

# **MODELAGEM LOGÍSTICA PARA O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A DIFERENTES VAZÕES E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

S. Silva<sup>1</sup>, A. E. Q. da Rocha<sup>1</sup>, G. B. Lyra<sup>2</sup>, I. Teodoro<sup>2</sup>, J. L. de Souza<sup>2</sup>

**RESUMO:** Determinações de variáveis de crescimento, tais como, índice de área foliar e matéria seca da parte aérea, requerem métodos destrutivos, com a remoção da planta. O ajuste de modelos de crescimento permite avaliar a resposta das culturas ao ambiente e às interações com práticas culturais e estimar variáveis de crescimento. A irrigação localizada tem interesse crescente no Brasil pelo fato da maior economia de água, entre outros fatores. Objetivou-se avaliar o ajuste do modelo logístico à variável de crescimento altura do dossel, além da produtividade da cana-de-açúcar, em função dos dias após o plantio, sob diferentes vazões e lâminas de irrigação por gotejamento. O trabalho foi desenvolvido na Usina Industrial Porto Rico, Campo Alegre-AL, no período de janeiro a agosto de 2007, em uma área de 3,68 ha plantados com cana-de-açúcar. As análises de ajuste do modelo logístico mostraram conformações significativas, com coeficiente de regressão superior a 0,99 e coeficiente de concordância de Willmott maior que 0,99, o que indica a viabilidade de utilização desse modelo. Ao se aumentar a lâmina de irrigação para a vazão de 1,0 L/h, a produtividade e o crescimento aumentam. Esse processo ocorre ao inverso para a vazão de 0,6 L/h, em que a maior produtividade e o maior crescimento são obtidos pela menor lâmina aplicada.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Saccharum officinarum* L., altura do dossel e modelo matemático.

## **LOGISTICS MODELING FOR GROWTH AND PRODUCTIVITY OF SUGARCANE SUBMITTED TO DIFFERENT FLOW AND BLADES OF DRIP IRRIGATION**

### **SUMMARY**

---

<sup>1</sup>Graduando em Agronomia na Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, CEP 57.100-000, BR 101-Norte Km 85, Rio Largo, AL. Fone (82) 96333893. E-mail: sam\_capela@hotmail.com.

<sup>2</sup>Professor da Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, AL.

The determination of growth parameters such as leaf area index and shoot dry matter require destructive methods and plant removal. The adjustment of the growth models allows to evaluate the response of crops to the environment and to the interactions with cultural practices, and also to estimate growth variables. The irrigation has increased interest in Brazil because of greater water savings, among other factors. The objective of the present work was to evaluate the fit of the logistic model to the growth variable canopy height, and productivity sugar cane, depending on the day after planting under different flow rates and irrigation drip. The study was conducted in Porto Rico Plant, AL, Campo Alegre, in the period from January to August 2007 in an area of 3.68 ha planted with cane sugar. The analysis of the logistic model adjustment showed significant conformations, with regression coefficient greater than 0.99 and coefficient of agreement Willmott greater than 0.99, which indicates the feasibility of using this model. By increasing the irrigation flow to 1.0 L/h, increase productivity and growth. This process occurs in reverse to the flow rate of 0.6 L/h, where the higher productivity and stronger growth are obtained by the lower blade applied.

**KEYWORDS:** *Saccharum officinarum* L, canopy height and mathematical model.

## INTRODUÇÃO

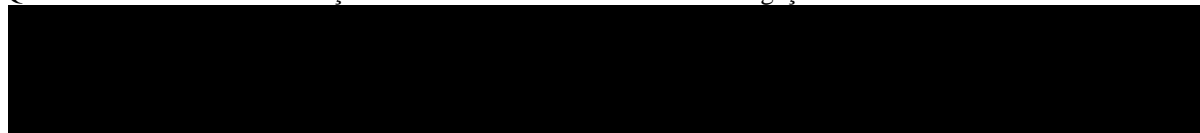
A análise de crescimento é tida como método-padrão para medir a produtividade de uma cultura agrícola (MAGALHÃES, 1979). Modelar os processos de crescimento e desenvolvimento vegetal significa realizar uma síntese dos mecanismos físicos e bioquímicos entre planta e o ambiente, representando-os por meio de funções matemáticas. Embora modelos mecanísticos tenham uma formulação científica (VRIES *et al.*, 1989), modelos empíricos simples fornecem informações e estimativas úteis, particularmente se forem baseados em coeficientes que permitam interpretação biológica (TEI *et al.*, 1996). O crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cana-de-açúcar, são afetados pelas condições do ambiente de cultivo e sofrem ação de práticas agrícolas, como, por exemplo, o regime hídrico utilizado (sequeiro ou irrigado). O ajuste de modelos de crescimento permite avaliar a resposta das culturas ao ambiente e às interações com práticas culturais e sistemas de produção vegetal (TEI *et al.*, 1996; LYRA *et al.*, 2003). Na agricultura irrigada, o fator

