



DANIEL DA CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E TEMPORAL DO
CRESCIMENTO DE *UROCHLOA BRIZANTHA* CV.
MARANDU PARA CALIBRAÇÃO DO MODELO
CROPGRO FORAGEM**

**LAVRAS-MG
2018**

DANIEL DA CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE
UROCHLOA BRIZANTHA CV. MARANDU PARA CALIBRAÇÃO DO MODELO
CROPGRO FORAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Ruminantes – Forragicultura e Pastagens, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Márcio André Stefanelli Lara
Orientador

**LAVRAS-MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Cunha, Daniel da.

Caracterização morfológica e temporal do crescimento de
Urochloa brizantha cv. Marandu para calibração do modelo
CROPGRO forragem / Daniel da Cunha. - 2018.

95 p. : il.

Orientador(a): Márcio André Stefanelli Lara.

Coorientador(a): Daniel Rume Casagrande.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Brachiaria. 2. Morfogênese. 3. Fenologia. I. Lara, Márcio
André Stefanelli. II. Casagrande, Daniel Rume. III. Título.

DANIEL DA CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE
UROCHLOA BRIZANTHA CV. MARANDU PARA CALIBRAÇÃO DO MODELO
CROPGRO FORRAGEM**

**MORPHOMETRIC AND TEMPORAL GROWTH CHARACTERIZATION OF
UROCHLOA BRIZANTHA CV. MARANDU FOR CALIBRATION OF THE
CROPGRO FORAGE MODEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Ruminantes – Forragicultura e Pastagens, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2018.

Dr. Daniel Rume Casagrande
Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane
Dr. Leandro Coelho de Araújo

UFLA
EMPBRAPA-CPPSE
UNESP

Prof. Dr. Márcio André Stefanelli Lara
Orientador

**LAVRAS-MG
2018**

Ao meu pai Carlos Roberto (in memoriam) que apesar da breve passagem me inspira e é referência de boas atitudes, caráter, dedicação e amor a família.

A minha mãe Rosangela, que não mede esforços e abdica de suas vontades para ver a felicidade, o sucesso pessoal e profissional de seus filhos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Deus tem me concedido inúmeros privilégios. Ser agraciado com a presença de um pai que mesmo por pouco tempo fez consolidar a base forte de caráter, respeito e força de trabalho em mim. Uma mãe sinônimo de amor e dedicação a família e que até os dias de hoje não mede esforços para ver minha felicidade, conquistas e realizações. Um irmão que me desafia. Aos meus avós que torcem incondicionalmente pelo meu bem. Uma pequena e ao mesmo tempo grande família. Composta também pelas inúmeras amigadas além dos exemplos de profissionais, tutores e professores, pois todos vocês em algum momento foram referência para mim. Até aqui, Deus me permitiu encarar com bons olhos situações difíceis, realçando os aspectos positivos de cada experiência. Gostaria de agradecer em especial ao Professor Márcio André Stefanelli Lara que além de orientador, não mediu esforços para a confecção deste trabalho. A minha curiosidade, dedicação e a vontade de melhorar sempre, são meros reflexos de suas atitudes como pessoa e profissional que é. Ao Professor K. J. Boote, demais professores, pesquisadores e funcionários do Departamento de Zootecnia e Fisiologia Vegetal pois fizeram parte da minha formação durante o curso e de alguma forma contribuíram com este trabalho. Aos muitos amigos que fiz antes e durante essa jornada pois vocês me ajudaram a superar os obstáculos com a cabeça erguida. A Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais pela concessão da bolsa, ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFLA.

MUITO OBRIGADO!

“A paciência é um tipo de combinação entre privação e ânimo que tem por origem a dedicação completa a um ideal. É a coragem de mudar as coisas que você pode mudar e a sabedoria para identificar a diferença entre elas”.

(Cristiano de Almeida Cunha)

“Eu aprendi que todos querem viver no topo da montanha, mas toda felicidade e crescimento ocorre quando você a está escalando”.

(H. Jackson Brown Jr)

“Todas as coisas são difíceis antes de se tornarem fáceis”.

(John Norley)

RESUMO GERAL

A análise de crescimento é uma das técnicas utilizadas para descrever as modificações morfofisiológicas das plantas ao longo do seu ciclo de vida. Tais mudanças são ocasionadas pelas variações na genética, no ambiente e em função do manejo dessas plantas. Objetivou-se com este trabalho, caracterizar, descrever e modelar o crescimento e desenvolvimento de perfilhos de plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu e parametrizar o modelo CROPGRO *Forage Model* por meio de modificações nos coeficientes relacionados ao crescimento inicial desta forrageira. Foi conduzido um experimento especificamente delineado para coleta dos dados de crescimento vegetal, onde as plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 6 dm³ de substrato corrigido para acidez e adubado conforme recomendação para semeadura. As adubações de manutenção e a irrigação foram realizadas ao longo do experimento para homogeneidade das condições de crescimento. Utilizou-se 30 sementes por vaso enterradas à 25 mm de profundidade. Após desbaste, foram mantidas duas plantas por vaso. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, utilizando 90 vasos e três repetições por avaliação em 30 épocas após semeadura. Além do acompanhamento da emergência das plântulas, todos os estádios fenológicos foram identificados ao longo do ciclo de vida das plantas, compreendendo os estádios de desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e floral. Durante o crescimento acompanhou-se o fluxo de tecidos e semanalmente foram realizadas avaliações destrutivas dos vasos com separações dos componentes morfológicos das plantas em folhas, colmo, folhas mortas, coroas e raízes. Foi determinada a área foliar e os componentes morfológicos foram pesados após secagem em estufa a 55°C durante 72 horas. Os padrões de resposta das variáveis foram representados em diferentes escalas temporais de desenvolvimento. Os dados experimentais relacionados a produção de massa seca dos componentes morfológicos assim como os dados e informações relacionadas as condições iniciais de semeadura e manejo da cultura e aquelas relacionadas as variáveis meteorológicas compreendidas no período experimental, foram organizadas em arquivos de entrada requerido na plataforma DSSAT. A última versão do modelo CROPGRO para o capim Marandu, publicada em 2017, foi utilizada como ponto de partida para as simulações e calibração dos coeficientes dos parâmetros do modelo relacionados ao crescimento e desenvolvimento inicial das plantas. A caracterização dos estádios fenológicos e de crescimento descritos pela avaliação morfogênica e morfofisiológica, forneceu subsídios a calibração do modelo. Houve melhora significativa na simulação do crescimento da forragem e na determinação das fases fenológicas do modelo. Ajustou-se curvas de crescimento mais precisas também em modelos simples de produção baseados em condições climáticas. O presente estudo fornece subsídio para exploração da forragem de forma consciente e permite que simulações mais acuradas de crescimento e desenvolvimento sejam realizadas reduzindo riscos na tomada de decisão de manejo.

Palavras-chave: *Brachiaria*. Morfogênese. Fenologia. CROPGRO. Modelos de produtividade. Curvas de crescimento.

GENERAL ABSTRACT

Growth analysis is one of the several methods used to describe the morphophysiological changes on plants throughout their life cycle. Such changes are caused by genetic, environmental and management variations. The objective of this work was to characterize, describe and modeling the growth and development of *Urochloa brizantha* cv. Marandu and parameterize the CROPGRO *Forage Model* by changes in coefficients related to the initial growth. An experiment was conducted to collect plant growth data, where the plants were grown in pots with 6 dm³ capacity of corrected and fertilized substrate as recommended for sowing. Fertilization and maintenance irrigation were performed throughout the experiment for the homogeneity of growth conditions. Seeds were used per pot buried at 25 mm depth. After thinning two plants were maintained per pot. The experimental design was completely randomized, using 90 pots and three replicates per evaluation in 30 times after sowing. In addition to seedling emergence, monitoring, all phenological stages were identified throughout the plant life cycle, including vegetative, reproductive and floral development. During growth, the tissue flow was monitored, weekly destructive pots evaluations were performed with separations of the plant morphological components in leaves, stem, dead leaves, crowns and roots. The leaf area was determined, and the morphological components were dried separately in a forced-draft oven at 55 °C for 72 hours and then weighed. The response patterns of the variables were represented at different time scales of development. The experimental data related to the dry mass production and information related to the initial conditions of planting, crop management and those related to the meteorological data during the experimental period were organized as the input files in the DSSAT Platform. The latest version of the CROPGRO *Forage Model* calibrated for Marandu grass in 2017 was used as the starting point for the simulations related to the initial growth and development of the plants. The characterization of the phenological and growth stages obtained by the morphogenic and morphophysiological evaluation provided subsidies for the calibration of the model. There was a significant improvement in the simulation of forage growth and in the determination of the phenological phases of the model. More accurate growth curves have also been established in simple production models based on weather conditions. The present study provides a subsidy for the exploration of forage grasses in a conscious way and allows more precise simulations of growth and development to be carried out reducing the risks in the management decision-making.

