

Utilização de modelos não lineares na avaliação da quantidade de massa seca e fresca da parte aérea de plantas de chicória

Gabriel Edson Sousa da Silva^{1†}, Natiele de Almeida Gonzaga¹, Joel Augusto Muniz¹, Edilson Marcelino Silva², Tales Jesus Fernandes¹

¹Departamento de Estatística, Universidade Federal de Lavras (UFLA)

²Departamento de Matemática, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Resumo: A chicória é uma hortaliça rica em vitaminas, minerais e fibras, consumida em saladas frescas ou em chás, sendo utilizada também de forma medicinal. No estudo do crescimento e desenvolvimento de plantas, é interessante acompanhar a quantidade de massa seca e fresca ao longo do tempo para entender a dinâmica envolvida e a necessidade de adubação para obter um cultivo mais eficiente da planta. Geralmente, estas quantidades ao longo do tempo, apresentam característica sigmoideal e podem ser descritas por modelos não lineares. O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de modelos não lineares no estudo da quantidade de massa seca e fresca da parte aérea, em g/planta, em função dos dias, da chicória, das cultivares “Crespa” e “AF-218”, cultivadas sem e com cobertura de tecido de polipropileno. Os dados foram obtidos de um experimento onde a quantidade de massa seca e fresca foi anotada semanalmente nas idades de 7 a 42 dias após o transplante. Os ajustes foram realizados no software R, usando o método de mínimos quadrados por meio de métodos iterativos. Para avaliar a qualidade dos ajustes foram utilizados os valores do coeficiente de determinação (R^2), do desvio padrão residual (DPR) e do critério de informação de Akaike (AIC). Os avaliadores de qualidade mostraram que os modelos se ajustaram bem aos dados, com o modelo Logístico se sobressaindo na maioria dos ajustes, com AIC e DPR menores e R^2 maior. A análise da massa seca e fresca mostrou que quando coberto há um maior acúmulo em g/planta.

Palavras-chave: Chicória; Modelos não lineares; Massa seca e fresca; Cobertura de polipropileno.

Use of nonlinear models to evaluate the amount of dry and fresh mass of the aerial part of chicory plants

Abstract: Chicory, a vegetable rich in vitamins, minerals, and fibers, is consumed in fresh salads or teas and is also used medicinally. In plant growth and development studies, monitoring dry and fresh mass quantities over time is crucial to understand the dynamics involved and the fertilization requirements for more efficient cultivation. These quantities typically exhibit a sigmoidal pattern and can be described by nonlinear models. This study aimed to evaluate the use of nonlinear models to assess the dry and fresh mass of the aerial part (g/plant) of chicory cultivars “Crespa” and “AF-218” grown with and without polypropylene fabric cover, as a function of days after transplanting. Data were collected from an experiment where dry and fresh mass were recorded weekly at 7 to 42 days after transplanting. Model fitting was performed in the R software using the least squares method with iterative methods. The coefficient of determination (R^2), residual standard deviation (DPR), and Akaike information criterion (AIC) were used to assess the quality of the fits. The quality indicators showed that the models fitted the data well, with the Logistic model outperforming the others in most cases, with lower AIC and DPR and higher R^2 . Dry and fresh mass analysis revealed a greater accumulation (g/plant) when covered.

Keywords: Chicory; Nonlinear models; Dry and fresh mass; Polypropylene cover.

† Autor correspondente: gabriel.silva66@estudante.ufla.br

Introdução

De acordo com Canella *et al.* (2018), as hortaliças são importantes fontes de vitaminas, minerais, fibras e outros compostos bioativos. Além disso, apresentam baixa densidade energética, contendo poucas calorias em um grande volume de material consumido, o que acaba por favorecer a manutenção de um corpo saudável. Callou *et al.* (2021) afirmam que o maior consumo de hortaliças apresenta diversos benefícios como diminuição de doenças crônicas ou sintomatologias de hipovitaminoses caracterizada pela falta de uma ou mais vitaminas no organismo.

O consumo de hortaliças é indispensável na alimentação dos seres humanos, pois são alimentos reguladores que tem como características serem fontes de vitaminas, minerais e nutrientes que mantêm o equilíbrio do organismo e ajudam para seu pleno funcionamento.

Além disso, existe uma série de compostos bioativos presentes nestes vegetais que auxiliam no combate e prevenção de doenças. As fibras que são fundamentais para proteger a flora intestinal, ajudam a eliminar toxinas e uma série de outros benefícios, estão presentes nas hortaliças também.

