

Modelos não lineares para manjerona em cultivo sem solo

Jéssica Maronez de Souza¹, Alberto Cargnelutti Filho², Marlon Adonai Gregory Weschenfelder³,
Darcila Pereira Camargo⁴, Felipe Manfio Somavilla⁵

1. Introdução

A manjerona (*Origanum majorana* L.) é uma planta herbácea perene, pertencente à família Lamiaceae (VAZ & JORGE, 2007). É uma espécie condimentar e medicinal com importância no mercado brasileiro, sendo alternativa de renda para a agricultura familiar (CORRÊA JUNIOR & SCHEFFER, 2009).

Em estudos realizados em outras espécies condimentares e medicinais foram observadas diferentes respostas das plantas aos intervalos de colheita, influenciadas por fatores como estágio fenológico, condições climáticas e sistema de cultivo (MAY et al., 2008; MAY et al., 2010; CHAGAS et al., 2013). Com isso, percebe-se a importância de estudar o comportamento de cada espécie para determinado tipo de manejo, a fim de ampliar o conhecimento na área, facilitando a programação do cultivo, visando maiores produtividades.

Ajustar um modelo de crescimento a determinada cultura permite avaliar a resposta das plantas ao manejo e/ou condição climática em que se encontra e, com isso, permite a projeção do comportamento dessas plantas quando submetidas à determinada condição (LYRA et al., 2008).

Em geral, modelos de regressão não-lineares permitem representar de forma mais adequada processos de cultivo em relação aos modelos lineares, pois normalmente podem ser facilmente interpretados, pois possuem menos parâmetros, os quais apresentam interpretação biológica (ARCHONTOULIS & MIGUEZ, 2015).

Os objetivos desse trabalho foram ajustar e comparar modelos de regressão não linear para a massa de matéria fresca de folhas de manjerona em intervalos de colheita, em função dos dias após o transplante.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido no interior de um abrigo de 115 m² tipo guarda-chuva, coberto com polietileno aditivado anti-UV de 150 µm de espessura, localizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria.

As mudas de manjerona (*Origanum marjorana* L.) foram obtidas em uma Agropecuária da região e transplantadas para vasos de polietileno de três dm³ preenchidos com substrato comercial (MaxPlant), no dia 28 de dezembro de 2017. Os vasos foram dispostos sobre bancadas de 1,10 m de largura e 4 m de comprimento e altura de 80 cm do piso de concreto. Foram utilizadas duas bancadas com 40 vasos cada uma. A irrigação e a fertirrigação foram realizadas por meio de fitas gotejadoras, posicionadas na parte superior dos vasos, com um gotejador por planta. A solução nutritiva foi preparada e armazenada em caixas de polipropileno de 500 L, localizadas no exterior do abrigo, e fornecida às plantas por meio de uma motobomba controlada por um programador horário.

¹ Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: jessica_maronez@hotmail.com (Bolsista Capes)

² Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: alberto.cargnelutti.filho@gmail.com. Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1A-CNPq - Processo: 304652/2017-2

³ Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: marlonweschenfelder6@gmail.com (Bolsista PIBITI/CNPq/UFSM)

⁴ Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: darcilapc16@gmail.com (Bolsista FIT-BIT-UFSM)

⁵ Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: felipe-somavilla@hotmail.com (Bolsista PIBIC/CNPq/UFSM)

Foram realizados quatro tratamentos, sendo eles os intervalos entre colheitas de 30, 45, 60 e 72 dias após o transplante. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, onde cada repetição equivale a uma planta. Foram realizadas ao todo 11 colheitas no intervalo de 30 dias, 7 colheitas no intervalo de 45 dias, 5 colheitas no intervalo de 60 dias e 4 colheitas no intervalo de 72 dias.

As colheitas foram realizadas a uma altura de sete cm da base da planta, a fim de permitir o rebrote dos ramos. Foi determinada a massa de matéria fresca de folhas (MF), em g planta⁻¹, em cada colheita e esses valores foram somados a fim de obter a produção acumulada por planta, ao longo dos dias após o transplante (DAT).