Keywords: *Brachiaria*. Morphogenesis. Phenology. CROPGRO. Productivity models. Growth curves.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- FIGURA 1 – Médias mensais de temperaturas máximas, médias, mínimas e precipitação acumulada durante o período experimental. 34
- FIGURA 2 – Confeção do substrato para cultivo. 35
- FIGURA 3 – Molde utilizado para distribuição de sementes e semeadura na profundidade de 25 mm. 36
- FIGURA 4 – Avaliação do conteúdo de água no perfil do substrato e posicionamento dos vasos na área experimental. 36
- FIGURA 5 – Contabilização de plântulas emergentes e avaliações de altura e largura. 37
- FIGURA 6 – Porcentagem de emergência de plântulas (%E) e índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) de capim Marandu, em função de data de semeadura (DATA) e dias após semeadura (DAS). 43
- FIGURA 7 – Distribuição proporcional dos componentes morfológicos observados durante a análise do crescimento e desenvolvimento de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, com base em diferentes escalas temporais. 44
- FIGURA 8 – Características morfológicas observadas durante a análise do crescimento e desenvolvimento de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, com base em diferentes escalas temporais. 46
- FIGURA 9 – Características morfofisiológicas observadas durante a análise de crescimento e desenvolvimento de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, com base em diferentes escalas temporais. 48
- FIGURA 10 – Características morfogênicas avaliadas durante a análise do crescimento e desenvolvimento de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento. 49
- FIGURA 11 – Duração das fases fenológicas de plantas de capim Marandu, em função de dias após semeadura e graus-dia. 52
- FIGURA 12 – Ajuste do modelo Logístico não-linear para as características morfológicas de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento. 57

CAPÍTULO 3

- FIGURA 1 – Duração das fases fenológicas de plantas de capim Marandu, em função de dias após semeadura e dia fisiológico. 79
- FIGURA 2 – Simulações de área foliar específica (A), altura (B), largura das plantas (C) e número de folhas acumulado por perfilho (D), em função de dias após semeadura, durante a fase de implantação de capim Marandu em Lavras, MG, Brasil. 85
- FIGURA 3 – Simulações do acúmulo de massa dos componentes vegetativos, em função de dias após semeadura, durante a fase de implantação de capim Marandu em Lavras, MG, Brasil. 87
- FIGURA 4 – Valores observados e simulados de acúmulo de massa de parte aérea (A) e raízes (B) durante a fase de implantação de capim Marandu em Lavras, MG, Brasil. 88

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

- TABELA 1 – Correlação entre escalas temporais de desenvolvimento dias após semeadura (DAS), temperatura mínima acumulada ($T_{\text{mín}}$), graus-dia acumulado (GD), unidade fototérmica acumulada (UF) e dia fisiológico acumulado (DF), e as variáveis de emergência de plântulas e componentes morfológicos e morfofisiológicos ao longo do crescimento de plantas de capim Marandu. 53
- TABELA 2 – Parâmetros do modelo Logístico não-linear para as características morfológicas de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento. 55

CAPÍTULO 3

- TABELA 1 – Dados meteorológicos médios mensais de radiação solar, temperaturas máximas e mínimas e volume de precipitação e irrigação acumulado durante o período experimental em Lavras, MG, Brasil. 76
- TABELA 2 – Parâmetros dos arquivos de espécie relacionados a partição dos componentes morfológicos durante o estágio vegetativo e reprodutivo de desenvolvimento, as taxas de senescência de folhas e colmos das plantas de capim Marandu durante a fase inicial de crescimento. 80
- TABELA 3 – Parâmetros dos arquivos de cultivar e ecótipo relacionados aos principais estádios fenológicos de desenvolvimento das plantas de capim Marandu durante a fase inicial de crescimento. 82
- TABELA 4 – Médias observadas, simuladas e análise estatística das simulações do crescimento inicial de plantas de capim Marandu em Lavras, MG, Brasil. 83

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	14
1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 O acúmulo de forragem	17
2.2 Análise de crescimento de plantas.....	18
2.3 Morfogênese de plantas forrageiras.....	19
2.4 <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu.....	21
2.5 O modelo CROPGRO	22
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE <i>UROCHLOA BRIZANTHA</i> CV. MARANDU	29
RESUMO	30
ABSTRACT.....	31
1 INTRODUÇÃO	32
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1 Local e condições de cultivo.....	34
2.2 Emergência, desbaste e medidas de crescimento.....	37
2.3 Cálculos morfogenéticos.....	39
2.4 Índices morfofisiológicos.....	39
2.5 Fases fenológicas.....	40
2.6 Escalas temporais de desenvolvimento vegetal.....	40
2.7 Curvas de crescimento	41
3 RESULTADOS.....	41
3.1 Emergência das plântulas	43
3.2 Componentes morfogenéticos e morfofisiológicos.....	44
3.3 Fases fenológicas.....	52
3.4 Análise de correlação dos modelos.....	53
3.5 Curvas de crescimento	55
4 DISCUSSÃO.....	55
4.1 Emergência das plântulas	58
4.2 Componentes morfogenéticos e morfofisiológicos.....	58
4.3 Análise de correlação.....	61
4.4 Curvas de crescimento	63
5 CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS	64

CAPÍTULO 3 CALIBRAÇÃO DO MODELO CROPGRO <i>FORAGE MODEL</i> PARA O ESTABELECIMENTO DE PLANTAS DE <i>UROCHLOA BRIZANTHA</i> CV. MARANDU		68
	RESUMO	69
	ABSTRACT	70
1	INTRODUÇÃO	71
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	71
2.1	Coleta de dados e análise de crescimento	73
2.2	Adaptação do modelo	75
2.3	Calibração e avaliação do desempenho dos modelos	76
3	RESULTADOS.....	76
4	DISCUSSÃO.....	89
5	CONCLUSÕES	93
	REFERÊNCIAS	94

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento vegetal modulado pela interação entre processos fisiológicos, características morfológicas, genéticas e fatores ambientais, são determinantes da produção de biomassa vegetal em pastagens (Brougham, 1956). O acúmulo de forragem pode ser definido como o balanço líquido entre os processos de crescimento e senescência dos tecidos vegetais (Hodgson *et al.*, 1981).

O crescimento vegetal caracterizado pelo acúmulo irreversível de massa é resultado principalmente da atividade fotossintética e absorção dos nutrientes disponíveis no solo. A dinâmica de partição e distribuição de fotoassimilados na formação dos componentes morfológicos das plantas podem ser descritos por meio da análise do crescimento vegetal. Esta análise tem como objetivo descrever o crescimento e desenvolvimento relacionando os aspectos morfofisiológicos e ambientais ao longo de todo o ciclo de vida das plantas, utilizando respostas qualitativas, quantitativas ou funcionais (Benincasa, 1988). Da mesma maneira, a análise de fluxo de tecidos aplicada as espécies de gramíneas forrageiras tropicais têm por objetivo auxiliar o entendimento e compreensão dos efeitos que os fatores ambientais e de manejo exercem sobre a estrutura e morfologia do dossel forrageiro e sua influência no consumo de forragem pelos animais (Casagrande *et al.*, 2010).

A descrição do crescimento e desenvolvimento individual de perfilhos deve considerar as fases de germinação das sementes e emergência de plântulas, as fases de desenvolvimento vegetativo e floral (Moore *et al.*, 1991). Isso permite a identificação dos padrões de resposta de partição dos componentes morfológicos, determinação da duração e época de ocorrência das principais fases fenológicas e a velocidade de crescimento numa determinada circunstância. A união dessas informações pode auxiliar na identificação de espécies mais adaptadas e produtivas, na confecção de modelos empíricos de crescimento e ou mecanicistas de predição da produção vegetal. Tornando possível a compreensão das relações existentes entre os componentes do solo, planta e do ambiente de produção agrícola ao longo do tempo, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de manejo, condução e manutenção das pastagens (Cruz *et al.*, 2011).

Atualmente existem vários modelos matemáticos que estimam a produção vegetal. Na plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), o CROPGRO *Forage Model* (CFM) possibilita avaliar a estabilidade e a produtividade dos sistemas agrícolas, por meio de simulações de desenvolvimento e produção vegetal para qualquer intervalo de tempo e condição de cultivo. Os modelos de culturas são considerados ferramentas importantes

para pesquisadores, pois são utilizadas no estudo das relações existentes entre as inúmeras variáveis biológicas envolvidas no processo de crescimento e desenvolvimento vegetal. Aplicado também no auxílio a tomadas de decisões e utilizada por consultores e agências governamentais na definição de políticas públicas, função de zoneamentos agroclimáticos.

O uso de modelos de produção envolve conceitos multidisciplinares, a partir de caracterizações baseadas na dinâmica morfofisiológica das plantas no tempo e considera os aspectos ambientais e de manejo. Os resultados obtidos com a análise de crescimento e desenvolvimento vegetal, podem ser aplicados de diferentes maneiras aos temas relacionados a eficiência de produção e utilização dos recursos vegetais, economizando gastos e otimizando o tempo de avaliação de sistemas produtivos.

Objetivou-se com este trabalho caracterizar o crescimento e os estádios de desenvolvimento de plantas de capim Marandu, compreendendo as fases de emergência até a maturidade fisiológica e senescência das plantas, baseados na análise do crescimento e dinâmica de fluxo de tecidos vegetais. Aumentar a robustez das simulações realizadas pelo modelo *CROPGRO Forage Model*, por meio da determinação e adaptação de parâmetros relacionados as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas, compreendidas pelo modelo.