“água” deve ser otimizado para aumentar, sem maiores riscos, a utilização dos demais fatores de produção e, por consequência, obter-se maiores produtividades com melhor combinação dos insumos empregados. A cana-de-açúcar requer umidade adequada durante todo o período vegetativo para se obter rendimentos máximos, porque o crescimento vegetativo, incluindo o crescimento da cana, é diretamente proporcional à água transpirada. Dentre os métodos de irrigação da cultura da cana-de-açúcar, tem-se destacado, a irrigação localizada, principalmente, o gotejamento subsuperficial. Esse sistema apresenta inúmeras vantagens comparativas em relação aos demais, dentre elas, a redução da evaporação da água, a redução de danos mecânicos ao sistema, a menor interferência com os tratos culturais e a melhor eficiência na aplicação dos fertilizantes dissolvidos na própria água de irrigação – “*fertirrigação*”, garantindo melhor desenvolvimento, maior produção e melhor qualidade da matéria prima (DALRI & CRUZ, 2002; DALRI & CRUZ, 2008; FARIAS *et al.*, 2008; GAVA *et al.*, 2008). O objetivo do presente trabalho foi avaliar os ajustes do modelo logístico à variável de crescimento altura do dossel, além da produtividade da cana-de-açúcar, em função dos dias após o plantio, sob diferentes vazões e lâminas de irrigação por gotejamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Usina Porto Rico, Campo Alegre-AL, no período de janeiro a agosto de 2007, em uma área de 3,68 ha plantados com cana-de-açúcar. Os tratamentos consistiram de um fatorial sendo duas vazões e três lâminas de irrigação como mostra o quadro abaixo.

Quadro 1. Tratamentos em função de duas vazões e três lâminas de irrigação.



A cultura foi irrigada por gotejamento subsuperficial, com fita gotejadora de 22 mm espaçada em 1,8 metros, com gotejadores a cada 0,5 metros. Avaliações botânicas foram feitas mensalmente na experimental, em que se analisou a altura do dossel das plantas escolhidas aleatoriamente.

O modelo logístico foi utilizado para estimar o crescimento, no qual foram ajustadas as variáveis dependentes de altura do dossel em função dos dias após a emergência.

$$w = \frac{w_f}{\left[ 1 + \left( \frac{w_f}{w_o} - 1 \right) \exp(-r \text{ DAE}) \right]} \dots\dots\dots(01)$$

Em que, w (cm ou kg) é a variável de crescimento; DAE (dias) representa os dias após a emergência; wo e wf (cm) correspondem, respectivamente, ao crescimento inicial e final do ciclo da cultura; r (cm cm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) é a taxa máxima de crescimento relativo.

O ajuste dos modelos foi avaliado pelo coeficiente de regressão (R<sup>2</sup>). Para quantificar a aproximação dos dados estimados aos observados, aplicou-se o coeficiente de concordância de Willmott, representado pela letra “d” (Willmott, 1981). O coeficiente d expressa a concordância relativa entre as estimativas e os dados observados, variando de zero, que indica nulidade, a 1, que indica perfeita exatidão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