De acordo com Dalzochi e Zorzi (2021), as hortaliças, principalmente as folhosas como a alface (*Lactuca sativa*) e a chicória (*Cichorium intybus L.*), são ricas em vitaminas e minerais, além de possuírem efeitos antioxidantes atuantes no organismo, o que implica em um fator protetor contra diversas doenças.

Neste trabalho, destacamos a chicória (*Cichorium intybus L.*), também conhecida como chicória do café, almeirão, almeirão-selvagem, chicória-amarga e chicória-selvagem, é uma planta herbácea, perene, e de acordo com Rumball *et al.* (2003) pertence à família Asteraceae, da qual estão milhares de espécies entre elas as alfaces, os girassóis e as margaridas.

Neste estudo foi analisado o conteúdo de massa seca e massa fresca da parte aérea de duas cultivares de chicórias, cultivadas cada uma delas de duas formas diferentes. Ao estudar o crescimento e desenvolvimento das plantas é interessante acompanhar o valor de massa seca e fresca ao longo do tempo para entender a dinâmica envolvida e a necessidade de adubação buscando respostas eficientes das plantas. A quantidade de massa seca e fresca nas plantas com o tempo, em geral, apresenta caráter sigmoidal que pode ser descrito por modelos não lineares.

Os modelos de regressão analisam a relação entre variáveis explicativas e uma variável de resultado enquanto controlam os efeitos de outras variáveis. De acordo com Long e Freese (2006), o modelo de regressão linear é provavelmente o método estatístico mais utilizado nas ciências sociais.

No estudo do crescimento e desenvolvimento de plantas, é importante monitorar ao longo do tempo a quantidade de massa seca e fresca da parte aérea, a fim de compreender a dinâmica envolvida e otimizar a adubação para um cultivo mais eficiente. Normalmente, essas variações na massa das plantas ao longo do tempo exibem um padrão sigmoidal, o que permite que sejam descritas por modelos não lineares.

Para esta situação utilizou-se modelos de regressão não lineares, pois os mesmos apresentam grandes vantagens em relação aos modelos lineares na descrição de crescimentos. Dentre as vantagens Zeviani *et al.* (2013) afirmam que as principais são que sua escolha está associada à conhecimento prévio sobre a relação a ser modelada e que geralmente apresenta interpretação prática para os parâmetros.

Vários pesquisadores ajustaram modelos de regressão não linear na descrição de curvas de crescimento de produtos agrícolas. Silva *et al.* (2023) ajustaram o modelo duplo Logístico no crescimento de frutos de amora-preta. Azarias *et al.* (2023) ajustaram os modelos não lineares Logístico e Gompertz na descrição das curvas de germinação de plantas daninhas em diferentes temperaturas e Fernandes *et al.* (2022) ajustaram os modelos Brody, Gompertz e Logístico na descrição do crescimento de frutas de pera.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização dos modelos não-lineares Logístico, Gompertz e Von Bertalanffy na análise de massa seca da parte aérea e massa fresca da parte aérea em plantas de chicória, em g/planta, em função da idade da planta, em dias, das

cultivares “chicória crespa” e “AF-218”, cultivadas com e sem cobertura de tecido de Polipropileno.

Material e métodos

Para realização deste trabalho foram utilizados os dados obtidos por Feltrim *et al.* (2008), em um experimento conduzido à campo, na UNESP em Jaboticabal, local que o solo, de acordo com Oliveira *et al.* (1999), é um Latossolo Vermelho Eutroférico típico de textura muito argilosa.

O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas, com 4 repetições. Na parcela, os quatro tratamentos constituíram-se de duas cultivares de chicória crespa (Chicória Crespa, que pode ser vista na Figura 1 e AF-218) em dois sistemas de cultivo (com e sem tecido de polipropileno) e nas subparcelas as idades das plantas (7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após o transplântio).

Figure 1: Illustration of a chicory plant.



Source: Agro2.0 (2019).

Inicialmente o cultivo se deu em ambiente controlado, e 25 dias após a sementeira, houve o transplântio das mudas para o campo. O conteúdo acumulado de macronutrientes foi anotado nas idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após o transplântio.

