



Desenvolvimento do capim-sudão por meio de simulação numérica para a região de Pelotas/RS

Development of sudangrass through numerical analysis in the region of Pelotas/RS

Michele Pereira Malcorra¹

 <https://orcid.org/0000-0002-8030-9512>  <http://lattes.cnpq.br/1085955997096667>

Gustavo Trentin²

 <https://orcid.org/0000-0003-3240-8951>  <http://lattes.cnpq.br/0472912842359976>

Daiane Roschildt Sperling³

 <https://orcid.org/0000-0002-0018-8846>  <http://lattes.cnpq.br/5757906187759198>

Edgar Ricardo Schöffel⁴

 <https://orcid.org/0000-0003-4414-9133>  <http://lattes.cnpq.br/7727859837108095>

Roberto Trentin⁵

 <https://orcid.org/0000-0002-5259-8281>  <http://lattes.cnpq.br/5712333917329135>

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram estimar a duração dos subperíodos, ciclo total e número de cortes do capim-sudão e determinar as funções de distribuição de probabilidade (Fdp) que melhor caracterizam a distribuição dos dados para as condições de Pelotas/RS, por meio do desenvolvimento simulado em diferentes épocas de semeadura. O estudo foi realizado com base em resultados publicados na literatura e dados meteorológicos do período de 1971 a 2022, obtidos na Estação Agroclimatológica de Pelotas. A simulação de desenvolvimento foi realizada para seis épocas de semeadura por meio do método de soma térmica utilizando os dados de temperatura média diária do ar. Executou-se o ajuste dos dados às Fdp exponencial, gama, lognormal, normal e weibull. A duração do ciclo total variou de 81 a 234 dias, resultando em dois a sete cortes, para as datas de semeadura correspondente ao início e final da época de semeadura recomendada. A duração do ciclo e dos subperíodos são maiores na semeadura de setembro e decresce até à época de semeadura de fevereiro. A distribuição lognormal apresentou maior frequência de ajuste aos dados de duração dos subperíodos de desenvolvimento do capim-sudão.

Palavras-chave: *Sorghum sudanense*; modelos de desenvolvimento; soma térmica; probabilidade.

¹ Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas/RS - Brasil. E-mail: michelemalcorra@hotmail.com

² E-mail: gustavo.trentin@embrapa.br

³ E-mail: daianesperling@hotmail.com

⁴ E-mail: ricardo_schoffel@ufpel.edu.br

⁵ E-mail: trentin.rt@gmail.com



ABSTRACT

This study aimed to estimate the duration of the subperiods, total cycle and number of cuts of sudangrass as well as determine the probability distribution functions (Fdp) that best characterize the distribution of data for the conditions of Pelotas/RS, through the simulated development at different sowing times. The study is based on results published in the literature and meteorological data from the period of 1971 to 2022, obtained at the Pelotas Agroclimatological Station. The development simulation was carried out for six sowing seasons using thermal sum method following data on average daily air temperature. The data was adjusted to the exponential, gamma, lognormal, normal and weibull Fdps. The duration of the total cycle varied from 81 to 234 days, resulting in two to seven cuts, for sowing dates corresponding to the beginning and end of the recommended sowing season. The duration of the cycle and sub-periods rises in the September sowing and decreases until the February sowing. The lognormal distribution presented a greater adjustment frequency to data on the duration of sub-periods of sudangrass development.

Keywords: *Sorghum sudanense; development models; thermal sum; probability.*

1. INTRODUÇÃO

As forrageiras se constituem o principal componente da dieta dos ruminantes, sendo uma importante ferramenta nos sistemas produtivos pecuários como fonte de alimento com menor custo e praticidade, possibilitando maior lucratividade e sustentabilidade (Hoffmann *et al.*, 2014; Kirchner *et al.*, 2019). Para a produção pecuária ser considerada viável e atividade de baixo custo, é necessário que a alimentação bovina seja baseada no uso de pastagens. No entanto, essas pastagens devem ser manejadas de forma que possam expressar seus elevados índices produtivos, visando proporcionar aos animais desempenhar seu máximo potencial genético (Pacheco *et al.*, 2014; Mezzomo *et al.*, 2021).

No Sul do Brasil, as alternativas de forrageiras anuais para implantação durante o período quente são limitadas, destacando-se o cultivo do milho e do capim-sudão (Mezzomo *et al.*, 2020; Vasum *et al.*, 2019). O capim-sudão (*Sorghum sudanense*) é uma poaceae anual, que vem ganhando espaço nas propriedades rurais para alimentação dos animais durante o período de verão, caracterizando-se pelo crescimento rápido, elevado valor nutritivo e rusticidade (Embrapa, 2014).