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O acúmulo de forragem

A produção de forragem e o desenvolvimento vegetal, são resultados das interações entre os dinâmicos processos fisiológicos e características morfológicas, regidas pela combinação dos atributos genéticos de cada organismo associados aos fatores ambientais. Destacando-se sobre a produção de plantas forrageiras a forte influência dos fatores ambientais como quantidade e qualidade da radiação solar, temperatura do ar, disponibilidade de água e nutrientes no solo, determinam a velocidade dos processos relacionados a fotossíntese, crescimento e desenvolvimento vegetal (Brougham, 1956).

A dinâmica de acúmulo de forragem em pastagens pode ser definida como o balanço líquido entre os processos de crescimento e senescência dos tecidos vegetais (Hodgson *et al.*, 1981). Sendo o dossel forrageiro, uma comunidade de plantas, o acúmulo de forragem pode ser considerado como resultado da densidade populacional de perfilhos, da dinâmica de surgimento de novos perfilhos e do acúmulo de massa por perfilho (Da Silva e Pedreira, 1997). Cada perfilho constitui uma unidade básica de uma comunidade de plantas que possuem desenvolvimento morfológico individual, resultado da diferenciação sucessiva dos fitômeros ao longo dos estádios de desenvolvimento das plantas (Nelson, 2000).

O desenvolvimento individual de perfilhos, compreende as fases de emergência, desenvolvimento vegetativo e alongamento de colmo acompanhado da formação de inflorescência e maturação de sementes (Hodgson, 1990), caracterizando então as fases fenológicas de desenvolvimento. A produção de folhas (lâmina e bainha foliar) é um processo contínuo e compreende períodos de expansão caracterizado pelo crescimento e maturidade marcado pelo máximo desempenho fotossintético, senescência e morte (Hodgson, 1990). Normalmente as primeiras folhas surgidas em um perfilho de haste curta, possuem rápida expansão e comprimentos reduzidos quando comparado as demais folhas, que por necessitarem percorrer um percurso mais longo para emergir, alcançam comprimentos superiores (Skinner e Nelson, 1992). Depois da máxima expansão foliar, o tamanho das folhas é reduzindo até o estágio reprodutivo que, por sua vez, ocorre quando há interrupção do aparecimento e expansão de novas folhas e simultaneamente, incrementos crescentes no comprimento do colmo. Por fim, ocorre o máximo alongamento do colmo e consecutivamente o surgimento de inflorescências e formação de sementes (Hodgson, 1990).

Associado a manutenção do número de folhas vivas por perfilho, a senescência de folhas é um processo natural determinado pela genética dos organismos (Taiz *et al.*, 2017), onde após um determinado tempo de vida e como consequência da limitada duração de vida das folhas, os processos relacionados a senescência são desencadeados (Hodgson, 1990). Essa dinâmica e produção de novos tecidos é resultado do acúmulo de massa seca, função da transformação da luz incidente sob o dossel forrageiro e dos nutrientes presentes no solo e nos tecidos vegetais, em energia, por meio da atividade fotossintética.

2.2 Análise de crescimento de plantas

O crescimento de plantas é caracterizado pelo acúmulo irreversível de massa seca, resultado da atividade fotossintética e da absorção de nutrientes minerais disponíveis no solo (Benincasa, 1988). Os padrões de respostas e a dinâmica de acúmulo de massa nas plantas pode ser caracterizado pela análise de crescimento, que auxilia na descrição do incremento de massa pelas plantas de maneira quantitativa e qualitativa.

Apesar do embasamento biológico, a análise de crescimento das plantas está associada ao emprego da linguagem matemática como meio de transcrição dos processos biológicos relacionados ao crescimento. Mesmo em constante aprimoramento, os conceitos da análise de crescimento utilizados há mais de 100 anos, ainda são pouco claros quanto as considerações matemáticas indispensáveis na sua utilização (Radford, 1967). Tradicionalmente a análise do padrão de resposta de crescimento de organismos vegetais é logarítmico sendo composta por três fases distintas. Na primeira fase, é representada pela germinação e emergência das plantas com ligeira diminuição de massa de matéria seca em detrimento da mobilização de reservas das sementes; a segunda fase, é caracterizada pelo grande incremento em massa das plantas e representa um perfil exponencial de crescimento; a terceira fase, caracterizada por resposta linear e estabilização da produção de matéria seca pela planta. É possível ainda haver a existência de uma quarta fase, representada pelo decréscimo da massa seca, caracterizando assim, a fase de senescência e morte das plantas (Hunt, 1982).

A abordagem sobre as respostas da análise de crescimento pode assumir duas formas distintas, a análise clássica de crescimento, onde tradicionalmente são requeridas avaliações destrutivas sucessivas e uniformemente distribuídas ao longo do ciclo de vida das plantas. Nessa abordagem são considerados entre os períodos de avaliação, uma linearização do crescimento, obtendo-se como resultado, médias aritméticas de crescimento ente os diferentes períodos avaliados (Beadle, 1993). E a análise funcional do crescimento que por meio de ajustes de

modelos não-lineares de regressão, que torna possível a descrição instantânea do crescimento e suas derivadas, sem necessidade de avaliações distribuídas uniformemente no espaço de tempo (Hunt, 1982).

A análise funcional trata-se de uma avaliação amplamente utilizada para representação do crescimento e desenvolvimento vegetal. Quando se impõe fatores que controlam variáveis do ambiente, essa abordagem possibilita determinar índices morfofisiológicos como a taxa de crescimento da cultura, realizar inferências sobre a influência desses fatores sobre os diversos fenômenos e processos fisiológicos, intrínsecos as espécies avaliadas (Hodgson, 1990; Larcher, 2004). A análise funcional já foi utilizada para comparação do crescimento de plantas submetidas a diferentes níveis de irrigação (Silva, 1995), avaliação da eficiência do uso de água, temperatura, radiação e trocas gasosas (Bell *et al.*, 1992; Wright *et al.*, 1994) e na modelagem do crescimento e da produção de cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), soja (*Glycine max* L. Merr.) por Boote *et al.* (1998), entre outros.

A análise de crescimento pode ser utilizada ainda em programas de melhoramento, pois permite a identificação de diferenças funcionais entre materiais genéticos de uma mesma espécie, favorecendo a seleção dos indivíduos que melhor desempenham os critérios e objetivos de seleção (Lara, 2011). Esses estudos são fundamentais para elaboração de modelos empíricos de previsão do desenvolvimento, assim como da estimativa de acúmulo e produção alcançável das plantas e predição do potencial de produção frente aos cenários de exploração das culturas. Dependendo da forma de elaboração e condução dos ensaios e dos resultados, a análise de crescimento auxilia também na comparação de cenários futuros, permitindo traçar planos mais eficientes de uso do recurso vegetal na região.

A análise de crescimento e desenvolvimento associado ao estudo e avaliação da evolução da fenologia de espécies forrageiras não é facilmente encontrada na literatura. Usualmente o crescimento é mensurado numa determinada condição por um período curto de tempo, mas quando se opta por relacionar seus resultados, considerando os estádios de desenvolvimento desde a semeadura e emergência de plântulas até desenvolvimento floral e completa senescência dos perfilhos, é possível realizar inferências sobre o padrão de resposta de distribuição e partição de fotoassimilados para os diferentes componentes morfológicos das gramíneas, além de caracterizar cada fase fenológica de desenvolvimento em termos de duração e época de ocorrência.

2.3 Morfogênese de plantas forrageiras

As características morfogênicas definidas pela interação entre a genética da planta estudada e fatores ambientais como luz, temperatura, umidade e nutrientes, determinam a dinâmica de geração e expansão das plantas no espaço e no tempo (Lemaire *et al.*, 1996) e por sua vez, definem as características estruturais de um dossel forrageiro.

O estudo da dinâmica do fluxo de tecidos em plantas forrageiras de clima tropical é normalmente baseado no crescimento de perfilhos individuais e são utilizados para estimar o crescimento das comunidade de plantas (Lemaire e Agnusdei, 2000). A descrição morfogênica de plantas em estágio vegetativo de desenvolvimento compreende três características básicas, a taxa de aparecimento de folhas (TApF), taxa de alongamento de folhas (TAIF) e duração de vida das folhas (DVF), que são suficientes para descrição da morfogênese da parte aérea das plantas que estão sob influência direta do ambiente (Hodgson, 1990). Havendo a necessidade de incluir a variável de taxa de alongamento de colmo (TAIC) nas avaliações do fluxo de tecidos de gramíneas tropicais (Sbrissia e Silva, 2001). Essas características definem as variáveis estruturais do dossel como, o tamanho das folhas, próprio de cada espécie e ecótipo, expresso pela relação entre a taxa de aparecimento e alongamento de folhas. A densidade populacional de perfilhos é diretamente influenciada pela taxa de aparecimento de folhas e indiretamente pelas variáveis ambientais, em que quanto maior a capacidade ou taxa de emissão de folhas, maior o potencial de produção de novos perfilhos. Já o número de folhas verdes por perfilho é resultado da relação entre duração de vida das folhas e taxa de aparecimento de folhas. O produto destas três variáveis estruturais clássicas pode ser utilizado na determinação do índice de área foliar, característica que desempenha um papel central entre o manejo e desempenho da utilização do dossel como recurso forrageiro (Lemaire *et al.*, 1996).