Para realizar as análises, foram ajustados 3 modelos não lineares: Logístico (1), Gompertz (2) e Von Bertalanffy (3).

$$Y_i = \frac{\alpha}{1 + e^{\kappa(\beta - X_i)}} + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$Y_i = \alpha e^{-e^{\kappa(\beta - X_i)}} + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$Y_i = \alpha \left(1 - \frac{e^{\kappa(\beta - X_i)}}{3} \right)^3 + \varepsilon_i \quad (3)$$

onde, para os três modelos, temos $i = 1, 2, 3, \dots, n$, onde Y_i é a i -ésima observação da variável dependente, X_i é a i -ésima observação da variável independente, α é o valor esperado para o crescimento máximo em estudo, β é a abscissa do ponto de inflexão do modelo, κ é um índice associado ao crescimento, quanto maior for o seu valor menos tempo é necessário para atingir a abscissa do ponto de inflexão e ε_i é o erro aleatório do modelo, que é assumida como independente e identicamente distribuído, em que $\varepsilon_i \sim N(0, I\sigma^2)$.

Para estimação dos parâmetros, foi utilizado o método de mínimos quadrados, que de acordo com Draper e Smith (1998), consiste na minimização das somas de quadrados dos resíduos. Para os modelos não lineares, a estimação de parâmetros feita através de mínimos quadrados, nos leva a um sistema de equações normais sem solução explícita. Devido a isso, as estimativas são obtidas através de métodos iterativos (Draper; Smith, 1998). Neste trabalho, o método iterativo adotado para a estimação dos parâmetros foi o método de Gauss-Newton (Silva *et al.*, 2023; Gonzaga *et al.*, 2024a; Gonzaga *et al.*, 2024b; Frühauf *et al.*, 2022).

Para a análise de resíduos, ou seja, para verificar os pressupostos de normalidade, homogeneidade e independência dos erros foram usados os teste de Shapiro-Wilk (Shapiro; Wilk, 1965), Breusch-Pagan (Breusch; Pagan, 1979) e Durbin-Watson (Durbin; Watson, 1951).

Para escolha do modelo com melhor ajuste, avaliou-se a qualidade de ajustes dos mesmos utilizando o desvio padrão residual (DPR), critério de informação de Akaike (AIC) (Akaike, 1974) e coeficiente de determinação (R^2). No caso do AIC e DPR, quanto menores forem seus valores melhor é considerado o ajuste do modelo. Já para o R^2 , quanto maior for seu valor, melhor é o ajuste do modelo.

Resultados e discussões

Massa seca

Inicialmente realizou-se as análises de resíduos para verificar pressupostos de normalidade, homocedasticidade e independência dos mesmos. A Tabela 1 mostra os resultados dos testes para os resíduos dos dados de massa seca da parte aérea, considerando um nível de significância de 5%.

Table 1: P-value of the Shapiro-Wilk, Durbin-Watson and Breusch-Pagan tests applied to the residuals of the Logistic, Gompertz and Von Bertalanffy models adjusted to the shoot dry mass data for the four cultivars.

Modelo	Cultivar	Shapiro -Wilk	Durbin Watson	Breusch -Pagan
Logístico	AF-218 Coberta	0,3991	0,0620	0,4100
	AF-218 Descoberta	0,9292	0,5620	0,3644
	Crespa Coberta	0,8102	0,2480	0,1047
	Crespa Descoberta	0,4187	0,8000	0,6497
Gompertz	AF-218 Coberta	0,5114	0,7580	0,7190
	AF-218 Descoberta	0,0178	0,9500	0,7162
	Crespa Coberta	0,6195	0,0260	0,1056
	Crespa Descoberta	0,0035	0,9400	0,7082
Von Bertalanffy	AF-218 Coberta	0,1182	0,5740	0,6217
	AF-218 Descoberta	0,8644	0,4000	0,1207
	Crespa Coberta	0,9521	0,3580	0,1690
	Crespa Descoberta	0,9023	0,4780	0,1939

Source: From the authors (2024).

Observou-se que para o modelo Gompertz o teste de Shapiro-Wilk foi significativo para as cultivares AF-218 descoberta e Crespa descoberta. Nesse caso, não se pode dizer que a pressuposição de que os resíduos são normalmente distribuídos é verdadeira, então os intervalos de confiança para os parâmetros dessas cultivares são aproximados.

Também para o modelo Gompertz, o teste de Durbin-Watson foi significativo para a cultivar Crespa coberta, assim, não se pode dizer que a pressuposição de independência dos resíduos é verdadeira, o mesmo ocorreu no estudo de Azarias *et al.* (2024) referente ao crescimento de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. Para os demais casos, todas as pressuposições foram atendidas, ou seja, p -valor $> 0,05$.

