

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Rafael Vieira Pezzini

**MODELOS DE CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE
CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA**

Santa Maria, RS
2019

Rafael Vieira Pezzini

**MODELOS DE CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM
ÉPOCAS DE SEMEADURA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof Dr. Alberto Cargnelutti Filho

Santa Maria, RS
2019

Pezzini, Rafael Vieira

Modelos de crescimento para cultivares de capim-sudão em épocas de semeadura / Rafael Vieira Pezzini.- 2019.
64 p.; 30 cm

Orientador: Alberto Cargnelutti Filho
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Agronomia, RS, 2019

1. Sorghum sudanense (Piper) Stapf. 2. Cobertura de solo 3. Modelos não lineares I. Cargnelutti Filho, Alberto II. Título.

Rafael Vieira Pezzini

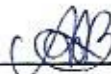
**MODELOS DE CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM
ÉPOCAS DE SEMEADURA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 21 de fevereiro de 2019:



Alberto Cargnelutti Filho, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Alexandra Augusti Boligon, Dra. (UNIPAMPA)



Marcos Toebe, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me conceder saúde e força durante todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, Gilmar e Eliana, e ao meu irmão Mateus, pelo amor, carinho, apoio para superar todas as dificuldades, por acreditarem na minha capacidade e me incentivarem a continuar batalhando para atingir meus objetivos.

Aos meus familiares, amigos e a todos que, com incentivo, me ajudaram nas tomadas de decisões importantes às quais fui submetido ao longo da vida.

Aos colegas do laboratório de Experimentação Agrícola, pela amizade, ajuda, companheirismo, trabalho em equipe e aprendizado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alberto Cargnelutti Filho, pela oportunidade de realizar o mestrado, sua orientação, ensinamentos transmitidos, dedicação, confiança, paciência e competência.

Aos demais professores, que contribuíram para a minha formação acadêmica e pelos conhecimentos repassados.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições e sugestões para melhorar o meu trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, pela disponibilidade e auxílio nas atividades de campo.

À Universidade Federal de Santa Maria pela infraestrutura e suporte disponibilizados, e que são necessários para uma formação de qualidade.

À CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

Enfim, a todos que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização desta dissertação.

Muito Obrigado!

RESUMO

MODELOS DE CRESCIMENTO PARA CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA

AUTOR: Rafael Vieira Pezzini
ORIENTADOR: Alberto Cargnelutti Filho

Os objetivos deste trabalho foram ajustar os modelos Gompertz e Logístico para descrever o crescimento de caracteres morfológicos e produtivos em função da soma térmica acumulada e da radiação solar acumulada, comparar os ajustes e indicar o que melhor descreve o crescimento de duas cultivares de capim-sudão em quatro épocas de semeadura. Foram conduzidos oito ensaios de uniformidade com o capim-sudão, compostos pela combinação de duas cultivares (BRS Estribo e CG Farrapo) semeadas em quatro épocas (20/12/2016, 20/01/2017, 07/02/2017 e 24/02/2017). A semeadura foi realizada em fileiras, espaçadas de 0,4 m entre fileiras. Cada ensaio ocupou uma área de 9 m × 16 m (144 m²). As avaliações foram realizadas três vezes por semana a partir de 15 dias após a emergência das plantas. Cada avaliação foi composta pela coleta de cinco plantas de cada ensaio, para mensuração dos caracteres altura de planta e comprimento de colmo e na pesagem da massa de matéria fresca de parte aérea e massa de matéria seca de parte aérea. Os modelos Gompertz e Logístico foram ajustados para cada caractere em função da soma térmica acumulada e da radiação solar acumulada. Foram estimados os parâmetros, determinado o intervalo de confiança dos parâmetros, os pontos críticos das curvas de crescimento e os indicadores de qualidade do ajuste. Também foram quantificadas as não linearidades intrínseca e do efeito do parâmetro. As variáveis independentes soma térmica acumulada e radiação solar acumulada podem ser utilizadas no ajuste dos modelos. Ambos os modelos são adequados para descrever os caracteres morfológicos e produtivos das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo. Entretanto, o modelo Logístico é mais indicado por apresentar maior precisão.

Palavras-chave: *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf. Cobertura de Solo. Modelos Não Lineares.

ABSTRACT

GROWTH MODELS FOR SUDANGRASS CULTIVARS AT SOWING TIMES

AUTHOR: Rafael Vieira Pezzini
ADVISOR: Alberto Cargnelutti Filho

The objectives of this work were to fit the Gompertz and Logistic models to describe the growth of morphological and productive traits as a function of accumulated thermal sum and accumulated solar radiation, comparing the adjustments and indicating the best to describe the growth of two sudangrass cultivars in four sowing seasons. Eight uniformity trials were conducted with Sudan grass, composed by the combination of two cultivars (BRS Estribo and CG Farrapo) sown in four seasons (20/12/2016, 20/01/2017, 02/02/2017 and 24/02/2017). The sowing was done in rows, spaced 0,4 m between rows. Each trial occupied an area of 9 m × 16 m (144 m²). The evaluations were performed three times a week from 15 days after the emergence of the plants. Each evaluation consisted of the collection of five plants of each trial, for measurement of the plant height and stem length and the weighing of the fresh matter of aerial part and dry matter of aerial part. The Gompertz and Logistic models were fitted for each trait as a function of accumulated thermal sum and accumulated solar radiation. The parameters were estimated, determined the confidence interval of the parameters, the critical points of the growth curves and the adjustment quality indicators. The intrinsic nonlinearity and the nonlinearity of parameter effect were also quantified. The independent variables accumulated thermal sum and accumulated solar radiation can be used to fit the models. Both models are suitable for describing the morphological and productive traits of the of BRS Estribo and CG Farrapo cultivars. However, the Logistic model is more indicated because it presents greater accuracy.

Keywords: *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf. Soil Cover. Nonlinear Models.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I: MODELOS GOMPERTZ E LOGÍSTICO PARA CARACTERES MORFOLÓGICOS DE CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA

Tabela 1.1 - Valor-p dos testes Shapiro-Wilk (SW), Bartlett (BAR) e Durbin-Watson (DW) aplicados aos resíduos dos modelos Gompertz e Logístico ajustados aos caracteres altura de planta e comprimento de colmo, em função da soma térmica acumulada ($^{\circ}\text{C}$) e da radiação solar acumulada (MJ m^{-2}), das cultivares de capim-sudão, BRS Estribo e CG Farrapo, semeadas em quatro épocas.....	26
Tabela 2.1 - Estimativa dos parâmetros e limites inferior (LI) e superior (LS) dos intervalos de confiança a 95% do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico dos caracteres em função da soma térmica acumulada, das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo, semeadas em quatro épocas.....	27
Tabela 3.1 - Estimativa dos parâmetros e limites inferior (LI) e superior (LS) dos intervalos de confiança a 95% do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico dos caracteres em função da radiação solar acumulada, das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo, semeadas em quatro épocas.....	29
Tabela 4.1 - Comparação das estimativas dos parâmetros, com base na sobreposição dos intervalos de confiança dos modelos Gompertz e Logístico, entre as épocas de semeadura do capim-sudão, das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo.....	30
Tabela 5.1 - Indicadores de qualidade de ajuste, medidas de não linearidade da curvatura e pontos críticos dos modelos Gompertz e Logístico ajustados aos caracteres altura de planta (AP, em cm) e comprimento de colmo (CC, em cm) em função da soma térmica acumulada ($^{\circ}\text{C}$) para as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo em quatro épocas de semeadura.....	32
Tabela 6.1 - Indicadores de qualidade de ajuste, medidas de não linearidade da curvatura e pontos críticos dos modelos Gompertz e Logístico ajustados aos caracteres altura de planta (AP, em cm) e comprimento de colmo (CC, em cm) em função da radiação solar acumulada (MJ m^{-2}) para as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo em quatro épocas de semeadura.....	33

CAPÍTULO II: MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA

Tabela 1.2 - Valores-p dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Bartlett (BAR) e Durbin-Watson (DW) obtidos na análise dos resíduos dos modelos Gompertz e Logístico, ajustados para a massa de matéria fresca de parte aérea e a massa de matéria seca de parte aérea de duas cultivares de capim-sudão, BRS Estribo e CG Farrapo, em quatro épocas de semeadura.....	45
Tabela 2.2 - Estimativa dos parâmetros e limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança a 95% dos modelos Gompertz e Logístico para os caracteres em função da soma térmica acumulada, das cultivares de BRS Estribo e CG Farrapo semeadas em quatro épocas.....	46
Tabela 3.2 - Estimativa dos parâmetros e limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança a 95% dos modelos Gompertz e Logístico para os caracteres em	

	função da radiação sola acumulada, das cultivares de BRS Estribo e CG Farrapo semeadas em quatro épocas.	47
Tabela 4.2	- Comparações entre as épocas de semeadura, baseadas na sobreposição dos limites do intervalo de confiança dos parâmetros dos modelos Gompertz e Logístico das cultivares de capim-sudão BRS Estribo e CG Farrapo.....	48
Tabela 5.2	- Indicadores de qualidade de ajuste e pontos críticos dos modelos Gompertz e Logístico para os caracteres massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta ⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta ⁻¹) em função da soma térmica acumulada (°C) para as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo em quatro épocas de semeadura.	50
Tabela 6.2	- Indicadores de qualidade de ajuste e pontos críticos dos modelos Gompertz e Logístico para os caracteres massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta ⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta ⁻¹) em função da radiação solar acumulada (MJ m ⁻²) para as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo em quatro épocas de semeadura.	51

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: MODELOS GOMPERTZ E LOGÍSTICO PARA CARACTERES MORFOLÓGICOS DE CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA

- Figura 1.1 - Gráficos do modelo Logístico para altura de planta (AP, em cm) em função da soma térmica acumulada (STA, em °C) e da radiação solar acumulada (RSA, em MJ m⁻²) das cultivares BRS Estribo (—), com valores do caractere a direita das curvas, e CG Farrapo (·····), com valores do caractere a esquerda das curvas, em quatro épocas de semeadura de capim-sudão. 35
- Figura 2.1 - Gráficos do modelo Logístico para comprimento de colmo (CC, em cm) em função da soma térmica acumulada (STA, em °C) e da radiação solar acumulada (RSA, em MJ m⁻²) das cultivares BRS Estribo (—), com valores do caractere a direita das curvas, e CG Farrapo (·····), com valores do caractere a esquerda das curvas, em quatro épocas de semeadura de capim-sudão. 37

CAPÍTULO II: MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA

- Figura 1.2 - Gráficos dos modelos Logístico para o caractere massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (STA, em °C) e da radiação solar acumulada (MJ m⁻²) das cultivares BRS Estribo (—), com valores do caractere a direita das curvas, e CG Farrapo (·····), com valores do caractere a esquerda das curvas, em quatro épocas de semeadura de capim-sudão. 53
- Figura 2.2 - Gráficos dos modelos Logístico para o caractere massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (STA, em °C) e da radiação solar acumulada (MJ m⁻²) das cultivares BRS Estribo (—), com valores do caractere a direita das curvas, e CG Farrapo (·····), com valores do caractere a esquerda das curvas, em quatro épocas de semeadura de capim-sudão. 54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.2	JUSTIFICATIVA.....	11
1.3	HIPÓTESES.....	12
1.4	OBJETIVO GERAL	12
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO	13
2.2	CULTURA DO CAPIM-SUDÃO	13
2.3	MODELOS DE REGRESSÃO.....	14
2.4	CURVAS DE CRESCIMENTO	15
2.5	MODELOS NÃO LINEARES	16
2.5.1	Modelo Gompertz	17
2.5.2	Modelo Logístico	18
2.6	INDICADORES DE QUALIDADE DO AJUSTE	19
2.7	CURVATURA DE BATES E WATTS.....	19
3	CAPÍTULO I: MODELOS GOMPERTZ E LOGÍSTICO PARA CARACTERES MORFOLÓGICOS DE CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA	21
	Introdução	22
	Material e Métodos	23
	Resultados e Discussão	25
	Conclusões	38
	Referências	39
4	CAPÍTULO II: MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA	41
	Introdução	42
	Material e Métodos	43
	Resultados e Discussão	45
	Conclusões	56
	Referências	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

A utilização de plantas de cobertura de solo é cada vez mais necessária com a modernização das práticas culturais da agricultura, visando torná-la mais sustentável e produtiva. Estas espécies apresentam importância na melhoria do solo, desempenhando papel na ciclagem de nutrientes (MARCELO et al., 2009; PACHECO et al., 2013), na estruturação do solo, na proteção do solo contra o impacto da gota de chuva e do escoamento superficial (CARDOSO et al., 2012), na manutenção da umidade e das temperaturas e favorecendo a conservação da biota do solo.

O capim-sudão [*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.] é uma espécie anual de verão, pertencente à família Poaceae. Originária de regiões de clima tropical é uma cultura que apresenta alta tolerância ao déficit hídrico e boa adaptação aos diferentes tipos de solo. Possui aptidão de uso na alimentação animal, na forma de forragem verde, silagem ou feno e como planta de cobertura do solo. Os restos culturais após a dessecação mantêm o solo coberto, com isso, protegendo o solo da erosão e reduzindo a infestação de plantas daninhas em culturas subsequentes (BORGES et al., 2014).

Durante o crescimento das plantas a taxa de crescimento apresenta variação dentro dos períodos de desenvolvimento da cultura. No período inicial, em que a planta depende das reservas da semente, o crescimento é lento. Em seguida, a taxa de crescimento aumenta, a partir do momento em que as primeiras folhas se desenvolvem, e a planta começa a realizar a fotossíntese, passando a ter um crescimento exponencial até um ponto de máximo crescimento, a partir do qual ocorre a desaceleração até que a taxa de crescimento atinja a estabilidade. Em estudos sobre o crescimento de plantas, a utilização de curvas de crescimento, ajustadas por modelos lineares ou não lineares, permite visualizar de uma maneira melhor e compreender as diferenças de respostas que as cultivares apresentam em termos de crescimento, de acordo com as condições ambientais de determinado local (TEI; SCAIFE; AIKMAN, 1996).

O uso da modelagem em pesquisas da área de ciências agrárias tem como objetivo servir de ferramenta para orientação e de gestão das tecnologias empregadas, tornando mais eficiente as pesquisas científicas, possibilitando a redução de gastos, a maximização do uso da mão de obra e a agilização da chegada das informações ao público alvo (CORRÊA et al., 2011).

1.2 JUSTIFICATIVA

A modelagem do crescimento de plantas, em função de variáveis meteorológicas, torna possível a comparação de cultivares de capim-sudão, semeadas em diferentes épocas, e a partir

disso, compreender como cada órgão da planta contribui no crescimento final de cada uma das cultivares e a influência que as condições ambientais exercem sobre o crescimento. Com isso, é possível recomendar manejos culturais com maior segurança, que visem uma maior produtividade com menores custos.

1.3 HIPÓTESES

A soma térmica acumulada e a radiação solar acumulada podem ser utilizadas para ajustar os modelos Gompertz e Logístico em cultivares de capim-sudão.

Os modelos de crescimento Gompertz e Logístico diferem entre as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo para os caracteres morfológicos e produtivos.

Os modelos de crescimento Gompertz e Logístico diferem entre as épocas de semeadura de cada cultivar.

1.4 OBJETIVO GERAL

Ajustar os modelos de crescimento Gompertz e Logístico para os caracteres morfológicos e produtivos, em função da soma térmica acumulada e da radiação solar acumulada, para duas cultivares de capim-sudão, semeadas em quatro épocas.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar se os modelos de crescimento Gompertz e Logístico são diferentes entre as cultivares de capim-sudão para os caracteres morfológicos e produtivos.

Avaliar se os modelos de crescimento Gompertz e Logístico são diferentes entre as épocas de semeadura em cada uma das cultivares de capim-sudão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO

A busca por tornar os sistemas de cultivos menos degradantes e melhorar a conservação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, é um tema cada vez mais abordado e estudado.

O uso de espécies de cobertura do solo nos períodos pós colheita até a semeadura de uma nova cultura comercial, é uma forma de proteger o solo dos processos erosivos causados pela chuva, uma vez que com o rápido crescimento das plantas o solo fica protegido do impacto das gotas de chuva e do escoamento da água (ZIECH et al., 2015). Além disso, as plantas de cobertura atuam na ciclagem de nutrientes, contribuindo para a redução da utilização de adubos químicos (PEREIRA et al., 2017; CALEGARI, 2012) e possuem potencial de supressão de plantas daninhas (LAMEGO et al., 2015).

2.2 CULTURA DO CAPIM-SUDÃO

O capim-sudão [*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.] é uma espécie anual de verão, pertencente à família Poaceae. Originário do sul do Egito e do Sudão, foi trazido para os Estados Unidos no início do século XX, e em seguida, introduzido na América do Sul (BOGDAN, 1977). É uma espécie que apresenta boa adaptação em regiões de clima quente e seco, possui tolerância a solos ácidos e de baixa fertilidade e suporta temperaturas altas e déficit hídrico (SATTELL et al., 1998).

Apresenta como aptidões de uso, o de servir como planta de cobertura de solo e, principalmente, o uso para a alimentação animal, sendo utilizado na forma de forragem verde, feno ou silagem. Entretanto, assim como as demais espécies do gênero *Sorghum*, cuidados devem ser tomados quando as plantas são consumidas na forma de forragem verde nas fases iniciais, pois estas produzem durrina, que no rúmen do animal pode ser transformado em ácido cianídrico causando intoxicação (JUFFO et al., 2012).

Como planta de cobertura, estudos utilizando o capim-sudão como adubo verde, demonstraram aumento de produção e do tamanho de tubérculos de batata, associado a redução da quantidade de infecções da raiz por *Verticillium dahliae* (DAVIS et al., 2004). Algumas variedades de capim-sudão apresentam propriedades nematicidas, sendo utilizadas no manejo de nematóides (DOVER; WANG; MCSORLEY, 2004). Borges et al. (2014), estudando a

supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura de solo, verificaram que em área semeada de soja sobre a palhada de capim-sudão ocorreu a redução de mais de 90% da infestação de plantas daninhas e manutenção de cobertura superior a 80% do solo até o florescimento da soja.

No Brasil, existem no Registro Nacional de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, nove cultivares de capim-sudão registradas. Porém, para a região Sul do Brasil, devido as temperaturas baixas e a umidade elevada, típica do clima regional, apenas três cultivares são indicadas. Dentre estas estão as cultivares BRS Estribo, que apresenta como características considerável produção de massa de matéria seca ($13,6 \text{ ton ha}^{-1}$) e a maior resistência ao pisoteio animal (SILVEIRA et al., 2015) e a CG Farrapo, que se destaca pela alta produtividade de massa de matéria fresca ($84,3 \text{ ton ha}^{-1}$), massa de matéria seca ($15,8 \text{ ton ha}^{-1}$) e de grãos ($3,9 \text{ ton ha}^{-1}$) (ARENHARDT et al., 2016).

A realização da semeadura em épocas inadequadas pode causar a exposição das plantas às condições meteorológicas adversas a seu crescimento, impactando diretamente no desempenho produtivo da planta. Mesmo dentro de um mesmo ano agrícola, pode haver variabilidade de produção, devido as variações das condições do ambiente, reforçando a importância da escolha de épocas de semeadura adequadas (REZENDE et al, 2012).

No Rio Grande do Sul, o período preferencial de semeadura do capim-sudão está compreendido entre os meses de outubro e fevereiro, sendo que semeaduras fora desse período podem interferir na altura de planta, no ciclo e na produtividade de matéria fresca (SILVEIRA et al., 2015).

2.3 MODELOS DE REGRESSÃO

Modelos de regressão são ferramentas utilizadas nas mais diversas áreas do conhecimento, como a administração, a agronomia, a biologia, as engenharias e a saúde, quando o interesse é estudar a relação entre duas ou mais variáveis quantitativas. Para isso, é necessário que se estabeleça um modelo matemático, que é uma representação simplificada, na forma de equação, de um fenômeno real.

Por meio da utilização destes modelos, é possível estimar o comportamento que um fenômeno terá a partir da relação de uma variável dependente em função de uma variável independente. Utilizados em pesquisas científicas, os modelos devem descrever da forma mais próxima possível o fenômeno real (BRITO et al., 2007).

De acordo com os parâmetros, Draper e Smith (1981) classificam os modelos de regressão em três tipos:

- a) modelos lineares: quando as derivadas parciais em relação aos parâmetros do modelo não dependem de nenhum parâmetro.
- b) modelos linearizáveis: quando na forma inicial os modelos são não lineares, mas por meio de transformação podem se transformar em lineares.
- c) modelos não lineares: são modelos em que pelo menos uma das derivadas parciais da função em relação aos parâmetros depende ao menos de um parâmetro do modelo, e que não existe transformação capaz de torná-los linearizados.

No meio agrônomo a modelagem é muito utilizada para descrever processos de crescimento das culturas. A partir dos modelos é possível estimar o período de ocorrência de fases específicas da fenologia da planta e prever os períodos de realização dos manejos culturais (LEE; GOUDRIAAN; CHALLA, 2003). Ainda, possibilita a identificação de características intrínsecas da fisiologia de cada espécie e a contribuição que cada órgão da planta tem para o crescimento final da cultura (BENINCASA, 2003).

Os processos de crescimento das plantas podem ser relacionados em função do número de dias após a semeadura ou emergência das plantas (AUGOSTINHO et al., 2008), ou ainda, em função de variáveis meteorológicas, como a insolação, a precipitação, a soma térmica e a radiação solar, relacionando, assim, o crescimento com às condições do ambiente em que a cultura está submetida (TRENTIN et al., 2008).

2.4 CURVAS DE CRESCIMENTO

Normalmente, nos estudos de crescimento de plantas, os modelos são expressos por meio de curvas de crescimento, que geralmente apresentam formato sigmoideal, ou seja, iniciam em um ponto fixo, passando a uma taxa de crescimento rápida até um ponto de máximo crescimento (ponto de inflexão), a partir do qual a taxa se reduz até atingir a estabilidade, chamada de assíntota (RATKOWSKY, 1983). Devido a isso, a utilização de modelos lineares, muitas vezes, se torna insatisfatório, uma vez que não descreve bem o comportamento da curva de crescimento. Nestes casos, o uso de modelos não lineares é mais indicado, pois, quando aplicados de forma apropriada, podem apresentar menor número de parâmetros, serem facilmente interpretados, e, por possuírem parâmetros com interpretação biológica (ARCHONTOULIS; MIGUEZ, 2015).