Foram ajustados os modelos de Gompertz e Logístico para a variável dependente (massa de matéria fresca de folhas) em função da variável independente (dias após o transplante). Os modelos de Gompertz e Logístico foram dados pelas equações 1 e 2, respectivamente.

$$Y_i = a * e^{(-e^{(b-c*x_i)})} \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{a}{1+e^{(-b-c*x_i)}} \quad (2)$$

Em que: Y_i = observação na variável dependente (massa de matéria fresca de folhas); X_i = representa a variável independente (dias após o transplante); a é o valor assintótico; b é o parâmetro de locação, sem interpretação prática, mas com importância de manutenção do formato sigmoide do modelo; c é o associado ao crescimento, indica a taxa de crescimento da planta (quanto maior o valor de c , menor o tempo necessário para a planta atingir o valor assintótico).

A qualidade do ajuste dos modelos foi verificada por meio dos avaliadores de qualidade de ajuste coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e critério de informação de Akaike (AIC), obtidos, respectivamente, pelas equações 3 e 4.

$$R^2_{aj} = 1 - \left[\frac{(n-i)(1-R^2)}{n-p} \right] \quad (3)$$

$$AIC = \ln(\sigma^2) + \frac{2(p+1)}{n} \quad (4)$$

Em que n é o número de observações e p é o número de parâmetros. Também foram determinadas a não linearidade de efeito de parâmetro (PE) e a não linearidade intrínseca (IN). O ajuste dos modelos foi realizado com auxílio dos softwares R e aplicativo Excel, utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários e o método iterativo de Gauss-Newton.

3. Resultados e Discussão

As estimativas dos parâmetros para os modelos de Gompertz e Logístico e seus respectivos intervalos de confiança estão apresentados na Tabela 1. Observou-se super estimativa do parâmetro a no modelo de Gompertz, o que não ocorre no modelo Logístico, que apresenta os valores do peso assintótico (valor máximo esperado) mais próximos dos observados. Pode-se verificar maior valor no intervalo de 45 dias, indicando maior produção acumulada nesse tratamento.

A superestimação de parâmetros pelo modelo de Gompertz também foi verificada por Lyra et al. (2003), na modelagem do crescimento de alface. Esse fato pode ser prejudicial a interpretação dos resultados obtidos na modelagem e as respectivas conclusões, visto que o modelo em questão apresenta parâmetros biologicamente interpretáveis.

O parâmetro c está associado à taxa de crescimento e quanto maior o valor, menor o tempo necessário para a planta atingir o valor assintótico. Nesse caso, verificou-se maiores valores estimados pelo modelo Logístico em relação ao de Gompertz, o que foi observado no intervalo de 72 dias, indicando que nesse tratamento a planta atinge a máxima produção em menos tempo que nos demais.

Tabela 1. Parâmetros e intervalo de confiança dos parâmetros dos modelos de Gompertz e Logístico para massa de matéria fresca de folhas (g planta⁻¹) de manjerona nos intervalos de colheita de 30, 45, 60 e 72 dias.

Intervalos	Parâmetros	Modelos					
		Gompertz			Logístico		
		Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS
30	<i>a</i>	425,3964	329,7300	521,0607	387,9565	325,7055	450,2075
	<i>b</i>	0,8905	0,6908	1,0901	- 1,8581	-2,2207	-1,4954
	<i>c</i>	0,0079	0,0046	0,0111	0,0126	0,0086	0,0167
45	<i>a</i>	932,0101	135,2087	1728,8110	730,3237	357,2557	1103,3920
	<i>b</i>	0,9939	0,8015	1,1863	-2,0950	-2,5028	-1,6871
	<i>c</i>	0,0050	0,0006	0,0093	0,0099	0,0047	0,0151
60	<i>a</i>	731,7478	285,2871	1178,2080	641,7514	397,9077	885,5950
	<i>b</i>	0,9486	0,5259	1,3712	-1,9815	-2,7567	-1,2062
	<i>c</i>	0,0076	0,0000	0,0151	0,0130	0,0039	0,0220
72	<i>a</i>	804,1650	376,9340	1231,9600	652,1123	441,7709	862,4537
	<i>b</i>	1,2158	0,9759	1,4557	-2,5339	-3,0217	-2,0460
	<i>c</i>	0,0070	0,0026	0,0113	0,0133	0,0077	0,0189

Os intervalos de colheita foram comparados pelo critério de sobreposição dos intervalos de confiança das estimativas dos parâmetros. Para o parâmetro *a*, verificou-se diferenças significativas entre os intervalos de colheita de 30 e 60 e 30 e 72 apenas para o modelo Logístico, onde os maiores valores foram observados nos intervalos de 60 e 72 dias, em relação ao intervalo de colheita de 30 dias (Tabela 2).