Realizou-se também a avaliação de qualidade dos ajustes dos modelos, de acordo com os valores de AIC, DPR e R^2 . A Tabela 2 mostra o resultados da avaliação de qualidade para os ajustes aos dados de massa seca da parte área.

Table 2: Evaluators of the quality of the fit of the Logistic, Gompertz and Von Bertalanffy models to the shoot dry mass data (g/plant).

Cultivar	Modelo	AIC	DPR	R^2
AF-218 Coberta	Logístico	21,9843	1,0970	0,9959
	Gompertz	16,1372	0,6742	0,9986
	Von Bertalanffy	29,2353	2,0080	0,9868
AF-218 Descoberta	Logístico	21,7825	1,0790	0,9941
	Gompertz	26,7796	1,6370	0,9877
	Von Bertalanffy	30,2806	2,1910	0,9745
Crespa Coberta	Logístico	26,8670	1,6490	0,9873
	Gompertz	23,3360	1,2280	0,9935
	Von Bertalanffy	24,5466	1,3590	0,9921
Crespa Descoberta	Logístico	18,1168	0,7951	0,9944
	Gompertz	20,7205	0,9878	0,9917
	Von Bertalanffy	30,3111	2,1970	0,9528

Source: From the authors (2024).

Observou-se que para AF-218 coberta e Crespa coberta, o modelo que se ajustou melhor aos dados foi o modelo Gompertz, que apresentou menores valores para AIC e DPR, e maior valor de R^2 , no estudo de Gonzaga *et al.* (2023), o modelo Gompertz também foi mais adequado para descrever o acúmulo de matéria seca total e das folhas de plantas de milho. Para AF-218 descoberta e Crespa descoberta, o modelo que teve o melhor ajuste foi o Logístico, que apresentou menores valores de AIC e DPR, e maior valor de R^2 , este modelo também foi adequado na descrição do acúmulo de massa seca de colmos e espigas em plantas de milho (Gonzaga *et al.* 2023) e também na descrição de massa seca total de híbridos de milho (Vilas Bôas *et al.* 2023).

A Tabela 3 mostra as estimativas dos parâmetros dos modelos que tiveram o melhor ajuste aos dados de massa seca da parte aérea, bem como seus respectivos intervalos de confiança. Pôde-se observar que todos os intervalos de confiança são significativos, pois nenhum deles inclui valor zero.

Na Tabela 3 podemos ver que, de acordo com o ajuste do modelo Gompertz, o valor máximo esperado para a cultivar AF-218 coberta foi aproximadamente 34,0980 g/planta, e seu ponto de inflexão foi aproximadamente aos 27 dias após o transplante. Já para a cultivar AF-218 descoberta, de acordo com o modelo Logístico, teve valor máximo para massa seca da parte aérea de aproximadamente 25,8830 g/planta, e ponto de inflexão aproximadamente aos 31 dias após o transplante.

Table 3: Parameter estimates for the models fitted to the shoot dry mass data in g/plant