Essas curvas de crescimento são construídas com base em avaliações periódicas de caracteres morfológicos e produtivos das plantas em função do tempo decorrido de cultivo ou de variáveis meteorológicas. Nas curvas de crescimento assintóticas não existem pontos de máximo e nem de mínimo, porém, alguns pontos (ponto de inflexão, de aceleração máxima, de desaceleração máxima e de estabilidade) são importantes na curva e apresentam significados específicos (MISCHAN; PINHO, 2014).

O ponto de inflexão caracteriza-se por ser o ponto em que a curva passa do crescimento a taxas crescentes para taxas decrescentes. De maneira biológica, o ponto de inflexão pode ser interpretado como sendo o momento em que a planta apresenta o máximo acúmulo diário de massa (CARVALHO et al., 2007). Já os pontos de aceleração e desaceleração máximas representam a aceleração do crescimento, que é positiva até atingir o ponto de inflexão, e negativa após o ponto de inflexão. E por último, o ponto de estabilidade ou ponto de desaceleração assintótico, que é quando os acréscimos de crescimento tornam-se pequenos quando comparados aos já ocorridos, ou seja, quando o crescimento cessa (MISCHAN; PINHO, 2014), como ocorre quando a planta atinge seu máximo crescimento e acúmulo de massa.

Com base na interpretação dos valores desses pontos, é possível analisar de uma melhor forma o crescimento das culturas, sendo isto uma informação útil para os pesquisadores e produtores, pois pode indicar períodos mais adequados, onde a planta responderá de uma forma melhor, a realização de manejos culturais, como capinas, adubações, podas, colheitas, entre outros.

2.5 MODELOS NÃO LINEARES

Os modelos não lineares são modelos em que pelo menos uma das derivadas parciais depende de algum parâmetro e não existe transformação capaz de torná-los lineares. Este tipo de modelo é muito utilizado nas mais diversas áreas do conhecimento, pois possibilitam a condensação de um conjunto de dados, tomados em um determinado período de tempo, em um pequeno conjunto de parâmetros com interpretação prática (TERRA et al., 2010).

A representação de um modelo não linear é dada por:

$$Y = f(X, \beta) + \varepsilon_i$$

em que, Y é o vetor com a variável resposta em estudo; $f(\cdot)$ é uma função não linear contínua do vetor de variáveis independentes X e dos parâmetros desconhecidos β ; e ε_i é o vetor de erros aleatórios, associados aos modelos.

Nos modelos não lineares, o processo de estimação dos parâmetros, a partir dos dados observados, pode ser realizado de diferentes formas, dentre as quais pelo método dos mínimos quadrados, que visa reduzir as somas dos quadrados residuais. No entanto, para isso é necessário adotar métodos iterativos, dentre os quais, o mais comumente utilizado, é o método de Gauss-Newton. Neste método são atribuídos valores iniciais aos parâmetros da função e então é construída a função soma de quadrados. A partir disso, novos valores são atribuídos aos parâmetros e os resultados da função soma de quadrados obtidos são comparados ao resultado inicial até que a soma de quadrados atinja um ponto de mínimo para as estimativas dos parâmetros. O número de iterações necessário para o ajuste dos parâmetros depende de os valores iniciais utilizados serem aproximados aos verdadeiros valores dos parâmetros (MISCHAN; PINHO, 2014).

Existem pressuposições que o modelo deve atender, a fim de que as inferências e conclusões realizadas sobre os parâmetros do modelo tenham validade. Tais pressuposições são: a normalidade, a homogeneidade e a independência os resíduos. O não atendimento destas pressuposições diminui a precisão do intervalo de confiança dos parâmetros e dos testes de hipóteses, fazendo com que na comparação de diferentes modelos a conclusão seja errada, como afirmar que modelos não diferentes apresentem diferença significativa ou que modelos diferentes apresentem diferença não significativa.

Diferentes tipos de modelos não lineares podem ser utilizados na descrição de curvas de crescimento. Nas ciências agrárias, estudos com um ou mais tipos de modelos não lineares já foram realizados para: avaliar a deposição de glifosato aplicado para o controle de plantas daninhas na cultura da soja transgênica (GAZZIERO et al., 2006), determinar o ponto de colheita de sementes de tamareira-anã (IOSSI et al., 2007), descrever o crescimento de frutos de coqueiro anão verde (PRADO; SAVIAN; MUNIZ, 2013), o acúmulo de massa de matéria seca de partes de plantas de alho (REIS et al., 2014), a germinação de sementes de café (SOUSA et al., 2014), estimar a produção de tomate cereja (LÚCIO et al., 2016), descrever o crescimento de frutos de cajueiro (MUIANGA et al., 2016), de frutos de cacau (MUNIZ; NASCIMENTO; FERNANDES, 2017) e de caracteres morfológicos e produtivos de crotalária juncea (BEM et al., 2017, 2018).

2.5.1 Modelo Gompertz

Um dos modelos mais utilizados na descrição de curvas de crescimento de plantas é o modelo Gompertz. Proposto em 1825 por Benjamin Gompertz, para a descrição do crescimento

da taxa de mortalidade humana (GOMPertz, 1825), apresenta diferentes formas de parametrização, sendo uma delas dada por:

$$y_i = a \times \exp[-\exp(b - cx_i)] + \varepsilon_i$$

em que y_i sendo a i -ésima observação da variável dependente, sendo $i=1, 2, 3, \dots, n$; a é o valor de crescimento final ou valor assintótico do caractere avaliado; b é um parâmetro de alocação que não tem interpretação biológica, mas é importante para que a curva tenha o formato sigmoidal; c é um parâmetro associado ao crescimento e indica o índice de maturidade, sendo que quanto maior é o seu valor, mais rápido se atinge a assíntota; x_i são os valores que a variável independente assume; e ε_i é o erro aleatório associado a i -ésima observação.

É um modelo que apresenta crescimento inicial exponencial e, a seguir, assintótico, com isso apresentando formato sigmoidal. Porém não possui simetria em relação ao ponto de inflexão.

2.5.2 Modelo Logístico

Outro modelo bastante utilizado é o modelo Logístico, que foi proposto por Verhulst, em 1838, com o intuito de estudar o crescimento das populações humanas (SEBER; WILD, 1989). Assim como o modelo de Gompertz, apresenta formato sigmoidal, tendo uma fase de crescimento inicial exponencial e, após o ponto de inflexão, assintótico. Apresenta diferentes formas de parametrização, sendo uma delas dada por:

$$y_i = a/[1 + \exp(-b - cx_i)] + \varepsilon_i$$

em que y_i sendo a i -ésima observação da variável dependente, sendo $i=1, 2, 3, \dots, n$; a é o valor de crescimento final ou valor assintótico do caractere avaliado; b é um parâmetro de alocação que não tem interpretação biológica, mas é importante para que a curva tenha o formato sigmoidal; c é um parâmetro associado ao crescimento e indica o índice de maturidade, sendo que quanto maior é o seu valor, mais rápido se atinge a assíntota; x_i são os valores que a variável independente assume; e ε_i é o erro aleatório associado a i -ésima observação.

Ao contrário do que no modelo Gompertz, o modelo Logístico apresenta simetria em relação ao ponto de inflexão, ou seja, quando a curva atinge o ponto de inflexão y_i atinge metade de seu valor máximo esperado.

2.6 INDICADORES DE QUALIDADE DO AJUSTE

Quando diferentes tipos de modelos de regressão são ajustados para um mesmo conjunto de dados, é necessário que alguma análise estatística seja utilizada para avaliar a qualidade do ajuste e indicar o melhor modelo. Existem diversas dessas análises, chamadas de indicadores de qualidade de ajuste, que podem ser utilizadas, sendo que as principais são o coeficiente de determinação (R^2), o critério de informação de Akaike (AIC) e o desvio padrão residual (DPR).

Segundo Draper e Smith (1998), a utilização do coeficiente de determinação para a comparação de diferentes modelos e para a escolha do que apresenta melhor ajuste, embora muito utilizado, pode não ser o mais adequado, uma vez que o mesmo não considera o número de parâmetros. Com isso, é mais indicado o coeficiente de determinação ajustado, que faz uma ponderação pelo número de parâmetro.

Obtêm-se o coeficiente de determinação ajustado pela seguinte equação:

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

onde R^2_{aj} é o coeficiente de determinação ajustado, R^2 é o coeficiente de determinação, n é o número de observações, i está relacionado com o ajuste do intercepto da curva, sendo igual a 1 se houver intercepto e igual a 0, se não houver intercepto no modelo, e p é o número de parâmetros do modelo. O modelo com melhor ajuste é aquele que apresentar valor de R^2_{aj} mais próximo a 1.

O Critério de Informação de Akaike (AIC) é um indicador que penaliza os modelos quanto ao seu número de parâmetros. Assim, evita-se modelos com excessivo número de parâmetros. O AIC pode ser obtido pela equação:

$$AIC = \ln(\sigma^2) + 2(p + 1)/n$$

em que $\ln(\sigma^2)$ é o logaritmo neperiano da variância dos erros, p é o número de parâmetros do modelo e n é o número de observações. Quanto menor for o valor de AIC, melhor é o modelo.

O desvio padrão residual (DPR) quantifica a variabilidade dos dados. É obtido pela raiz quadrada do quadrado médio do erro. Menores valores de DPR indicam que o modelo apresenta maior qualidade de ajuste.

2.7 CURVATURA DE BATES E WATTS

Como nos modelos não lineares a estimação dos parâmetros é obtida por meio de métodos iterativos, que buscam fazer uma aproximação linear em torno do valor estimado e, só

então, aplicar o método dos mínimos quadrados, Bates e Watts (1980) propuseram medidas de não linearidade, baseadas no conceito geométrico de curvatura, que avaliam se essa aproximação linear e seus efeitos nas inferências são adequados. Essas medidas independem de mudanças na escala dos parâmetros ou dos dados, possibilitando comparar diferentes modelos ou conjuntos de dados (SEBER; WILD, 1989).

Segundo Bates e Watts (1980), a não linearidade do modelo pode ser decomposta em dois componentes: não linearidade intrínseca (IN) e não linearidade do efeito do parâmetro (PE). A não linearidade intrínseca mede a curvatura do espaço de estimação no espaço amostral, enquanto que a não linearidade do efeito do parâmetro representa o máximo valor do efeito da parametrização (MAZUCHELI; ACHCAR, 2002).

Modelos que apresentam comportamento mais próximo ao linear, ou seja, que apresentam os menores valores para os dois componentes da não linearidade, são desejados, pois apresentam estimadores não viesados, possuem distribuição normal e com variância mínima mesmo para pequenas amostras e os valores de previsão são precisos (MAZUCHELI; ACHCAR, 2002).

3 CAPÍTULO I: MODELOS GOMPERTZ E LOGÍSTICO PARA CARACTERES MORFOLÓGICOS DE CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA

Resumo

Os objetivos deste trabalho foram ajustar modelos de crescimento, Gompertz e Logístico, para os caracteres altura de planta e comprimento de colmo em função da soma térmica acumulada e da radiação solar acumulada, comparar os ajustes e indicar o que melhor descreve o crescimento de duas cultivares de capim-sudão em quatro épocas de semeadura. Foram conduzidos oito ensaios de uniformidade com capim-sudão. Aos 15 dias após a emergência, foi iniciada a coleta e avaliação de cinco plantas, três vezes por semana, de cada ensaio. Foram mensurados a altura de planta e o comprimento de colmo. O ajuste dos modelos foi realizado com os valores dos caracteres das cinco plantas em cada avaliação, em função da soma térmica acumulada e da radiação solar acumulada. Foram estimados os parâmetros, determinado o intervalo de confiança dos parâmetros, os pontos críticos das curvas de crescimento e os indicadores de qualidade do ajuste. Também foram quantificadas as não linearidades intrínseca e do efeito do parâmetro. A soma térmica acumulada e a radiação solar acumulada são adequadas para serem utilizadas como variável independente no ajuste dos modelos. Para descrever o crescimento dos caracteres altura de planta e comprimento de colmo, das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo, ambos os modelos são adequados. Entretanto, o modelo Logístico apresenta maior precisão.

Palavras-chave: Modelos não lineares. Planta de cobertura. *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.

Gompertz and logistic models for morphological traits of sudangrass cultivars at sowing seasons

Abstract

The objective of this work was to fit growth models, Gompertz and Logistic, for the plant height and stem length traits as a function of accumulated thermal sum and accumulated solar radiation, comparing the adjustments and indicating the best to describe the growth of two sudangrass cultivars in four sowing seasons. Eight uniformity trials were conducted with sudangrass. At 15 days after the emergency was started the collect and evaluation of five plants of each trial. Plant height and stem length were measured. The adjustment of the models was performed with the trait values of the five plants in each evaluation as a function of accumulated thermal sum and accumulated solar radiation. Were estimated the parameters, determined the

confidence interval of the parameters, the critical points of the growth curves and the adjustment quality indicators. The intrinsic nonlinearity and the nonlinearity of parameter effect were also quantified. The accumulated thermal sum and accumulated solar radiation are suitable to be used as an independent variable in the adjustment of the models. To describe the growth of the plant height and stem length of the cultivars BRS Estribo and CG Farrapo, both models are adequate. However, the logistic model is more accurate.

Key words: Cover plant. Nonlinear models. *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.

Introdução

O capim-sudão [*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.] é uma espécie anual, originária do sul do Egito e do Sudão, cultivada em regiões de clima quente e pertencente à família Poaceae. Tem como finalidade servir de forragem para a alimentação animal e a utilização como planta de cobertura para o solo. Como características, o capim-sudão é considerado uma planta rústica, apresentando tolerância a solos ácidos, de baixa fertilidade e ao déficit hídrico (SATTELL et al., 1998).

Como trata-se de uma cultura cujo interesse é o rápido crescimento, tanto para o fornecimento de forragem quanto para a proteção do solo, é necessário que os tratamentos culturais sejam realizados de acordo com as necessidades da planta e durante os períodos em que a mesma se encontra responsiva. Para isso, é necessário compreender como ocorre o crescimento da cultura, o que pode ser realizado com o ajuste de modelos matemáticos.

Esses modelos são utilizados em diversas áreas de estudos para prever a ocorrência de um determinado fenômeno. Na área agrônômica, a modelagem foi utilizada para estimar o período de ocorrência de fases fenológicas (LEE et al., 2003), na identificação de características intrínsecas da fisiologia de cada espécie e na forma que cada órgão contribui para o crescimento final (BENINCASA, 2003) e para prever o rendimento de culturas (GOMES et al., 2014). Além disso, a modelagem possibilita o estudo dos processos de crescimento, relacionando-os com o número de dias decorridos desde o cultivo ou da emergência das plantas (AUGOSTINHO et al., 2008), ou ainda, relacionando com variáveis meteorológicas do ambiente em que a planta se encontra (OLIVEIRA et al., 2017). Porém, para que estes modelos tenham confiabilidade é necessário que, quando ajustados, descrevam o fenômeno o mais próximo possível do real (BRITO et al., 2007).

Os modelos podem ser lineares ou não lineares. Para a descrição de curvas de crescimento de organismos vivos os modelos não lineares são os mais indicados, pois quando bem ajustados podem apresentar menor número de parâmetros quando comparado aos modelos

lineares e, principalmente, por possuírem parâmetros que possuem interpretação biológica (ARCHONTOULIS; MIGUEZ, 2015).

Para representar o crescimento de plantas, os modelos não lineares mais utilizados são o Gompertz e o Logístico, pois estes apresentam curvas com formato sigmoidal. Esses dois modelos foram utilizados para descrever o crescimento de caracteres morfológicos de crotalária juncea (BEM et al., 2017), o crescimento de frutos de cajueiro (MUIANGA et al., 2016) e o crescimento de frutos de cafeeiro (FERNANDES et al., 2014).

Assim, os objetivos deste trabalho foram ajustar modelos de crescimento, Gompertz e Logístico, para os caracteres altura de planta e comprimento de colmo em função da soma térmica acumulada e da radiação solar acumulada, comparar os ajustes e indicar o modelo que melhor descreve o crescimento de duas cultivares de capim-sudão em quatro épocas de semeadura.

Material e Métodos

Oito ensaios de uniformidade (experimentos em branco) com a cultura do capim-sudão [*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.] foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (29°42'S, 53°49' W e 95 m de altitude) no ano agrícola 2016/2017. A região apresenta clima do tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013) e o solo é classificado como Argissolo vermelho distrófico arênico (SANTOS et al., 2013).

Os ensaios foram compostos pela combinação de duas cultivares (BRS Estribo e CG Farrapo), semeadas em quatro épocas (20 de dezembro de 2016, 20 de janeiro de 2017, 7 de fevereiro de 2017 e 24 de fevereiro de 2017). Os tratos culturais foram realizados de maneira homogênea em todos os ensaios de uniformidade.

A área foi preparada para a semeadura com uma gradagem leve e a aplicação da adubação de base na dose de 33 kg ha⁻¹ de N, 132 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 132 kg ha⁻¹ de K₂O (660 kg ha⁻¹ da fórmula comercial 5-20-20). A semeadura foi realizada em fileiras espaçadas em 0,4 m, utilizando densidade de 25 kg ha⁻¹ de sementes viáveis para ambas as cultivares. Todas as semeaduras foram realizadas dentro da época recomendada para a cultura no Rio Grande do Sul, de outubro a fevereiro (SILVEIRA et al., 2015). Cada ensaio de uniformidade ocupou uma área de 9 m × 16 m (144 m²). Quando as plantas apresentavam três a quatro folhas, foi realizada a adubação nitrogenada em cobertura, com 67,5 kg ha⁻¹ de N (150 kg ha⁻¹ de ureia).

As coletas e as avaliações de plantas foram realizadas três vezes por semana, a partir dos 15 dias após a emergência das plantas até o final do estágio de florescimento. Para cada

avaliação foram coletadas, aleatoriamente, cinco plantas de cada ensaio, nas quais foram mensurados os caracteres: altura de planta (AP, em cm), distância da superfície do solo até a inserção da última folha expandida do colmo principal, e comprimento de colmo (CC, em cm). Para determinar o CC, as folhas foram removidas da planta e foi mensurada a distância da superfície do solo até o ponto de crescimento. Foram realizadas 22, 26, 29 e 27 avaliações para o caractere AP e 21, 24, 28 e 24 para o caractere CC, nas épocas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

No período compreendido entre a primeira época de semeadura (20 de dezembro de 2016) e a última avaliação (29 de maio de 2017), foram coletados os registros de temperatura máxima e mínima do ar, em °C, e de radiação solar global incidente, em MJ m⁻² da Estação Meteorológica Automática do INMET, localizada a 30 m da área experimental. Com os dados de temperatura foi calculada a soma térmica diária pelo método proposto por Arnold (1960) conforme a equação:

$$STd = (T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}) / 2 - T_b \quad (1)$$

onde STd é a soma térmica diária, T_{máx} é a temperatura máxima do dia, T_{mín} é a temperatura mínima do dia e T_b é a temperatura basal inferior do sorgo sacarino BRS 511, de 10,8°C (BANDEIRA et al., 2016), utilizada como referência, devido ao fato de não ser encontrado estudos sobre a temperatura base do capim-sudão, aliado ao fato do sorgo sacarino ser do mesmo gênero que o capim-sudão. Após isso, foi calculada a soma térmica acumulada (STA) por meio da soma das STd do período entre a emergência das plantas e o final das avaliações de cada cultivar em cada época. Para a obtenção da radiação solar acumulada (RSA) foi adotado o mesmo processo, sendo realizado o somatório dos dados de radiação solar global incidente diário do mesmo período.

Para o ajuste dos modelos Gompertz e Logístico, de cada caractere, foram utilizados os valores das cinco plantas de cada avaliação em função da soma térmica acumulada (STA) e da radiação solar acumulada (RSA). A equação utilizada do modelo Gompertz foi: $y_i = a \exp[-\exp(b - cx)]$, e a do Logístico foi: $y_i = a/[1 + \exp(-b - cx)]$, em que y_i representa a i-ésima observação da variável dependente sendo $i = 1, 2, \dots, n$; a é o valor assintótico ou valor de crescimento final; b é o parâmetro de alocação da curva, não possuindo interpretação biológica, mas fundamental para o formato sigmoideal da curva; c é a taxa máxima de crescimento relativo ou índice de precocidade; e x é a variável independente. As estimativas iniciais dos parâmetros foram realizadas pelo método dos mínimos quadrados ordinários.

Após o ajuste, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin-Watson para verificar o atendimento das pressuposições de normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos, respectivamente. Nos casos em que não houve o atendimento dos

pressupostos, foram realizadas transformações dos dados por meio da transformação Box-Cox utilizando o software Action.

Foram calculados os pontos críticos da função de cada modelo, a partir dos quais podem ser realizadas inferências sobre o crescimento da cultura. Foram calculados o ponto de inflexão (PI), o ponto de aceleração máxima (PAM), o ponto de desaceleração máxima (PDM) e o ponto de desaceleração assintótico (PDA) conforme equações descritas em Mischan e Pinho (2014).

A comparação entre os modelos de crescimento, ajustados para os caracteres altura de planta e comprimento de colmo, foi realizada adotando-se o critério de sobreposição dos intervalos de confiança das estimativas dos parâmetros de cada modelo. Para isso, foram calculados os limites inferior e superior do intervalo de confiança a 95%. Segundo o critério, quando verificado que ao menos uma estimativa do parâmetro de um caractere para uma determinada época estava contida no intervalo de confiança do parâmetro do mesmo caractere de outra época, as mesmas não diferem. Entretanto, se nenhuma das estimativas estava contida no intervalo de confiança da outra, as estimativas dos parâmetros diferem. Estas comparações foram realizadas, primeiramente, entre as cultivares dentro de cada época de semeadura e, posteriormente, entre épocas de semeadura de cada cultivar para cada modelo.

A avaliação de qualidade de ajuste dos modelos foi realizada com base no: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), sendo o melhor ajuste o que apresenta maior valor de R^2_{aj} ; critério de informação de Akaike (AIC), onde o melhor modelo é o que apresenta o menor valor de AIC; e desvio padrão residual (DPR), em que o ajuste melhor é o que apresenta menor valor de DPR.

O comportamento dos modelos não lineares foi analisado utilizando as medidas de não linearidade das curvaturas de Bates e Watts (1988), em que a não linearidade é decomposta em não linearidade intrínseca (IN) e não linearidade do efeito do parâmetro (PE), com base no conceito geométrico de curvatura. Assim, o modelo a ser escolhido é aquele que apresenta os menores valores de IN e PE.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018) e do aplicativo Microsoft Office Excel®.