A evolução simultânea de gramíneas e herbívoros, promoveu o desenvolvimento de mecanismos de adaptação morfofisiológica das espécies vegetais. Essa adaptação a longo prazo aos diferentes cenários e ambientes de produção, seja promovida por fatores bióticos ou abióticos, é denominada como plasticidade fenotípica (Briske e Noy-Meir, 1998). A plasticidade garante o desenvolvimento potencial das plantas, em diferentes ambientes, utilizando de forma eficiente e equilibrada os recursos disponíveis, garantindo a manutenção da homeostase dos organismos em crescimento por meio de adaptações que incluem alterações nos processos fisiológicos. Na dinâmica de fluxo de tecidos; na partição e alocação de assimilados e variações nas taxas de aparecimento, sobrevivência e mortalidade de unidades básicas funcionais ou indivíduos da população.

As avaliações de características morfogênicas estão normalmente associadas as avaliações de características estruturais do dossel. Ambas são utilizadas para auxiliar o

entendimento das dinâmicas de produção de forragem, vigor de rebrotação e composição química das plantas quando submetidas a diferentes estratégias de manejo durante algum intervalo de tempo (Martuscello *et al.*, 2005; Costa *et al.*, 2017). As diferentes estratégias de manejo incluem níveis e épocas de irrigação e adubação nitrogenada principalmente e regulação da intensidade e frequência de pastejo, função do intervalo de descanso e altura de rebaixamento do dossel (Santos *et al.*, 2011; Da Silva *et al.*, 2012; Magalhães *et al.*, 2017).

A grande parte dos estudos do fluxo de tecidos é praticada em dosséis perenes, ou ainda consideram curto período de avaliação durante a implantação e o crescimento inicial das plantas (Alexandrino *et al.*, 2010). Os resultados das características são expressos com valores médios lineares compreendendo semanas. Portanto, estudar as variações no fluxo de tecidos considerando diferentes perfilhos sob mesmo estágio de crescimento caracterizam o padrão de resposta das variáveis e das taxas morfogênicas analisadas na escala temporal deixando de ser linear e tornando-se flexível ao longo do tempo.

2.4 *Urochloa brizantha* cv. Marandu

O gênero *Urochloa* (sin. *Brachiaria*) possui uma grande quantidade de espécies (100) e cultivares, com inúmeras diferenças relacionadas ao hábito de crescimento e a morfologia. Tal gênero representa o recurso forrageiro mais utilizado na composição das dietas de animais ruminantes no Brasil, abrangendo aproximadamente 80% do território nacional (Macedo, 2006). Originário do continente africano, mais especificamente do Zimbábue, o ecótipo *Urochloa brizantha* cv. Marandu foi lançado em 1984 pela Empresa de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (Nunes *et al.*, 1984) e responde atualmente por cerca de 50% das pastagens cultivadas no Brasil. Difundida principalmente como alternativa promissora na substituição de outras espécies, que em cenários de extenso monocultivo, apresentavam-se menos produtivas e mais susceptíveis a incidência de pragas e doenças (Macedo, 2006; Euclides *et al.*, 2009).

As plantas desta espécie forrageira popularmente conhecida como “Brizantão”, “Braquiarião” ou “capim Marandu”, possuem hábito de crescimento cespitoso e robusto, com colmos inicialmente prostrados e ao longo do tempo de crescimento, produzem perfilhos mais eretos. Possuem lâminas foliares linear-lanceoladas, com ápice agudo e arredondadas, com até 2 cm de largura e até 50 cm de comprimento. Possui intenso florescimento no verão (fevereiro a março), com inflorescências de até 40 cm de comprimento, com 4 a 6 racemos (Nunes *et al.*, 1984; Fonseca *et al.*, 2010). São caracterizadas pela elevada produtividade, resultado da alta capacidade fotossintética e eficiência de uso da água (Bonfim-Silva *et al.*, 2007). Possui rápido

estabelecimento e elevada capacidade de rebrotação, é altamente responsiva a adubação. Apresenta produção de sementes classificada como satisfatória, além de boa cobertura de solo, capacidade de competição com espécies invasoras e tolerância às principais espécies de cigarrinhas. Apresenta ainda média a baixa exigência em fertilidade dos solos apesar de pouco adaptada a solos mal drenados (Soares Filho, 1994).

A ampla difusão desta espécie em território nacional foi um marco para o Brasil Central Pecuário, maximizou a capacidade de produção animal em até três vezes mais em uma mesma área, quando comparado ao período anterior à sua introdução (Fonseca *et al.*, 2010). Desde então o capim Marandu é estudado sob diferentes perspectivas, considerando os aspectos nutricionais, de produção e de colheita. E neste sentido, estudos relacionados ao crescimento dessas plantas, abrangendo todos os estádios de desenvolvimento servirão de base para o aprimoramento das técnicas que visam maximizar a eficiência de utilização deste recurso vegetal, em diferentes cenários e finalidades de produção.

2.5 O modelo CROPGRO

Desenvolvido com o propósito de simular o crescimento de diversas culturas, o modelo CROPGRO foi criado para reunir e consolidar os modelos de simulação desenvolvidos para soja (*Glycine max* L. Merr. – SOYGRO), amendoim (*Arachis hypogaea* L. – PNUTGRO) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L. – BEANGRO) em um único programa, com códigos e rotinas de simulação organizadas em estrutura modular, passíveis de implementação, para simulação de outras culturas, a partir da modificação dos coeficientes dos parâmetros preexistentes e, ou a partir da inclusão de novos parâmetros (Hoogenboom *et al.*, 1992).

Atualmente o CROPGRO é parte de um conjunto de modelos inserido na plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) que está em sua versão 4.7. Essa plataforma compreende modelos para simulação de 42 culturas, utilizado a mais de 25 anos por pesquisadores, consultores e em alguns casos, no direcionamento de políticas públicas, com inúmeras aplicações que vão desde o gerenciamento de fazendas que praticam agricultura de precisão, até avaliações de impacto ambiental em escalas regionais (Jones *et al.*, 2003). O uso do DSSAT tornou possível avaliar a estabilidade e a produtividade dos sistemas de produção agrícola, uma vez que permite simular o desenvolvimento e produção de culturas para um conjunto de anos. O sistema de efetua simulações em poucos minutos, o que em tempo real, levaria anos (Brandão, 2006).

A plataforma é responsável pela integração dos módulos de simulação de solo, planta, manejo e clima, por meio de sub-rotinas. Estimam o crescimento das culturas em escala diária baseada em estimativas da atividade fotossintética, da respiração de manutenção e de crescimento, além de considerar os balanços de nitrogênio e de água no solo, utilizando-se da combinação de modelos empíricos e de processos (Hoogenboom *et al.*, 1992).

Para as simulações e a integração entre os diferentes módulos são exigidas algumas definições referentes as condições iniciais de implantação da cultura, que compreendem informações acerca das condições de clima, solo (caracterização físico-química), manejo das culturas (datas de semeadura, fertilização, irrigação e colheita) e simulação (controlando a escala de simulação da fotossíntese – considerando folha ou dossel, assumindo fatores de estresse hídrico ou nutricional, como limitantes do crescimento potencial), que estão dispostos em arquivos específicos para este fim. A partir disso, as simulações são inicializadas e processadas, gerando informações de saldo diário de crescimento, balanços de água, nitrogênio e carbono no sistema solo-planta-atmosfera.

O resultado das simulações é definido também, por uma série de parâmetros relacionados a cultura vegetal. Basicamente esses parâmetros descrevem a atividade fotossintética e conseqüentemente o crescimento das plantas em função do ambiente de produção e podem ser modificados para adequação de novos cultivares e ecótipos. Alguns desses parâmetros consideram o tempo de desenvolvimento, em escala fisiológica, entre os diferentes estágios de desenvolvimento das plantas, outros estão relacionadas as eficiências de realização da fotossíntese e tamanho das folhas (Hoogenboom *et al.*, 1992).

Voltado inicialmente para simular o crescimento de espécies vegetais de exploração anual, como as principais culturas agrícolas (leguminosas e cereais), o modelo apresenta elevada eficiência e qualidade nas predições, em diversos cenários de produção. Segundo Rymph (2004), a adaptação deste modelo para simular com eficiência, o desenvolvimento e produção de culturas perenes, como gramíneas forrageiras, que apresentam características e respostas intrínsecas, são sugeridas alterações de alguns parâmetros e inclusão de outros, além da provável modificação e adição de critérios de simulação ao código principal do modelo.