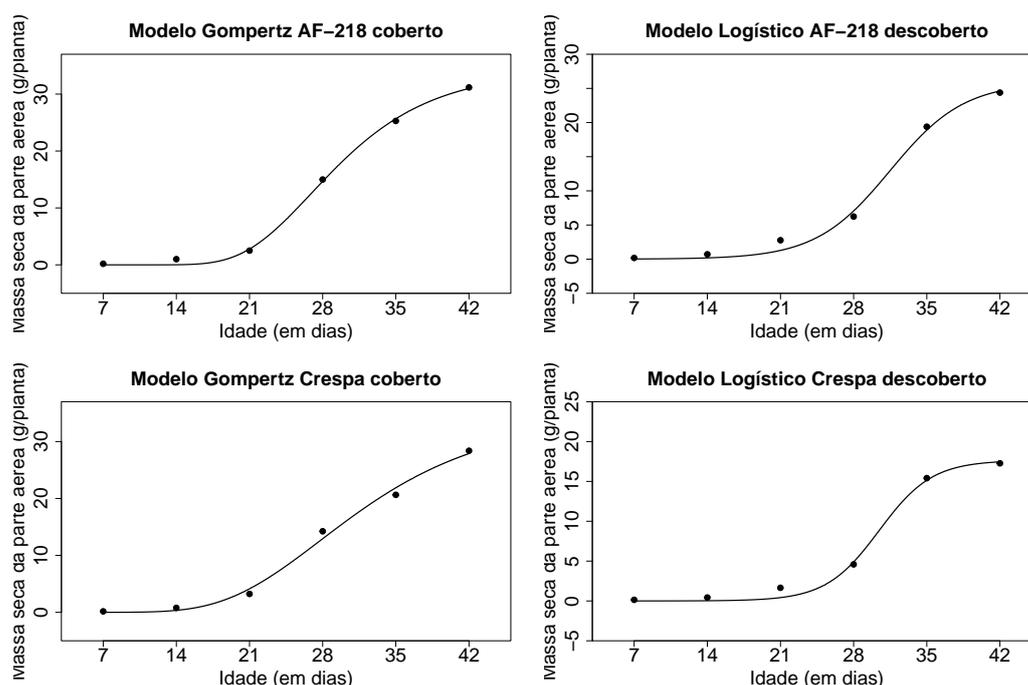
Modelo Gompertz - AF-218 Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
α	31,2569	34,0980	36,9392
β	26,0335	26,9088	27,7841
κ	0,1236	0,1555	0,1873
Modelo Logístico - AF-218 Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
α	22,4979	25,8830	29,2680
β	29,7725	31,4785	33,1846
κ	0,1857	0,2818	0,3780
Modelo Gompertz - Crespa Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
α	24,8388	34,3272	43,8156
β	24,4516	27,7850	31,1183
κ	0,0576	0,1105	0,1635
Modelo Logístico - Crespa Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
α	15,8256	17,6383	19,4511
β	29,0741	30,4309	31,7877
κ	0,2430	0,3937	0,5443

Source: From the authors (2024).

Para a cultivar Crespa coberta, de acordo com o modelo Gompertz, o valor máximo para a massa seca da parte aérea foi de aproximadamente 34,3272 g/planta, tendo seu ponto de inflexão aproximadamente aos 28 dias após o transplântio. A cultivar Crespa descoberta, teve seu acúmulo máximo, de acordo com o modelo Logístico, de massa seca da parte aérea de aproximadamente aos 17,6383 g/planta, como ponto de inflexão ocorrendo aproximadamente aos 30 dias após o transplântio, corroborando com os resultados apresentados por Feltrim *et al.* (2008).

A Figura 2 mostra a representação gráfica dos ajustes dos modelos que melhor se ajustaram aos dados de massa seca da parte aérea, em g/planta, para as quatro cultivares. Observa-se que os modelos se ajustaram bem aos dados de acúmulo de massa seca da parte aérea, visto que os valores estimados estão próximos dos observados.

Figure 2: Models with the best fit to the shoot dry mass data (g/plant).



Source: From the authors (2024).

Massa fresca

A Tabela 4 mostra os resultados testes para os resíduos dos ajustes aos dados de massa fresca da parte aérea. Pôde-se observar que apenas o teste de Shapiro-Wilk para a cultivar Crespa descoberta do modelo Gompertz foi significativo, ou seja, a pressuposição de normalidade dos resíduos para este ajuste não foi atendida. Então os intervalos de confiança para os parâmetros dessas cultivares são aproximados. De acordo com os p-valores apresentados nos testes de Durbin-Watson e Breusch-Pagan não houve violação das pressuposições de independência e homocedasticidade, respectivamente.

A Tabela 5 apresenta o resultados dos avaliadores de qualidade dos ajustes aos dados de massa fresca da parte aérea. Para estes dados, o modelo logístico apresentou o melhor ajuste para as quatro cultivares, apresentado menores valores de AIC e DPR, e maior valor de R^2 .

A Tabela 6 mostra as estimativas dos parâmetros do modelo Logístico ajustado aos dados de massa fresca da parte aérea, em g/planta, bem como seus respectivos intervalos de confiança. Observa-se que todos os intervalos de confiança são significativos, pois nenhum deles inclui o zero.

Observou-se que para a cultivar AF-218 coberta teve valor máximo de massa fresca da parte de aproximadamente 628,3059 g/planta, como ponto de inflexão ocorrendo aproximadamente aos 30 dias após o transplantio. Para a cultivar AF-218 descoberta teve valor máximo de massa fresca da parte aérea de aproximadamente 392,6229 g/planta, e apresentou ponto de inflexão aproximadamente aos 33 dias após o transplantio.