Resultados e Discussão

Após o ajuste dos modelos Gompertz e Logístico, verificou-se por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin-Watson, os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos, respectivamente. Na Tabela 1.1 apresentam-se os valores-p dos testes utilizados na análise dos resíduos dos modelos. Percebe-se que os resíduos dos modelos

ajustados aos dados de altura de planta e comprimento de colmo, em função da STA e da RSA, das cultivares de capim-sudão semeadas em quatro épocas, apresentaram distribuição normal, homogeneidade e independência, ou seja, atenderam todos os pressupostos (valor-p > 0,05).

Tabela 1.1 - Valor-p dos testes Shapiro-Wilk (SW), Bartlett (BAR) e Durbin-Watson (DW) aplicados aos resíduos dos modelos Gompertz e Logístico ajustados aos caracteres altura de planta e comprimento de colmo, em função da soma térmica acumulada (°C) e da radiação solar acumulada (MJ m⁻²), das cultivares de capim-sudão, BRS Estribo e CG Farrapo, semeadas em quatro épocas.

Caractere ⁽¹⁾	Cultivar	Gompertz			Logístico		
		SW	BAR	DW	SW	BAR	DW
Em função da soma térmica acumulada							
Época 1 (20/12/2016)							
AP	BRS Estribo	0,8731	0,1339	0,1800	0,8861	0,1339	0,1400
	CG Farrapo	0,5693	0,0774	0,1020	0,6770	0,0774	0,1180
CC	BRS Estribo	0,2729	0,3901	0,8420	0,0714	0,3901	0,1040
	CG Farrapo	0,6194	0,1001	0,0980	0,3147	0,1000	0,2000
Época 2 (20/01/2017)							
AP	BRS Estribo	0,8503	0,6439	0,1860	0,7826	0,6439	0,1260
	CG Farrapo	0,9200	0,5686	0,1740	0,9299	0,5686	0,1220
CC	BRS Estribo	0,6930	0,0993	0,0880	0,8887	0,0993	0,0520
	CG Farrapo	0,1230	0,1343	0,1060	0,0861	0,1342	0,0940
Época 3 (07/02/2017)							
AP	BRS Estribo	0,9086	0,0581	0,0980	0,7764	0,0581	0,0760
	CG Farrapo	0,5504	0,4413	0,1900	0,6240	0,4412	0,1820
CC	BRS Estribo	0,6554	0,0660	0,1500	0,9957	0,0760	0,2360
	CG Farrapo	0,4081	0,0573	0,2400	0,5347	0,0572	0,2560
Época 4 (24/02/2017)							
AP	BRS Estribo	0,1470	0,0823	0,1560	0,7414	0,0823	0,1880
	CG Farrapo	0,8614	0,3223	0,1480	0,8139	0,1587	0,1980
CC	BRS Estribo	0,2149	0,1020	0,1160	0,1615	0,1002	0,1200
	CG Farrapo	0,9403	0,1587	0,0620	0,6219	0,1587	0,1060
Em função da radiação solar acumulada							
Época 1 (20/12/2016)							
AP	BRS Estribo	0,5137	0,1339	0,0560	0,7524	0,1339	0,0740
	CG Farrapo	0,2528	0,0774	0,0780	0,1644	0,0774	0,0960
CC	BRS Estribo	0,2902	0,3901	0,4780	0,3854	0,3901	0,1920
	CG Farrapo	0,3761	0,1001	0,1200	0,4194	0,1000	0,1620
Época 2 (20/01/2017)							
AP	BRS Estribo	0,9083	0,6439	0,0920	0,8553	0,6439	0,0920
	CG Farrapo	0,3429	0,5686	0,2100	0,8706	0,5686	0,1500
CC	BRS Estribo	0,5905	0,0993	0,0960	0,9668	0,0993	0,0620
	CG Farrapo	0,0801	0,1343	0,0840	0,0700	0,1342	0,0940
Época 3 (07/02/2017)							
AP	BRS Estribo	0,5227	0,0581	0,0540	0,4457	0,0581	0,1380
	CG Farrapo	0,2133	0,4413	0,1660	0,3210	0,4412	0,1820
CC	BRS Estribo	0,3902	0,0660	0,0620	0,9366	0,0760	0,0520
	CG Farrapo	0,4997	0,0573	0,1560	0,5490	0,0572	0,0560
Época 4 (24/02/2017)							
AP	BRS Estribo	0,2162	0,0823	0,1200	0,4891	0,0823	0,1040
	CG Farrapo	0,1758	0,3223	0,1120	0,6219	0,1587	0,2320
CC	BRS Estribo	0,2149	0,1020	0,1000	0,4555	0,1002	0,2600
	CG Farrapo	0,8676	0,1587	0,0500	0,4970	0,1587	0,0500

⁽¹⁾ AP: altura de planta, em cm; CC: comprimento de colmo, em cm.

Na Tabela 2.1, estão apresentadas as estimativas dos parâmetros dos modelos Gompertz e Logístico dos caracteres AP e CC, em função da soma térmica acumulada, bem como a comparação entre as cultivares dentro de cada época de semeadura. Para a comparação foi adotado o critério de sobreposição dos intervalos de confiança, assim como em estudo realizado por Bem et al. (2017). Este critério consiste em comparar a estimativa do parâmetro de um caso com o intervalo de confiança da estimativa do mesmo parâmetro de outro caso. Se ambas ou ao menos uma das estimativas está contida dentro do intervalo de confiança da outra, o parâmetro não difere. Caso nenhuma das estimativas esteja dentro do intervalo de confiança da outra, então há diferença entre o parâmetro. Para exemplificar este método, comparamos as estimativas do parâmetro a para o caractere altura de planta no modelo Gompertz da primeira época. Visualizando os valores é possível concluir que, nesse caso, o parâmetro não difere entre as cultivares a 5% de probabilidade de erro, pois a estimativa de a para a cultivar BRS Estribo (298,6110) está dentro do intervalo de confiança para a estimativa do parâmetro a da cultivar CG Farrapo (285,4505 a 320,1181), assim como a estimativa de a da cultivar CG Farrapo (302,7843) está dentro do intervalo de confiança da estimativa para a cultivar BRS Estribo (278,6330 a 318,5890). No caso do parâmetro b , para este mesmo modelo, pode-se inferir que ele difere, pois tanto a estimativa de b da cultivar BRS Estribo (2,1496) não está contida no intervalo da estimativa da cultivar CG Farrapo (1,6813 a 2,0510), nem a estimativa de b da cultivar CG Farrapo (1,8661) está contida no intervalo da estimativa da cultivar BRS Estribo (1,9197 a 2,3795). Para afirmar que as cultivares possuem o mesmo comportamento, é necessário que os parâmetros a , b e c não sejam diferentes.

Tabela 2.1 - Estimativa dos parâmetros e limites inferior (LI) e superior (LS) dos intervalos de confiança a 95% do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico dos caracteres em função da soma térmica acumulada, das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo, semeadas em quatro épocas.

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro ⁽²⁾	Estimativa	Gompertz						Logístico					
			BRSEstribo			CGFarrapo			BRSEstribo			CGFarrapo		
			LI	LS	Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS	
Época1 (2012/2016)														
AP	a(ns)(ns)	298,6110	278,6330	318,5890	302,7843	285,4505	320,1181	272,2806	260,2211	284,3400	272,9707	264,8668	281,0745	
	b(*) (ns)	2,1496	1,9197	2,3795	1,8661	1,6813	2,0510	-4,1055	-4,4671	-3,7440	-3,9206	-4,2150	-3,6261	
	c(*) (ns)	0,0044	0,0038	0,0050	0,0029	0,0026	0,0033	0,0075	0,0067	0,0083	0,0072	0,0066	0,0079	
CC	a(ns)(ns)	248,4020	231,1422	265,6618	248,1316	235,3630	260,9001	226,9769	216,0497	237,9040	228,6435	221,2084	236,0785	
	b(*) (ns)	2,5965	2,2895	2,9034	2,2792	2,0312	2,5271	-4,8961	-5,3939	-4,3983	-4,5641	-4,9846	-4,1436	
	c(*) (ns)	0,0052	0,0045	0,0060	0,0035	0,0030	0,0039	0,0088	0,0078	0,0099	0,0083	0,0075	0,0092	
Época2 (2001/2017)														
AP	a(*) (*)	315,0364	295,0572	335,0157	288,6996	276,7502	300,6489	286,7595	275,6887	297,8303	274,0865	265,2905	282,8826	
	b(ns)(ns)	1,9117	1,7158	2,1076	1,8941	1,7477	2,0404	-3,7322	-4,0302	-3,4343	-3,6715	-3,9092	-3,4338	
	c(*) (ns)	0,0040	0,0035	0,0045	0,0032	0,0029	0,0035	0,0068	0,0062	0,0075	0,0066	0,0061	0,0071	
CC	a(*) (*)	281,2486	263,6262	298,8711	249,9414	239,7287	260,1541	248,3721	239,0200	257,7241	238,9838	231,1065	246,8610	

	b(ns)(ns)	22840	20799	24880	23156	21206	25106	-45306	-48649	-41963	-44345	-47590	-41100
	c(*) (ns)	0,0045	0,0040	0,0050	0,0038	0,0034	0,0042	0,0081	0,0073	0,0088	0,0079	0,0072	0,0085
Época3(07/02/2017)													
AP	a(ns)(ns)	306,0414	282,5019	329,5808	295,0529	275,6170	314,4887	270,6889	260,0750	281,3029	261,2353	253,6453	268,8254
	b(*) (ns)	2,6430	2,3505	2,9356	2,2099	1,9686	2,4513	-5,2914	-5,6955	-4,8872	-5,1508	-5,5429	-4,7587
	c(*) (ns)	0,0047	0,0040	0,0053	0,0035	0,0030	0,0040	0,0086	0,0078	0,0093	0,0092	0,0084	0,0100
CC	a(*) (*)	260,3281	242,3249	278,3312	241,8388	226,0378	257,6397	230,7705	221,8118	239,7292	215,1551	209,0839	221,2263
	b(ns)(ns)	3,1800	2,8410	3,5189	2,9107	2,5443	3,2770	-6,2474	-6,7498	-5,7450	-6,6294	-7,2066	-6,0522
	c(*) (*)	0,0055	0,0047	0,0062	0,0045	0,0038	0,0051	0,0099	0,0090	0,0109	0,0118	0,0107	0,0129
Época4(24/02/2017)													
AP	a(ns) (*)	234,6569	222,2895	247,0243	239,8315	230,0164	249,6467	216,0795	210,3211	221,8379	230,8569	224,3751	237,3388
	b(ns) (*)	3,1709	2,7929	3,5489	3,3921	3,0027	3,7815	-6,1129	-6,6080	-5,6178	-5,2457	-5,6530	-4,8383
	c(*) (*)	0,0076	0,0066	0,0086	0,0062	0,0054	0,0069	0,0134	0,0122	0,0145	0,0121	0,0110	0,0131
CC	a(ns) (*)	200,2694	190,1659	210,3728	194,0038	188,0824	199,9253	183,4369	178,5688	188,3051	189,7987	184,9466	194,6508
	b(ns) (*)	4,0337	3,5880	4,4794	4,4544	3,9693	4,9396	-7,6033	-8,1793	-7,0273	-6,3622	-6,9017	-5,8227
	c(*) (*)	0,0091	0,0081	0,0102	0,0078	0,0070	0,0087	0,0161	0,0148	0,0174	0,0144	0,0131	0,0157

⁽¹⁾ AP: altura de planta; CC: comprimento de colmo. ⁽²⁾ Primeira coluna de parênteses representa a comparação dos parâmetros do modelo Gompertz entre as cultivares e a segunda coluna de parênteses representa a comparação dos parâmetros do modelo Logístico entre as cultivares. (*) significativo a 5% de probabilidade de erro. (ns) não significativo.

Com relação aos modelos de AP em função da STA, observou-se que no modelo Gompertz o comportamento das cultivares foi diferente em todas as épocas de semeadura. Quando verificado apenas o parâmetro a , não houve diferença entre as cultivares nas épocas 1, 2 e 4, sendo possível inferir que dentro dessas épocas não houve diferença entre os valores assintóticos, ou seja, as cultivares não apresentaram diferença na altura final das plantas. Para o modelo Logístico, as cultivares não diferiram nas épocas 1 e 3, possuindo valores não diferentes para os parâmetros a , b e c , o que significa que apresentaram curvas de crescimento semelhantes, que podem ser utilizadas para as duas cultivares nessas épocas. Para o parâmetro c , não houve diferença nas épocas 1, 2 e 3, podendo-se inferir que dentro dessas épocas o índice de precocidade ou velocidade de crescimento para atingir a assíntota, não diferiu entre as cultivares.

No caractere CC, verificou-se que no modelo Gompertz as cultivares apresentaram comportamentos distintos em todas as épocas. Porém, não foram observadas diferenças do parâmetro a entre as cultivares nas épocas 1 e 4. Já no modelo Logístico, as cultivares não diferiram na época 1, apresentando o mesmo comportamento de crescimento. Na época 2 as cultivares diferiram apenas pelo valor assintótico (a), não diferindo nos parâmetros b e c . Nas épocas em que houveram diferenças entre as cultivares quanto a AP, observou-se que na época 2, a cultivar BRS Estribo apresentou maior valor de a e menor de c em relação a cultivar CG Farrapo. Comportamento oposto foi verificado na época 4. Nas épocas em que observou-se diferenças entre as cultivares no CC, foi possível verificar que nas épocas 2 e 3 a cultivar BRS Estribo apresentou maiores valores de a e menores de c do que a cultivar CG Farrapo. Na época 4, assim como para o caractere altura de planta, ocorreu inversão do comportamento das

cultivares. Com isso, é possível afirmar que o atraso da semeadura, mesmo que dentro do período indicado para a cultura, causou redução de AP e CC maior para a cultivar BRS Estribo quando comparada a CG Farrapo. A partir disso, recomenda-se, no caso de necessidade de realizar semeadura tardia, a cultivar CG Farrapo, uma vez que a mesma apresentou desempenho superior ao da BRS Estribo.

Quando os modelos foram ajustados em função da RSA, não houve diferença entre as cultivares para AP nas épocas 1 e 3 nos modelos Gompertz e Logístico (Tabela 3.1). Na segunda época de semeadura foi observado que as cultivares não diferiram para os parâmetros *b* e *c*, diferindo no parâmetro *a*. Isso significa que houve diferença entre a altura de planta no final do ciclo de desenvolvimento. Em relação ao CC, as cultivares apresentaram o mesmo comportamento na época 1, tanto no modelo Gompertz, quanto no modelo Logístico. Como visto nos modelos ajustados em função da STA, a cultivar BRS Estribo apresentou maiores valores de AP e CC em relação a cultivar CG Farrapo nas épocas em que houve diferença entre as cultivares, com exceção da época 4, na qual ocorreu a inversão de comportamento. Diferenças entre o comportamento de cultivares foram observados por Martins Filho et al. (2008) em curvas de crescimento de cultivares de feijoeiro.

Tabela 3.1 - Estimativa dos parâmetros e limites inferior (LI) e superior (LS) dos intervalos de confiança a 95% do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico dos caracteres em função da radiação solar acumulada, das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo, semeadas em quatro épocas.

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro ⁽²⁾	Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS												
														Gompertz						Logístico					
														BRS Estribo			CG Farrapo			BRS Estribo			CG Farrapo		
Época 1 (2012/2016)																									
AP	a(ns)(ns)	341,2897	302,4530	380,1264	302,7843	285,4505	320,1181	289,8315	271,2266	308,4365	281,4033	270,6392	292,1673												
	b(ns)(ns)	1,7905	1,6002	1,9808	1,8661	1,6813	2,0510	-3,6808	-3,9982	-3,3635	-3,5855	-3,8651	-3,3058												
	c(ns)(ns)	0,0025	0,0021	0,0030	0,0029	0,0026	0,0033	0,0047	0,0042	0,0053	0,0048	0,0043	0,0052												
CC	a(ns)(ns)	278,4845	247,3030	309,6660	248,1316	235,3630	260,9001	239,9277	223,7383	256,1170	234,7009	225,5497	243,8521												
	b(ns)(ns)	2,1710	1,9042	2,4378	2,2792	2,0312	2,5271	-4,3748	-4,8153	-3,9343	-4,1842	-4,5692	-3,7991												
	c(ns)(ns)	0,0030	0,0025	0,0036	0,0035	0,0030	0,0039	0,0056	0,0049	0,0063	0,0055	0,0049	0,0061												
Época 2 (2001/2017)																									
AP	a(*)(*)	306,3783	288,7832	323,9733	288,6996	276,7502	300,6489	282,5812	271,6914	293,4710	266,7604	259,5685	273,9523												
	b(ns)(ns)	1,8669	1,6802	2,0535	1,8941	1,7477	2,0404	-3,5325	-3,8202	-3,2447	-3,5977	-3,8229	-3,3724												
	c(ns)(ns)	0,0031	0,0027	0,0035	0,0032	0,0029	0,0035	0,0051	0,0046	0,0056	0,0053	0,0049	0,0057												
CC	a(*)(*)	266,6605	252,3288	280,9922	249,9414	239,7287	260,1541	241,6785	232,6544	250,7027	231,7932	225,4065	238,1798												
	b(ns)(ns)	2,2578	2,0582	2,4575	2,3156	2,1206	2,5106	-4,3029	-4,6431	-3,9627	-4,3685	-4,6821	-4,0550												
	c(ns)(ns)	0,0036	0,0032	0,0040	0,0038	0,0034	0,0042	0,0061	0,0055	0,0067	0,0063	0,0058	0,0068												
Época 3 (07/02/2017)																									
AP	a(ns)(ns)	315,4056	286,1268	344,6844	295,0529	275,6170	314,4887	274,0560	261,5655	286,5465	266,2251	256,9013	275,5489												
	b(ns)(ns)	2,3127	2,0375	2,5879	2,2099	1,9686	2,4513	-4,8599	-5,2696	-4,4503	-4,4750	-4,8307	-4,1194												
	c(ns)(ns)	0,0032	0,0027	0,0037	0,0035	0,0030	0,0040	0,0062	0,0056	0,0068	0,0063	0,0057	0,0069												
CC	a(*)(*)	267,2630	245,5019	289,0242	241,8388	226,0378	257,6397	234,7482	224,6374	244,8590	219,8951	212,1895	227,6008												
	b(ns)(ns)	2,8843	2,5445	3,2242	2,9107	2,5443	3,2770	-5,8191	-6,3090	-5,3292	-5,7054	-6,2263	-5,1846												

	c(ns)(ns)	0,0039	0,0033	0,0044	0,0045	0,0038	0,0051	0,0072	0,0065	0,0079	0,0080	0,0072	0,0088
		Época4(24/02/2017)											
AP	a(*)(*)	221,7466	213,2629	230,2303	239,8315	230,0164	249,6467	211,3329	206,7953	215,8705	225,2591	220,0870	230,4312
	b(*)(*)	4,1626	3,6470	4,6783	3,3921	3,0027	3,7815	-7,2980	-7,9007	-6,6954	-6,3112	-6,8280	-5,7943
	c(ns)(*)	0,0071	0,0062	0,0080	0,0062	0,0054	0,0069	0,0115	0,0105	0,0125	0,0104	0,0095	0,0113
CC	a(*)(*)	186,7693	180,5158	193,0227	194,0038	188,0824	199,9253	178,6086	174,8984	182,3190	186,0547	182,3058	189,8036
	b(*)(*)	5,3911	4,8195	5,9627	4,4544	3,9693	4,9396	-9,0626	-9,7352	-8,3900	-7,7547	-8,4038	-7,1056
	c(ns)(*)	0,0088	0,0078	0,0098	0,0078	0,0070	0,0087	0,0139	0,0128	0,0149	0,0126	0,0115	0,0136

⁽¹⁾ AP: altura de planta; CC: comprimento de colmo. ⁽²⁾ Primeira coluna de parênteses representa a comparação dos parâmetros do modelo Gompertz entre as cultivares e a segunda coluna de parênteses representa a comparação dos parâmetros do modelo Logístico entre as cultivares. (*) significativo a 5% de probabilidade de erro. (ns) não significativo.

Comparações também foram realizadas entre as épocas de semeadura dentro de cada cultivar em cada modelo (Tabela 4.1). Quando analisadas as comparações, realizadas com base nas estimativas dos parâmetros dos modelos dos caracteres em função da STA, verificou-se que a AP não diferiu entre as épocas 1 e 2 da cultivar CG Farrapo no modelo Logístico, enquanto que no modelo Gompertz, esse mesmo comportamento foi observado tanto para o caractere AP, quanto para o CC. Quando se observa apenas o valor assintótico (parâmetro *a*), é possível perceber que as épocas 1, 2 e 3 de ambas as cultivares no modelo Gompertz, e as épocas 1 e 3 da cultivar BRS Estribo e 1 e 2 da cultivar CG Farrapo no modelo Logístico, apresentaram o mesmo comportamento entre as épocas de semeadura, resultando em plantas com AP e CC não diferentes. A época 4 apresentou comportamento mais distinto, sendo totalmente diferente das demais épocas. Esta época apresentou os menores valores de AP e CC, evidenciando que a semeadura tardia, mesmo que dentro da época preferencial do capim-sudão, reduziu o crescimento das plantas.

Tabela 4.1 - Comparação das estimativas dos parâmetros, com base na sobreposição dos intervalos de confiança dos modelos Gompertz e Logístico, entre as épocas de semeadura do capim-sudão, das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo.

Época	Época	----- Gompertz -----				----- Logístico -----			
		BRS Estribo		CG Farrapo		BRS Estribo		CG Farrapo	
		AP	CC	AP	CC	AP	CC	AP	CC
Em função da soma térmica acumulada									
Parâmetro <i>a</i>									
1	2	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*
1	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
1	4	*	*	*	*	*	*	*	*
2	3	ns	*	ns	ns	*	*	*	*
2	4	*	*	*	*	*	*	*	*
3	4	*	*	*	*	*	*	*	*
Parâmetro <i>b</i>									
1	2	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns
1	3	*	*	*	*	*	*	*	*
1	4	*	*	*	*	*	*	*	*
2	3	*	*	*	*	*	*	*	*
2	4	*	*	*	*	*	*	*	*
3	4	*	*	*	*	*	*	ns	ns
Parâmetro <i>c</i>									

1	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
1	3	ns	ns	*	*	*	ns	*	*
1	4	*	*	*	*	*	*	*	*
2	3	ns	*	ns	ns	*	*	*	*
2	4	*	*	*	*	*	*	*	*
3	4	*	*	*	*	*	*	*	*
Em função da radiação solar acumulada									
Parâmetro <i>a</i>									
1	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
1	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
1	4	*	*	*	*	*	*	*	*
2	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
2	4	*	*	*	*	*	*	*	*
3	4	*	*	*	*	*	*	*	*
Parâmetro <i>b</i>									
1	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
1	3	*	*	*	*	*	*	*	*
1	4	*	*	*	*	*	*	*	*
2	3	*	*	*	*	*	*	*	*
2	4	*	*	*	*	*	*	*	*
3	4	*	*	*	*	*	*	*	*
Parâmetro <i>c</i>									
1	2	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
1	3	*	*	*	*	*	*	*	*
1	4	*	*	*	*	*	*	*	*
2	3	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*
2	4	*	*	*	*	*	*	*	*
3	4	*	*	*	*	*	*	*	*

AP: altura de planta, em cm; CC: comprimento de colmo, em cm. * significativo a 5% de probabilidade de erro. ns não significativo.