O módulo responsável pela simulação do crescimento de gramíneas forrageiras, mais especificamente, o CROPGRO *Forage Model*, vem sendo continuamente adaptado. Inicialmente para grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), uma gramínea C4 perene utilizada na rotação de culturas anuais na Florida, EUA (Kelly, 1995) e posteriormente ajustado para simulação de *U. decumbens* cv. Basilisk (Giraldo *et al.*, 1998; 2001) e incrementado por Rymph (2004) com parâmetros relacionados as condições de resíduo pós colheita e sua

influência sob a dinâmica de partição, utilização e reserva de nutrientes, durante ciclos e manejo de rebrotação, assim como parâmetros relacionados a fenologia. Posteriormente adaptado para simulação da dinâmica entre a colheita e ciclagem da matéria orgânica no solo (Alderman, 2008) e mais recentemente, para simular o crescimento de diferentes ecótipos de capins tropicais (Lara, 2011; Pedreira *et al.*, 2011; Pequeno *et al.*, 2014; Pequeno *et al.*, 2017).

A maioria dessas adaptações e parametrização para simular o crescimento e produção de *U. brizantha* spp. realizadas por Moreno (2017) e Pedreira *et al.* (2011) consideraram informações morfofisiológicas de um dossel estabelecido, como características relacionadas a área foliar específica, fotossíntese, partição e composição de nutrientes, sem considerar, contudo, além desses parâmetros, os dados de crescimento e desenvolvimento inicial das plantas durante as fases de implantação dessas gramíneas. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho caracterizar o crescimento e os estádios de desenvolvimento de plantas de capim Marandu, compreendendo as fases de emergência até a maturidade fisiológica e senescência das plantas, determinar e adaptar os parâmetros relacionados ao desenvolvimento fenológico das plantas, contidos no modelo CROPGRO *Forage Model*.

REFERÊNCIAS

- ALDERMAN, P. D. **Simulating the regrowth dynamics of Tifton 85 bermudagrass as affected by nitrogen fertilization**. 2008. University of Florida
- ALEXANDRINO, E.; VAZ, R.; DOS SANTOS, A. C. Characteristics of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu during the establishment assigned of different levels of nitrogen. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 886-893, 2010. ISSN 1981-3163.
- BEADLE, C. Growth analysis. In: (Ed.). **Photosynthesis and Production in a Changing Environment**: Springer, 1993. p.36-46.
- BELL, M.; WRIGHT, G.; HAMMER, G. Night temperature affects radiation-use efficiency in peanut. **Crop Science**, v. 32, n. 6, p. 1329-1335, 1992. ISSN 0011-183X.
- BENINCASA, M. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Funep, 1988.
- BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A.; ARAÚJO DA SILVA, T. J. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, 2007. ISSN 0100-0683.
- BOOTE, K. et al. The CROPGRO model for grain legumes. In: (Ed.). **Understanding options for agricultural production**: Springer, 1998. p.99-128. ISBN 9048149401.
- BRANDÃO, A. M. C. D. A. Alterações climáticas na agricultura portuguesa: instrumentos de análise, impactos e medidas de adaptação. 2006.
- BRISKE, D.; NOY-MEIR, I. Plant responses to grazing: a comparative evaluation of annual and perennial grasses. Proceedings of the International Workshop on Ecological Basis of Livestock Grazing in Mediterranean Ecosystems, 1998. p.13-26.
- BROUGHAM, R. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. **Australian journal of agricultural research**, v. 7, n. 5, p. 377-387, 1956. ISSN 1444-9838.
- CASAGRANDE, D. R. et al. Características morfogênicas e estruturais do capim Marandu manejado sob pastejo intermitente com diferentes ofertas de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 2108-2115, 2010. ISSN 1516-3598.
- COSTA, N. D. L. et al. Dinâmica do acúmulo de forragem e morfogênese de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés sob períodos de descanso. **Embrapa Roraima-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.
- CRUZ, P. G. D. et al. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim Marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 675-681, 2011-07 2011.
- DA SILVA, S.; PEDREIRA, C. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagem. **Simpósio sobre ecossistemas de pastagens**, v. 3, p. 1-62, 1997.

DA SILVA, T. et al. Morphogenesis and structure of *Brachiaria decumbens* submitted to cut management and nitrogen fertilization. **Archivos de Zootecnia**, v. 61, n. 233, p. 91-102, 2012. ISSN 0004-0592.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 98-106, 2009. ISSN 1678-3921.

FONSECA, D.; SANTOS, M.; MARTUSCELLO, J. Importância das forrageiras no sistema de produção. **Plantas forrageiras. Viçosa: UFV**, p. 13-29, 2010.

GIRALDO, L. et al. Adaptation of the DSSAT model for simulation of *Brachiaria decumbens* production. **Pasturas Tropicales**, v. 20, p. 2-12, 1998.

_____. Adapting the CROPGRO model of DSSAT to simulate the growth of *Brachiaria decumbens*. Proceedings of the Third International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development'. (Eds WT Bowen et al.) pp, 2001. p.14-18.

HODGSON, J. **Grazing management. Science into practice.** Longman Group UK Ltd., 1990. ISBN 0582450101.

HODGSON, J. et al. The influence of cutting and grazing management on herbage growth and utilization. **Plant physiology and herbage production. Nottingham: British Grassland Society**, p. 51-62, 1981.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.; BOOTE, K. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO: a review. **Transactions of the ASAE**, v. 35, n. 6, p. 2043-2056, 1992.

HUNT, R. **Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis.** Edward Arnold Ltd., 1982. ISBN 0713128445.

JONES, J. W. et al. The DSSAT cropping system model. **European journal of agronomy**, v. 18, n. 3, p. 235-265, 2003. ISSN 1161-0301.

KELLY, T. C. bioeconomic systems approach to sustainability analysis at the farm level. 1995.

LARA, M. A. S. **Respostas morfofisiológicas de genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas intensidades de desfolhação e modelagem da produção de forragem em função das variações estacionais da temperatura e fotoperíodo: adaptação do modelo CROPGRO.** 2011. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos, SP: 2004.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Efficiency of Herbage Utilization. **Grassland ecophysiology and grazing ecology**, p. 265, 2000. ISSN 0851999409.

LEMAIRE, G. et al. The ecology and management of grazing systems. **The ecology and management of grazing systems**, 1996.

MACEDO, M. Aspectos edáficos relacionados com a produção de *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu. **Morte de pastos de braquiárias. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte**, p. 35-65, 2006.

MAGALHÃES, J. A. et al. Características morfogênicas e estruturais do capim marandu sob irrigação e adubação. **HOLOS**, v. 8, p. 113-124, 2017. ISSN 1807-1600.

MARTUSCELLO, J. A. et al. Características morfogênicas e estruturais do Capim Xaraés submetido à adubação nitrogenada e desfolhação. **Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2005.

MOORE, K. et al. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. **Agronomy Journal**, v. 83, n. 6, p. 1073-1077, 1991. ISSN 0002-1962.

MORENO, L. S. B. **Modeling the regrowth dynamics of two contrasting grasses in response to shade and nitrogen fertilization**. 2017. (Dissertation - PhD). University of Florida, Gainesville

NELSON, C. Shoot morphological plasticity of grasses: leaf growth vs. tillering. **Grassland ecophysiology and grazing ecology**, p. 101-126, 2000.

NUNES, S. et al. *Brachiaria brizantha* cv. marandu. **Embrapa Gado de Corte-Documentos (INFOTECA-E)**, 1984.

PEDREIRA, B. C. et al. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, v. 120, n. 3, p. 370-379, 2011. ISSN 0378-4290.

PEQUENO, D. et al. Species-genotypic parameters of the CROPGRO Perennial Forage Model: Implications for comparison of three tropical pasture grasses. **Grass and Forage Science**, 2017. ISSN 1365-2494.

PEQUENO, D. N. L.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J. Simulating forage production of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO-Perennial Forage model. **Crop & Pasture Science**, v. 65, n. 12, p. 1335-1348, 2014. ISSN 1836-0947.

RADFORD, P. Growth analysis formulae-their use and abuse. **Crop science**, v. 7, n. 3, p. 171-175, 1967. ISSN 0011-183X.

RYMPH, S. J. **Modeling growth and composition of perennial tropical forage grasses**. 2004. University of Florida

SANTOS, M. E. R. et al. Capim braquiária sob lotação contínua e com altura única ou variável durante as estações do ano: morfogênese e dinâmica de tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 11, p. 2323-2331, 2011.

SBRISSIA, A.; SILVA, S. D. O ecossistema de pastagens e a produção animal. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 731-754, 2001.

SILVA, S. D. Condições edafo-climáticas para a produção de *Panicum* sp. **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS**, v. 12, p. 129-146, 1995.

SKINNER, R.; NELSON, C. Estimation of potential tiller production and site usage during tall fescue canopy development. **Annals of botany**, v. 70, n. 6, p. 493-499, 1992. ISSN 1095-8290.

SOARES FILHO, C. Recomendações de espécies e variedades de Brachiaria para diferentes condições. **Simpósio sobre Manejo da Pastagem**, v. 11, p. 25-48, 1994.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. ISBN 8582713673.