Para a cultivar Crespa coberta teve valor máximo de massa fresca da parte aérea de aproximadamente 499,8690 g/planta, tendo apresentado ponto de inflexão aproximadamente aos 33 dias após transplantio. Observou-se também que a cultivar Crespa descoberta teve seu valor máximo para massa fresca da parte aérea de aproximadamente 194,965, com ponto de inflexão acontecendo aproximadamente aos 31 dias após o transplantio. Feltrim *et al.* (2008) destacaram que a maior massa fresca obtida foi com a cultivar AF-218 cultivada com cobertura de tecido de polipropileno.

Table 4: P-value of the Shapiro-Wilk, Durbin-Watson and Breusch-Pagan tests applied to the residuals of the Logistic, Gompertz and Von Bertalanffy models adjusted to the fresh shoot mass data for the four cultivars.

Modelo	Cultivar	Shapiro -Wilk	Durbin -Watson	Breusch -Pagan
Logístico	AF-218 Coberta	0,4103	0,0620	0,2532
	AF-218 Descoberta	0,9395	0,6880	0,3882
	Crespa Coberta	0,8813	0,5320	0,2640
	Crespa Descoberta	0,4323	0,9600	0,6612
Gompertz	AF-218 Coberta	0,5841	0,9760	0,6512
	AF-218 Descoberta	0,1528	0,8880	0,6913
	Crespa Coberta	0,9954	0,4120	0,1766
	Crespa Descoberta	0,0048	0,9800	0,7090
Von Bertalanffy	AF-218 Coberta	0,8743	0,5940	0,5649
	AF-218 Descoberta	0,5965	0,2940	0,1127
	Crespa Coberta	0,5578	0,3080	0,0999
	Crespa Descoberta	0,9452	0,4160	0,1567

Source: From the authors (2024).

Table 5: Evaluators of the quality of the fit of the Logistic, Gompertz and Von Bertalanffy models to the fresh mass data of the aerial part (g/plant).

Cultivar	Modelo	AIC	DPR	R^2
AF-218 Coberta	Logístico	43,9372	6,8370	0,9995
	Gompertz	51,0952	12,4100	0,9987
	Von Bertalanffy	64,9078	39,2500	0,9865
AF-218 Descoberta	Logístico	50,1920	11,5100	0,9966
	Gompertz	55,1045	17,3400	0,9928
	Von Bertalanffy	59,6640	25,3500	0,9831
Crespa Coberta	Logístico	52,5854	14,0600	0,9967
	Gompertz	58,2997	22,6300	0,9918
	Von Bertalanffy	61,1604	28,7200	0,9861
Crespa Descoberta	Logístico	46,6303	8,5580	0,9945
	Gompertz	49,0855	10,5000	0,9920
	Von Bertalanffy	58,5390	23,0900	0,9560

Source: From the authors (2024).

A Figura 3 mostra a representação gráfica dos ajustes dos modelos que melhor se ajustaram aos dados de massa fresca da parte aérea, em g/planta, para as quatro cultivares.

Fernandes *et al.* (2023) utilizaram modelos não lineares para descrever o crescimento de plantas de pessegueiro “aurora 1”, concluindo que modelos não lineares são adequados para esta situação. Liska *et al.* (2022) utilizaram modelos não lineares para descrever curvas de desidratação de flores comestíveis, concluindo que o modelo não linear é adequado para descrever os dados.