A cultivar capim-sudão BRS Estribo foi desenvolvida a partir do melhoramento genético do capim-sudão comum, visando à obtenção de características como alta produtividade forrageira, rusticidade, alto perfilhamento, tolerância ao pastejo e pisoteio e ciclo longo de utilização (Silveira *et al.*, 2015). Dentre suas vantagens, quando comparado com outras forrageiras de verão cultivadas no Sul do Brasil, como o milho e o sorgo forrageiro (Vasum *et al.*, 2019), destaca-se o seu ciclo de produção mais longo, devido à possibilidade de semeadura antecipada (setembro-outubro), e maior produtividade nos meses de abril e início de maio, proporcionando maior disponibilidade forrageira para o consumo animal quando comparado com outras culturas que encerram seu ciclo no final de março ou no início de abril (Silveira *et al.*, 2015). Diante disto, o capim-sudão BRS Estribo se torna uma opção interessante para ser implantada no período de verão para alimentação dos animais.



Dentre os elementos meteorológicos, a temperatura do ar é um dos principais a influenciar nos processos de crescimento e desenvolvimento vegetal. Tal influencia pode ser representada pelo método de soma térmica, que caracteriza mais adequadamente o tempo biológico quando comparado com os dias do calendário civil, como por exemplo, dias após a semeadura ou emergência (Körner; Hiltbrunner, 2018; Streck, 2002). A soma térmica representa o total de graus-dia acumulado que a planta necessita para completar um subperíodo ou todo o seu ciclo, ou seja, a quantidade de energia acumulada acima da temperatura base, abaixo da qual os processos metabólicos paralisam (Brunini *et al.*, 1976; McMaster; Wilherm, 1997).

O conhecimento da duração dos subperíodos de desenvolvimento da cultura é uma importante ferramenta para auxiliar no manejo e no planejamento da propriedade. No entanto, durante os meses do ano ocorrem variações na temperatura do ar interferindo na duração dos subperíodos, desta forma, a partir do conhecimento da temperatura base da cultura e a soma térmica necessária para completar os diferentes subperíodos, pode-se realizar a simulação do desenvolvimento e duração do ciclo da cultura (Fagundes *et al.*, 2010).

A simulação de desenvolvimento das culturas permite representar as interações entre a planta e o ambiente, sendo uma importante ferramenta para auxiliar os produtores no acompanhamento da cultura (Streck *et al.*, 2008; Erpen *et al.*, 2013). As funções de distribuição de probabilidade (Fdp) são utilizadas para caracterizar a distribuição de dados de uma variável e representar a probabilidade de um evento não ultrapassar determinado valor (Trentin, 2013). Diante deste contexto, a simulação de desenvolvimento e as funções de probabilidade (Fdp) são métodos relevantes para estimar a duração dos subperíodos e ciclo das culturas (Trentin *et al.*, 2013).

A data de semeadura é um dos fatores primordiais para a obtenção de alta produtividade, devendo ser realizada no período recomendado para expor às plantas as condições ambientais adequadas para o seu crescimento e desenvolvimento (Walter *et al.*, 2010). O capim-sudão possui uma ampla época de semeadura (outubro a fevereiro), expondo as plantas a diferentes condições térmicas conforme o mês que será realizado a semeadura, influenciando no desenvolvimento da cultura (Silveira *et al.*, 2015). Portanto, este estudo teve como objetivos estimar a duração dos subperíodos de desenvolvimento, duração total do ciclo e número de cortes do capim-sudão BRS Estribo e determinar as funções de distribuição de probabilidade (Fdp) que melhor caracterizam a distribuição dos dados para as condições de Pelotas/RS por meio de simulações em diferentes épocas de semeadura, a partir de uma série histórica de dados climatológicos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado por meio de simulação do desenvolvimento do capim-sudão com base na necessidade térmica recomendada para a cultura (Reinoso *et al.*, 2015; Malcorra *et al.*, 2017) e dados meteorológicos, coletados na Estação Agroclimatológica de Pelotas (EAP), localizada no município de Capão do Leão/RS (latitude 31°52'00''S,



longitude de 52°21'24''W e altitude de 13 m). As variáveis meteorológicas diárias utilizadas compreenderam o período de julho de 1971 até junho de 2022, totalizando 51 anos de observação. O clima da região é do tipo Cfa (subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes) de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

As variáveis meteorológicas utilizadas para a simulação do desenvolvimento do capim-sudão cultivar BRS Estribo foram obtidas do banco de dados da EAP, com observações diárias da temperatura máxima do ar ($T_{máx}$, °C), temperatura mínima do ar ($T_{mín}$, °C) e temperatura média do ar ($T_{média}$, °C). As temperaturas médias diárias do ar foram calculadas pela EAP a partir da equação adotada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em que se utilizam duas medidas realizadas em horários padronizados pela Organização Meteorológica Mundial, correspondente as 9h e 21h (sendo estes horários correspondentes às 12 e 24 UTC, respectivamente) e os valores extremos de temperatura do ar, sendo representada pela equação (1).

$$T_{média} = \frac{(T_{9h} + T_{máx} + T_{mín} + 2 \cdot T_{21h})}{5} \quad (1)$$

Onde: $T_{média}$ é a temperatura média do ar; T_{9h} é a temperatura do ar às 9 horas do dia (°C); $T_{máx}$ é a temperatura máxima diária do ar (°C); $T_{mín}$ é a temperatura mínima diária do ar (°C) e T_{21h} é a temperatura do ar às 21 horas do dia (°C).