WRIGHT, G.; RAO, R.; FARQUHAR, G. Water-use efficiency and carbon isotope discrimination in peanut under water deficit conditions. **Crop Science**, v. 34, n. 1, p. 92-97, 1994. ISSN 0011-183X.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE *UROCHLOA BRIZANTHA* CV. MARANDU

RESUMO

A análise de crescimento é uma das técnicas utilizadas para descrever as modificações morfológicas e fisiológicas das plantas ao longo do seu ciclo de vida. São baseadas em atributos ambientais, genéticos e agronômicos. Objetivou-se com este trabalho caracterizar, descrever e modelar o crescimento e desenvolvimento de perfilhos de plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu para aplicação em estudos de manejo e planejamento de uso estratégico desta forrageira. As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 6 dm³ de substrato corrigido para acidez e adubado conforme recomendação para semeadura. As adubações de manutenção e irrigação foram realizadas ao longo do experimento para homogeneidade das condições de crescimento. Utilizou-se 30 sementes por vaso enterradas à 25 mm de profundidade. Após desbaste, foram deixadas duas plantas por vaso. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 90 vasos e três repetições por avaliação em 30 diferentes épocas após semeadura. Contabilizou-se a emergência das plântulas e semanalmente foi avaliado o fluxo de tecidos seguido de avaliações destrutivas e separações dos componentes morfológicos das plantas em folhas, colmo, folhas mortas, coroas e raízes. Quantificou-se a área foliar por meio de um integrador de área foliar de bancada. Os componentes morfológicos foram pesados e secos em estufa a 55°C por 72 horas. Em cada período, valores médios foram calculados para as variáveis morfogênicas e para os índices de morfofisiológicos, além da caracterização dos estádios fenológicos em função de diferentes escalas temporais de desenvolvimento por meio de modelos baseados na temperatura mínima (T_{\min}), graus-dia (GD), unidade fototérmica (UF) e dia fisiológico (DF). Foram realizadas análises de correlação linear de *Pearson* entre as escalas de desenvolvimento vegetal e as características morfofisiológicas em estudo e regressões não lineares par descrever o crescimento vegetal durante o experimento. A abordagem funcional do crescimento constatou a qualidade de ajuste do modelo Logístico ao padrão de resposta das massas dos principais componentes vegetativos permitindo a simulações do crescimento com base em diferentes critérios ligados ao ambiente. A maior parte dos componentes vegetais foi correlacionada positivamente com as escalas temporais. Modelos de GD e T_{\min} são passíveis de uso na fase vegetativa enquanto o modelo de UF é mais indicado quando é alcançado o florescimento. Com a determinação das fases fenológicas foi possível definir os momentos de transição no ciclo de vida dos perfilhos e constatar que ocorre maior variação dos resultados a partir do período pré-florescimento. Conclui-se que com a caracterização do crescimento, é possível definir momentos específicos de mudanças morfofisiológicas que subsidiem a tomada de decisão auxiliando no uso consciente do recurso forrageiro e seja base para novos estudos, com enfoque no desenvolvimento de técnicas de manejo, para produção e utilização mais eficiente desta espécie vegetal como recurso forrageiro em diferentes ambientes de produção.

Palavras-chave: *Brachiaria*. Morfogênese. Fenologia. Modelos agrometeorológicos. Curvas de crescimento.

ABSTRACT

Growth analysis is one of the methods used to describe the morphophysiological changes on plants throughout their life cycle. They are based on environmental, genetic and agronomic attributes. The objective of this work was to characterize, describe and modeling the growth and development of *Urochloa brizantha* cv. Marandu and parameterize the CROPGRO *Forage Model* by changes in coefficients related to the initial growth. An experiment was conducted to collect plant growth data, where plants were grown in pots with 6 dm³ capacity of corrected and fertilized substrate as recommended for sowing. Fertilization and maintenance irrigation were performed throughout the experiment for the homogeneity of growth conditions. Seeds were used per pot buried at 25 mm depth. After thinning two plants were maintained per pot. The experimental design was completely randomized, using 90 pots and three replicates per evaluation in 30 times after sowing. In addition to seedling emergence all phenological stages were identified throughout the plant life cycle, including vegetative, reproductive and floral development. During growth, the tissue flow was monitored weekly and destructive pots evaluations were performed with separation of the plant morphological components in leaves, stem, dead leaves, crowns and roots. The leaf area was determined, and the morphological components were dried separately in a forced-draft oven at 55 °C for 72 hours and then weighed. In each period, mean values were calculated for the morphogenetic and morphophysiological variables, as well as the characterization of the phenological stages as a function of different time scales of development from models based on minimum temperature (T_{\min}), degree-days (GD), photothermal unit (UF) and physiological day (DF). Pearson's linear correlation analyzes were performed between the development scales and the morphophysiological characteristics. Nonlinear regressions were used to describe plant growth during the experiment. The functional approach to growth demonstrated the fit quality of the Logistic model to describe forage masses response pattern allowing growth simulations based on different environmental attributes. Most plant components were positively correlated with time scales. GD and T_{\min} models can be used in the vegetative phase while the UF model is more indicated when flowering is reached. After describing the phenological phases, it was possible to define the transitional moments of tillers maturity. We verify a greater variation on data from the pre-flowering period. We concluded that specific moments of morphophysiological changes can subsidize the decision-making aiding in the conscious use of the forage resource and being the basis for new studies, focusing on the development of management techniques, for production and use of this plant species as a forage resource in different production environments.

Keywords: *Brachiaria*. Morphogenesis. Phenology. Agrometeorological models. Growth curves.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as pesquisas sobre a potencialidade de uso das forrageiras tropicais utilizando metas de manejo elucidaram importantes processos de uso eficiente desse recurso vegetal, no entanto, o desempenho agrônômico dos mais diversos cultivares muitas vezes é relatado por meio da combinação de frequência e intensidade de desfolhação, e não se sabe ao certo como esses resultados afetam o crescimento e o desenvolvimento dessas plantas quando manejadas da mesma forma em diferentes locais.

Partindo da premissa de que para manejar e otimizar o uso de qualquer recurso é preciso entender os processos que regem suas respostas, trabalhos clássicos sobre o crescimento vegetal foram realizados no passado (Brougham, 1957; Radford, 1967; Hodgson, 1990), no entanto, poucos são os trabalhos que visam elucidar como ocorrem os processos de crescimento e a determinação das fases fenológicas no tempo e espaço quando tratamos de gramíneas de clima tropical. A maneira tradicional de estimar a produtividade de plantas é realizada por meio da análise quantitativa (Lemaire *et al.*, 1996) e qualitativa do crescimento (Mott e Moore, 1985), onde variações irreversíveis do acúmulo de biomassa das plantas são quantificados e o desenvolvimento de novos componentes são caracterizados, normalmente em intervalos regulares de tempo, ao longo do ciclo de vida das plantas (Benincasa, 1988).

A análise detalhada de crescimento é uma ferramenta que se baseia principalmente no fato de que a produtividade das plantas é resultado da atividade fotossintética e absorção de nutrientes. Usando os resultados dessa análise, é possível compreender a síntese e dinâmica de alocação de assimilados nos diferentes tecidos vegetais, assim como a evolução dos estádios fenológicos e sua relação com as mudanças morfológicas das plantas (Lemaire *et al.*, 1996), permitindo que os mecanismos que influenciam o processo de acúmulo de forragem sejam interpretados.

Esses resultados podem ser obtidos de maneira clássica, a partir de amostragens destrutivas e quantificação da biomassa ou, por meio da quantificação da área dos componentes vegetativos (Magalhães e Ferri, 1979), ou ainda podem ser obtidas por meio de avaliações não destrutivas cujas respostas referem-se ao aparecimento, número e tamanho destes componentes morfológicos, avaliados também por meio de avaliações do fluxo de tecidos, ou avaliação morfogênica, caracterizada pela expressão da taxas de aparecimento foliar e expansão de novos órgãos da planta e taxas de senescência (Lemaire e Agnusdei, 2000).

Associar as características morfogênicas à análise clássica de crescimento quantitativo ao longo do ciclo de vida das plantas, é uma alternativa interessante de análise dos processos

fisiológicos e das adaptações morfológicas intrínsecas das gramíneas forrageiras tropicais frente à diferentes cenários de produção. Por meio desses estudos é possível embasar teorias sobre o desenvolvimento de novas técnicas de manejo que consideram os padrões de resposta de crescimento das plantas, assim como descrever o processo de acúmulo de forragem por unidade de crescimento (perfilho).

Utilizando esse modelo exploratório de dados coletados em condições controladas é possível prever respostas relacionadas às variáveis de crescimento, interceptação de luz pelo dossel, valor nutritivo da forragem e consumo pelo animal (Laca e Lemaire, 2000), adquirindo conhecimento específico sobre as potencialidades de produção e aumento da eficiência de utilização da comunidade de plantas como recurso forrageiro.

Objetivou-se com este trabalho caracterizar e descrever o crescimento e o desenvolvimento de plantas de capim Marandu, por meio da obtenção de dados padronizados em condições monitoradas com intuito de identificar e estudar as fases fenológicas e modelar o crescimento dessa gramínea forrageira com base em dados morfogênicos e resultados da análise de crescimento.