Comparando as épocas de semeadura de cada cultivar nos modelos ajustados em função da RSA, verifica-se que, no modelo Gompertz, a cultivar BRS Estribo apresentou o mesmo comportamento entre as épocas 1 e 2 para o caractere AP, bem como a cultivar CG Farrapo para AP e CC. Os parâmetros *a* e *c* não diferiram entre as épocas 2 e 3 para AP e CC de ambas as cultivares. Já no modelo Logístico, a cultivar BRS Estribo apresentou o mesmo comportamento nas épocas 1 e 2 para os caracteres AP e CC. Quanto ao parâmetro *a*, esse não diferiu entre as épocas 1, 2 e 3 nesta mesma cultivar, para os dois caracteres. Já a cultivar CG Farrapo apresentou comportamento diferente entre as épocas, porém os parâmetros *a* e *c* de AP da cultivar BRS Estribo, nas épocas 2 e 3 e os parâmetros *a* e *b* do CC nas épocas 1 e 2 não apresentaram diferença. Assim, como já mencionado quando o ajuste foi em função da soma térmica acumulada, a época 4 apresentou os menores valores de AP e CC, evidenciando menor crescimento das plantas com o atraso da semeadura. Este fato demonstra que não deve-se optar por realizar semeaduras no período final da época preferencial para a cultura, pois a redução da temperatura do ar e da radiação solar global incidente interfere negativamente no crescimento das plantas. Bem et al. (2017) observaram diferença de comportamento entre épocas de semeadura na cultura de crotalária juncea.

A indicação de modelos que descrevem o crescimento do capim-sudão foi realizada usando indicadores de qualidades, os quais avaliam a qualidade de ajuste dos mesmos. Para os caracteres AP e CC, em todos os modelos ajustados em função da STA, observou-se que os valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) foram igual ou superiores a 0,9524, evidenciando boa capacidade dos modelos em explicar as curvas de crescimento (Tabela 5.1). Tabela 5.1 - Indicadores de qualidade de ajuste, medidas de não linearidade da curvatura e pontos críticos dos modelos Gompertz e Logístico ajustados aos caracteres altura de planta (AP, em cm) e comprimento de colmo (CC, em cm) em função da soma térmica acumulada ($^{\circ}\text{C}$) para as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo em quatro épocas de semeadura.

Estatística ⁽¹⁾	----- Gompertz -----				----- Logístico -----			
	BRS Estribo		CG Farrapo		BRS Estribo		CG Farrapo	
	AP	CC	AP	CC	AP	CC	AP	CC
Época 1								
R ² _{aj}	0,9576	0,9597	0,9637	0,9614	0,9572	0,9548	0,9653	0,9563
AIC	5,7587	5,5151	5,6200	5,5122	5,7675	5,6268	5,5754	5,6351
DPR	17,3269	15,3227	16,2045	15,3539	17,4066	16,2296	15,8469	16,3552
IN	0,0534	0,0733	0,0483	0,0665	0,0570	0,0662	0,0515	0,0657
PE	0,6604	0,6716	0,3374	0,3098	0,3529	0,3729	0,2151	0,2269
PI	x 487,1498	498,6664	466,2146	478,9974	549,8603	553,3317	542,2487	548,1281
	y 109,8529	91,3820	105,5146	87,5518	136,1403	113,4884	136,4853	114,3217
PAM	x 269,0454	313,8278	258,5482	301,8465	373,4787	404,4964	360,1016	389,9677
	y 21,7825	18,1200	20,9223	17,3605	57,5397	47,9659	57,6855	48,3180
PDM	x 705,2541	683,5051	673,8809	656,1482	726,2420	702,1670	724,3959	706,2885
	y 203,8075	169,5389	195,7587	162,4328	214,7409	179,0110	215,2852	180,3254
PDA	x 894,4387	843,8349	854,0115	809,8095	856,8883	812,4096	859,3127	823,4383
	y 252,9989	210,4592	243,0074	201,6379	247,2984	206,1514	247,9252	207,6650
Época 2								
R ² _{aj}	0,9524	0,9730	0,9669	0,9680	0,9580	0,9723	0,9718	0,9711
AIC	5,8537	5,1501	5,3638	5,2454	5,7289	5,1733	5,2013	5,1453
DPR	18,2504	12,8097	14,2825	13,4483	17,1419	12,9679	13,1669	12,7931
IN	0,0491	0,0534	0,0373	0,0529	0,0496	0,0462	0,0380	0,0449
PE	0,6648	0,6800	0,6162	0,5911	0,3268	0,3185	0,2838	0,2764
PI	x 479,0868	510,9289	485,1661	501,9311	548,5524	562,4343	555,1288	563,1636
	y 115,8954	103,4656	111,5096	97,1485	143,3795	124,1860	137,0433	119,4919
PAM	x 237,8972	295,6332	234,3906	287,6752	354,9892	398,9453	356,0050	395,9150
	y 22,9807	20,5160	22,1110	19,2634	60,5994	52,4872	57,9213	50,5032
PDM	x 720,2764	726,2245	735,9415	716,1870	742,1156	725,9234	754,2525	730,4123
	y 215,0181	191,9573	206,8811	180,2373	226,1601	195,8849	216,1652	188,4806
PDA	x 929,4852	912,9728	953,4651	902,0334	885,4883	847,0201	901,7439	854,2938
	y 266,9153	238,2885	256,8144	223,7398	260,4488	225,5835	248,9386	217,0566
Época 3								
R ² _{aj}	0,9542	0,9689	0,9553	0,9624	0,9657	0,9714	0,9667	0,9693
AIC	5,9280	5,3909	5,8550	5,5097	5,6432	5,3067	5,5620	5,3131
DPR	19,0601	14,5076	18,3702	15,4288	16,5047	13,9049	15,8413	13,9429
IN	0,0754	0,0778	0,0714	0,0860	0,0555	0,0591	0,0541	0,0623
PE	0,8442	0,7649	0,5623	0,5117	0,3416	0,3430	0,2599	0,2491
PI	x 566,1190	583,3360	505,7207	514,8199	617,6527	628,2961	561,7786	561,6924
	y 112,5863	95,7694	104,4589	84,6769	135,3440	115,3854	130,6177	107,5776
PAM	x 359,9745	406,7873	325,0802	377,5317	463,9260	495,8508	418,1432	450,1100
	y 22,3245	18,9899	20,7130	16,7904	57,2033	48,7676	55,2055	45,4676
PDM	x 772,2635	759,8847	686,3613	652,1081	771,3795	760,7415	705,4141	673,2748
	y 208,8788	177,6787	193,8002	157,0991	213,4856	182,0030	206,0298	169,6875
PDA	x 951,0741	913,0237	843,0496	771,1924	885,2452	858,8440	811,8052	755,9242

	y	259,2942	220,5636	240,5762	195,0169	245,8528	209,5969	237,2665	195,4143
Época 4									
R ² aj		0,9599	0,9769	0,9648	0,9708	0,9726	0,9832	0,9721	0,9737
AIC		5,4386	4,7169	5,3674	4,9801	5,0606	4,4082	5,1379	4,8735
DPR		14,9402	10,3541	14,3318	11,7922	12,3428	8,8425	12,7631	11,1790
IN		0,0938	0,0872	0,0748	0,0848	0,0561	0,0565	0,0507	0,0604
PE		0,5833	0,5453	0,5744	0,4364	0,2422	0,2346	0,2592	0,2306
PI	x	416,2010	440,8413	391,2437	402,2487	457,2238	473,5002	434,5329	442,5920
	y	86,3254	73,6750	92,6993	74,3932	108,0397	91,7186	115,4284	94,8994
PAM	x	289,8768	335,6579	252,5977	290,4329	358,7198	391,4857	325,4405	350,9767
	y	17,1173	14,6089	18,3812	14,7513	45,6630	38,7648	48,7858	40,1092
PDM	x	542,5253	546,0247	529,8898	514,0644	555,7278	555,5147	543,6253	534,2072
	y	160,1576	136,6875	171,9829	138,0201	170,4165	144,6722	182,0711	149,6895
PDA	x	652,0994	637,2612	650,1519	611,0538	628,6900	616,2630	624,4302	602,0669
	y	198,8136	169,6787	213,4931	171,3329	196,2539	166,6063	209,6754	172,3843

⁽¹⁾R²aj: coeficiente de determinação ajustado; AIC: critério de informação de Akaike; DRP: desvio padrão residual; IN: não linearidade intrínseca; PE: não linearidade do efeito do parâmetro; PI: ponto de inflexão; PAM: ponto de aceleração máxima; PDM: ponto de desaceleração máxima; PDA: ponto de desaceleração assintótica.

Nos modelos ajustados em função da RSA, também observou-se valores de R²aj igual ou superiores a 0,9415 (Tabela 6.1). Assim, pode-se inferir que os modelos Gompertz e Logístico ajustados em função da RSA também podem ser utilizados, satisfatoriamente, na descrição das curvas de crescimento para a altura de planta e comprimento de colmo das duas cultivares de capim-sudão semeadas nas quatro épocas.

Tabela 6.1 - Indicadores de qualidade de ajuste, medidas de não linearidade da curvatura e pontos críticos dos modelos Gompertz e Logístico ajustados aos caracteres altura de planta (AP, em cm) e comprimento de colmo (CC, em cm) em função da radiação solar acumulada (MJm²) para as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo em quatro épocas de semeadura.

Estatística ⁽¹⁾	----- Gompertz -----				----- Logístico -----				
	BRS Estribo		CG Farrapo		BRS Estribo		CG Farrapo		
	AP	CC	AP	CC	AP	CC	AP	CC	
Época 1									
R ² aj	0,9541	0,9570	0,9557	0,9565	0,9551	0,9539	0,9605	0,9551	
AIC	5,8377	5,5792	5,8182	5,6327	5,8166	5,3103	5,7045	5,6622	
DPR	18,0258	15,8208	17,8947	16,3052	17,8366	16,3864	16,9010	16,5636	
IN	0,0517	0,0783	0,0527	0,0755	0,0558	0,0678	0,0538	0,0661	
PE	1,4115	1,3255	0,5402	0,4588	0,5923	0,6069	0,2983	0,2935	
PI	x	708,8905	713,3724	640,8308	655,2578	778,2011	778,5745	749,3934	756,6479
	y	125,5535	102,4487	111,3881	91,2825	144,9157	119,9637	140,7016	117,3505
PAM	x	327,8449	397,1239	310,3363	378,5615	499,7706	544,1969	474,1381	518,4938
	y	24,8958	20,3144	22,0869	18,1002	61,2486	50,7027	59,4675	49,5981
PDM	x	1089,9361	1029,6209	971,3254	931,9541	1056,6317	1012,9522	1024,6487	994,8020
	y	232,9364	190,0707	206,6558	169,3543	228,5829	189,2250	221,9358	185,1028
PDA	x	1420,4565	1303,9360	1257,9977	1171,9616	1262,8658	1186,5563	1228,5309	1171,2032
	y	289,1584	235,9466	256,5347	210,2300	263,2390	217,9139	255,5841	213,1667
Época 2									
R ² aj	0,9569	0,9738	0,9742	0,9740	0,9572	0,9682	0,9751	0,9731	
AIC	5,7557	5,1218	5,1159	5,0380	5,7478	5,3103	5,0779	5,0715	
DPR	17,3728	12,6332	12,6166	12,1241	17,3060	13,9052	12,3800	12,3383	
IN	0,0442	0,0466	0,0318	0,0436	0,0510	0,0480	0,0364	0,0437	
PE	0,6260	0,5802	0,4502	0,4140	0,3529	0,3294	0,2456	0,2330	
PI	x	597,9030	629,4565	590,1847	609,4036	691,8041	703,5239	682,5781	690,2852
	y	112,7103	98,0989	106,2066	91,9483	141,2905	120,8393	133,3802	115,8966
PAM	x	289,6647	361,1440	290,2987	356,1197	433,8900	488,2000	432,7138	482,1878

	y	22,3491	19,4519	21,0595	18,2323	59,7164	51,0727	56,3731	48,9837
PDM	x	906,1413	897,7691	890,0707	862,6875	949,7181	918,8478	932,4423	898,3825
	y	209,1088	182,0007	197,0427	170,5896	222,8648	190,6058	210,3873	182,8095
PDA	x	1173,5084	1130,5044	1150,1930	1082,3869	1140,7556	1078,3387	1117,5173	1052,5207
	y	259,5797	225,9287	244,6014	211,7634	256,6539	219,5041	242,2847	210,5257
Época 3									
	R ² aj	0,9415	0,9618	0,9471	0,9565	0,9565	0,9682	0,9606	0,9656
	AIC	6,1726	5,5940	6,0259	5,6558	5,8772	5,4148	5,7306	5,4246
	DPR	21,5416	16,0828	19,9861	16,5999	18,5832	14,6758	17,2416	14,7512
	IN	0,0832	0,0977	0,0670	0,1016	0,0612	0,0645	0,0566	0,0677
	PE	1,0010	0,8905	0,6992	0,7280	0,3766	0,3632	0,3079	0,3255
	PI	x	717,7906	743,4584	632,8089	650,8210	786,4155	804,3783	712,2588
		y	116,0312	98,3206	108,5439	88,9675	137,0283	117,3743	133,1128
PAM	x	419,0781	495,3876	357,2198	435,6233	573,3104	622,3348	502,6477	550,4181
	y	23,0076	19,4958	21,5230	17,6412	57,9148	49,6081	56,2600	46,4693
PDM	x	1016,5032	991,5292	908,3980	866,0187	999,5206	986,4219	921,8698	880,7735
	y	215,2701	182,4119	201,3790	165,0594	216,1411	185,1400	209,9651	173,4258
PDA	x	1275,6076	1206,7067	1147,4451	1052,6820	1157,3680	1121,2619	1077,1292	1003,1210
	y	267,2281	226,4392	249,9842	204,8984	248,9109	213,2096	241,7985	199,7194
Época 4									
	R ² aj	0,9599	0,9781	0,9612	0,9718	0,9740	0,9840	0,9721	0,9769
	AIC	5,4215	4,6549	5,4603	4,9421	5,0019	4,3544	5,1350	4,7436
	DPR	14,9398	10,0782	15,0624	11,5891	12,0338	8,6112	12,7689	10,4736
	IN	0,0992	0,0843	0,0935	0,0879	0,0587	0,0542	0,0550	0,0609
	PE	0,3942	0,3214	0,4195	0,3039	0,1803	0,1613	0,1934	0,1671
	PI	x	585,7482	612,8892	551,2367	569,7745	635,7831	653,5988	606,4307
		y	81,5760	68,7086	88,2291	71,3700	105,6664	89,3044	112,6295
PAM	x	450,3203	503,4758	394,8378	446,6693	521,0534	558,6196	479,8863	512,8645
	y	16,1756	13,6241	17,4948	14,1518	44,6599	37,7444	47,6029	39,3180
PDM	x	721,1761	722,3026	707,6355	692,8796	750,5127	748,5779	732,9751	722,6959
	y	151,3461	127,4734	163,6894	132,4112	166,6730	140,8642	177,6563	146,7367
PDA	x	838,6468	817,2082	843,2965	799,6615	835,4932	818,9292	826,7069	800,4072
	y	187,8753	158,2407	203,1978	164,3702	191,9427	162,2210	204,5912	168,9839

⁽¹⁾ R²aj: coeficiente de determinação ajustado; AIC: critério de informação de Akaike; DPR: desvio padrão residual; IN: não linearidade intrínseca; PE: não linearidade do efeito do parâmetro; PI: ponto de inflexão; PAM: ponto de aceleração máxima; PDM: ponto de desaceleração máxima; PDA: ponto de desaceleração assintótica.

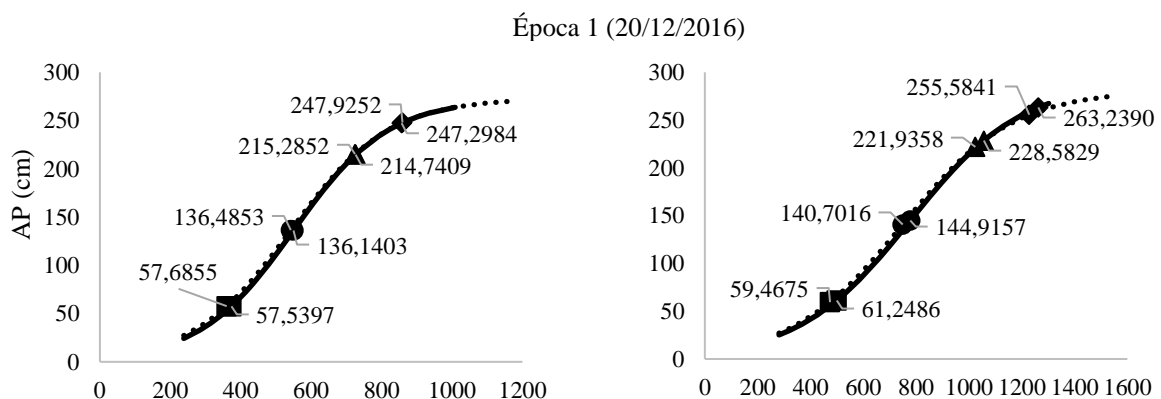
Em alguns casos, no modelo Gompertz, as estimativas da assíntota foram elevadas em relação às estimativas do modelo Logístico. Embora não tenha superestimado os valores observados, esses valores superiores do parâmetro a influenciaram na qualidade de ajuste. Quando comparado os modelos Gompertz com os Logístico, considerando todos os indicadores de qualidade, maiores valores de R²aj e menores valores de AIC e DPR foram encontrados para o modelo Logístico, indicando que o mesmo é mais adequado na descrição de curvas de crescimento da cultura. Tais resultados são concordantes com os encontrados por Muianga et al. (2016) e Maia et al. (2009), os quais, avaliando a qualidade do ajuste de modelos de crescimento, apontaram melhor desempenho do modelo Logístico. Além dos indicadores de qualidade, as medidas de não linearidade das curvas de Bates e Watts reforçam a escolha do modelo Logístico como mais indicado, pois o mesmo apresenta menores valores, na maioria dos casos, tanto para as medidas de não linearidade intrínseca (IN) quanto a não linearidade do efeito do parâmetro (PE). Essas medidas indicam que este modelo tem comportamento mais

próximo ao linear, o que é desejado para melhor descrever a curva de crescimento do capim-sudão.

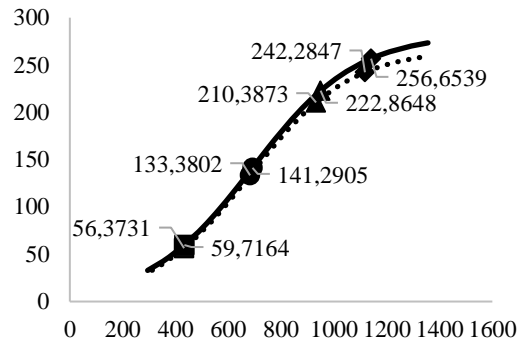
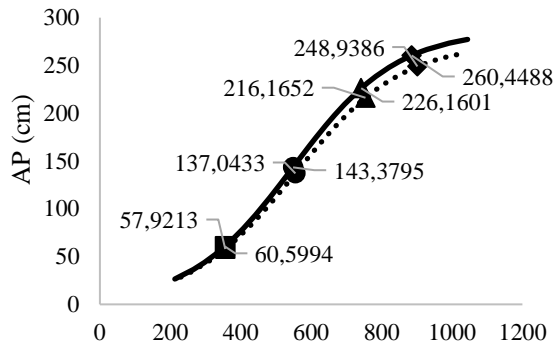
As curvas de crescimento de cada modelo apresentam pontos críticos que possuem significados específicos, a partir dos quais é possível inferir a respeito do crescimento da cultura, estabelecendo períodos importantes do ciclo da cultura para a realização de manejos. Nas Tabelas 5.1 e 6.1, também estão apresentados os valores de ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máxima (PAM), ponto de desaceleração máxima (PDM) e ponto de desaceleração assintótica (PDA).

Comparando os modelos, percebe-se que o Gompertz necessita menor STA ou RSA para atingir o PAM e o PI do que o modelo Logístico, e que as plantas atingem PAM e PI com menor AP e CC no modelo Gompertz. Nas Figuras 1.1 e 2.1, são apresentadas as curvas de crescimento do modelo Logístico, que são os mais indicados, com seus respectivos pontos críticos. Observa-se que a cultivar CG Farrapo demanda de menor soma térmica acumulada ou radiação solar acumulada para atingir o PAM e o PI quando comparado a cultivar BRS Estribo. O período compreendido entre PAM e PI é importante, pois nessa fase ocorre o aumento da taxa de crescimento da planta até atingir uma taxa máxima, ou seja, é nesse período que a planta apresenta rápido aumento em altura e comprimento de colmo, necessitando mais nutrientes. Com isso, a previsão desse período é importante, pois é nele que a planta requer mais atenção, estando mais responsiva a adubação e controle de plantas invasoras. Então, pode-se inferir que o manejo de adubação e o controle de plantas daninhas devem ser realizados mais precocemente na cultivar CG Farrapo do que na BRS Estribo.