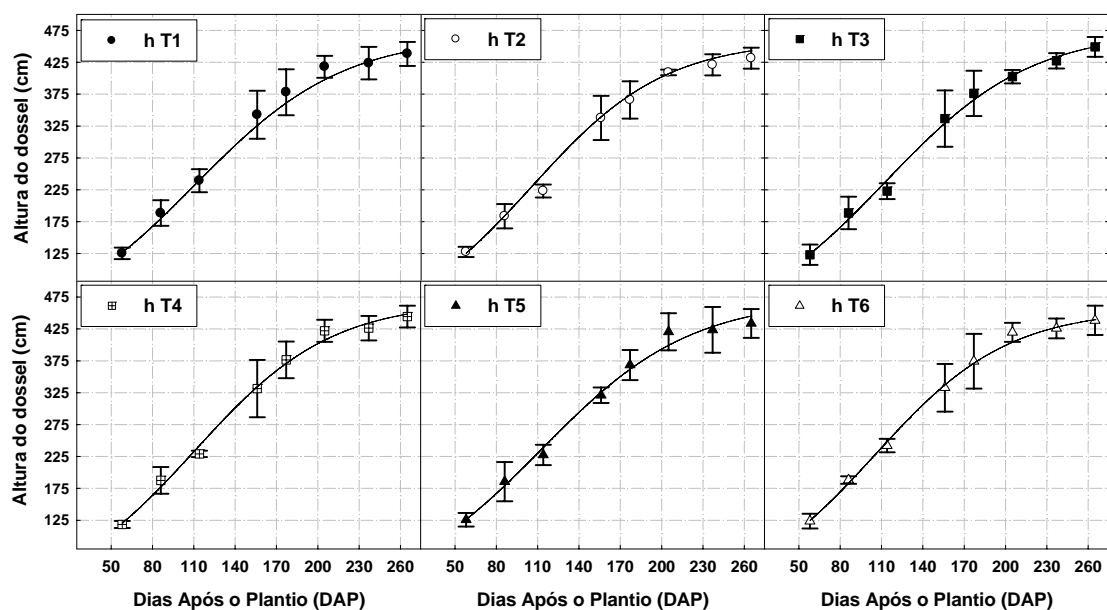
O modelo logístico apresentou ajustes estatísticos significativos (p < 0,01) para a variável altura de dossel (h) em função dos dias após a emergência (Tabela 1). Os coeficientes de regressão (R<sup>2</sup>) foram superiores a 0,99, atingindo valor máximo de 0,996. Resultado similar foi observado por TEI *et al.* (1996) para o ajuste dos modelos logístico e Gompertz à matéria seca da alface (*Lactuca sativa* L., cv. Saladin R100), cebola (*Allium cepa* L., cv. Hysam) e beterraba (*Beta vulgaris* L., cv. Moneta), cultivadas em campo, com R<sup>2</sup> > 0,98. LYRA *et al.* (2003) observaram coeficientes de regressão para os ajustes do modelo logístico à matéria seca da parte aérea de três cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico, sob condições de casa-de-vegetação, em função das variáveis independentes graus-dias acumulados e dias após o transplântio, acima de 0,99. De acordo com o modelo proposto (logístico) a taxa de crescimento máximo variou entre 0,0184 a 0,0206 cm cm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Os maiores valores da taxa máxima de crescimento relativo (r) foram obtidos nos tratamentos 2 e 6, sendo iguais entre si, com 0,0206 cm cm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Trabalhando os dados da pesquisa realizada por TEODORO (2003), no município de Rio Largo para a cultura do milho o mesmo modelo apresentou variação na taxa de crescimento de 0,06 a 0,10 cm cm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Devido a suas características matemáticas de ajuste, o modelo logístico extrapolou o valor de wf para todos os tratamentos. Isso resultou em superestimativa e as diferenças em módulo entre wf observado e ajustado foi 0,06% (T3), 0,2% (T6), 0,78% (T1), 0,84% (T4), 2,59%

(T5) e 2,7% (T2). A concordância entre os valores de altura do dossel observados e estimados foi elevada, com índice superior a 0,99 para todos os tratamentos.

**Tabela 1** - Valores estimados dos parâmetros do modelo logístico (Erro Padrão da Estimativa entre parênteses) para altura de planta, tendo como variável dias após a emergência (DAE).

Parâmetros	TRATAMENTOS		
	T 1	T 2	T 3
$w_f$	466,863**( $\pm 18,8355$ )	459,631**( $\pm 16,3579$ )	474,620**( $\pm 15,4665$ )
$w_0$	52,339**( $\pm 8,9318$ )	47,015**( $\pm 7,9021$ )	50,443**( $\pm 15,9753$ )
$r$	0,0186**( $\pm 0,0020$ )	0,0206**( $\pm 0,0029$ )	0,0189**( $\pm 0,0022$ )
$R^2_{adj}$	0,9917	0,9965	0,9907
Parâmetros	T 4		
	T 4	T 5	T 6
$w_f$	468,381**( $\pm 17,0562$ )	472,010**( $\pm 22,5388$ )	455,744**( $\pm 22,9514$ )
$w_0$	45,499**( $\pm 5,4865$ )	52,542**( $\pm 10,6783$ )	46,529**( $\pm 11,5084$ )
$r$	0,0201**( $\pm 0,0037$ )	0,0184**( $\pm 0,0037$ )	0,0206**( $\pm 0,0037$ )
$R^2_{adj}$	0,9926	0,9926	0,9965

Na Figura 1 visualiza-se o crescimento observado e estimado da cana-de-açúcar. Os tratamentos que obtiveram maiores valores observados de  $w_f$  foram T3 com 4,49 m (média de 2,0 cm dia<sup>-1</sup>) e T4 com 4,44 m (2,0 cm dia<sup>-1</sup>). Os valores intermediários foram observados em T1 que alcançou 4,38 m, crescendo em torno de 2,03 cm dia<sup>-1</sup> e T6 que também chegou a 4,38 m e cresceu por volta de 2,92 cm dia<sup>-1</sup>. Os menores valores de  $w_f$  observado foram de T2 com 4,31 m (1,99 cm dia<sup>-1</sup>) e T5 com 4,33 m (1,99 cm dia<sup>-1</sup>).