Para o parâmetro *b* foi verificada diferença significativa apenas entre os intervalos de 30 e 72 dias. Já para o parâmetro *c*, que indica a taxa de crescimento das plantas, não foram verificadas diferenças significativas em nenhum dos modelos.

As diferenças observadas entre os intervalos são esperadas, pois segundo Zawislak e Dzida (2010), o período de colheita influencia a produção de biomassa da manjerona. May et al. (2010) verificaram maior acúmulo de massa de matéria seca de parte aérea de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) em maiores intervalos de corte. O mesmo foi observado por May et al. (2008) para a espécie de *Cymbopogon flexuosus* (capim-limão). De acordo com May et al. (2010), a colheita em intervalos mais curtos proporciona menor período de recuperação da planta, o que pode diminuir sua produtividade.

Os avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos mostraram valores adequados (Tabela 3), indicando bom ajuste dos modelos, o que também pode ser observado nas Figuras 1 e 2, onde estão apresentadas as curvas de ajuste dos modelos.

Para o coeficiente de determinação ajustado, os maiores valores foram observados no intervalo de colheita de 72 dias, para ambos os modelos (0,8873 e 0,8790), o que indica melhor ajuste dos modelos para esse tratamento. Os menores valores de AIC foram observados no intervalo de colheita 30 dias. Os valores desejáveis de PE e IN são, respectivamente, < 1,0 e < 0,3. Quanto mais baixos esses valores, melhor a aproximação do modelo ao linear. Pode-se observar que os melhores de valores de IN foram obtidos no modelo de Gompertz, principalmente para o intervalo de 72 dias (0,0892). Os melhores valores de PE foram verificados no modelo Logístico, principalmente no intervalo de 30 dias (1,7601).

O coeficiente de determinação ajustado também foi utilizado por Terra, Muniz e Savian (2010) para comparar o ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos de tamareira-anã. O critério de informação de Akaike foi utilizado para avaliar o ajuste dos modelos de Gompertz e Logístico

aos dados produtivos de crotalária juncea (BEM et al., 2018) e aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde (PRADO; SAVIAN; MUNIZ, 2013).

Tabela 2. Comparação dos intervalos de colheita por meio do intervalo de confiança dos parâmetros do modelo Logístico para massa de matéria fresca de folhas (g planta^{-1}) de manjerona.

Comparações dos Intervalos de colheita		Modelos	
		Gompertz	Logístico
		<i>a</i>	
30	45	ns	ns
30	60	ns	*
30	72	ns	*
45	60	ns	ns
45	72	ns	ns
60	72	ns	ns
		<i>b</i>	
30	45	ns	ns
30	60	ns	ns
30	72	*	*
45	60	ns	ns
45	72	ns	ns
60	72	ns	ns
		<i>c</i>	
30	45	ns	ns
30	60	ns	ns
30	72	ns	ns
45	60	ns	ns
45	72	ns	ns
60	72	ns	ns

Tabela 3. Avaliadores de qualidade do ajuste do modelo Logístico para massa de matéria fresca de folhas (g planta^{-1}) de manjerona nos intervalos de colheita de 30, 45, 60 e 72 dias.

Intervalo de colheita	Modelo	Avaliadores			
		R ² aj	AIC	PE	IN
30	Gompertz	0,8873	7,2460	3,0450	0,1009
	Logístico	0,8790	7,3169	1,7601	0,1264
45	Gompertz	0,8691	8,3142	19,1097	0,1234
	Logístico	0,8638	8,3526	7,5317	0,1467
60	Gompertz	0,8883	8,0506	12,0166	0,2346
	Logístico	0,8844	8,0841	5,6430	0,2798
72	Gompertz	0,9468	7,6101	10,3154	0,0892
	Logístico	0,9409	7,7157	4,4038	0,0916

R²aj: coeficiente de determinação ajustado; AIC: Critério de Informação de Akaike; PE: Não linearidade de efeito de parâmetro; IN: Não linearidade intrínseca.

