referente à produção de fitomassa seca da parte aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> , é sempre crescente (aceleração positiva)
6	$UF_c < UF < UF_{max}$	$\frac{d^2 P}{dUF^2} < 0$	Durante a segunda fase do subperíodo vegetativo ($UF_c < UF < UF_{max}$), a taxa de crescimento, referente à produção de fitomassa seca da parte aérea de <i>Brachiaria ruziziensis</i> , é sempre decrescente (aceleração negativa)

de fitomassa seca de parte aérea, que por sua vez estão relacionadas às temperaturas médias (T_{med_j} e T_{med_k} , °C) ao longo dos respectivos ciclos (j e k).

Para testar o modelo, foram utilizados dados de produtividade de fitomassa seca de parte aérea do capim *Brachiaria ruziziensis* obtidos de um experimento irrigado, conduzido por RODRIGUES et al. (1992) em Jaboticabal (SP), no período compreendido entre Dezembro de 1989 a Abril de 1990. As avaliações foram feitas aos 28, 42, 56, 70 e 84 dias após o corte, o qual foi feito a uma altura de 0,15 m em relação à superfície do solo.

A temperatura basal inferior é bastante variável para as espécies C_4 , inclusive entre as próprias folhas do dossel de um mesmo genótipo. Entretanto, em modelagem, faz-se necessário

definir a ordem de grandeza do valor a ser utilizado (DOURADO NETO et al., 1998). Espécies de clima temperado normalmente apresentam valores de T_{bi} mais baixos. Para a temperatura basal superior, é usual assumir, para as forrageiras tropicais C_4 , um valor equivalente a 30°C.

Para o caso específico de Jaboticabal, SP (Tabela 2), aplicando-se a metodologia descrita para as épocas 3, 4 e 5 referentes à produção de fitomassa seca de parte aérea, gera-se uma função referente à variável T_{bi} , já que os outros valores podem ser obtidos por dados observados a campo, tal como fizeram VILLA NOVA et al. (1999) e MEDEIROS et al. (2002). Sendo assim, a temperatura basal inferior de uma poácea forrageira (T_{bi}) é aquela que satisfaz a expressão 4. Portanto, tem-se que:

$$f(T_{bi}) = n_k \cdot P_j \left(\frac{Nf}{Ni} + 1 \right)_j \left(T_{med_k} - T_{bi} - C_k \right)^{\left(\frac{Nf+1}{Ni} \right)_k} - n_j \cdot P_k \left(\frac{Nf}{Ni} + 1 \right)_k \left(T_{med_j} - T_{bi} - C_j \right)^{\left(\frac{Nf+1}{Ni} \right)_j} \quad (5)$$

$$\text{em que } C_j = \frac{(T_{max_j} - T_{bs})^2}{2 \cdot (T_{max_j} - T_{min_j})} \text{ e } C_k = \frac{(T_{max_k} - T_{bs})^2}{2 \cdot (T_{max_k} - T_{min_k})}. \text{ Sendo assim, } T_{bi} \text{ pode ser determinado}$$

utilizando o método iterativo de Newton-Raphson:

$$T_{bi\ m+1} = T_{bi\ m} - \left[\frac{f(T_{bi\ m})}{f'(T_{bi\ m})} \right] \quad (6)$$

em que m refere-se ao mesmo número de iterações e

$$f'(T_{bi}) = \left[n_j \cdot P_k \left(T_{med_j} - T_{bi} - C_j \right)^{\left(\frac{Nf+1}{Ni} \right)_j - 1} - n_k \cdot P_j \left(T_{med_k} - T_{bi} - C_k \right)^{\left(\frac{Nf+1}{Ni} \right)_k - 1} \right] \left(\frac{Nf}{Ni} + 1 \right)_j \left(\frac{Nf}{Ni} + 1 \right)_k \quad (7)$$

Para um fotoperíodo de 13 horas no dia do início da rebrota, obteve-se um valor aproximado de $T_{bi} = 15^\circ\text{C}$, satisfazendo a condição imposta na equação 4 (utilizando o método iterativo de Newton-Raphson – expressões 5 e 6).

Para obtenção do modelo descritor, fazendo

$$P_{ini} = \frac{a}{\left[1 + e^{\frac{b}{c}}\right]} \quad (\text{condição 1}), \quad P_{max} = a \quad (\text{condição 2})$$

e $UF_c = c$ (condição 3), tem-se que

$$P = \frac{a}{\left[1 + e^{\frac{-(UF-b)}{c}}\right]} \quad (8)$$

em que P se refere à produtividade (kg.ha^{-1}) potencial de fitomassa de *Brachiaria ruziziensis*; UF à unidade fototérmica ($^\circ\text{C}.dia$) correspondente ao período de interesse; ‘ a ’, ‘ b ’ e ‘ c ’ aos parâmetros empíricos determinados através de análise de regressão não linear. A expressão 9 atende a todas as restrições impostas (Tabela 1).