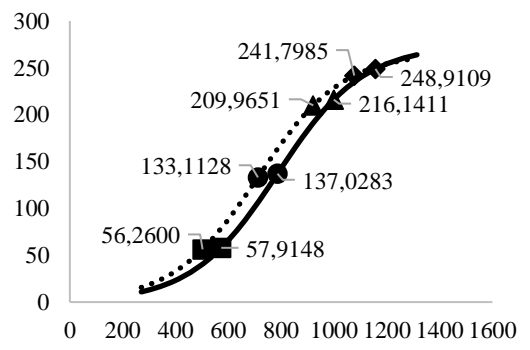
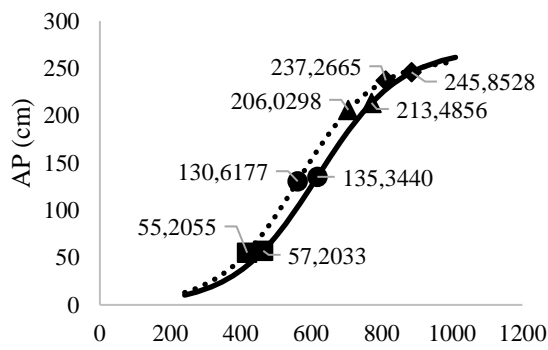
Figura 1.1 - Gráficos do modelo Logístico para altura de planta (AP, em cm) em função da soma térmica acumulada (STA, em °C) e da radiação solar acumulada (RSA, em MJ m⁻²) das cultivares BRS Estribo (—), com valores do caractere a direita das curvas, e CG Farrapo (.....), com valores do caractere a esquerda das curvas, em quatro épocas de semeadura de capim-sudão.



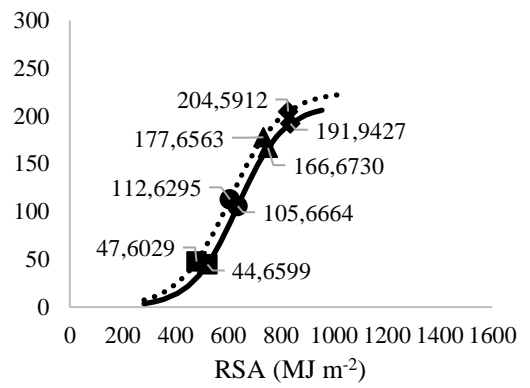
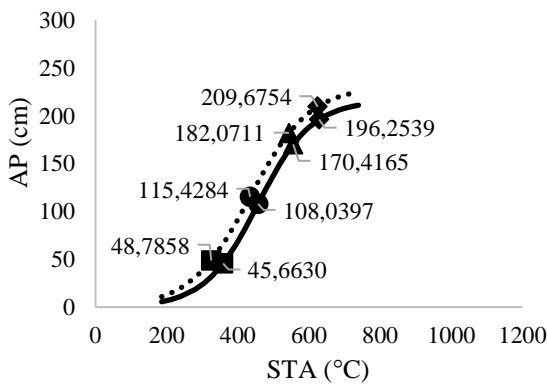
Época 2 (20/01/2017)



Época 3 (07/02/2017)

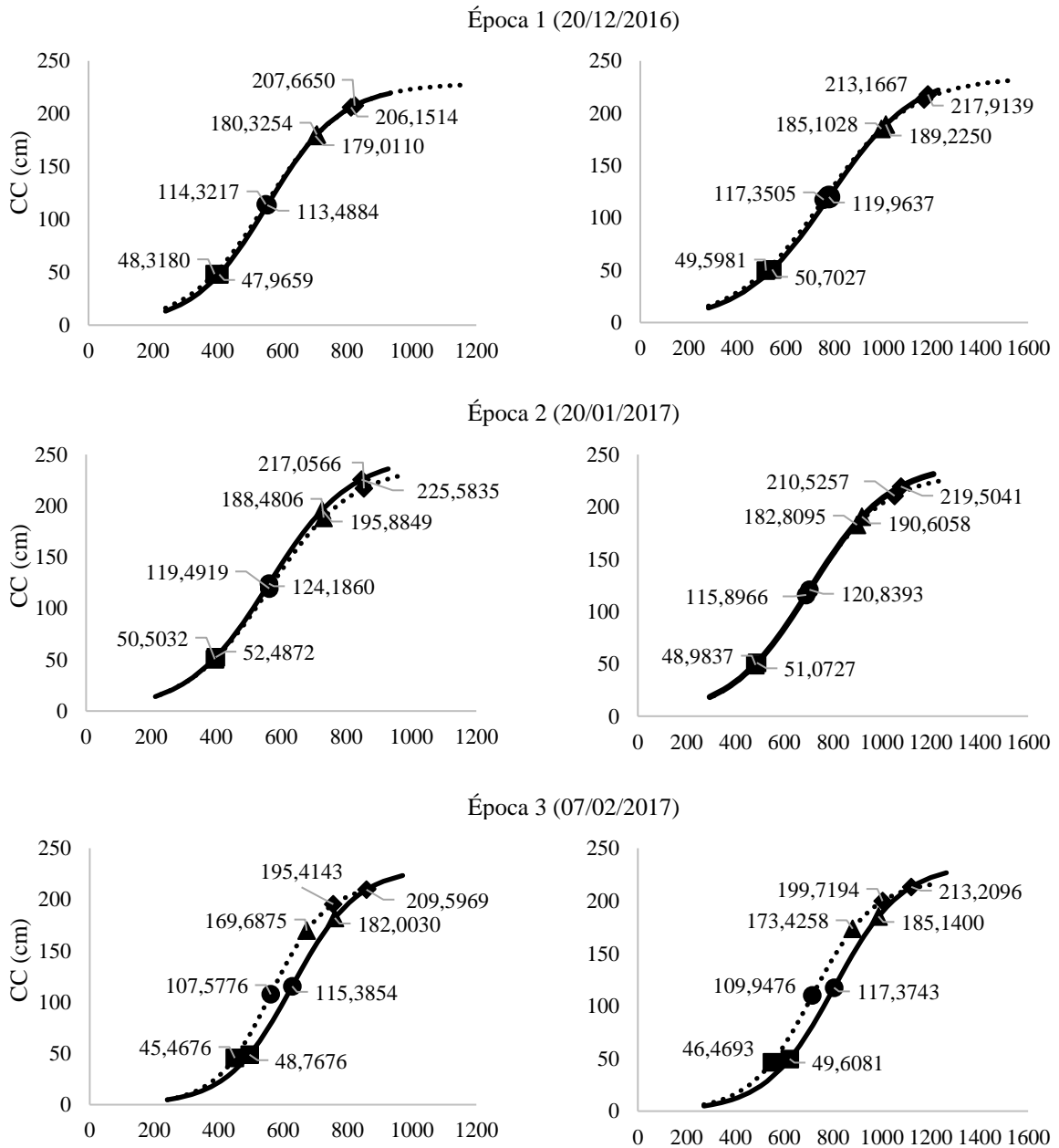


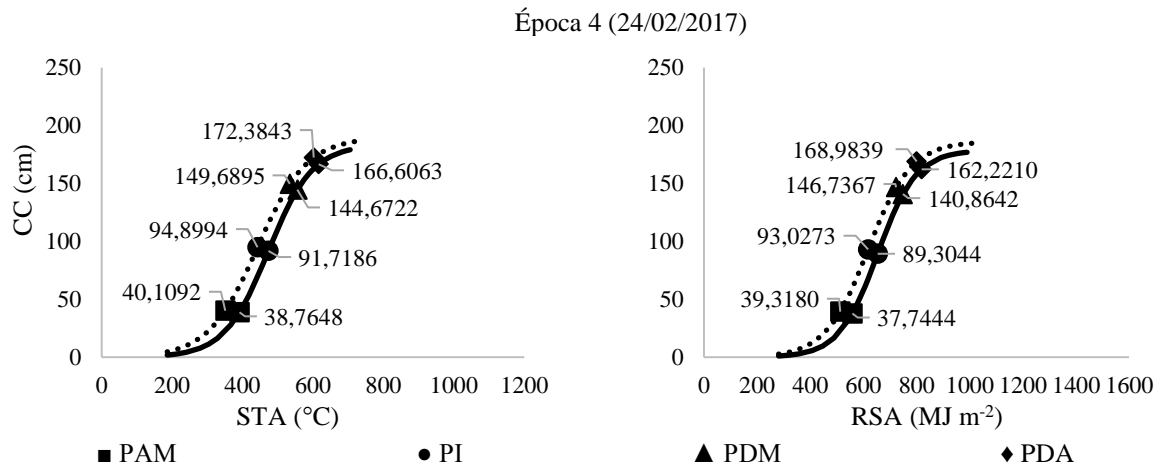
Época 4 (24/02/2017)



■ PAM ● PI ▲ PDM ◆ PDA

Figura 2.1 - Gráficos do modelo Logístico para comprimento de colmo (CC, em cm) em função da soma térmica acumulada (STA, em °C) e da radiação solar acumulada (RSA, em MJ m⁻²) das cultivares BRS Estribo (—), com valores do caractere a direita das curvas, e CG Farrapo (.....), com valores do caractere a esquerda das curvas, em quatro épocas de semeadura de capim-sudão.





Entre as épocas de semeadura é possível observar que a quarta época (24/02), semeada no final da época de semeadura indicada para a cultura, foi a que apresentou menores valores de AP e CC e menor necessidade de STA e de RSA para atingir todos os pontos críticos da curva de crescimento (PAM, PI, PDM e PDA). Com isso, pode-se afirmar que o atraso no período de semeadura reduz o ciclo da planta, fazendo com que o período entre PAM e PI seja menor, bem como o período a partir do PI até o PDM e PDA, quando ocorre redução acentuada da taxa de crescimento e o início da estabilização do crescimento, respectivamente. Conseqüentemente, as plantas apresentam menor AP e CC.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, é possível afirmar que existe diferença entre as cultivares dentro das épocas de semeadura e entre épocas de semeaduras da mesma cultivar. Assim, indica-se utilizar o modelo de melhor ajuste para a determinada cultivar dentro da época de semeadura. Quanto a utilização destes modelos, é importante lembrar que os mesmos foram ajustados utilizando dados meteorológicos locais e para as quatro épocas de semeadura. Portanto, a utilização dos mesmos com dados meteorológicos de outro local ou época de semeadura, podem gerar resultados divergentes, porém esperado, pois trata-se de condições locais diferentes. Entretanto, como não foram encontrados trabalhos de modelagem do crescimento de capim-sudão, e, principalmente, pela representatividade desse banco de dados (três avaliações semanais de cinco plantas durante o ciclo da cultura, em duas cultivares semeadas em quatro épocas) esses modelos tornam-se como referência para pesquisas futuras.

Conclusões

A soma térmica acumulada e a radiação solar acumulada são adequadas para serem utilizadas como variável independente para o ajuste dos modelos Gompertz e Logístico.

Os modelos diferem entre as cultivares nas épocas de semeadura e entre as épocas de semeadura da mesma cultivar em relação aos caracteres altura de planta e comprimento de colmo.

Os modelos Gompertz e Logístico ajustados aos caracteres altura de planta e comprimento de colmo das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo, em quatro épocas de semeadura, descrevem satisfatoriamente o comportamento de crescimento. Indica-se o modelo Logístico por apresentar melhores indicadores de qualidade.

Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlim, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARCHONTOULIS, S. V.; MIGUEZ, F. E. Nonlinear Regression Models and Applications in Agricultural Research. *Agronomy Journal*, Madison, v. 107, n. 2, p. 786-798, 2015.
- ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperature as a basis for computing heats units. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, Madison, v. 76, p. 682-692, 1960.
- AUGOSTINHO, L. M. D.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; FREITAS, N. Acúmulo de massa seca e marcha de absorção de nutrientes em mudas de goiabeira 'Pedro Sato'. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 3, p. 577-585, 2008.
- BANDEIRA, A. H.; MEDEIROS, S. L. P.; EMYGDIO, B. M.; BIONDO, J. C.; SILVA, N. G.; LEAL, L. T. Temperatura base inferior e exigência térmica de genótipos de sorgo sacarino. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 15, n. 2, p. 240-250, 2016.
- BATES, D. M.; WATTS, D. G. *Nonlinear regression analysis and its applications*. New York: John Wiley & Sons, 1988, 384p.
- BEM, C. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; FACCO, G.; SCHABARUM, D. E.; SILVEIRA, D. L.; SIMÕES, F. M.; ULIANA, D. B. Growth models for morphological traits of sunn hemp. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 38, n. 5, p. 2933-2944, 2017.
- BENINCASA, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BRITO, C. C. R.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, E. S.; FERRAZ, I. Modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos modelos de Chapman-Richards e Silva-Bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 175-185, 2007.

- FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. *Coffee Science*, Lavras, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014.
- GOMES, A. C. S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; SOARES, F. C.; PARIZI, A. R. C. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 1, p. 43-49, 2014.
- LEE, J. H.; GOUDRIAAN, J.; CHALLA, H. Using the exponential growth equation for modelling crop growth in year round cut Chrysanthemum. *Annals of Botany*, Londres, v. 92, n. 5, p. 697-708, 2003.
- MAIA, E.; SIQUEIRA, D. L.; SILVA, F. F.; PETERNELLI, L. A.; SALOMÃO, L. C. C. Método de comparação de modelos de regressão não-lineares em bananeiras. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1380-1386, 2009.
- MARTINS FILHO, S.; SILVA, F. F.; CARNEIRO, A. P. S.; MUNIZ, J. A. Abordagem Bayesiana das curvas de crescimento de duas cultivares de feijoeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1516-1521, 2008.
- MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. *Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento*. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. 184 p.
- MUIANGA, C. A.; MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J.; SAVIAN, T. V. Descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro por modelos não lineares. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 38, n. 1, p. 22-32, 2016.
- OLIVEIRA, A. S.; RIBEIRO, A.; SILVA, C. R. A.; XAVIER, A.; FREITAS, A. F. Modeling the growth of eucalyptus plants based on the thermal sum. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 41, n. 2, 2017.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.
- SATTELL, R.; DICK, R.; INGHAM, R.; KAROW, R.; MCGRATH, D. Sudangrass and sorghum-sudangrass hybrids (*Sorghum bicolor* L.). *Oregon State University extension service*. p. 1-2, 1998.
- SILVEIRA, M. C. T.; SANTANNA, D. M.; MONTARDO, D. P.; TRENTIN, G. *Aspectos relativos à implantação e manejo de Capim-Sudão BRS Estribo*. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2015, 11 p. (Embrapa - Comunicado Técnico, 89).

4 CAPÍTULO II: MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE CAPIM-SUDÃO EM ÉPOCAS DE SEMEADURA

Resumo: Os objetivos deste trabalho foram ajustar modelos de crescimento, Gompertz e Logístico, na descrição das massas de matéria fresca e seca de parte aérea em função da soma térmica acumulada e da radiação solar acumulada, comparar os ajustes e indicar o que melhor descreve o crescimento de duas cultivares de capim-sudão em quatro épocas de semeadura. Foram conduzidos oito ensaios de uniformidade com a cultura do capim-sudão. As avaliações foram realizadas três vezes por semana a partir de 15 dias após a emergência das plantas. Cada avaliação consistiu na coleta de cinco plantas, em cada ensaio, e pesagem das massas de matéria fresca e seca de parte aérea. Os modelos Gompertz e Logístico foram ajustados para essas massas em função da soma térmica acumulada e da radiação solar acumulada. Foram estimados os parâmetros e seus intervalos de confiança, calculados os pontos de aceleração máxima, inflexão, desaceleração máxima e desaceleração assintótica, os indicadores de qualidade do ajuste, e quantificadas as não linearidades intrínseca e do efeito do parâmetro. As variáveis independentes soma térmica acumulada e radiação solar acumulada podem ser utilizadas no ajuste dos modelos. Ambos os modelos descrevem satisfatoriamente o crescimento das massas de matéria fresca e seca de parte aérea das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo. O modelo Logístico apresenta maior precisão.

Palavras-chave: *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf., modelos não lineares, caracteres produtivos, plantas de cobertura

Growth modeling of sudangrass cultivars at sowing seasons

Abstract: The objectives of this work were to fit growth models, Gompertz and Logistic, in the description of fresh and dry matter of aerial part as a function of accumulated thermal sum and accumulated solar radiation, comparing the adjustments and indicating the best to describe the growth of two sudangrass cultivars in four sowing seasons. Eight uniformity trials were conducted with the sudangrass culture. The evaluations were performed three times a week from 15 days after the emergence of the plants. Each evaluation consisted of the collection of five plants, in each trial, and weighing of fresh and dry matter of aerial part. The Gompertz and Logistic models were fitted for these matters as a function of accumulated thermal sum and accumulated solar radiation. The parameters and their confidence intervals were estimated, calculated the points of maximum acceleration, inflection, maximum deceleration and asymptotic deceleration, the adjustment quality indicators, and quantified the intrinsic nonlinearities and the effect of the parameter. The independent variables accumulated thermal sum and accumulated solar radiation can be used to fit the models. Both models satisfactorily

describe the growth of fresh and dry matter of aerial part of BRS Estribo and CG Farrapo cultivars. The logistic model is more accurate.

Key words: *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf., nonlinear models, productives traits, cover plants

Introdução

No sistema de semeadura direta, a utilização de espécies de cobertura do solo em rotação com as culturas de interesse comercial tem como finalidade o controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica (Cardoso et al., 2012), a ciclagem de nutrientes e o incremento dos teores de matéria orgânica do solo (Pacheco et al., 2013).

Inúmeras espécies vêm sendo estudadas como alternativas para cobertura do solo, dentre as quais o capim-sudão [*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.] que é uma espécie da família Poaceae, com bom desenvolvimento em regiões de clima quente e seco e tolera solos ácidos e de baixa fertilidade. É uma espécie que apresenta alta produção de massa, atingindo 84,3 t ha⁻¹ de massa de matéria fresca e 15,8 t ha⁻¹ de massa de matéria seca (Arenhardt et al., 2016), proporcionando boa cobertura do solo e alto efeito supressivo de plantas daninhas (Borges et al., 2014). Pode ser utilizada na alimentação animal, sendo considerada de boa qualidade nutritiva (Mattos, 2003). Relatos sobre o crescimento desta espécie são escassos, tornando-se necessária a realização de estudos para a obtenção de mais informações sobre esse processo.

O ajuste de modelos de crescimento é uma importante ferramenta para o conhecimento sobre o comportamento das plantas e a ocorrência dos estádios fenológicos (Lucena et al., 2016). A partir destes modelos, é possível planejar períodos e formas de manejos mais adequados para a cultura, visando atingir maiores produtividades (Pereira et al., 2014).

Diferentes modelos estatísticos podem ser utilizados para estudar o crescimento de plantas. Os modelos não lineares fornecem melhores ajustes, e apresentam vantagem, em relação aos lineares, por possuir parâmetros interpretáveis biologicamente (Fernandes et al., 2014).

Os modelos não lineares de Gompertz e Logístico são utilizados para descrever o crescimento de plantas, uma vez que apresentam formato sigmoidal semelhante às curvas de crescimento. Estes dois modelos foram estudados para descrever o crescimento de crotalária juncea (Bem et al., 2018), de frutos de cacau (Muniz et al., 2017) e de cafeeiro cultivar Rubi MG 1192 (Pereira et al., 2014). Nesses estudos os modelos foram considerados adequados.

Os objetivos deste trabalho foram ajustar modelos de crescimento, Gompertz e Logístico, na descrição das massas de matéria fresca e seca de parte aérea em função da soma térmica acumulada e da radiação solar acumulada, comparar os ajustes e indicar o que melhor descreve o crescimento de duas cultivares de capim-sudão em quatro épocas de semeadura.

Material e Métodos

Foram conduzidos oito ensaios de uniformidade com a cultura do capim-sudão [*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.] na área experimental localizada a 29°42'S, 53°49'W e 95 m de altitude. O clima da região, pela classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida (Alvares et al., 2013) e o solo é classificado como Argissolo vermelho distrófico arênico (Santos et al., 2013).

Os ensaios foram compostos por duas cultivares (BRS Estribo e CG Farrapo), semeadas em quatro épocas (20/12/2016, 20/01/2017, 07/02/2017 e 24/02/2017), no período recomendado para a cultura no estado do Rio Grande do Sul, compreendido entre os meses de outubro e fevereiro (Silveira et al., 2015). Em cada ensaio, as semeaduras foram realizadas em fileiras espaçadas em 0,4 m, com densidade de 25 kg ha⁻¹ de sementes viáveis, em área de 9 m × 16 m (144 m²). A adubação de base utilizada foi de 33 kg ha⁻¹ de N, 132 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 132 kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação de cobertura foi realizada quando as plantas apresentavam três a quatro folhas, aplicando a dose de 67,5 kg ha⁻¹ de N (150 kg ha⁻¹ de ureia).

As avaliações foram realizadas três vezes por semana, sendo a primeira realizada aos 15 dias após a emergência das plantas. Cada avaliação consistiu na coleta de cinco plantas, em cada ensaio, e na pesagem da massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹), com auxílio de uma balança digital. Para a obtenção da MSPA, a MFPA foi acondicionada em sacos de papel e levada para estufa de secagem a 60°C, onde permaneceram até atingir massa constante. No total, foram realizadas 17, 18, 26 e 21 avaliações para o caractere MFPA e 20, 24, 27 e 21 avaliações para o caractere MSPA nas épocas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Por meio dos registros da Estação Meteorológica Automática do INMET, localizada a 30 m da área experimental, foram obtidas as temperaturas máxima e mínima do ar, em °C, e a radiação solar global incidente, em MJ m⁻², do período da primeira época de semeadura (20 de dezembro de 2016) até a última avaliação da quarta época de semeadura (29 de maio de 2017).

Com os dados de temperatura, foi calculada a soma térmica diária pelo método proposto por Arnold (1960), conforme a Eq. 1:

$$STd = \frac{(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})}{2} - T_b \quad (1)$$

onde STd é a soma térmica diária, T_{máx} é a temperatura máxima do dia, T_{mín} é a temperatura mínima do dia e T_b é a temperatura basal inferior do sorgo sacarino BRS 511, de 10,8°C (Bandeira et al., 2016). Devido ao fato de não serem encontrados estudos de temperatura base do capim-sudão, utilizou-se a temperatura base do sorgo sacarino, uma vez que pertence ao mesmo gênero. Em seguida, foi calculada

a soma térmica acumulada (STA) somando os valores de STd do período compreendido entre a emergência das plantas e a última avaliação de cada cultivar em cada época. Para obtenção dos valores de radiação solar acumulada (RSA), utilizou-se o mesmo procedimento, somando-se os valores diários de radiação solar global incidente do mesmo período.

Os modelos Gompertz e Logístico foram ajustados para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea, com base nas cinco plantas de cada avaliação, em função da STA e da RSA. Para o modelo Gompertz foi utilizada a Eq. 2 e para o modelo Logístico a Eq. 3:

$$y_i = a \exp[-\exp(b - cx)] \quad (2)$$

$$y_i = a/[1 + \exp(-b - cx)] \quad (3)$$

onde y_i representa a i -ésima observação da variável dependente sendo $i = 1, 2, \dots, n$; a é o valor assintótico ou valor de crescimento final; b é o parâmetro de alocação da curva, não possuindo interpretação biológica, mas fundamental para o formato sigmoidal da curva; c é a taxa máxima de crescimento relativo ou índice de precocidade; e x é a variável independente. As estimativas dos parâmetros foram realizadas pelo método dos mínimos quadrados ordinários.