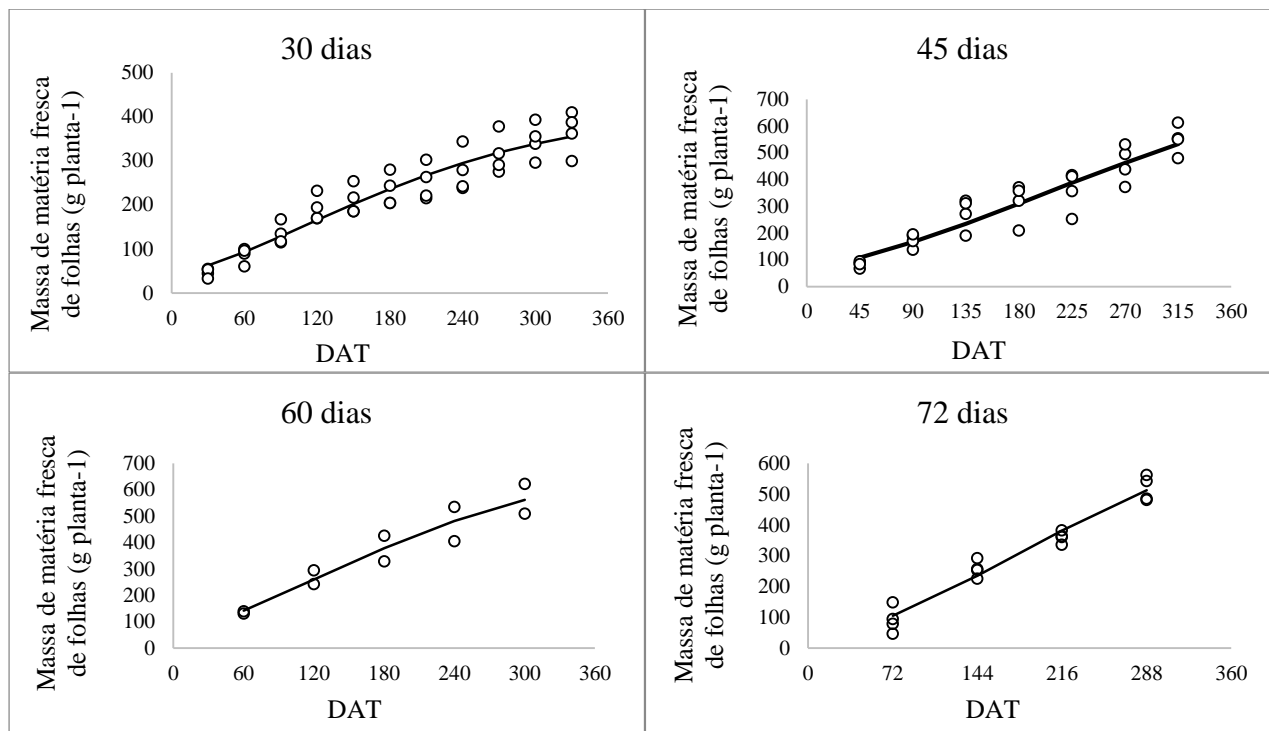


Figura 1. Ajuste do modelo de Gompertz aos dados de massa de matéria fresca de folhas (g planta⁻¹) de manjerona, nos intervalos de colheita de 30, 45, 60 e 72 dias, em função dos dias após o transplante (DAT).