Os dados de temperatura média diária do ar foram submetidos à análise exploratória Box-Plot apresentado os valores de mediana, máximos, mínimos e os valores discrepantes, durante o período de 1971 até 2022, para região de Pelotas/RS.

No Rio Grande do Sul o período de semeadura sugerido para a cultura do capim-sudão está compreendido entre os meses de setembro a fevereiro, caracterizando um período amplo (Silveira *et al.*, 2015). Desta forma, as simulações de desenvolvimento foram realizadas em seis distintas épocas de semeadura (Tabela 1), durante todo o período considerado de 1971 até 2022.

Tabela 1 – Épocas de semeadura para a simulação do desenvolvimento na cultura do capim-sudão. Pelotas, 2022.

Épocas de Semeadura	Data de Semeadura
1	15/set
2	15/out
3	15/nov
4	15/dez
5	15/jan
6	15/fev

Fonte: Elaborado pelos autores.

A simulação de desenvolvimento da cultura foi realizada utilizando o método de soma térmica, expressa em graus-dia. Nesta simulação considerou-se a temperatura base para o capim-sudão de 11 °C, necessitando de acúmulo térmico de 56 graus-dia para o subperíodo de semeadura a emergência, 358 graus-dia para o subperíodo de



emergência até o primeiro corte e 281 graus-dia para os cortes consecutivos (Reinoso *et al.*, 2015; Malcorra *et al.*, 2017). A Soma Térmica diária (STd) foi calculada pela equação 2 (Gilmore; Rogers, 1958; Arnold, 1960). Em que: T_b é a temperatura base, $T_{média}$ é a temperatura média diária do ar.

$$STd = \sum_{i=1}^n [T_{média} - T_b].1 \text{ dia} \quad \text{se } T_{média} < T_b \text{ então } T_{média} = T_b \quad (2)$$

A soma térmica acumulada (STa) nos diferentes subperíodos foi calculada somando-se os valores de soma térmica diária (STd).

O ciclo do capim-sudão, para as diferentes épocas de semeadura, foi encerrado quando a temperatura mínima do ar alcançou valor menor que 3 °C (Silveira *et al.*, 2015) e nos anos agrícolas que não houve temperaturas mínimas abaixo de 3 °C o encerramento do ciclo se deu no momento de término do ano agrícola (30 de junho).

O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Os cálculos de soma térmica acumulada para cada subperíodo, ciclo total e número de cortes foram realizados em planilha eletrônica Excel e a análise estatística foi realizada por meio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2011). A análise de variância e teste de Tukey em nível de 5% de significância foram aplicados aos dados de duração dos subperíodos do ciclo, duração total do ciclo e número de cortes considerando-se como fonte de variação as épocas de semeadura.

Os dados de duração dos subperíodos, ciclo total e número de cortes foram submetidos à análise de distribuição de probabilidade e aos testes para qualidade de ajustes das funções, para verificar qual função de distribuição de probabilidade (Fdp) melhor representou a distribuição dos dados. A escolha das funções para cada situação foi a nível de significância de 10% para pelo menos um dos testes de aderência, qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov, conforme Trentin (2009) e Trentin *et al.* (2013). Quando houve mais de uma função de distribuição ajustada, para cada caso, foi escolhida a Fdp que apresentou o maior nível de significância indicado pelo teste qui-Quadrado. Após o ajuste das funções, calculou-se a duração dos subperíodos, ciclo total e número de cortes a 95, 90, 75 e 50% de probabilidade. Nos casos em que não houve ajuste a nenhuma Fdp, utilizou-se a frequência empírica para a determinação da probabilidade.