Os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos foram verificados por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin-Watson, respectivamente. Em caso de não atendimento de algum pressuposto, os dados foram transformados por meio da transformação Box-Cox com o auxílio do software Action.

Em cada modelo foram calculados os pontos de aceleração máxima (PAM), inflexão (PI), desaceleração máxima (PDM) e desaceleração assintótica (PDA), conforme equações descritas em Mischán e Pinho (2014). Esses pontos críticos podem ser utilizados para inferir a respeito do crescimento da cultura.

Foram calculados os limites inferior e superior do intervalo de confiança a 95%. Os modelos de crescimento das plantas foram comparados entre as cultivares em cada época de semeadura e entre as épocas de semeadura em cada cultivar pelo critério de sobreposição dos intervalos de confiança dos parâmetros. Por exemplo, para comparar as épocas, se ao menos uma das estimativas de um caractere para uma determinada época está contida no intervalo de confiança do parâmetro do mesmo caractere de outra época, as épocas não diferem. Caso nenhuma das estimativas está contida dentro do intervalo da outra, então as mesmas diferem.

Para avaliar a qualidade de ajuste dos modelos foram calculados os indicadores: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), critério de informação de Akaike (AIC) e o desvio padrão residual (DPR). Também foi quantificada a não linearidade intrínseca (IN) e a não linearidade do efeito do parâmetro (PE). Os melhores modelos são aqueles que apresentam maiores valores de R^2_{aj} e menores valores de

AIC, DPR, IN e PE. Os cálculos foram realizados com o software estatístico R (R Development Core Team, 2018) e o aplicativo Microsoft Office Excel®.

Resultados e Discussão

Nas análises dos resíduos os modelos ajustados para as massas de matéria fresca e seca de parte aérea em função da STA e da RSA atenderam os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e independência dos erros, uma vez que os valores-p obtidos nos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin-Watson, respectivamente, foram maiores que 0,05 ($p > 0,05$) (Tabela 1.2). Resultados similares foram obtidos por Ribeiro et al. (2018) na descrição do crescimento de frutos de pequi.

Tabela 1.2 - Valores-p dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Bartlett (BAR) e Durbin-Watson (DW) obtidos na análise dos resíduos dos modelos Gompertz e Logístico, ajustados para a massa de matéria fresca de parte aérea e a massa de matéria seca de parte aérea de duas cultivares de capim-sudão, BRS Estribo e CG Farrapo, em quatro épocas de semeadura.

Caractere ⁽¹⁾	Cultivar	----- Gompertz -----			----- Logístico -----		
		SW	BAR	DW	SW	BAR	DW
Em função da soma térmica acumulada							
Época 1 (20/12/2016)							
MFPA	BRS Estribo	0,5035	0,1600	0,8360	0,7654	0,1564	0,8040
	CG Farrapo	0,1022	0,1000	0,1080	0,9202	0,1000	0,0760
MSPA	BRS Estribo	0,5559	0,2334	0,1280	0,8949	0,2334	0,0540
	CG Farrapo	0,4914	0,2525	0,0740	0,7913	0,2524	0,0540
Época 2 (20/01/2017)							
MFPA	BRS Estribo	0,3723	0,2333	0,8860	0,0576	0,2333	0,8720
	CG Farrapo	0,0625	0,2584	0,1860	0,1294	0,2584	0,0980
MSPA	BRS Estribo	0,4894	0,1086	0,0520	0,3492	0,1086	0,1540
	CG Farrapo	0,1737	0,4155	0,1220	0,3972	0,4154	0,0820
Época 3 (07/02/2017)							
MFPA	BRS Estribo	0,1885	0,0560	0,1460	0,1239	0,0558	0,1400
	CG Farrapo	0,1310	0,1522	0,0900	0,5908	0,1522	0,7340
MSPA	BRS Estribo	0,2244	0,2874	0,2920	0,0988	0,2875	0,2120
	CG Farrapo	0,0617	0,0532	0,0720	0,3661	0,0532	0,1020
Época 4 (24/02/2017)							
MFPA	BRS Estribo	0,2709	0,3167	0,0600	0,8049	0,3167	0,0760
	CG Farrapo	0,1592	0,0511	0,0920	0,2430	0,0510	0,1340
MSPA	BRS Estribo	0,5099	0,7476	0,1540	0,8343	0,7476	0,1980
	CG Farrapo	0,4126	0,1451	0,1120	0,1668	0,1450	0,2020
Em função da radiação solar acumulada							
Época 1 (20/12/2016)							
MFPA	BRS Estribo	0,5783	0,1600	0,9540	0,8769	0,1564	0,8380
	CG Farrapo	0,1393	0,1000	0,0500	0,4857	0,1000	0,0660
MSPA	BRS Estribo	0,3428	0,2334	0,1440	0,8711	0,2334	0,0740
	CG Farrapo	0,5806	0,2525	0,0580	0,9444	0,2524	0,1280
Época 2 (20/01/2017)							
MFPA	BRS Estribo	0,1068	0,2333	0,7120	0,1316	0,2333	0,9840
	CG Farrapo	0,1079	0,2584	0,1300	0,0500	0,2584	0,0880
MSPA	BRS Estribo	0,4927	0,1086	0,7260	0,5566	0,1086	0,7360
	CG Farrapo	0,2090	0,4155	0,1000	0,7035	0,4154	0,1840
Época 3 (07/02/2017)							
MFPA	BRS Estribo	0,0932	0,0560	0,0500	0,2663	0,0558	0,3000

MSPA	CG Farrapo	0,3525	0,1522	0,2440	0,8944	0,1522	0,3840
	BRS Estribo	0,1205	0,2874	0,2680	0,0822	0,2875	0,1960
	CG Farrapo	0,2758	0,0532	0,0620	0,7028	0,0532	0,0920
Época 4 (24/02/2017)							
MFPA	BRS Estribo	0,0527	0,3167	0,4140	0,2954	0,3167	0,9400
	CG Farrapo	0,1282	0,0511	0,0740	0,3300	0,0510	0,1020
MSPA	BRS Estribo	0,7850	0,7476	0,1800	0,7592	0,7476	0,1740
	CG Farrapo	0,6557	0,1451	0,0960	0,4877	0,1450	0,0860

⁽¹⁾ MFPA: massa de matéria fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; MSPA: massa de matéria seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

As estimativas dos parâmetros a , b e c são utilizadas para prever o crescimento da planta e, também, para comparar o crescimento das cultivares dentro de cada época de semeadura e entre as épocas de semeadura de uma mesma cultivar. Um dos métodos que podem ser utilizados para a comparação é o critério de sobreposição dos intervalos de confiança, método utilizado por Bem et al. (2018) para comparar épocas de semeadura de crotalaria juncea.

Na comparação entre cultivares, verificou-se que para os modelos Gompertz e Logístico da MFPA em função da STA, as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo não diferiram na época 2, ou seja, apresentaram valores semelhantes para os parâmetros a , b e c (Tabela 2.2). Quando isso ocorre diz-se que as cultivares apresentaram o mesmo comportamento de crescimento. Nas épocas 1 e 3 as cultivares apresentaram valores assintóticos (parâmetro a) semelhantes, ou seja, não diferiram para o caractere no final do ciclo da cultura. Para a MSPA, os modelos evidenciaram que as cultivares apresentaram o mesmo comportamento de crescimento nas épocas 1, 2 e 3. Na época 4 as cultivares diferiram entre o valor assintótico, sendo que a cultivar BRS Estribo apresentou assíntota superior a CG Farrapo, tanto para MFPA, quanto para MSPA. Porém, as cultivares apresentaram índice de precocidade não diferente. Tabela 2.2 - Estimativa dos parâmetros e limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança a 95% dos modelos Gompertz e Logístico para os caracteres em função da soma térmica acumulada, das cultivares de BRS Estribo e CG Farrapo semeadas em quatro épocas.

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro ⁽²⁾	Estimativa	Gompertz				Logístico						
			BRS Estribo		CG Farrapo		BRS Estribo		CG Farrapo				
			LI	LS	Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS
Época 1 (20/12/2016)													
MFPA	a(ns)(ns)	147,7166	133,1482	162,2851	136,7571	132,5847	140,9295	138,6315	128,8570	148,4059	133,1332	129,8595	136,4070
	b(ns)(ns)	3,1465	2,4628	3,8303	3,8216	3,3773	4,2659	-5,5960	-6,6111	-4,5810	-6,3638	-7,0162	-5,7114
	c(*) (*)	0,0075	0,0057	0,0093	0,0097	0,0086	0,0109	0,0121	0,0096	0,0145	0,0147	0,0131	0,0163
MSPA	a(ns)(ns)	34,8720	30,6655	39,0784	33,1462	31,2391	35,0533	31,7754	29,4122	34,1386	31,6443	30,1955	33,0931
	b(ns)(ns)	3,0350	2,3776	3,6924	3,3030	2,7309	3,8750	-5,8497	-6,8501	-4,8492	-5,7634	-6,6634	-4,8633
	c(ns)(ns)	0,0060	0,0045	0,0075	0,0072	0,0059	0,0085	0,0105	0,0085	0,0126	0,0113	0,0094	0,0132
Época 2 (20/01/2017)													
MFPA	a(ns)(ns)	165,3004	146,4820	184,1188	156,6290	150,0656	163,1924	153,7560	141,3565	166,1555	150,9557	145,4085	156,5030
	b(ns)(ns)	2,1239	1,6604	2,5874	2,3898	2,0827	2,6969	-3,8300	-4,5207	-3,1393	-3,9795	-4,4732	-3,4858
	c(ns)(ns)	0,0058	0,0043	0,0074	0,0068	0,0059	0,0077	0,0092	0,0072	0,0112	0,0098	0,0085	0,0112
MSPA	a(ns)(ns)	52,8258	45,0829	60,5686	53,3124	46,4294	60,1953	46,3964	42,8319	49,9609	45,7447	42,8408	48,6486
	b(ns)(ns)	2,8482	2,1985	3,4979	2,3876	1,9918	2,7834	-5,8537	-6,8618	-4,8456	-5,0966	-5,7338	-4,4593
	c(ns)(ns)	0,0052	0,0037	0,0066	0,0043	0,0034	0,0053	0,0098	0,0079	0,0117	0,0085	0,0073	0,0097
Época 3 (07/02/2017)													
MFPA	a(ns)(ns)	145,3179	124,3713	166,2646	142,3280	135,0317	149,6242	129,1003	118,3388	139,8618	133,4360	129,1684	137,7036
	b(*) (ns)	2,3823	1,8900	2,8746	2,9402	2,5677	3,3126	-4,6729	-5,4191	-3,9266	-5,3787	-5,9044	-4,8529

MSPA	c(*)(*)	0,0047	0,0035	0,0060	0,0070	0,0060	0,0079	0,0084	0,0068	0,0101	0,0115	0,0102	0,0127
	a(ns)(ns)	42,8488	33,5872	52,1105	34,5175	30,5277	38,5072	34,2185	31,0511	37,3858	31,4017	29,3163	33,4871
	b(ns)(ns)	3,0877	2,4123	3,7630	3,1608	2,4842	3,8375	-6,8787	-7,9525	-5,8048	-6,0836	-7,0767	-5,0904
	c(ns)(ns)	0,0048	0,0034	0,0062	0,0060	0,0045	0,0076	0,0104	0,0085	0,0123	0,0107	0,0087	0,0126
Época4(2402/2017)													
MFPA	a(*)(*)	166,5907	147,4389	185,7425	142,2458	123,4944	160,9972	143,7331	135,6813	151,7849	125,9214	116,3544	135,4885
	b(ns)(*)	3,1988	2,6717	3,7260	2,6310	2,1364	3,1257	-6,5338	-7,2993	-5,7684	-5,1675	-5,9187	-4,4163
	c(ns)(ns)	0,0075	0,0060	0,0091	0,0069	0,0053	0,0086	0,0145	0,0126	0,0164	0,0125	0,0103	0,0146
MSPA	a(*)(*)	38,5865	31,5646	45,6085	28,9069	25,5407	32,2731	30,0266	27,8012	32,2520	25,5919	24,0349	27,1490
	b(ns)(*)	3,6499	2,9794	4,3205	3,1986	2,5916	3,8056	-8,0167	-8,9683	-7,0651	-6,4429	-7,3349	-5,5509
	c(ns)(ns)	0,0074	0,0056	0,0091	0,0074	0,0058	0,0091	0,0159	0,0137	0,0181	0,0139	0,0117	0,0160

⁽¹⁾MFPA: massa de matéria fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; MSPA: massa de matéria seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

⁽²⁾Primeira coluna de parênteses representa a comparação dos parâmetros do modelo Gompertz entre as cultivares e a segunda coluna de parênteses representa a comparação dos parâmetros do modelo Logístico entre as cultivares. (*) significativo a 5% de probabilidade de erro. (ns) não significativo.

Quando comparados os modelos entre as cultivares para a MFPA em função da RSA, observou-se que na época 2 as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo não diferiram quanto ao comportamento de crescimento (Tabela 3.2). Além disso, nas épocas 1 e 3, não houve diferença quanto aos parâmetros *a* e *b*, indicando que o valor de crescimento final das cultivares foi semelhante nestas duas épocas. Já para a MSPA, não houve diferença entre as cultivares nas épocas 1, 2 e 3 do modelo Gompertz, e épocas 1 e 2 do modelo Logístico. No modelo Logístico, as cultivares na época 3 diferiram apenas pelo parâmetro *b*, apresentando assim o mesmo valor assintótico e o mesmo índice de precocidade. Na época 4 houveram diferenças entre as cultivares, com exceção do parâmetro *c* no modelo Gompertz para a MSPA. Nessa época verificou-se que as cultivares apresentaram diferentes valores finais de crescimento para a MFPA e a MSPA, sendo a cultivar BRS Estribo superior a CG Farrapo.

Tabela 3.2 - Estimativa dos parâmetros e limite inferior (LI) e limite superior (LS) do intervalo de confiança a 95% dos modelos Gompertz e Logístico para os caracteres em função da radiação sola acumulada, das cultivares de BRS Estribo e CG Farrapo semeadas em quatro épocas.

Caractere ⁽¹⁾	Parâmetro ⁽²⁾	Estimativa	Gompertz						Logístico					
			BRS Estribo			CG Farrapo			BRS Estribo			CG Farrapo		
			LI	LS	Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS	Estimativa	LI	LS	
Época 1 (2012/2016)														
MFPA	a(ns)(ns)	157,5072	136,3393	178,6751	139,9595	134,5924	145,3266	142,3092	130,2936	154,3249	134,2892	130,5627	138,0157	
	b(ns)(ns)	2,4092	1,8805	2,9378	2,9128	2,5480	3,2776	-4,6283	-5,4645	-3,7922	-5,1706	-5,7201	-4,6210	
	c(*)(*)	0,0042	0,0031	0,0054	0,0057	0,0050	0,0064	0,0073	0,0058	0,0089	0,0090	0,0080	0,0100	
MSPA	a(ns)(ns)	38,9466	31,5645	46,3288	34,6232	31,9265	37,3198	33,3124	29,9354	36,6894	32,3684	30,5826	34,1543	
	b(ns)(ns)	2,5292	1,9545	3,1039	2,7593	2,2453	3,2733	-5,2108	-6,1090	-4,3127	-5,0097	-5,8031	-4,2162	
	c(ns)(ns)	0,0035	0,0024	0,0046	0,0044	0,0035	0,0053	0,0067	0,0053	0,0081	0,0071	0,0059	0,0084	
Época 2 (2001/2017)														
MFPA	a(ns)(ns)	155,6587	143,6141	167,7032	152,7294	147,4974	157,9614	148,0270	139,3323	156,7217	148,7353	144,0440	153,4266	
	b(ns)(ns)	2,4630	1,9590	2,9670	2,7045	2,3687	3,0404	-4,2882	-5,0599	-3,5165	-4,3881	-4,9287	-3,8474	
	c(ns)(ns)	0,0055	0,0043	0,0067	0,0061	0,0054	0,0069	0,0084	0,0067	0,0100	0,0087	0,0076	0,0099	
MSPA	a(ns)(ns)	53,1173	45,5248	60,7098	49,7498	45,0390	54,4607	46,4395	42,9037	49,9752	44,4370	42,1348	46,7391	
	b(ns)(ns)	2,5375	2,0266	3,0484	2,4125	2,0513	2,7738	-5,1667	-5,9643	-4,3692	-4,8706	-5,4275	-4,3137	
	c(ns)(ns)	0,0036	0,0027	0,0045	0,0036	0,0029	0,0043	0,0068	0,0055	0,0080	0,0066	0,0057	0,0075	
Época 3 (07/02/2017)														
MFPA	a(ns)(ns)	157,0524	126,3304	187,7744	147,4673	138,1783	156,7564	133,8488	119,5894	148,1081	135,7613	130,5336	140,9890	
	b(ns)(ns)	1,9345	1,5596	2,3093	2,2105	1,9474	2,4737	-4,0088	-4,6270	-3,3906	-4,2287	-4,6307	-3,8267	

	c(*)(*)	0,0030	0,0021	0,0039	0,0043	0,0037	0,0050	0,0057	0,0045	0,0068	0,0073	0,0065	0,0081
MSPA	a(ns)(ns)	40,3016	32,3756	48,2277	36,8112	30,9823	42,6401	33,9301	30,7953	37,0649	32,1363	29,4733	34,7992
	b(ns)(*)	3,2675	2,4667	4,0682	2,5572	1,9972	3,1172	-6,9857	-8,1814	-5,7901	-5,2988	-6,1901	-4,4074
	c(ns)(ns)	0,0041	0,0028	0,0053	0,0038	0,0028	0,0049	0,0083	0,0067	0,0099	0,0073	0,0059	0,0087
Época4(2402/2017)													
MSPA	a(*)(*)	147,7594	137,2317	158,2871	132,6186	119,4853	145,7519	138,0029	132,2227	143,7831	122,1188	114,7901	129,4474
	b(*)(*)	4,6265	3,8146	5,4385	3,3604	2,6941	4,0266	-8,2732	-9,2920	-7,2543	-6,3542	-7,3179	-5,3904
	c(*)(*)	0,0079	0,0065	0,0094	0,0063	0,0049	0,0077	0,0132	0,0115	0,0150	0,0110	0,0091	0,0128
MSPA	a(*)(*)	30,0615	27,7609	32,3622	26,2948	24,3496	28,2400	27,7710	26,5328	29,0091	24,7095	23,6013	25,8176
	b(*)(*)	5,6082	4,7013	6,5151	4,4128	3,5662	5,2595	-9,9048	-11,0077	-8,8018	-7,8805	-8,9704	-6,7907
	c(ns)(*)	0,0087	0,0072	0,0102	0,0074	0,0059	0,0089	0,0145	0,0128	0,0163	0,0123	0,0105	0,0141

⁽¹⁾MFPA: massa de matéria fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; MSPA: massa de matéria seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

⁽²⁾Primeira coluna de parênteses representa a comparação dos parâmetros do modelo Gompertz entre as cultivares e a segunda coluna de parênteses representa a comparação dos parâmetros do modelo Logístico entre as cultivares. (*) significativo a 5% de probabilidade de erro. (ns) não significativo.

A partir destas comparações, observou-se que as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo apresentaram comportamentos de crescimento distintos dentro das épocas de semeadura. Essas diferenças foram mais evidentes na massa de matéria fresca de parte aérea. Diferenças no crescimento entre cultivares foram observadas em estudos do acúmulo de massa de matéria seca no período de formação da cultura da cana-de-açúcar (Batista et al., 2013).

Além das comparações entre as cultivares, foram realizadas comparações entre as épocas de semeadura de cada cultivar. Verificou-se que nos modelos ajustados em função da STA, a MFPA da cultivar BRS Estribo não diferiu entre as épocas 1 e 4 e 2 e 3 no modelo Gompertz, assim como nas épocas 1 e 4 do modelo Logístico (Tabela 4.2). Considerando o parâmetro *a*, no modelo Gompertz, houveram diferenças apenas entre os valores assintóticos do caractere entre as épocas 3 e 4. No modelo Logístico, as épocas 1 e 3 e 2 e 4 não diferiram quanto ao parâmetro *a*. Para a MSPA, não foram observadas diferenças entre as épocas 1 e 3 e 1 e 4 no modelo Gompertz, enquanto que no modelo Logístico, não houve diferenças entre as épocas 1 e 3. Valores semelhantes de *a* foram observados nas épocas 3 e 4, no modelo Gompertz, e 1 e 4, no modelo Logístico.

Tabela 4.2 - Comparações entre as épocas de semeadura, baseadas na sobreposição dos limites do intervalo de confiança dos parâmetros dos modelos Gompertz e Logístico das cultivares de capim-sudão BRS Estribo e CG Farrapo.

Época	Época	Gompertz				Logístico			
		BRS Estribo		CG Farrapo		BRS Estribo		CG Farrapo	
		MFPA	MSPA	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA
Em função da soma térmica acumulada									
Parâmetro a									
1	2	ns	*	*	*	*	*	*	*
1	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
1	4	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*
2	3	ns	*	*	*	*	*	*	*
2	4	ns	*	ns	*	ns	*	*	*
3	4	*	ns	ns	*	*	*	ns	*
Parâmetro b									
1	2	*	ns	*	*	*	ns	*	ns
1	3	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

1	4	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns
2	3	ns	ns	*	*	*	ns	*	ns
2	4	*	*	ns	*	*	*	*	*
3	4	*	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
Parâmetro c									
1	2	ns	ns	*	*	*	ns	*	*
1	3	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns
1	4	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*
2	3	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*
2	4	*	*	ns	*	*	*	*	*
3	4	*	*	ns	ns	*	*	ns	*
Em função da radiação solar acumulada									
Parâmetro a									
1	2	ns	*	*	*	ns	*	*	*
1	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
1	4	ns	*	ns	*	ns	*	*	*
2	3	ns	*	ns	*	ns	*	*	*
2	4	ns	*	*	*	*	*	*	*
3	4	ns	*	*	*	ns	*	*	*
Parâmetro b									
1	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
1	3	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns
1	4	*	*	ns	*	*	*	*	*
2	3	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns
2	4	*	*	ns	*	*	*	*	*
3	4	*	*	*	*	*	*	*	*
Parâmetro c									
1	2	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
1	3	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns
1	4	*	*	ns	*	*	*	*	*
2	3	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns
2	4	*	*	ns	*	*	*	*	*
3	4	*	*	*	*	*	*	*	*

MFPA: massa de matéria fresca de parte aérea, em g planta⁻¹; MSPA: massa de matéria seca de parte aérea, em g planta⁻¹.