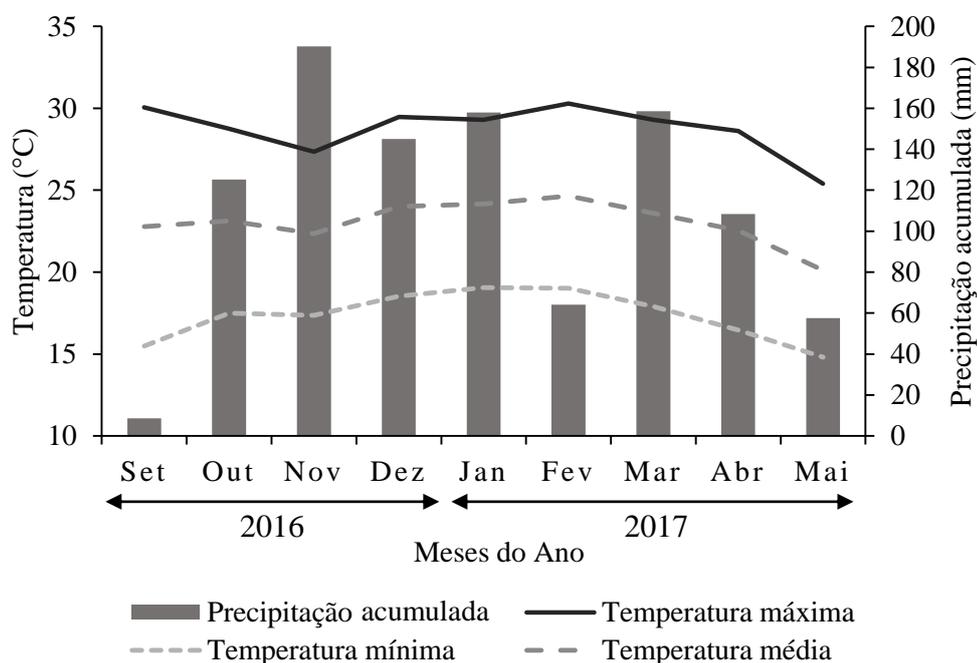
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e condições de cultivo

O experimento foi conduzido no campo experimental do setor de forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, situado no município de Lavras, MG (21°14' de latitude Sul, 44°58' de longitude Oeste e 919 metros de altitude). O clima da região é classificado pelo sistema de Köppen como Cwa, mesotérmico úmido subtropical de inverno seco (De Sá Júnior *et al.*, 2012).

Os dados meteorológicos referentes ao período experimental, foram obtidos por meio de uma estação meteorológica da Universidade, distante aproximadamente 1,2 km da área experimental (FIGURA 1).

FIGURA 1 – Médias mensais de temperaturas máximas, médias, mínimas e precipitação acumulada durante o período experimental.



Foram utilizadas plantas de *Urochloa brizantha* (sin. *Brachiaria brizantha* Stapf. (A. Rich.) cv. Marandu. Para maior controle das condições de crescimento, as plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 6 dm⁻³ de substrato. O substrato de cultivo utilizado foi composto por uma mistura de Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, destorroado, coletado na camada de 0 a 20 cm de profundidade e areia em proporções iguais, ambos

peneirados em malhas de 10 e 6 mm respectivamente (FIGURA 2). Uma amostra do substrato de cultivo foi enviada para análise, cuja caracterização química foi: pH = 6,5; matéria orgânica = 6,1 g dm⁻³; P = 0,87 mg dm⁻³; K = 79,8 mg dm⁻³; Ca = 0,38 cmol_cdm⁻³; Mg = 0,11 cmol_cdm⁻³; e H + AL = 1,07 cmol_cdm⁻³. A partir desse resultado, foi realizada a correção da acidez e adequação da fertilidade de acordo com o boletim Técnico 100 do IAC de São Paulo (Raij *et al.*, 1997), incorporando o equivalente a 425 kg ha⁻¹ (ou 212,5 mg dm⁻³) de calcário dolomítico; e 40 kg ha⁻¹ (ou 20 mg dm⁻³) de fósforo (pentóxido de fósforo) e 20 kg ha⁻¹ (ou 10 mg dm⁻³) de enxofre (superfosfato simples), 3 kg ha⁻¹ (ou 1,5 mg dm⁻³) de zinco (sulfato de zinco) como fertilização para o estabelecimento das plantas.

Os vasos foram preenchidos com 7,85 kg de substrato e pesados, garantindo a mesma compactação e densidade do solo (1,31 g cm⁻³).

FIGURA 2 – Confeção do substrato para cultivo.



As sementes de capim Marandu foram adquiridas no comércio local. Para melhor germinação e uniformização do crescimento das plantas nos vasos, as melhores sementes de uma partilha do lote foram selecionadas por meio de padronização visual, retirando-se as impurezas e escolhendo as sementes de mesmo tamanho e com potencial visível de germinação. A semeadura foi realizada no dia 21 de setembro de 2016, distribuindo manualmente 30 sementes por vaso de forma equidistante utilizando um molde (FIGURA 3) que marcava a profundidade de 25 mm (Foloni *et al.*, 2009).

FIGURA 3 – Molde utilizado para distribuição de sementes e semeadura na profundidade de 25 mm.



O conteúdo de água dos vasos foram mensurados diariamente ao longo de todo o período experimental, a profundidade de 0 a 10 cm, por meio de sensores de umidade do equipamento ML2 (Theta probe - Delta T, FIGURA 4). Os vasos foram irrigados sempre que necessário, de forma manual com o auxílio de um Becker graduado, para manutenção de 65% de água disponível, na porção de solo amostrada.

FIGURA 4 – Avaliação do conteúdo de água no perfil do substrato e posicionamento dos vasos na área experimental.



A adubação de manutenção foi realizada a cada 15 dias com o equivalente a 25 kg ha^{-1} (ou $12,5 \text{ mg dm}^{-3}$) de nitrogênio na forma de sulfato de amônio, em cobertura. A adubação de cobertura iniciou após quarenta dias da emergência completa de 50% das plântulas. Foram utilizados 90 vasos no experimento distribuídos na área experimental distanciados 34 cm ente

os vasos e 38 cm entre as fileiras de vasos (FIGURA 4). Os vasos foram separados em 3 lotes sendo utilizados como repetições na análise dos dados. O período experimental foi de 233 dias iniciando no dia 21/09/2016 até o dia 12/05/2017.

2.2 Emergência, desbaste e medidas de crescimento

O número de plântulas emergidas foi contabilizado (FIGURA 5) em todos os vasos até 33 dias após semeadura (DAS). A partir da contagem, foi possível determinar a porcentagem de emergência e o índice de velocidade de emergência (Maguire, 1962).

FIGURA 5 – Contabilização de plântulas emergentes e avaliações de altura e largura.



A partir do 25º DAS iniciou-se o desbaste. Em função da desuniformidade da emergência, o primeiro desbaste foi realizado para igualar a quantidade de plantas em cada vaso, usando como base o vaso com menor número de plântulas emergidas (10), após esse desbaste, duas plântulas foram removidas a cada dois dias, removendo sempre as plântulas maiores ou menores em relação à média do tamanho das demais plantas do vaso. O procedimento de desbaste consistiu no corte, a uma profundidade de 30 mm, com auxílio de tesoura (para garantir a remoção da coroa), até que se permaneceu duas plântulas uniformes por vaso, aos 34 DAS.

Avaliou-se a altura indeformada das plântulas desde sua emergência, a partir da emissão da primeira folha, com o auxílio de régua milimetrada. As avaliações de largura máxima das plântulas iniciaram após a emissão da segunda folha verdadeira, momento em que as plântulas

apresentavam uma folha completamente expandida projetada lateralmente o que possibilitou a aferição com o auxílio de paquímetro (FIGURA 5). As avaliações de altura e largura foram realizadas durante todo o período experimental, sendo as aferições a cada 2 dias, até os 34 DAS e semanalmente até o final do período experimental.

O monitoramento do fluxo de tecidos consistiu na enumeração de todas as folhas vivas de todos os vasos, contabilizadas a partir da emissão da primeira folha verdadeira. Foram mensurados também o comprimento do pseudo-colmo (colmo + bainha foliar) e folhas (lâminas foliares), realizados com o auxílio de régua milimetrada. As folhas foram classificadas como: em expansão, quando as lígulas não estavam expostas e sua referência de medida foi a lígula da última folha completamente expandida; maduras ou completamente expandidas, quando a lígula se apresentava-se visível e/ou a variação em comprimento do limbo foliar fosse nula entre duas avaliações consecutivas; senescentes, quando parte do limbo apresentou-se parcialmente comprometido pela senescência; e mortas, quando o limbo foliar foi completamente comprometido pela senescência.

As avaliações morfogênicas foram realizadas semanalmente, com início 31 DAS até o final do período experimental, utilizando-se os dois perfilhos principais por unidade experimental previamente identificados com amarrilhos coloridos. Para obter as taxas morfogênicas foram sorteados 15 vasos iniciais, totalizando 30 perfilhos por semana de avaliação. A cada semana o conteúdo de três, dos 15 vasos, foi colhido para separação morfológica para composição da análise quantitativa do crescimento. Três novos vasos foram então sorteados e incluídos na avaliação.