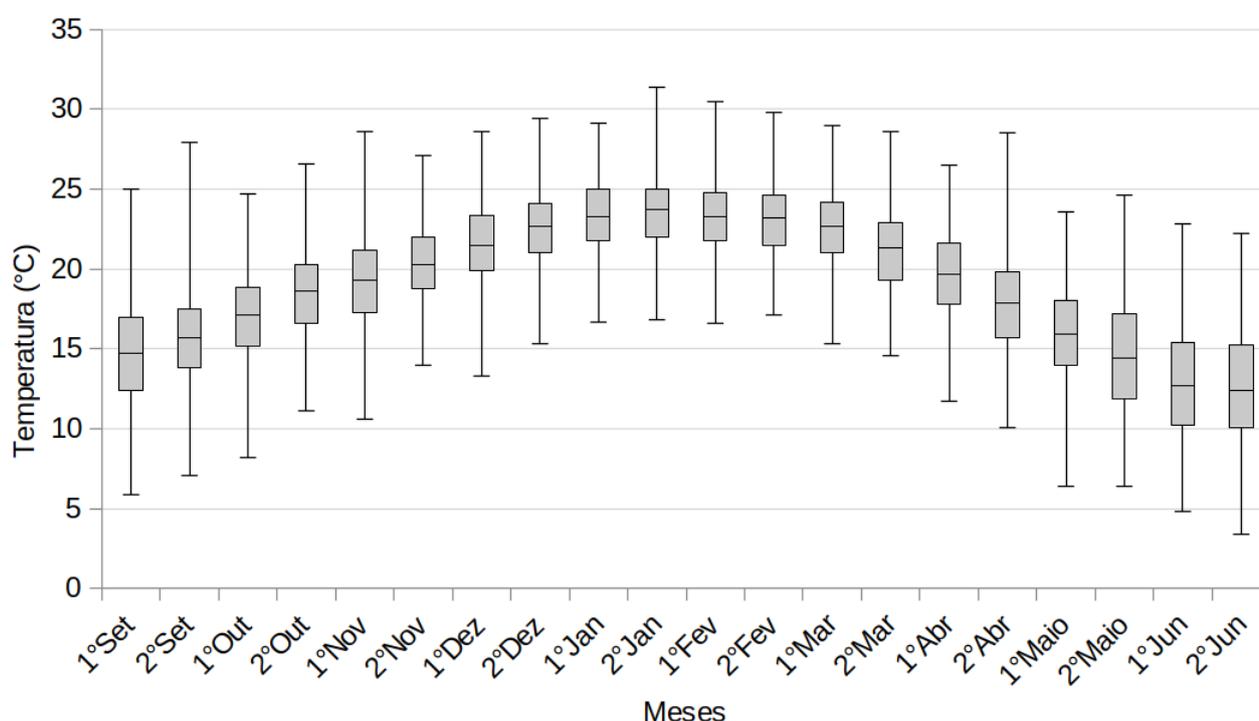
2.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 contém a análise exploratória Box-plot apresentando os valores da mediana, máximos e mínimos das temperaturas médias do ar, na primeira e segunda quinzena durante os meses de setembro (início da época sugerida para a semeadura) a junho (final do ano agrícola), durante o período estudado de 1971 a 2022. Pode-se observar a variabilidade da temperatura média do ar para os diferentes meses através da altura das caixas e pelos desvios representados pelos traços verticais. Durante o período da segunda quinzena de dezembro à primeira quinzena de março, os valores de temperatura média do ar apresentaram as menores alturas das caixas e os menores desvios. Já nos meses de setembro, outubro, abril, maio e junho as caixas demonstraram maior variação na altura e maior dispersão dos dados (Figura 1).



Nos meses de setembro e outubro pode-se verificar que as temperaturas médias do ar são mais baixas, apresentando uma tendência de aumento até o mês de janeiro (Figura 1). Desta forma, nas primeiras épocas de semeadura (setembro e outubro) ocorre menor acúmulo térmico, resultando, assim, no aumento da duração dos subperíodos. Conforme ocorre o avanço das semeaduras no decorrer das datas estudadas e com o aumento das temperaturas médias diárias ocorre o encurtamento do período necessário para completar a soma térmica necessária para definição de cada um dos subperíodos de desenvolvimento do capim-sudão. Resultados similares foram descritos por Wagner *et al.* (2011), em que o aumento da temperatura do ar ocasionou o aceleração no desenvolvimento fenológico na cultura do milho.

Figura 1 - Variação na temperatura média do ar no ciclo do capim-sudão, durante o período de 1971 a 2022. Pelotas, 2022.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A duração do ciclo, a duração dos subperíodos e o número de cortes apresentaram diferença em função da época de semeadura (Tabela 2). Com relação aos subperíodos, a maior duração se deu para os cortes consecutivos (CC), seguido do subperíodo emergência ao primeiro corte (E-PC). A menor duração foi verificada para o subperíodo compreendido entre a semeadura e a emergência (S-E), sendo inferior a 14 dias (Tabela 2).



Tabela 2 – Duração média, máxima, mínima e desvio padrão (σ), em dias, dos subperíodos de semeadura a emergência, emergência ao primeiro corte e cortes consecutivos, ciclo total de desenvolvimento e número de corte do capim-sudão BRS Estribo, para as seis épocas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1971 a 2020, em Pelotas/RS. Pelotas, 2022.

Época de Semeadura	Média	Máxima	Mínima	σ
Semeadura-Emergência (dias)				
15/set	13,5 a*	21	8	3,3
15/out	8,7 b	12	6	1,5
15/nov	6,9 c	9	5	1,0
15/dez	5,6 d	9	4	0,8
15/jan	5,1 d	6	4	0,6
15/fev	5,1 d	6	4	0,6
Emergência ao Primeiro Corte (dias)				
15/set	50,5 a*	61	42	4,7
15/out	41,6 b	50	35	3,5
15/nov	34,8 c	41	30	2,1
15/dez	30,1 e	36	27	2,2
15/jan	29,4 e	34	24	2,1
15/fev	31,9 d	40	26	2,8
Cortes Consecutivos (dias)				
15/set	168,9 a*	218	139	19,2
15/out	155,6 b	209	106	23,7
15/nov	133,7 c	180	95	18,6
15/dez	113,4 d	157	72	18,9
15/jan	77,5 e	114	50	22,0
15/fev	44,5 f	100	25	20,8
Ciclo Total (dias)				
15/set	233,0 a*	287	206	19,0
15/out	205,9 b	258	164	23,0
15/nov	175,4 c	222	138	18,9
15/dez	149,1 d	195	108	18,9
15/jan	112,0 e	150	82	21,8
15/fev	80,6 f	137	40	21,5
Número de Cortes (número)				
15/set	7,2 a*	8	6	0,4
15/out	6,7 b	8	5	0,6
15/nov	5,9 c	7	5	0,4
15/dez	4,9 d	6	4	0,4
15/jan	3,5 e	4	3	0,5
15/fev	2,2 f	3	1	0,4

* Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$)
Fonte: Elaborada pelos autores.