Já para a cultivar CG Farrapo, comportamentos semelhantes foram observados entre as épocas 2 e 4 e 3 e 4 no modelo Gompertz e entre 3 e 4 no modelo Logístico para a MFPA. Ainda foram visualizadas semelhanças quanto ao valor assintótico entre as épocas 1 e 3 e 1 e 4 de ambos os modelos. Quanto a MSPA, não houveram diferenças entre as épocas 1 e 3 em ambos os modelos.

Quanto aos modelos ajustados em função da RSA, na cultivar BRS Estribo não foram observadas semelhanças, para o caractere MFPA, entre as épocas no modelo Gompertz, enquanto comportamento semelhante foi observado entre as épocas 1 e 2 no modelo Logístico. Para o modelo Gompertz, todas as épocas apresentaram valores semelhantes de a , ou seja, valores de crescimento final não diferentes. Mesmo comportamento foi observado no modelo Logístico, com exceção das épocas 2 e 4. No caractere MSPA, as épocas 1 e 3 não diferiram no modelo Gompertz, enquanto que no Logístico essas mesmas épocas apresentaram valores de a e c semelhantes, diferindo apenas no parâmetro b .

Nos modelos da cultivar CG Farrapo, foi observado comportamento semelhante para MFPA nas épocas 1 e 4 do modelo Gompertz, assim como nas épocas 1 e 3 de ambos os modelos para a MSPA.

Comportamentos semelhantes quanto ao valor assintótico ocorreram nas épocas 1 e 3 e 2 e 3, no modelo Gompertz, e 1 e 3, no modelo Logístico, para a MFPA.

Assim como para as cultivares, existiram diferenças de comportamento entre as épocas de semeadura de cada cultivar. Na cultura de crotalária juncea, Bem et al. (2018) observaram diferenças entre as épocas de semeadura quando avaliaram as massas de matéria verde e seca das plantas. Isto ocorre devido às diferenças nas condições meteorológicas. Diferenças de temperatura do ar, do comprimento do dia e da quantidade de radiação solar global incidente entre as épocas de semeadura fazem com que a planta apresente resposta no seu processo de crescimento e, com isso, diferença na produtividade.

Para indicar o modelo que melhor descreve o crescimento das cultivares de capim-sudão nas quatro épocas de semeadura foram utilizados o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o critério de informação de Akaike (AIC), o desvio padrão residual (DPR), e a quantificação da não linearidade do parâmetro (PE) e da não linearidade intrínseca (IN). Para os caracteres MFPA e MSPA, ambos os modelos se mostraram apropriados, apresentando valores de R^2_{aj} igual ou superiores a 0,8721 quando ajustados em função da STA (Tabela 5.2), e igual ou superiores a 0,8646 quando em função da RSA (Tabela 6.2). A partir desses valores, é possível inferir que ambas as variáveis independentes utilizadas, STA e RSA, mostraram-se adequadas para modelar o crescimento das cultivares de capim-sudão.

Tabela 5.2 - Indicadores de qualidade de ajuste e pontos críticos dos modelos Gompertz e Logístico para os caracteres massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (°C) para as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo em quatro épocas de semeadura.

Estatística ⁽¹⁾	----- Gompertz -----				----- Logístico -----			
	BRS Estribo		CG Farrapo		BRS Estribo		CG Farrapo	
	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA
Época 1 (20/12/2016)								
R ² _{aj}	0,8993	0,8928	0,9642	0,9169	0,8976	0,8974	0,9659	0,9110
AIC	5,5479	2,7021	4,4262	2,5172	5,5635	2,6589	4,3803	2,5841
DPR	15,4716	3,7498	8,8715	3,4264	15,5952	3,6680	8,6616	3,5455
PE	0,9414	1,1395	0,2708	0,4922	0,5675	0,5529	0,1956	0,3336
IN	0,1418	0,1584	0,0883	0,1330	0,1223	0,1190	0,0737	0,1110
PI	x 419,3274	507,0559	392,1039	460,9001	463,2785	554,5061	433,2996	509,9653
	y 54,3419	12,8287	50,3101	12,1938	69,3157	15,8877	66,5666	15,8221
PAM	x 291,0689	346,2634	293,3569	326,6025	354,2518	429,6683	343,6309	393,4355
	y 10,7754	2,5438	9,9759	2,4179	29,2963	6,7149	28,1344	6,6872
PDM	x 547,5859	667,8485	490,8510	595,1977	572,3052	679,3439	522,9684	626,4952
	y 100,8193	23,8008	93,3392	22,6229	109,3352	25,0605	104,9989	24,9571
PDA	x 658,8378	807,3205	576,5046	711,6879	653,0615	771,8116	589,3862	712,8091
	y 125,1532	29,5454	115,8677	28,0832	125,9118	28,8600	120,9180	28,7409
Época 2 (20/01/2017)								
R ² _{aj}	0,8792	0,8741	0,9495	0,9148	0,8745	0,8871	0,9371	0,9270
AIC	5,6060	3,5399	4,6896	2,9804	5,6436	3,4320	4,9089	2,8251
DPR	15,9574	5,7387	10,1285	4,3320	16,2629	5,4332	11,3116	4,0097
PE	1,3576	1,5475	0,4622	1,4263	0,8180	0,6211	0,3693	0,5202
IN	0,0916	0,1766	0,0579	0,1089	0,1051	0,1216	0,0747	0,0830

PI	x	363,2564	552,9506	350,8924	553,5216	415,4570	596,8194	404,3784	599,5227
	y	60,8106	19,4335	57,6206	19,6125	76,8782	23,1981	75,4779	22,8723
PAM	x	198,6521	366,1052	209,5792	330,4009	272,6006	462,5487	270,5541	444,6053
	y	12,0580	3,8534	11,4255	3,8889	32,4925	9,8047	31,9007	9,6670
PDM	x	527,8607	739,7959	492,2057	776,6423	558,3135	731,0902	538,2028	754,4402
	y	112,8206	36,0546	106,9022	36,3867	121,2635	36,5917	119,0550	36,0777
PDA	x	670,6391	901,8662	614,7813	970,1781	664,1276	830,5449	637,3268	869,1879
	y	140,0512	44,7568	132,7043	45,1690	139,6486	42,1395	137,1053	41,5475
Época 3 (07/02/2017)									
R ² _{aj}		0,8721	0,8967	0,9532	0,8850	0,8758	0,9086	0,9598	0,8935
AIC		5,5022	2,7346	4,5516	2,7663	5,4733	2,6138	4,4004	2,6913
DPR		15,3054	3,8503	9,4845	3,9011	15,0846	3,6234	8,7865	3,7549
PE		1,7585	2,8176	0,5242	1,2864	0,8139	0,8563	0,2747	0,5979
IN		0,1109	0,1576	0,0782	0,1527	0,0990	0,1119	0,0622	0,1126
PI	x	503,4340	641,7491	423,0108	523,0511	554,4819	662,8515	469,5409	570,2227
	y	53,4595	15,7632	52,3595	12,6983	64,5501	17,1092	66,7180	15,7008
PAM	x	300,0530	441,7177	284,5440	363,7896	398,2114	535,9451	354,5747	446,7821
	y	10,6004	3,1257	10,3823	2,5179	27,2821	7,2312	28,1983	6,6360
PDM	x	706,8150	841,7805	561,4776	682,3126	710,7524	789,7579	584,5071	693,6632
	y	99,1821	29,2451	97,1414	23,5588	101,8182	26,9872	105,2376	24,7657
PDA	x	883,2285	1015,2885	681,5842	820,4566	826,5023	883,7577	669,6628	785,0959
	y	123,1210	36,3038	120,5877	29,2450	117,2551	31,0789	121,1930	28,5205
Época 4 (24/02/2017)									
R ² _{aj}		0,9513	0,9580	0,9227	0,9253	0,9589	0,9654	0,9253	0,9362
AIC		4,8499	1,4899	4,9604	1,8443	4,6828	1,3039	4,9264	1,6883
DPR		11,0127	2,0619	11,5937	2,4556	10,1133	1,8722	11,3978	2,2691
PE		1,4031	2,5545	1,6202	1,3287	0,5222	0,7083	0,7364	0,5449
IN		0,1286	0,1389	0,1193	0,1484	0,0831	0,0884	0,0915	0,1001
PI	x	423,9332	495,9976	379,0141	430,2752	451,2401	504,6552	414,1579	463,9403
	y	61,2853	14,1952	52,3293	10,6343	71,8664	15,0133	62,9607	12,7960
PAM	x	296,3861	365,2122	240,3725	300,8098	360,2878	421,7518	308,6077	369,1084
	y	12,1521	2,8147	10,3763	2,1086	30,3744	6,3454	26,6103	5,4082
PDM	x	551,4804	626,7830	517,6556	559,7407	542,1924	587,5586	519,7081	558,7721
	y	113,7012	26,3360	97,0854	19,7295	113,3587	23,6812	99,3111	20,1837
PDA	x	662,1153	740,2267	637,9138	672,0396	609,5610	648,9654	597,8893	629,0142
	y	141,1444	32,6925	120,5181	24,4914	130,5453	27,2716	114,3679	23,2438

⁽¹⁾R²_{aj}: coeficiente de determinação ajustado; AIC: critério de informação de Akaike; DPR: desvio padrão residual; IN: não linearidade intrínseca; PE: não linearidade do efeito do parâmetro; PI: ponto de inflexão; PAM: ponto de aceleração máxima; PDM: ponto de desaceleração máxima; PDA: ponto de desaceleração assintótica.

Tabela 6.2 - Indicadores de qualidade de ajuste e pontos críticos dos modelos Gompertz e Logístico para os caracteres massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta⁻¹) e massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da radiação solar acumulada (MJ m⁻²) para as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo em quatro épocas de semeadura.

Estatística	Gompertz				Logístico				
	BRS Estribo		CG Farrapo		BRS Estribo		CG Farrapo		
	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA	
Época 1 (20/12/2016)									
R ² _{aj}	0,8994	0,8919	0,9614	0,9152	0,8981	0,8972	0,9634	0,9111	
AIC	5,5464	2,7101	4,5026	2,5366	5,5590	2,6611	4,4490	2,5830	
DPR	15,4595	3,7651	9,2134	3,4601	15,5598	3,6723	8,9643	3,5429	
PE	1,4748	2,2078	0,3832	0,7799	0,7591	0,8879	0,2385	0,4676	
IN	0,1281	0,1783	0,0908	0,1514	0,1168	0,1250	0,0718	0,1139	
PI	x	567,7546	721,9606	510,4711	628,3964	630,5885	776,1997	576,2484	700,8406
	y	57,9437	14,3277	51,4882	12,7371	71,1547	16,6561	67,1446	16,1842
PAM	x	340,9463	447,2333	341,8081	409,2162	451,1584	580,0265	429,4762	516,6013

	y	11,4895	2,8410	10,2095	2,5256	30,0735	7,0397	28,3786	6,8403
PDM	x	794,5629	996,6880	679,1342	847,5765	810,0186	972,3728	723,0206	885,0799
	y	107,5015	26,5818	95,5249	23,6309	112,2357	26,2726	105,9105	25,5282
PDA	x	991,2974	1234,9875	825,4332	1037,6943	942,9228	1117,6788	831,7350	1021,5464
	y	133,4483	32,9976	118,5810	29,3345	129,2521	30,2559	121,9679	29,3986
Época 2 (20/01/2017)									
	R ² aj	0,8816	0,8910	0,9464	0,9292	0,8765	0,8976	0,9340	0,9376
	AIC	5,5859	3,3985	4,7508	2,7961	5,6272	3,3371	4,4420	2,6695
	DPR	15,7976	5,3386	10,4429	3,9496	16,1298	5,1750	11,5820	3,7066
	PE	0,7562	1,5868	0,3196	0,9959	0,4943	0,6500	0,2626	0,4303
	IN	0,0880	0,1377	0,0575	0,0891	0,1025	0,1026	0,0732	0,0742
	PI	x	449,8334	703,4069	439,9603	669,8794	511,9898	762,9632	502,5705
		y	57,2636	19,5408	56,1860	18,3019	74,0135	23,2197	74,3676
PAM	x	274,0614	436,6189	283,3963	402,6465	354,7527	568,4901	351,7371	539,5142
	y	11,3547	3,8747	11,1410	3,6291	31,2818	9,8138	31,4315	9,3906
PDM	x	625,6055	970,1949	596,5244	937,1123	669,2269	957,4364	653,4038	939,3941
	y	106,2399	36,2535	104,2406	33,9552	116,7452	36,6256	117,3038	35,0463
PDA	x	778,0708	1201,6078	732,3286	1168,9112	785,6928	1101,4831	765,1264	1087,4901
	y	131,8822	45,0037	129,4003	42,1506	134,4452	42,1786	135,0886	40,3598
Época 3 (07/02/2017)									
	R ² aj	0,8646	0,8801	0,9548	0,8747	0,8691	0,8975	0,9581	0,8852
	AIC	5,5591	2,8726	4,5177	2,8521	5,5257	2,7189	4,4420	2,7657
	DPR	15,7465	4,1488	9,3170	4,0716	15,4851	3,8365	8,9700	3,8981
	PE	2,6416	2,3572	0,7096	1,9144	1,1021	0,8023	0,3640	0,7930
	IN	0,0935	0,2006	0,0555	0,1596	0,0984	0,1335	0,0579	0,1185
	PI	x	646,9873	799,4523	508,5073	666,7369	709,4531	842,9775	577,0935
		y	57,7763	14,8261	54,2502	13,5421	66,9240	16,9650	67,8805
PAM	x	325,1009	563,9750	287,1111	415,8039	476,3871	684,0584	397,3661	545,8556
	y	11,4564	2,9398	10,7572	2,6852	28,2856	7,1703	28,6897	6,7912
PDM	x	968,8737	1034,9296	729,9036	917,6699	942,5192	1001,8966	756,8209	906,9333
	y	107,1911	27,5066	100,6491	25,1243	105,5632	26,7598	107,0716	25,3451
PDA	x	1248,0792	1239,1835	921,9435	1135,3301	1115,1517	1119,6084	889,9455	1040,6588
	y	133,0630	34,1457	124,9420	31,1884	121,5679	30,8170	123,3050	29,1877
Época 4 (24/02/2017)									
	R ² aj	0,9459	0,9587	0,9152	0,9276	0,9581	0,9669	0,9251	0,9407
	AIC	4,9406	1,4576	5,0510	1,8044	4,6960	1,2555	4,9285	1,6117
	DPR	11,6086	2,0459	12,1445	2,4183	10,2133	1,8321	11,4131	2,1876
	PE	0,7080	0,7356	1,0204	0,7341	0,3379	0,3308	0,5016	0,3560
	IN	0,1369	0,1111	0,1561	0,1502	0,0916	0,0786	0,1048	0,1002
	PI	x	583,8386	647,5544	530,0817	595,7359	624,4562	681,6803	579,7270
		y	54,3577	11,0590	48,7877	9,6733	69,0014	13,8855	61,0595
PAM	x	462,3869	536,4276	378,2640	465,8083	525,0526	591,0428	459,5737	533,7015
	y	10,7785	2,1929	9,6740	1,9181	29,1634	5,8687	25,8067	5,2217
PDM	x	705,2903	758,6813	681,8995	725,6634	723,8599	772,3178	699,8803	747,8718
	y	100,8485	20,5175	90,5146	17,9467	108,8395	21,9023	96,3120	19,4877
PDA	x	810,6380	855,0732	813,5868	838,3631	797,4884	839,4532	788,8781	827,1899
	y	125,1895	25,4697	112,3614	22,2783	125,3409	25,2229	110,9142	22,4423

⁽¹⁾R²aj: coeficiente de determinação ajustado; AIC: critério de informação de Akaike; DPR: desvio padrão residual; IN: não linearidade intrínseca; PE: não linearidade do efeito do parâmetro; PI: ponto de inflexão; PAM: ponto de aceleração máxima; PDM: ponto de desaceleração máxima; PDA: ponto de desaceleração assintótica.

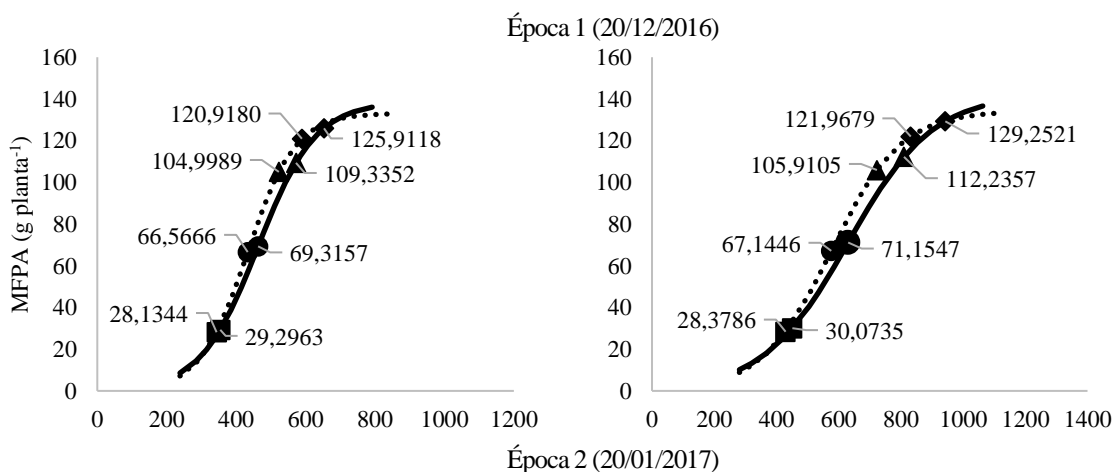
Comparando os modelos, com base nos indicadores de qualidade de ajuste, percebeu-se que na maioria dos casos, o modelo Logístico apresentou os maiores valores de R²aj e menores de AIC, DPR, indicando sua adequabilidade para descrever o crescimento da cultura do capim-sudão. Além disso, apresentou os menores valores de PE e IN, mostrando que é o mais próximo ao linear, confirmando sua melhor qualidade. Conclusões semelhantes foram obtidas por Prado et al. (2013) e Muniz et al. (2017),

que observaram melhor desempenho do modelo Logístico no crescimento de frutos de coqueiro anão e de cacau, respectivamente.

Inferências sobre o crescimento da cultura podem ser realizadas com base nos pontos críticos das curvas de crescimento. O principal ponto a ser considerado é de inflexão, que representa o momento em que a planta atinge a metade do ciclo, a maior taxa de crescimento e a partir do qual começa a reduzir a velocidade de crescimento. Comparando os modelos ajustados em função da STA (Tabela 5.2) e da RSA (Tabela 6.2), visualiza-se que no Logístico as plantas atingiram o PI com maiores valores de massa de matéria fresca de parte aérea e de massa de matéria seca de parte aérea, porém necessitaram de maior acúmulo de soma térmica e/ou radiação solar do que no modelo Gompertz.

Nas Figuras 1.1 e 2.1, são apresentadas as curvas de crescimento, com seus respectivos pontos críticos, do modelo Logístico, que é o modelo mais indicado. Observa-se que a cultivar CG Farrapo necessitou menor acúmulo de soma térmica e/ou radiação solar para atingir o PI, quando comparada a BRS Estribo, porém apresentou menores valores de MFPA e de MSPA. Diferenças entre as necessidades de soma térmica para atingir o ponto de inflexão também foram observados por Deprá et al. (2016) em cultivares de milho.

Figura 1.2 - Gráficos dos modelos Logístico para o caractere massa de matéria fresca de parte aérea (MFPA, em g planta^{-1}) em função da soma térmica acumulada (STA, em $^{\circ}\text{C}$) e da radiação solar acumulada (MJ m^{-2}) das cultivares BRS Estribo (—), com valores do caractere a direita das curvas, e CG Farrapo (·····), com valores do caractere a esquerda das curvas, em quatro épocas de semeadura de capim-sudão.