Resultados e Discussão

Os valores dos parâmetros empíricos da equação 9 foram: $a = 4490,8943$; $b = 24982,246$ e $c = 4206,7734$. Os valores das unidades fototérmicas calculadas, assim como as produtividades observadas (P , kg.ha^{-1}) são apresentadas na Tabela 2. Em função das observações experimentais, a relação funcional entre P e UF é demonstrada na Figura 1 uma curva

biológica característica (sigmóide), que apresenta alta correlação entre P e UF ($r^2 = 0,9836$). Além do modelo descritor ter sido significativo, ao nível de significância de 5%, pelo Teste F, verificou-se que todos os parâmetros são estatisticamente diferentes de zero, com base no intervalo de confiança (95% de probabilidade).

Diante de experimentos conduzidos a campo e em condições ótimas de suprimento hídrico e de nutrientes (RODRIGUES et al., 1992), bem como de população de plantas, a obtenção de dados de fitomassa seca de parte aérea e de temperaturas do ar (máximas e mínimas) permite confrontar os valores observados desses experimentos aos valores estimados pelo modelo, o que viria a reforçar sua possibilidade de uso nos diversos locais do Brasil, em qualquer época do ano. Ressalta-se que esse desempenho da metodologia proposta já foi observada por VILLA NOVA et al. (1999) para a previsão da produtividade do capim Elefante cv. Napier, sob condições irrigadas.

O modelo é aplicável à estimativa da produtividade potencial de *Brachiaria ruziziensis*, principalmente em condições não restritivas de radiação solar incidente (conforme normalmente ocorre, no Brasil), já que essa conversão da luz solar em biomassa vegetal é realizada de maneira mais eficaz, nessas condições.

Considerações Finais

A alta correlação entre produtividade potencial e unidade fototérmica possibilita estimar, com boa precisão, a produção de fitomassa seca de parte aérea para cada ciclo de rebrota de *Brachiaria ruziziensis* em um determinado local (em função da

Tabela 2. Valores de temperatura mínima (T_{min} , $^\circ\text{C}$) e máxima (T_{max} , $^\circ\text{C}$) do ar, de fotoperíodo final (N_f , h.dia^{-1}) de unidades fototérmicas (UF) e de produtividades observadas de fitomassa seca de parte aérea de capim *Brachiaria ruziziensis* (P , kg.ha^{-1}) ocorrentes em cada época com período de duração de n dias, utilizando fotoperíodo inicial (N_i , h.dia^{-1}) de 13 horas no dia do início da rebrota e temperatura basal (T_{bi} , $^\circ\text{C}$) inferior de 15°C . Jaboticabal (SP), 1999.

Período	n (dias)	T_{max} ($^\circ\text{C}$)	T_{min} ($^\circ\text{C}$)	N_f (h.dia^{-1})	UF ($^\circ\text{C}.dia$)	P (kg.ha^{-1})
1	28	34,4	18,2	12,503	9450,24	187,30
2	42	34,6	18,0	12,218	18666,49	645,54
3	56	34,9	16,9	11,927	26840,16	2939,78
4	70	34,3	17,0	11,641	34806,84	3748,13
5	84	34,0	16,8	11,369	43569,08	4659,98