Com relação às médias da duração dos subperíodos entre as épocas de semeadura (Tabela 2), verifica-se que o subperíodo semeadura-emergência (S-E) é maior nas primeiras épocas de semeadura (ES). Tal situação pode ser atribuída à menor temperatura do ar neste período retardando a emergência das plantas (Bergamaschi; Matzenauer, 2014). Assim, houve aumento da duração do subperíodo, devido ao menor acúmulo térmico diário, variando de 13,5 dias para a primeira semeadura (15/set), a 5,1 dias, para a última semeadura (15/fev). O subperíodo S-E foi semelhante nas semeaduras realizadas em dezembro, janeiro e fevereiro, com duração de 5,6 dias em dezembro e 5,1 dias em janeiro e fevereiro, a qual foi a menor duração observada para esse subperíodo (Tabela 2), motivo pelo qual nesses meses a disponibilidade de energia para o aquecimento do ar é maior (Trentin *et al.*, 2013), resultando em temperaturas mais elevadas no momento da semeadura, como pode ser observado na figura 1, acumulando a soma térmica necessária para o subperíodo em um período menor de dias.

Por outro lado, o subperíodo de emergência até o primeiro corte (E-PC) variou de 29,4 dias (15/jan) até 50,5 dias (15/set) (Tabela 2). Neste subperíodo, a maior duração se deu para a época de semeadura de 15/set com 50,5 dias, seguido das épocas de semeadura de 15/out com 41,6 dias e 15/nov com 34,8 dias. As épocas com menor duração do subperíodo foram 15/dez com 30,1 dias e 15/jan com 29,4 dias, não diferindo estatisticamente. Na semeadura realizada em 15/fev, houve um aumento na duração do subperíodo E-PC, devido à diminuição das temperaturas em fevereiro em relação ao mês anterior, conforme pode ser visualizado na Figura 1.

No subperíodo cortes consecutivos (CC) também se verificou maior duração nas primeiras épocas de semeadura 15/set (168,9 dias), 15/Out (155,6 dias) e 15/Nov (133,7 dias) enquanto que os menores valores ficaram associados às épocas de semeadura mais tardias 15/Dez (113,4 dias), 15/Jan (77,5 dias) e 15/Fev (44,5 dias). Para as semeaduras mais tardias a menor duração em dias do subperíodo CC é evidenciada por coincidir com o decréscimo da temperatura do ar, devido à aproximação do período invernal, ocasionando o encerramento do ciclo da cultura (Silveira *et al.*, 2015).

Na duração do ciclo total (CT) as épocas de semeadura (ES) simuladas em setembro também apresentaram os maiores valores de duração (233,0 dias) seguido das ES de outubro (205,9 dias) e novembro (175,4 dias), obtendo-se os menores valores de duração de dias para as ES de fevereiro (80,6 dias), janeiro (112 dias) e dezembro (149,1 dias) (Tabela 2). As últimas épocas de semeadura, principalmente fevereiro e janeiro, apresentaram menores durações do ciclo total por serem semeadas mais tardiamente, resultando em menor número de dias entre a semeadura e o final do ciclo da cultura que ocorre pelas menores temperaturas do ar ocasionadas pela proximidade do solstício de inverno. A duração máxima do ciclo total ocorreu na ES de 15/set com 287 dias (ano agrícola de 2004/2005), ao passo que a menor duração do ciclo total foi na ES 15/fev com duração de 40 dias (ano agrícola de 1974/1975).

Segundo Restle *et al.* (2002) em experimentos realizados com a cultura do milho comum em Santa Maria no Rio Grande do Sul, semeado em novembro, a duração do ciclo total foi de 98 dias. Silveira *et al.* (2015) relatam que o capim-sudão possui maior duração do ciclo total em relação ao milho, confirmando os resultados obtidos por



este estudo, em que o capim-sudão apresenta ciclo total de 175 dias quando semeado em novembro, possibilitando maior disponibilidade forrageira para os animais durante os meses de abril e maio.

O ciclo total estimado para o capim-sudão variou entre 233,0 dias (15/set) e 80,6 dias (15/fev), com um sequencial encurtamento na duração do ciclo para semeaduras mais tardias em relação ao início do período proposto a partir de setembro. Resultados semelhantes foram obtidos para a cultura do milho, onde também se observou ocorrência da diminuição do ciclo vegetativo total quando realizado em semeaduras tardias em relação ao início da época sugerida para a cultura (Wagner *et al.*, 2011).