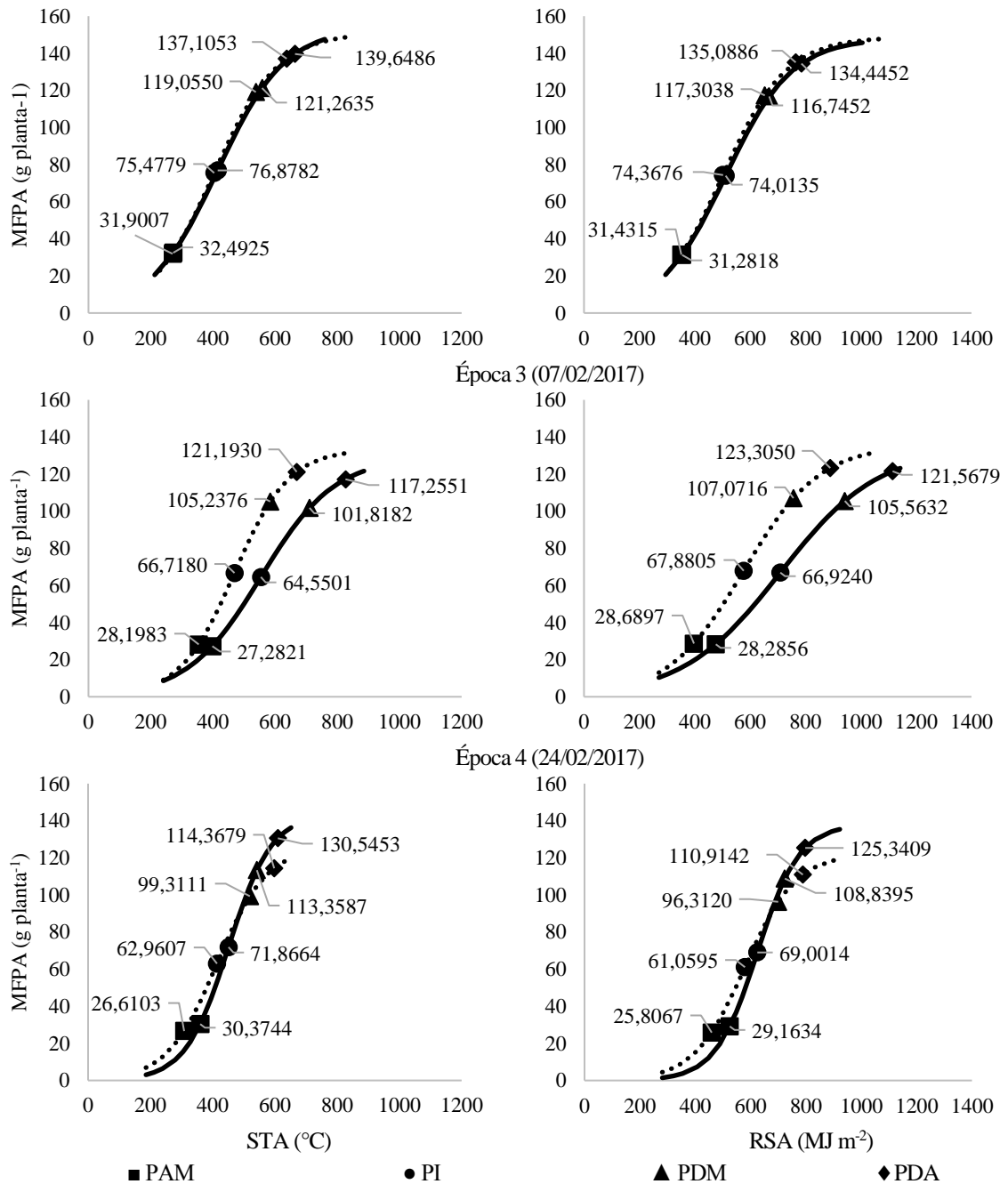
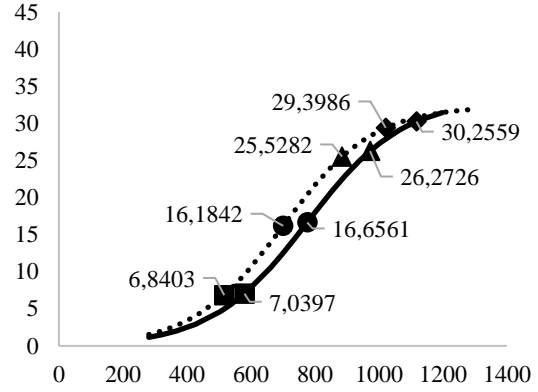
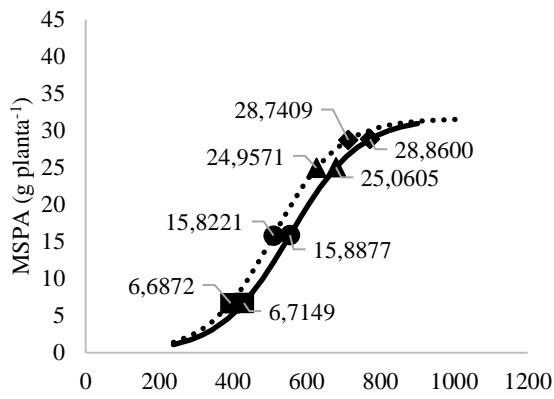
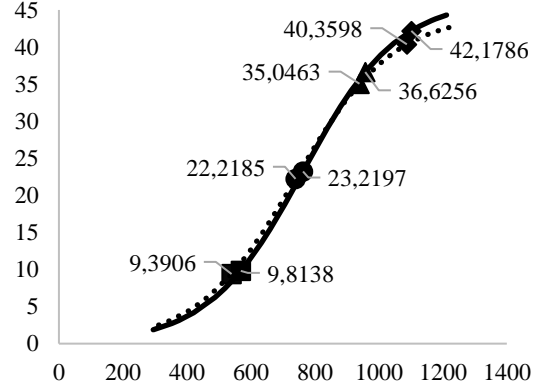
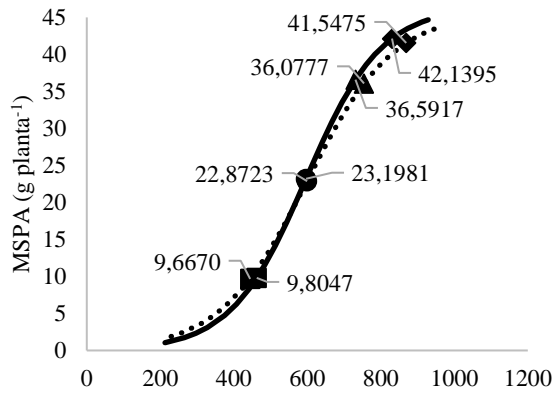


Figura 2.2 - Gráficos dos modelos Logístico para o caractere massa de matéria seca de parte aérea (MSPA, em g planta⁻¹) em função da soma térmica acumulada (STA, em °C) e da radiação solar acumulada (MJ m⁻²) das cultivares BRS Estribo (—), com valores do caractere a direita das curvas, e CG Farrapo (·····), com valores do caractere a esquerda das curvas, em quatro épocas de semeadura de capim-sudão.

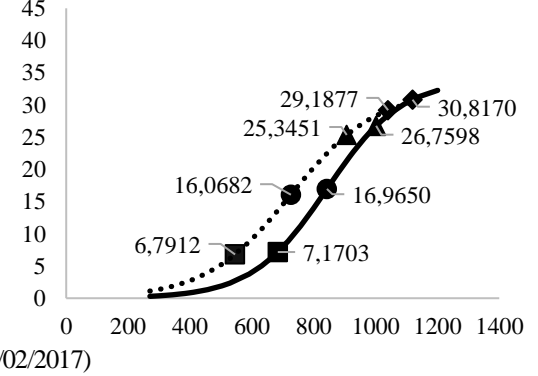
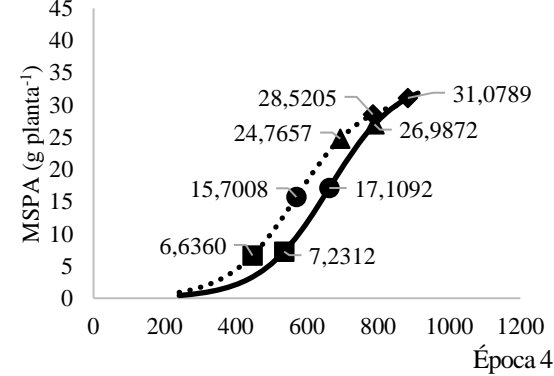
Época 1 (20/12/2016)



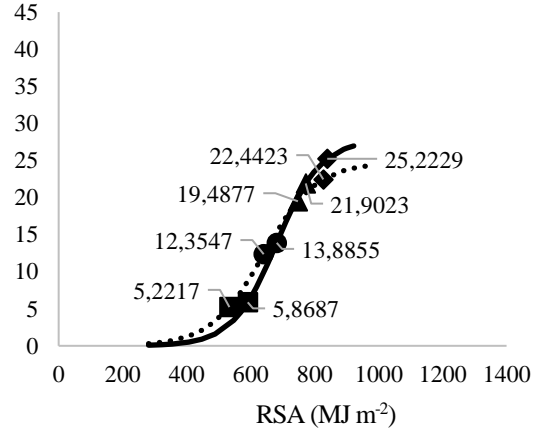
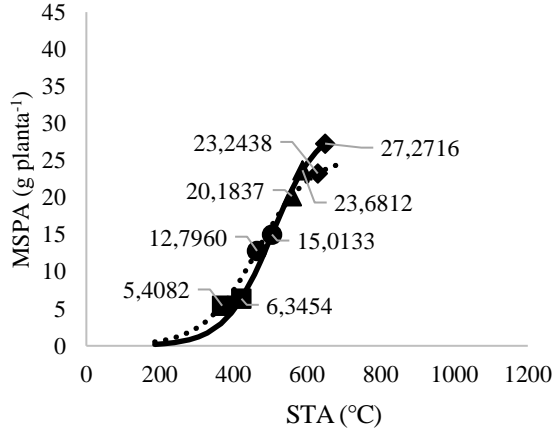
Época 2 (20/01/2017)



Época 3 (07/02/2017)



Época 4 (24/02/2017)



■ PAM ● PI ▲ PDM ◆ PDA

Quanto aos demais pontos, observou-se, de modo geral, que a cultivar CG Farrapo atinge o PAM, PDM e PDA com menores valores de STA e/ou de RSA quando comparada a cultivar BRS Estribo. Com isso, infere-se que a cultivar CG Farrapo apresenta ciclo mais curto, sendo que a aceleração e a desaceleração da taxa de crescimento ocorrem mais precocemente do que na cultivar CG Farrapo. Com isso, indica-se a realização dos tratos culturais, como adubação de cobertura, controle de plantas daninhas e de pragas, mais precocemente na cultivar CG Farrapo do que na cultivar BRS Estribo.

Observando as épocas de semeadura, é possível verificar que a segunda época (20/01) foi a que apresentou maiores valores de MFPA e MSPA em todos os pontos críticos, podendo ser indicativo de uma época mais adequada para a semeadura da cultura visando maior produção de massa de matéria fresca e seca de parte aérea.

De modo geral, verificou-se que existem diferenças entre as cultivares dentro das épocas de semeadura e entre as épocas de semeadura de cada cultivar. Com isso, o pesquisador que realizar estudos com a cultura de capim-sudão deve optar pelo modelo que melhor descreve o crescimento de determinada cultivar na determinada época que lhe for de interesse.

Como as informações do presente estudo foram geradas a partir dos dados das cultivares BRS Estribo e CG Farrapo, nas condições ambientais em que foram estudadas, podendo o uso dos modelos gerar resultados com alguma divergência, porém esperada. Entretanto, devido a representatividade do banco de dados utilizado para ajustar os modelos (três avaliações semanais de cinco plantas durante o ciclo da cultura, em duas cultivares semeadas em quatro épocas) e o fato de não terem sido encontrados estudos com modelos de crescimento para o capim-sudão, esses modelos podem servir de referência na realização de novas pesquisas com a cultura.

Conclusões

As variáveis independentes, soma térmica acumulada e radiação solar acumulada, podem ser utilizadas satisfatoriamente para ajustar os modelos Gompertz e Logístico em cultivares de capim-sudão.

Há diferença entre os modelos de crescimento das cultivares nas épocas de semeadura e entre as épocas de semeadura de uma mesma cultivar para os caracteres massa de matéria fresca de parte aérea e massa de matéria seca de parte aérea.

Os modelos Gompertz e Logístico descrevem satisfatoriamente o crescimento dos caracteres massa de matéria fresca de parte aérea e massa de matéria seca de parte aérea das cultivares de capim-

sudão, BRS Estribo e CG Farrapo, semeadas em quatro épocas. O modelo Logístico é mais indicado por apresentar melhores indicadores de qualidade de ajuste.

Referências

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, p. 711-728, 2013.
- Arenhardt, E. G.; Silva, J. A. G.; Gewehr, E.; Arenhardt, L. G.; Arenhardt, C. L.; Nonnenmacher, G. CG Farrapo: a sudangrass cultivar with high biomass and grain yields. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 16, p. 158-162, 2016.
- Arnold, C. Y. Maximum-Minimum temperature as a basis for computing heat units. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, v.76, p. 682-692, 1960.
- Bandeira, A. H.; Medeiros, S. L. P.; Emygdio, B. M.; Biondo, J. C.; Silva, N. G.; Leal, L. T. Temperatura base inferior e exigência térmica de genótipos de sorgo sacarino. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 15, p. 240-250, 2016.
- Batista, E. L. S.; Zolnier, S.; Ribeiro, A.; Lyra, G. B.; Silva, T. G. F.; Boehringer, D. Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, p. 1080-1087, 2013.
- Bem, C. M.; Cargnelutti Filho, A.; Chaves, G. G.; Kleinpaul, J. A.; Pezzini, R. V.; Lavezo, A. Gompertz and Logistic Models to the Productive Traits of Sunn Hemp. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, p. 225-238, 2018.
- Borges, W. L. B.; Freitas, R. S.; Mateus, G. P.; Sá, M. E.; Alves, M. C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura de solo. *Planta Daninha*, v. 32, p. 755-763, 2014.
- Cardoso, D. P.; Silva, M. L. N.; Carvalho, G. J.; Freitas, D. A. F.; Avanzi, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo. água e nutrientes por erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 632-638, 2012.
- Deprá, M. S.; Lopes, S. J.; Noal, G.; Reininger, L. R. S.; Cocco, D. T. Modelo logístico de crescimento de cultivares crioulas de milho e de progênies de meios-irmãos maternos em função da soma térmica. *Ciência Rural*, v. 46, p. 36-43, 2016.

- Fernandes, T. J.; Pereira, A. A.; Muniz, J. A.; Savian, T. V. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. *Coffee Science*, v. 9, p. 207-215, 2014.
- Lucena, L. R. R.; Leite, M. L. M. V.; Pereira, J. S.; Cavalcante, A. B. Ajuste de curvas de crescimento do comprimento do cladódio de *Nopalea Cochenillifera*. *Biomatemática*, v. 26, p. 39-52, 2016.
- Mattos, J. L. S. Gramíneas forrageiras anuais alternativas para a região do Brasil central. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais*, v. 2, p. 52-70, 2003.
- Mischan, M. M.; Pinho, S. Z. Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. 184 p.
- Muniz, J. A.; Nascimento, M. S.; Fernandes, T. J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. *Revista Caatinga*, v. 30, p. 250-257, 2017.
- Pacheco, L. P.; Barbosa, J. M.; Leandro, W. M.; Machado, P. L. O. A.; Assis, R. L.; Madari, B. E.; Petter, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, p. 1228-1236, 2013.
- Pereira, A. A.; Morais, A. R.; Scalco, M. S.; Fernandes, T. J. Descrição do crescimento vegetativo do cafeeiro cultivar Rubi MG 1192, utilizando modelos de regressão. *Coffee Science*, v. 9, p. 266-274, 2014.
- 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*, Santa Maria, v. 43, p. 803-809, 2013.
- R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2018.
- Ribeiro, T. D.; Mattos, R. W. P.; Morais, A. R.; Muniz, J. A. Description of the growth of pequi fruits by nonlinear models. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, p. 1-11, 2018.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Cunha, T. J. F.; Oliveira, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.

Silveira, M. C. T.; Santanna, D. M.; Montardo, D. P.; Trentin, G. Aspectos relativos à implantação e manejo de Capim-Sudão BRS Estribo. Bagé: Embrapa Pecuária Sul. 2015, 11 p. (Embrapa - Comunicado Técnico, 89).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das variáveis independentes soma térmica acumulada e radiação solar acumulada apresentaram eficiência na modelagem do crescimento dos caracteres altura de planta, comprimento de colmo, massa de matéria fresca de parte aérea e massa de matéria seca de parte aérea das cultivares de capim-sudão, tornando-se alternativa em novos trabalhos a respeito de modelagem de crescimento de plantas.

A variável independente radiação solar acumulada mostrou-se uma alternativa a utilização do número de dias após semeadura ou emergência para a modelagem do crescimento de culturas, e/ou na descrição do crescimento de culturas que não apresentam temperatura base definida ou que não respondam a soma térmica.

De modo geral, visualizou-se que os modelos de cada caractere de planta diferiram entre as cultivares BRS Estribo e CG Farrapo e entre as épocas de semeadura de cada uma das cultivares. Com isso, recomenda-se que para a previsão do crescimento das plantas, seja utilizado o modelo de acordo com a cultivar e a época de semeadura adequados.

Deve-se ressaltar que os modelos Gompertz e Logístico apresentaram bons ajustes as curvas de crescimento, podendo serem utilizados na descrição do crescimento dos caracteres de planta das cultivares de capim-sudão, BRS Estribo e CG Farrapo. Entretanto, recomenda-se o modelo Logístico, uma vez que o mesmo apresentou, em geral, melhores indicadores de qualidade.

REFERÊNCIAS

- ARCHONTOULIS, S. V.; MIGUEZ, F. E. Nonlinear Regression Models and Applications in Agricultural Research. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 786-798, 2015. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/pdfs/107/2/786>>. Acesso em: 27 mar. 2017.
- ARENHARDT, E. G. et al. CG FARRAPO: a sudangrass cultivar with high biomass and grain yields. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 158-162, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332016v16n2c24>>. Acesso em: 11 mar. 2017.
- AUGOSTINHO, L. M. D. et al. Acúmulo de massa seca e marcha de absorção de nutrientes em mudas de goiabeira 'Pedro Sato'. **Bragantia**, v. 67, p. 577-585, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000300004>>. Acesso em: 17 mar. 2017.
- BATES, D. M.; WATTS, D. G. Relative curvature measures of nonlinearity: with discussion. **Journal of the Royal Statistical Society, Serie B**, v. 42, p. 1-25, 1980.
- BEM, C. M. et al. Gompertz and Logistic Models to the Productive Traits of Sunn Hemp. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 225-238, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n1p225>. Acesso em: 24 fev. 2019.
- BEM, C. M. et al. Growth models for morphological traits of sunn hemp. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, p. 2933-2944, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n5p2933>>. Acesso em: 24 fev. 2019.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BOGDAN, A. V. **Tropical pasture and fodder plants: grasses and legumes**. London: Logman, 1977. 475 p.
- BORGES, W. L. B. et al. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura de solo. **Planta Daninha**, v. 32, p. 755-763, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582014000400010>>. Acesso em: 28 ago. 2018.
- BRITO, C. C. R. et al. Modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos modelos de Chapman-Richards e Silva-Bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. **Ciência Florestal**, v. 17, p. 175-185, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/198050981949>>. Acesso em: 23 mar. 2017.
- CALEGARI, A. Plantas de cobertura em sistema Plantio Direto de Qualidade (SPDq). **Revista A Granja**, v. 68, p. 67-69, 2012.
- CARDOSO, D. P. et al. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 632-638, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n6/v16n06a07.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

- CARVALHO, L. B. et al. Estudo comparativo do acúmulo de massa seca e macronutrientes por plantas de milho var. Br-106 e *Brachiaria plantaginea*. *Planta Daninha*, v. 25, p. 293-301, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v25n2/a08v25n2>>. Acesso em: 12 mai. 2017.
- CORRÊA, S. T. R. et al. Aplicações e limitações da modelagem em agricultura – revisão. **Revista de Agricultura**, v. 86, p. 1-13, 2011. Disponível em: <http://www.fealq.org.br/ojs/index.php/revistadeagricultura/article/view/75/pdf_2789>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- DAVIS, J. R. et al. Some Unique Benefits with Sudangrass for Improved U.S. #1 Yields and Size of Russet Burbank Potato. **American Journal of Potato Research**, v. 81, p. 403-413, 2004. Disponível em: <<https://naldc.nal.usda.gov/download/40199/PDF>>. Acesso em: 24 mar. 2017.
- DOVER, K.; WANG, K. H.; MCSORLEY, R. Nematode management using sorghum and its relatives. **University of Florida IFAS Extension Bulletin**, p. 1–5. 2004. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/IN/IN53100.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2017.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 709 p.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: John Wiley, 1998. 706 p.
- GAZZIERO, D.L.P. et al. Deposição de glyphosate aplicado para controle de plantas daninhas em soja transgênica. **Planta Daninha**, v. 24, p. 173-181, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582006000100022>>. Acesso em: 27 mar. 2017.
- GOMPertz, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, 115, 1825.
- IOSSI, E. et al. Maturação fisiológica de sementes de *Phoenix roebelenii* O’Brie. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p.147-154, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222007000100020>>. Acesso em: 27 mar. 2017.
- JUFFO, G. D. et al. Intoxicação espontânea por *Sorghum sudanense* em bovinos leiteiros no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 32, p. 217-220, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-736X2012000300006>>. Acesso em: 19 mar. 2017.
- LAMEGO, F. P. et al. Potencial de supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura de verão. **Comunicata Scientiae**, v. 6, p. 97-105, 2015. Disponível em: <<https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/470/308>>. Acesso em: 28 ago. 2018.
- LEE, J. H.; GOUDRIAAN, J.; CHALLA, H. Using the exponential growth equation for modelling crop growth in year-round cut *Chrysanthemum*. **Annals of Botany**, v. 92, p. 697-708, 2003. Disponível em:

<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4244859/pdf/mcg195.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

LÚCIO, A. D. C. et al. Modelos não-lineares para a estimativa da produção de tomate do tipo cereja. **Ciência Rural**, v. 46, p. 233-241, 2016. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150067>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

MARCELO, A. V. et al. Crop sequences in no-tillage system: effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 417-428, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n2/19.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2018.

MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. **Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento**. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. 184 p.

MUIANGA, C. A. et al. Descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro por modelos não lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, p. 22-32, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-295/14>>. Acesso em: 24 mar. 2017.

MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 250-257, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n128rc>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

PACHECO, L. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1228-1236, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v48n9/v48n9a06.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2018.

PEREIRA, A. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, p. 799-807, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17065>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

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, p. 803-809, 2013. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/cr/v43n5/a13313cr5976.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2018.

RATKOWSKY, D. A. **Nonlinear regression modeling: a unified practical approach**. New York: M. Dekker, 1983. 276 p.

REIS, R. M. et al. Modelos de regressão não linear aplicados a grupos de acessos de alho. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 178-183, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v32n2/0102-0536-hb-32-02-00178.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

REZENDE, P. M. et al. Épocas de semeadura e cultivares de soja na produção de forragem. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 557-565, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13561/9745>>. Acesso em: 30 out. 2017.

SATTELL, R. et al. Sudangrass and sorghum-sudangrass hybrids (Sorghum bicolor L.). **Oregon State University extension service**. p. 1-2, 1998. Disponível em: <<http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/15232/em8703.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2017.

SEBER, G. A. F.; WILD, C. J. **Nonlinear Regression**. New Jersey: J. Wiley, 1989. 752 p.

SILVEIRA, M. C. T. et al. **Aspectos relativos à implantação e manejo de Capim-Sudão BRS Estribo**. Embrapa Pecuária Sul, Bagé, 11 p., 2015. (Comunicado técnico). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135361/1/COT89online.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2017.

SOUSA, I. F. et al. Fitting nonlinear autoregressive models to describe coffee seed germination. **Ciência Rural**, v. 44, p. 2016-2021, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131341>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

TEI, F.; SCAIFE, A.; AIKMAN, D. P. Growth of Lettuce, Onion, and Red Beet. 1. Growth Analysis, Light Interception, and Radiation Use Efficiency. **Annals of Botany**, v. 78, p. 633-643, 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0171>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

TERRA, M. F. et al. Ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos de tamareira anã (Phoenix roebeleni O'BRIEN) **Magistra**, v.22, p.1-7, 2010.

TRENTIN, R. et al. Soma térmica de subperíodos do desenvolvimento da planta de melancia. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2464-2470, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008005000016>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

ZIECH, A. R. D. et al. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 374-392, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500004>>. Acesso em: 30 ago. 2018.