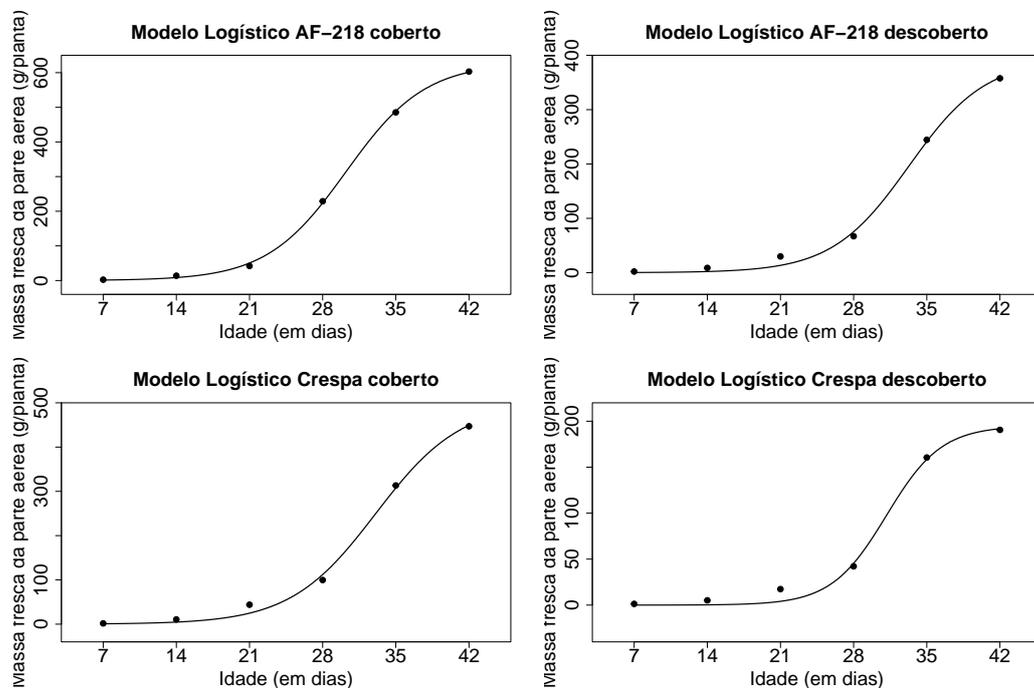
Outros autores também utilizaram cobertura com tecido de polipropileno no cultivo de hortaliças. Otto *et al.* (2001) afirmaram que a cobertura com tecido de polipropileno teve efeito significativo em cultura de alface. Já Soares *et al.* (2017) afirmam que a cobertura não influenciou na cultura de tomateiro.

Table 6: Parameter estimates for the models fitted to the shoot fresh mass data in g/plant.

Modelo Logístico - AF-218 Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
α	607,7220	628,3059	648,8897
β	29,7796	30,2370	30,6944
κ	0,2399	0,2637	0,2875
Modelo Logístico - AF-218 Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
α	346,2084	392,6229	439,0375
β	31,8806	33,2910	34,7014
κ	0,1998	0,2716	0,3435
Modelo Logístico - Crespa Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
α	435,8750	499,8690	563,8630
β	31,4555	33,0812	34,7069
κ	0,1810	0,2443	0,3076
Modelo Logístico - Crespa Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
α	174,6176	194,9651	215,3126
β	29,7956	31,1387	32,4817
κ	0,2517	0,3793	0,5069

Source: From the authors (2024).

Figure 3: Models with the best fit to the shoot fresh mass data (g/plant).



Source: From the authors (2024).

Conclusão

No geral, todos os modelos se ajustaram bem aos dados, apresentando valores altos para o R^2 . Observou-se também que na maioria dos casos o modelo Logístico se mostrou superior apresentando ajustes melhores, onde em apenas duas situações o modelo foi inferior ao modelo Gompertz.

Comparando as culturas AF-218 e Crespa, para massa seca, vemos que quando cultivadas sob cobertura de tecido de polipropileno não há diferença de produção, mas quando cultivadas sem cobertura, a cultivar AF-218 se mostra superior. Já para massa fresca, a cultivar AF-218 se mostra superior tanto quando coberta com tecido de polipropileno quanto quando não coberta.

É perceptível que, tanto para massa seca quanto para massa fresca, quando coberto com tecido de polipropileno, tanto as culturas de AF-218 e Crespa apresentam valores máximos maiores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) à O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Referências

- AKAIKE, Hirotugu. A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, v. 19, n. 6, p. 716-723, 1974.
- AZARIAS, Edilene Cristina Pedroso et al. Estudo do crescimento de plantas daninhas do gênero *Amaranthus* por modelos não lineares. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 42, n. 1, p. 1-19, 2024.
- AZARIAS, Edilene et al. Descrição das curvas de germinação de plantas daninhas em diferentes temperaturas por modelos não lineares. **Sigmae**, v. 12, n. 3, p. 1-9, 2023.
- BÔAS, Isolina Aparecida Vilas et al. Study of dry matter accumulation in maize hybrids using nonlinear models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, p. e03077, 2023.
- BREUSCH, Trevor S.; PAGAN, Adrian R. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 1287-1294, 1979.
- CALLOU, Maria Auxiliadora Macedo et al. Impacto da intervenção para o consumo de frutas e hortaliças em escolas públicas no Brasil: revisão sistemática com meta-análise e metarregressão. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 37921-37932, 2021.
- CANELLA, Daniela Silva et al. Consumo de hortaliças e sua relação com os alimentos ultraprocessados no Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 52, p. 50, 2018.
- Chicória é rica em nutrientes e apresenta diversas formas de preparo. Agro2.0. 2019. Disponível em: <https://agro20.com.br/chicoria/>. Acessado em: 03 de outubro de 2024.
- DA SILVA, Maylon Leoncio et al. Nonlinear modeling of carbon dynamics in soil treated with tannery sludge. **Revista Agrogeoambiental**, p. e20231759-e20231759, 2023.