O número de cortes no ciclo total do capim-sudão variou de, aproximadamente, sete a dois cortes, correspondendo à primeira (15/set) e a última ES (15/fev) (Tabela 2), respectivamente, apresentando diferença estatística entre as seis ES. O número máximo de cortes foi oito (15/set) e o menor número de cortes foi um na ES de 15/fev, não dispo de cortes consecutivos nesta época de semeadura no ano agrícola de 1974/1975. À medida que as ES são realizadas próximo ao final do período sugerido para a semeadura, resulta em menor número de cortes e conseqüentemente menor produção de biomassa, estando à época de semeadura diretamente relacionada com a sua produtividade (Orth *et al.*, 2012).

Com base nos resultados obtidos por esse estudo, possibilita determinar a duração dos subperíodos para a cultura do capim-sudão, auxiliando no manejo e no planejamento, quantificando o número de cortes, duração total do ciclo e dos subperíodos conforme a época de semeadura, potencializando a utilização desta forrageira. Desse modo, de acordo com a escolha do mês em que será realizada a semeadura, as plantas serão submetidas a diferentes condições ambientais, principalmente a temperatura do ar, influenciando diretamente no crescimento e desenvolvimento da cultura (Wandscheer *et al.*, 2014; Wagner *et al.*, 2011).

A duração dos subperíodos, ciclo total e número de cortes foram representados pelas funções de distribuição de probabilidade (Fdp) sempre que houve ajuste aos dados (Tabela 3 e 4). As Fdp dispõem da capacidade de estimar os dados observados de acordo com os seus parâmetros, e esta capacidade é analisada com a utilização dos testes de aderência (Almeida, 1995). Cada Fdp apresenta uma determinada forma, sendo esta definida pelos parâmetros escalar e de forma. Deste modo, a partir dos parâmetros especificados pode-se estimar o valor provável para outras probabilidades.

Dentre as Fdp testadas, exponencial, gama, lognormal, normal e Weibull, não foi possível obter ajuste em todas as épocas de semeadura (Tabela 3 e 4). Com as Fdp selecionadas, calculou-se a duração provável dos subperíodos, ciclo total e número de cortes para cada época de semeadura para as probabilidades de 95, 90, 75 e 50% de ocorrência de valores menores ou iguais ao valor limite determinado (Tabela 3 e 4).

Na Tabela 3 pode-se observar ajuste de pelo menos uma Fdp em cada época de semeadura nos 18 subperíodos avaliados, sendo que as Fdp que apresentaram maior frequência de ajuste foram a lognormal (6), gama (3) e normal (2), não sendo verificado nenhum ajuste para as funções exponencial e Weibull (Tabela 3).

Algumas Fdp apresentam maior flexibilidade, ajustando-se em um maior número de situações por assumir diferentes formas de acordo com os seus parâmetros



(Assis *et al.*, 2013). Isto pode ser observado na função de distribuição de probabilidade gama, que apresenta um formato mais amplo, conforme o parâmetro de forma, sendo esta Fdp utilizada para modelar valores de dados positivos que são assimétricos à direita e maiores que zero. Esta flexibilidade pode ser observada na Tabela 3, onde a Fdp gama apresentou ajuste em diferentes subperíodos (S-E, E-PC e CC) e em diferentes épocas de semeadura (15/set e 15/nov).

Tabela 3 – Funções de distribuição de probabilidade (Fdp) selecionadas e respectivos parâmetros para determinar a duração provável (dias) subperíodos, compreendidos entre a semeadura (S), emergência (E), primeiro corte (PC) e cortes consecutivos (CC), nas épocas de semeadura (ES) compreendidas entre 15/set e 15/fev, simuladas para cada ano do período de 1971 a 2022, em Pelotas, RS. Pelotas, 2022.

ES	Subperíodo	Fdp	a ^I	b ^I	Duração provável (dias)			
					95%	90%	75%	50%
15/set	S-E	G	16,379	0,826	19	18	16	13
	E-PC	LN	3,917	0,094	59	57	54	50
	CC	LN	5,127	0,111	202	194	182	169
15/out	S-E	SA ^{II}	—	—	11	11	10	9
	E-PC	LN	3,728	0,082	48	46	44	42
	CC	LN	5,029	0,153	197	186	169	153
15/nov	S-E	SA ^{II}	—	—	9	8	8	7
	E-PC	G	287,481	0,121	38	38	36	35
	CC	G	51,301	2,600	165	158	145	133
15/dez	S-E	SA ^{II}	—	—	7	7	6	6
	E-PC	LN	3,403	0,073	34	33	32	30
	CC	N	113,020	18,869	144	137	126	113
15/jan	S-E	SA ^{II}	—	—	6	6	6	5
	E-PC	N	29,449	2,132	33	32	31	29
	CC	SA ^{II}	—	—	113	105	92	77
15/fev	S-E	SA ^{II}	—	—	6	6	6	5
	E-PC	LN	3,460	0,090	37	36	34	32
	CC	SA ^{II}	—	—	80	72	59	45

^I Os parâmetros das Fdp LogNormal (LN) e Gama (G) são denominados "escalar" e "de forma", ao invés de média e desvio-padrão, como os parâmetros da função Normal (n).