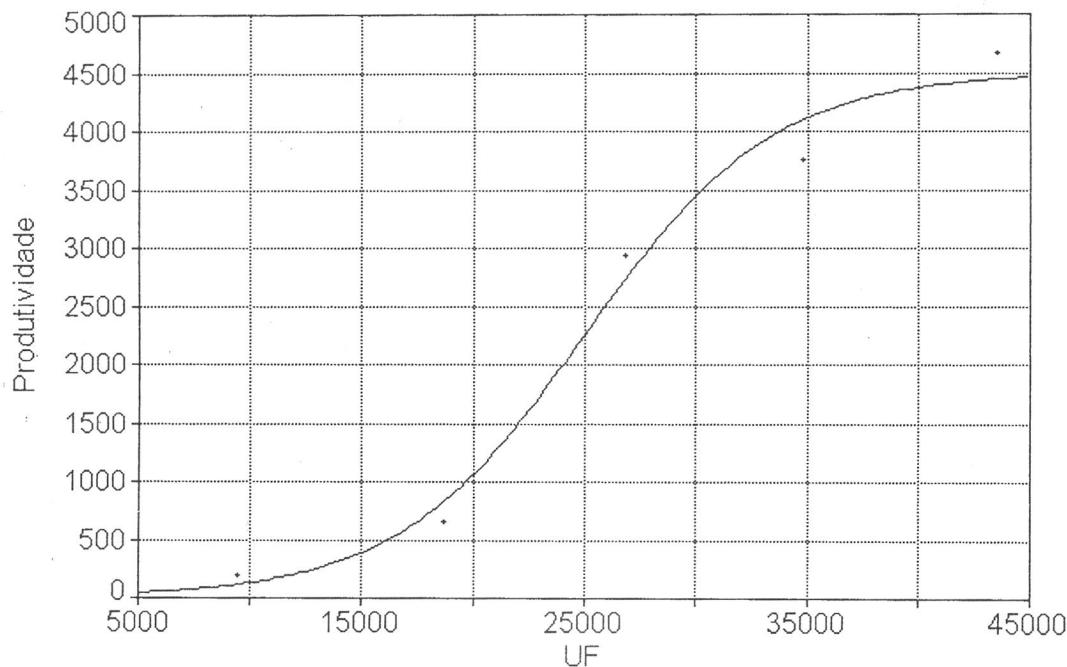


Figura 1. Variação temporal do acúmulo de fitomassa seca de parte aérea de *Brachiaria ruziziensis* (P , $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em função das unidades fototérmicas (UF, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{dia}$). Jaboticabal (SP), 1999.

latitude e da época), em condições irrigadas (isentas de deficiência hídrica), conhecendo-se os valores de temperatura máxima e mínima do período compreendido. Esta ferramenta torna possível avaliar a produtividade potencial estacional, permitindo nortear e balizar as intervenções de manejo, a exemplo do estudo de viabilização econômica de sistemas de irrigação para a forrageira em questão. O modelo é utilizável para estimar a produtividade potencial principalmente em locais onde não há medidas de radiação solar incidente.

Referências Bibliográficas

BONHOMME, R. Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy*, v.13, p.1-10, 2000.

DOURADO NETO, D., TERUEL, D. A., REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: III. modeling of root growth and other belowground processes, limitations of the models, and the future of modeling in agriculture

EAGLES, C.F.; WILSON, D. Photosynthetic efficiency and plant productivity. In: RECHCIGL JR., M. (Ed.). *Handbook of Agricultural Productivity*. Boca Raton, CRC Press, v.1, p.213-247.

HEEMST, H.D.J, van. Physiological principles. In: KEULEN, H. van; WOLF, J. *Modelling of agricultural production: weather soils and crops*. Wageningen, Pudoc, 1986. P.13-26.

KORTE, C.J.; CHU, A. C. P. E.; FIELD, T.R.O. Pasture production. In: NICOL, A.M. (Ed.) *Livestock fielding on pasture*. Hamilton New Zealand Society of Animal Production, cap. 10, p.7-20, 1987. (Occasional Publication n.10).

LEMOS, F°., J.P. de; VILLA NOVA, N.A.; PINTO, H.S. A model including photoperiod in degree days for estimating Hevea bud growth. *International Journal of Biometeorology*. Leiden, v.41, n.1, p.1-4.1997.

McWILLIAM, J.R. Response of pasture plants to temperature. In: WILSON I.R. (Ed.) *Plant relation*

MEDEIROS, H.R.; PEDREIRA, C.G.S. VILLA NOVA, N.A. Temperatura base de gramíneas estimadas através do conceito de unidade fototérmica. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife, 2002. **Anais (CD-Room)**. Recife: SBZ, 2002.

RODRIGUES, G.A.; RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A.; COAN, O.; MALHEIROS, E.B. Produção de matéria seca e composição química de capim *Brachiaria ruziziensis*, submetido a diferentes tipos de manejo. **Ciência Zootécnica**, v.7, n.1, p.1-4, 1992.

VILLA NOVA, N.A.; CARRETEIRO, M.V.; SCARDUA, R. Um modelo de avaliação de crescimento de cana-de-açúcar (*Sacharum Spp.*) em termos de ação combinada do fotoperíodo e da

temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1983, Campinas. **Anais...Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**. Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 1983. 386p, p.31-48.

VILLANOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.; PEREIRA, A.R. Modelo para previsão de produtividade do capim elefante em função da temperatura do ar, fotoperíodo e freqüência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, p.75-79, 1999.

YIN, X.; KROFF, M.J.; McLAREN, G; VISPERAS, R.M. A nonlinear model for crop development as function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.77, p.1-16, 1995.

Revista Brasileira de AGROMETEOROLOGIA

SOCIEDADE BRASILEIRA DE AGROMETEOROLOGIA

VOLUME 13 - NÚMERO 3 - ANO 2005

ISSN 0104 - 1347