DALZUCHIO, Thaís; ZORZI, Gabriela. Identificação de enteroparasitos em hortaliças comercializadas no município de Nova Prata, RS. **Revista Educação em Saúde**, v. 9, n. 1, p. 80-87, 2021.

DE OLIVEIRA, João Bertoldo. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Instituto Agrônômico, 1999.

DRAPER, Norman R.; SMITH, Harry. **Applied regression analysis**. John Wiley & Sons, 1998.

DURBIN, James; WATSON, Geoffrey S. Testing for serial correlation in least squares regression. III. **Biometrika**, v. 58, n. 1, p. 1-19, 1971.

FELTRIM, Anderson Luiz et al. Crescimento e acúmulo de macronutrientes em chicória coberta e não coberta com polipropileno. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 50-55, 2008.

FERNANDES, Jaqueline Gonçalves et al. Description of the peach fruit growth curve by diphasic sigmoidal nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 44, n. 3, p. e-875, 2022.

FERNANDES, Jaqueline Gonçalves et al. Avaliação de modelos não lineares na descrição da curva de crescimento do fruto de pessegueiro ?aurora 1?. **Revista Foco**, v. 16, n. 9, p. e2993-e2993, 2023.

FRÜHAUF, Ariana Campos et al. Predicting height growth in bean plants using non-linear and polynomial models. **Revista Agrogeambiental**, v. 13, n. 3, p. 488-497, 2021.

GONZAGA, Natiele de Almeida et al. Corn plant dry mass accumulation considering the previous crop by non-linear models. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 41, n. 4, p. 424-444, 2023.

GONZAGA, Natiele de Almeida et al. DESCRIÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE GRÃOS DE MILHO-PIPOCA POR MODELOS DE REGRESSÃO NÃO LINEAR. **REVISTA FOCO**, v. 17, n. 1, p. e4176-e4176, 2024a.

GONZAGA, Natiele de Almeida et al. Non-Linear Models With Autoregressive Error Structure for Studying Bean Seed Drying Kinetics. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. e07886-e07886, 2024b.

LISKA, Gilberto Rodrigues; VOLPONI, Alessia Zincone; FONSECA, Jessica Paula Aparecida Costa; LUCAS SANTOS BASTOS, Lucas Santos; LEITÃO, Angelita Machado; RODRIGUES, Josiane. Modelos não lineares aplicados em curva de desidratação de flores comestíveis. **Sigmae**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 40-46, 2022. Disponível em: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/2002>. Acesso em: 25 sep. 2024.

LONG, J. Scott; FREESE, Jeremy. **Regression models for categorical dependent variables using Stata**. Stata press, 2006.

- OTTO, Rosana Fernandes; REGHIN, Marie Yamamoto; SÁ, Guilherme Domingues. Utilização do'não tecido'de polipropileno como proteção da cultura de alface durante o inverno de Ponta Grossa-PR. **Horticultura Brasileira**, v. 19, p. 49-52, 2001.
- RUMBALL, W. et al. 'Puna II'forage chicory (*Cichorium intybus* L.). **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 1, p. 53-55, 2003.
- SHAPHIRO, S.; WILK, M. B. J. B. An analysis of variance test for normality. **Biometrika**, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.
- SILVA, Edilson Marcelino et al. Sigmoid models in the description of CO₂ evolved from legumes in the soil. **Revista Agrogeoambiental**, p. e20231776-e20231776, 2023.
- SILVA, Édipo Menezes da et al. Adjustment of mixed nonlinear models on Blackberry fruit growth. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 45, p. e-665, 2023.
- SOARES, Michel Moreira et al. Adubação de cobertura com enxofre na cultura da rúcula. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, p. 49-52, 2017.
- ZEVIANI, Walmes Marques; JÚNIOR, PJR; BONAT, Wagner Hugo. Modelos de regressão não linear. **Laboratório de Estatística e Geoinformação. Departamento de Estatística. UFPR**, 2013.