^{II} Os dados não se ajustaram a nenhuma das Fdp testadas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por outro lado, a Fdp lognormal possui característica de derivação da função normal, podendo os dados provenientes de uma distribuição lognormal serem analisados segundo uma distribuição normal se forem utilizados os logaritmos dos dados ao invés dos valores originais. A Fdp lognormal foi a que apresentou maior ajuste entre as Fdp testadas para a duração dos subperíodos do capim-sudão, apresentando ajuste para os subperíodos de emergência ao primeiro corte e cortes consecutivos nas épocas de



semeadura de 15/set e 15/out, e nas épocas de semeadura de 15/dez e 15/fev somente para o subperíodo de emergência ao primeiro corte (Tabela 3).

A função de distribuição normal obteve ajuste apenas para os subperíodos cortes consecutivos em 15/dez e no subperíodo de emergência ao primeiro corte na ES de 15/jan. Tal função é caracterizada pelo histograma em formato de sino, e o parâmetro escalar equivale à média, enquanto o parâmetro de forma corresponde ao desvio padrão (Assis *et al.*, 1996).

Para os dados de duração do ciclo, verificou-se que das seis ES, quatro obtiveram funções ajustadas, sendo a Fdp gama (2) e a Fdp lognormal (2) (Tabela 4). A função lognormal apresentou maior frequência de ajuste para os subperíodos de desenvolvimento do capim-sudão e para duas épocas de semeadura para a duração do ciclo total da cultura. Radons *et al.* (2019) e Trentin *et al.* (2013), também observaram maior frequência de ajuste para a função lognormal para a previsão de duração do ciclo das culturas da batata e da soja.

O número de cortes não obteve nenhuma Fdp ajustada (Tabela 4), desta forma, a probabilidade foi obtida por meio de distribuição empírica. Em trabalhos realizados com a cultura da soja (Bortoluzzi *et al.*, 2017; Trentin, 2013), milho (Trentin, 2009), girassol (Maldaner, 2012; Lucas, 2014), os dados que não aderiram a nenhuma Fdp também foram obtidos por meio da distribuição empírica.

Tabela 4 - Funções de distribuição de probabilidade (Fdp) selecionadas e respectivos parâmetros para determinar a duração provável do ciclo (dias) e número provável de cortes para o capim-sudão, nas épocas de semeadura (ES) compreendidas entre 15/set e 15/fev, simuladas para cada ano do período de 1971 a 2022. Pelotas, 2022.

	ES	Fdp	a ¹	b ¹	Probabilidade			
					95%	90%	75%	50%
Duração do ciclo	15/set	LN	0,0801	5,4503	266	258	246	233
	15/out	G	82,4799	2,4845	243	234	220	204
	15/nov	G	85,7336	2,0429	207	200	188	174
	15/dez	LN	0,1274	4,9944	182	174	161	148
	15/jan	SA ^{II}	—	—	143	141	131	113
	15/fev	SA ^{II}	—	—	123	122	88	81
Número de cortes	15/set	SA ^{II}	—	—	8	8	7	7
	15/out	SA ^{II}	—	—	7	7	7	7
	15/nov	SA ^{II}	—	—	6	6	6	6
	15/dez	SA ^{II}	—	—	5	5	5	5
	15/jan	SA ^{II}	—	—	4	4	4	4
	15/fev	SA ^{II}	—	—	3	3	2	2

¹ Os parâmetros das Fdp LogNormal (LN) e Gama (G) são denominados "escalar" e "de forma".

^{II} Os dados não se ajustaram a nenhuma das Fdp testadas.

Fonte: Elaborada pelos autores.



A duração total do ciclo e dos subperíodos, apresentaram similaridade dos valores médios observados (Tabela 2) com a duração provável a 50% de probabilidade (Tabelas 3 e 4).

Conforme as probabilidades obtidas, levando em consideração a probabilidade de 90%, isto significa 9 em cada 10 anos, a maior duração do ciclo nesta probabilidade ocorre na época de semeadura de 15 de setembro, com duração igual ou menor que 258 dias. Nessa mesma probabilidade, a maior duração dos subperíodos S-E, E-PC e CC ocorrem na ES 15/set com 18, 57 e 194 dias, respectivamente. Esta interpretação pode ser aplicada às demais épocas de semeadura e para a duração do ciclo total e número de cortes (Tabela 4).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da soma térmica para a simulação do desenvolvimento do capim-sudão BRS Estribo resultou na duração total do ciclo de 234 dias a 81 dias e de sete a dois cortes, respectivamente, para as datas de semeadura correspondente ao início (setembro) e final (fevereiro) da época de semeadura proposta.

A duração do ciclo e dos subperíodos do capim-sudão BRS Estribo é maior na época de semeadura de setembro e decresce até a época de semeadura de fevereiro.

A função de distribuição de probabilidade lognormal apresentou maior frequência de ajuste aos dados de duração dos subperíodos de desenvolvimento do capim-sudão. As distribuições lognormal e gama demonstraram maior ajuste para a duração do ciclo total de desenvolvimento do capim-sudão.

4. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. M. B. **Características climatológicas do regime de chuva em Minas Gerais**. 1995. 64 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. **American Society for Horticultural Science**, Boston, v. 76, p. 682-692, 1960.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**: teoria e prática. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, 1996. p. 161.
- ASSIS, J. P. *et al.* Ajuste de sete modelos de distribuições densidade de probabilidade às séries históricas de umidade relativa mensal em Mossoró-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2013.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014.
- BORTOLUZZI, M. P. *et al.* Risk of water surplus in soybean crop on haplic planosol soil in the Central Depression of Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, v. 47, 2017.



- BRUNINI, O. *et al.* Temperaturas básicas para alface, cultivar White Boston, em sistemas de unidades térmicas. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 35, p. 213-219, 1976.
- EMBRAPA. Estruturação do mercado de sementes de forrageiras, Capim-Sudão BRS Estribo: recomendações de manejo e oportunidades na cadeia produtiva da ovinocultura. **Revista do Produtor**, Bagé, v. 6, n. 7, p. 1-22, 2014.
- ERPEN, L. *et al.* Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1230-1238, 2013.
- FAGUNDES, J. D. *et al.* Temperatura base e soma térmica de subperíodos do desenvolvimento de *Aspilia montevidensis*. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 499-507, 2010.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GILMORE, E. C. Jr.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, n. 10, p. 611-615, 1958.
- HOFFMANN, A. *et al.* Produção de bovinos de corte no sistema de pasto-suplemento no período seco. **Revista Nativa**, v. 2, n. 2, p.119-130, 2014.
- KIRCHNER, J. H. *et al.* Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 2, p. 1-9, e5646, 2019.
- KÖRNER, C.; HILTBRUNNER, E. The 90 ways to describe plant temperature. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 30, p.16-21, 2018.
- LUCAS, D. D. P. **Risco de ocorrência de excesso hídrico para a cultura do girassol na Região Central do Rio Grande do Sul**. 2014. 101 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- MALCORRA, M. P. *et al.* Determinação do intervalo entre cortes para o capim sudão utilizando a soma térmica. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26., 2017, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2017. p. 1-4.
- MALDANER, I. C. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na cultura do girassol na Região Central do Rio Grande do Sul**. 2012. 151 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- McMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 87, p. 291-300, 1997.
- MEZZOMO, W. *et al.* Características biométricas do capim sudão (BRS estribo) sob diferentes lâminas suplementares de irrigação. **IRRIGA**, v. 26, n. 1, p. 165-185, 2021.
- MEZZOMO, W. *et al.* Economic viability of conventional sprinkler irrigation in sudan grass production for beef cattle. **Journal of Agricultural Studies**, Las Vegas, v. 8, n. 2, p. 622-642, 2020.



ORTH, R. *et al.* Produção de forragens de gramíneas anuais semeadas no verão. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, p. 1535-1540, 2012.

PACHECO, R. F. *et al.* Características produtivas de pastagens de milho ou capim sudão submetidas ao pastejo contínuo de vacas para abate. **Ciência animal brasileira**, v. 15, n. 3, p. 266-276, 2014.

RADONS, S. Z. *et al.* Ciclo total e subperíodos da batateira na região central do Rio Grande do Sul. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 3, p. 18-29, 2019.

REINOSO, W. *et al.* Temperatura base e soma térmica do subperíodo semeadura emergência do capim sudão. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 24., 2015, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPEL, 2015.

RESTLE, J. *et al.* Produção animal em pastagem com gramíneas de estação quente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 3, p. 1491-1500, 2002.

SILVEIRA, M. C. T. *et al.* **Aspectos relativos à implantação e manejo de capim-sudão BRS Estribo**. Bagé: Embrapa, 2015. Comunicado Técnico 89. p. 11.

STRECK, N. A. *et al.* Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a non linear model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 449-455, 2008.

STRECK, N. A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 105-111, 2002.

TRENTIN, Gustavo. **Parâmetros de irrigação por análise numérica para a cultura do milho na Região Central do Rio Grande do Sul**. 2009. 192 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

TRENTIN, R. *et al.* Subperíodos fenológicos e ciclo da soja conforme grupos de maturidade e datas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p. 703-713, 2013.

TRENTIN, Roberto. **Parâmetros e probabilidades de irrigação para a cultura da soja na Região Central do Rio Grande do Sul por análise numérica**. 2013. 147 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

VASUM, A. B. *et al.* Potencial produtivo de forrageiras estivais perenes e anuais, no sul do Brasil. **Caderno de Pesquisa**, v. 31, n. 1, p. 1-8, 2019.

WAGNER, M. V. *et al.* Avaliação do ciclo fenológico da cultura do milho em função da soma térmica em Guarapuava, Sul do Brasil. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 4, n. 1, p. 135-149, 2011.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 11, p. 1237-1245, 2010.



WANDSCHEER, A. C. D. *et al.* Capacidade competitiva da cultura do milho em relação ao capim-sudão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 129-141, 2014.

Submetido em: **07/10/2023**

Aceito em: **20/03/2024**