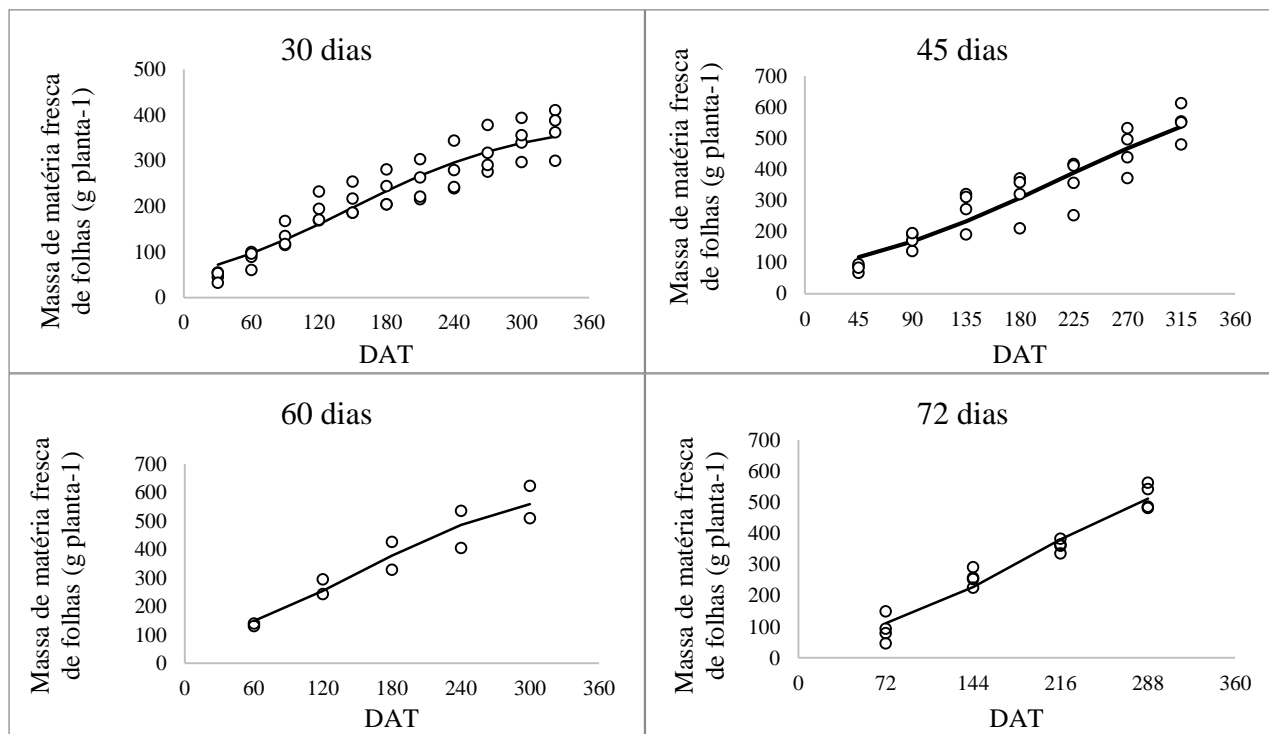


Figura 2. Ajuste do modelo Logístico aos dados de massa de matéria fresca de folhas (g planta⁻¹) de manjerona, nos intervalos de colheita de 30, 45, 60 e 72 dias, em função dos dias após o transplante (DAT).

4. Conclusões

Os avaliadores da qualidade de ajuste indicam bom ajuste dos modelos de Gompertz e Logístico aos dados de massa de matéria fresca de folhas de manjerona. No entanto, o modelo de Gompertz superestima os parâmetros, enquanto o modelo Logístico estima valores mais próximos do real, sendo mais adequado para modelar a produção de matéria fresca de manjerona.

Os intervalos de colheita 60 e 72 dias são os que proporcionam maior produção acumulada de folhas de manjerona, de acordo com ambos modelos.

5. Referências

ARCHONTOULIS, S. V.; MIGUEZ, F. E. Nonlinear Regression Models and Applications in Agricultural Research. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2, p. 786-798, 2015.

BEM, C. M. et al. Gompertz and logistic models to the productive traits of sunn hemp. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 1, p. 225, 2018.

CHAGAS, J. H. et al. Produção de biomassa e teor de óleo essencial em função da idade e época de colheita em plantas de hortelã-japonesa. **Acta Acientiarum. Agronomy**, v. 33, n.2, p. 327-334, 2011.

CORRÊA JUNIOR, C.; SCHEFFER, M. C. **Boas práticas agrícolas (BPA) de plantas medicinais, aromáticas e condimentares**. Emater, n. 88, 52 p., 2013.

LYRA, G. B. et al. Modelo de crescimento logístico e exponencial para o milho BR 106, em três épocas de plantio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, n. 3, p. 211-230, 2008.

LYRA, G. B. et al. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 1, p. 69-77, 2003.

MAY, A. et al. Influência do intervalo entre cortes sobre a produção de biomassa de duas espécies de capim limão. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 379-382, 2008.

MAY, A. et al. Produção de biomassa e óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) em função da altura e intervalo entre cortes. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 12, n. 2, p.195-200, 2010.

TERRA, M. F.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Ajuste dos modelos logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos de tamareira-anã (*Phoenix roebelenni* O'BRIEN). **Magistra, Cruz das Almas**, v.22, n.1, p.1-7, 2010.

PRADO, T. K. L.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 803- 809, 2013.

VAZ, A. P. A.; JORGE, M. H. A. **Manjerona**. Embrapa Pantanal (Folders/Folhetos/Cartilhas), 2 p., 2007.

ZAWISŁAK, G.; DZIDA, K. Yield and quality of sweet marjoram herb depending on harvest time. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 9, n. 1, p. 65-72, 2010.