**Figura 1.** Pontos de crescimento observado e curvas de crescimento estimado pelo modelo logístico para a cana-de-açúcar, submetida a diferentes vazões e lâminas de irrigação por gotejamento.

O tratamento quatro obteve média de produtividade superior aos demais tratamentos com 11,15 TCH a mais que T6, que foi o segundo maior com 147,27 TCH (Tabela 1). O tratamento 5 aproximou-se de T6, obtendo 1,09 TCH a menos que este. O tratamento 1 foi o de menor produtividade, com 140,65 TCH, aproximando-se de T2 que teve 0,41 TCH a mais e T3 que foi maior em 0,65 TCH. Sendo assim, a lâmina de irrigação de 4,8 mm/dia promove menor produtividade com uma vazão de 1,0 L/h, porém, ao se diminuir o fluxo de água para 0,6 L/h a produtividade passa a ser a maior entre os tratamentos avaliados. Essa relação pode estar associada às características físico-químicas do solo em armazenar a água aplicada e disponibilizar para a planta em função das condições do ambiente.

**Tabela 1.** Produtividade agrícola da cana-de-açúcar expressa em toneladas de colmo por hectare (TCH) em função das vazões e lâminas de irrigação nos seis tratamentos.

Produtividade agrícola (TCH)						
Bloco	Lâminas (mm/dia) para Vazão de 1,0 L/h			Lâminas (mm/dia) para Vazão de 0,6 L/h		
	4,8 T1	7,2 T2	6,0 T3	4,8 T4	7,2 T5	6,0 T6
I	159,72	160,24	148,96	149,39	164,32	154,43
II	144,36	134,11	140,45	143,66	137,50	151,82
III	124,05	128,47	136,46	145,66	138,37	130,47
IV	134,46	141,41	139,32	194,97	144,53	152,34
Média	140,65	141,06	141,30	158,42	146,18	147,27

## CONCLUSÕES

As análises de ajuste do modelo logístico para a altura da cana-de-açúcar mostram que o modelo pode ser utilizado, independente da vazão e da lâmina de irrigação por gotejamento, com coeficiente de regressão superior a 0,99 e coeficiente de concordância de Willmott maior que 0,99, o que indica a viabilidade de utilização desse modelo.

Ao se aumentar a lâmina de irrigação para a vazão de 1,0 L/h, a produtividade e o crescimento aumentam. Esse processo ocorre ao inverso para a vazão de 0,6 L/h, em que a maior produtividade e o maior crescimento são obtidos pela menor lâmina de água aplicada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n.3, p. 516-524, 2008.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, p.29-34, 2002.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356–362, 2008.

GAVA, G.J.G.; SILVA, M.A.; CRUZ, J.C.S.; JERÔNIMO, E.M.; OLIVEIRA, M.W.; KRONTAL, Y. VERED, E.; AGUIAR, F.L.; PEDROSO, D.B. **Produtividade e atributos tecnológicos de três cultivares de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento subsuperficial**. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 9, 2008. Anais. Maceió: STAB, 2008, p. 751-755.

LYRA G. B.; ZOLNIER, S; COSTA L. C., SEDIYAMA, G. C., SEDIYAMA, M. A. N. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, p. 69-77, 2003.

MAGALHÃES, A.C.N. **Análise quantitativa do crescimento**. In: FERRI, M.G. Fisiologia Vegetal. EPU/EDUSP, São Paulo. 1979. v. 1, p. 331-350.

TEI, F.; SCAIFE, A.; AIKMAN, D. P. **Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth, Light Interception, and Radiation Use Efficiency**. Annals of Botany, London, v. 78, n. 5, p. 633-643, 1996.

TEODORO, I. **Avaliação energética e hídrica no desenvolvimento da cultura do milho irrigado, na região de Rio Largo – AL**. 2003. 108f. Dissertação (Mestrado em meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2003.

VRIES, F. W. T. P. de; JANSEN, D. M.; TEN BERGE, H. F. M.; BAKEMA, A. **Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops**. Pudoc: Wageningen, 1989. 271p. (Simulation Monographs, 29).

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Delaware, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.