A análise de crescimento quantitativa foi realizada por meio do método destrutivo, a cada semana, três vasos eram selecionados aleatoriamente entre os 15 vasos da avaliação morfogênica. A priori a parte aérea foi classificada por geração de perfilhos, sendo classificadas como principais, primários e outros. Os componentes morfológicos da parte aérea foram separados em pseudo-colmo, folha vivas, colmo reprodutivo e sementes, além disso, as folhas mortas foram coletadas semanalmente em todos os vasos para evitar a perda desse material ao longo do tempo.

A área foliar foi determinada por meio de um integrador de área foliar de bancada modelo Li-3100 (LiCor – Nebraska), contabilizando a área de todas as folhas verdes por perfilho. Após a colheita e separação da parte aérea, a separação das raízes e coroas foi realizada, por meio do destorroamento do solo no vaso e lavagem do substrato sobre uma peneira com crivo de 4 mm. Em função da grande quantidade de raízes e a impossibilidade de separar as raízes de cada perfilho, a massa total de raízes foi dividida igualmente entre as duas

plantas. Os componentes morfológicos foram secos em estufa de circulação de ar forçado a 55°C durante 72 horas, para obtenção da massa seca. Todo material seco foi pesado em balança de precisão e os resultados expressos em gramas.

2.3 Cálculos morfogênicos

Com os dados do acompanhamento semanal do fluxo de tecidos, realizado em grupos, de seis perfilhos avaliados em três vasos durante cinco semanas, foi determinada a média das características morfogênicas para o período. Estes dados sequenciais compuseram o padrão de resposta das taxas morfogênicas ao longo do ciclo de vida dos perfilhos avaliados.

As características estruturais e morfogênicas foram: número de folhas vivas (NFV), número de folhas em expansão (NFE), número de folhas maduras ou completamente expandidas (NFMa), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFMo) e número total de folhas (NFT) surgidas por perfilho, taxa de aparecimento de folhas (TApF, folhas perfilho dia⁻¹): resultado do número de folhas surgidas nos perfilhos, dividido pelo número de dias entre as avaliações; filocrono (dias folha perfilho⁻¹): determinado como o inverso da taxa de aparecimento de folhas; duração de vida das folhas (DVF, dias): calculado por meio da sua relação com filocrono e número de folhas vivas; comprimento inicial e final de colmo (CI/CF, cm perfilho dia⁻¹): determinado no início e fim das avaliações; taxa de alongamento de folhas (TAIF, cm perfilho dia⁻¹); taxa de alongamento de colmos (TAIC, cm perfilho dia⁻¹): calculado pela diferença entre o comprimento final e o comprimento inicial dos componentes em expansão dividido pelo número de dias entre as avaliações e taxa de senescência das folhas (TSF, cm perfilho dia⁻¹): calculado a partir de variações negativas entre medidas do comprimento de lâminas foliares maduras dividido pelo número de dias entre as avaliações.

2.4 Índices morfofisiológicos

Para gerar as curvas de crescimento de cada componente morfológico e assim calcular índices fisiológicos de produção, foi necessário reconstruir numericamente o perfilho principal em cada semana de avaliação. Esses índices foram calculados apenas para os perfilhos principais, para tanto, a massa vegetal de cada vaso foi separada e a contribuição das raízes e da coroa foi ajustada por meio da ponderação da massa entre as três gerações de perfilhos avaliadas.

Após o cálculo das massa e taxas do perfilho principal médio foi possível associar os padrões de respostas de crescimento e as variações anatômicas relacionadas a fotossíntese (Radford, 1967; Benincasa, 1988; Beadle, 1993; Peixoto e Peixoto, 2009) como: taxa de crescimento absoluto (TCA): incremento em massa seca total das plantas em um determinado período de tempo; taxa de crescimento relativo (TCR): variação do crescimento das plantas em um determinado período de tempo, considerando os valores de massa preexistentes; área foliar específica (AFE, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ de folhas): relação entre a área foliar e a massa das folhas; razão de massa foliar (RMF, g g^{-1}): corresponde à fração da massa das folhas em relação à massa acumulada na planta; e razão de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ de planta): definida como o quociente entre a área foliar específica e o peso total da planta.

2.5 Fases fenológicas

As fases fenológicas foram identificadas utilizando a escala proposta por Moore *et al.* (1991). Onde os estádios fenológicos foram definidos quando em 50% + 1 do total de plantas avaliadas estava aparente uma característica que distinguia as fases de desenvolvimento. A escala adaptada compreendeu os principais eventos de desenvolvimento vegetal como, emergência, o surgimento e sucessão de folhas durante o estágio vegetativo, acompanhado da fase caracterizada pelo de alongamento de colmo, assim como o surgimento das inflorescência e maturação de sementes durante os estádios de desenvolvimento reprodutivo e floral.

2.6 Escalas temporais de desenvolvimento vegetal

O crescimento e desenvolvimento vegetal foi modelado em diferentes escalas temporais, utilizando escalas temporais clássicas na predição da produção e crescimento de plantas. Foi utilizado um modelo com base na temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$), o modelo de Graus-Dia (GD), Unidade Fototérmica (UF) e o modelo baseado no Dia Fisiológico (DF), para representação do padrão de resposta de desenvolvimento vegetal.

O modelo de $T_{\text{mín}}$ é resultado da análise de regressão linear simples dos dados de temperatura mínima obtidos da estação meteorológica e variáveis de crescimento vegetal (Dourado Neto, 1999). Utilizado com relativa precisão na predição da variação, produção e crescimento de plantas forrageiras (Pedro Junior *et al.*, 1990; Lara, 2007; Tonato, 2009; Cruz *et al.*, 2010; Pezzopane *et al.*, 2014).

O modelo de GD baseia-se numa quantificação simplificada da energia (soma térmica) que está à disposição da planta a cada dia e representa um acúmulo diário de energia acima da condição mínima exigida e abaixo da máxima suportada pela planta, temperaturas base inferior e superior de desenvolvimento (Ometto, 1981). Assumindo temperatura mínima de desenvolvimento de 11,1°C, para plantas de capim Marandu (Pequeno *et al.*, 2014).

O modelo com base na UF, possibilita prever a produtividade das culturas em resposta às oscilações estacionais do ambiente, combinando o efeito da temperatura do ar e do fotoperíodo sobre a resposta da planta. Proposto por (Villa Nova *et al.*, 1983) esse modelo é indicado para representar processos fenológicos dependentes de luminosidade como o florescimento, além do crescimento de plantas e acúmulo de biomassa.

O modelo de DF é o menos conhecido, mas foi utilizado por estar presente nas principais equações de quantificação do crescimento, desenvolvimento e utilização das grandes culturas na plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrothechnology Transfer). É baseado nas temperaturas basais e ótimas de desenvolvimento para os diferentes estádios fenológicos de desenvolvimento das plantas (Pequeno *et al.*, 2014), na soma térmica diária disponível, resultado da variação horária da temperatura ao longo do dia (Parton e Logan, 1981) e nos efeitos de sensibilidade do crescimento da espécie vegetal às variações no comprimento do dia além dos efeitos depressores da produtividade como estresse hídrico e nutricional (Jones *et al.*, 2003).

2.7 Curvas de crescimento

A análise de correlação de *Pearson* foi utilizada para verificar a relação linear entre as diferentes escalas temporais de desenvolvimento e foram consideradas estatisticamente semelhantes com correlação igual a 1, ao nível de 5% de probabilidade. O procedimento foi utilizado também para verificar a intensidade da relação linear (Barbetta *et al.*, 2004; Kazmier, 2006) entre as escalas temporais de desenvolvimento e as diferentes variáveis relacionadas a emergência das plantas, morfogênese, composição morfológica e índices fisiológicos. As análises foram realizadas, considerando nível de probabilidade de 5%, por meio das funções *cor* e *rcorr* dos pacotes *stats* e *Hmisc* e a função *corrplot* do pacote *corrplot* do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2017).

Os padrões de resposta de acúmulo de massa dos componentes morfológicos por perfilho como: massa total, parte aérea, colmo, folhas mortas, coroas e raízes, foram ajustados utilizando o modelo de regressão não-linear Logístico, comumente utilizado para descrição de

respostas de crescimento em comunidades vegetais (Seber e Wild, 1989; Silva *et al.*, 2000), com o objetivo de verificar a resposta das diferentes escalas temporais utilizadas para descrição do crescimento, na predição do acúmulo de massa dos principais componentes morfológicos das plantas ao longo do tempo.

O modelo é representado pela equação, $y = (\alpha/(1+\exp(-\gamma*(x-\beta))))$, em que α , corresponde ao valor da assíntota, representando o valor de estabilização da variável dependente no tempo; β , indica o coeficiente do parâmetro onde ocorre o ponto de inflexão da curva em x . Os ajustes foram realizados por meio das funções *nlsfit* e *nls* dos pacotes *easynls* e *nlme*, do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2017), utilizando-se o modelo não-linear proposto, representando a qualidade de ajuste pelo coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e pelo critério de informação Bayesiano (BIC).

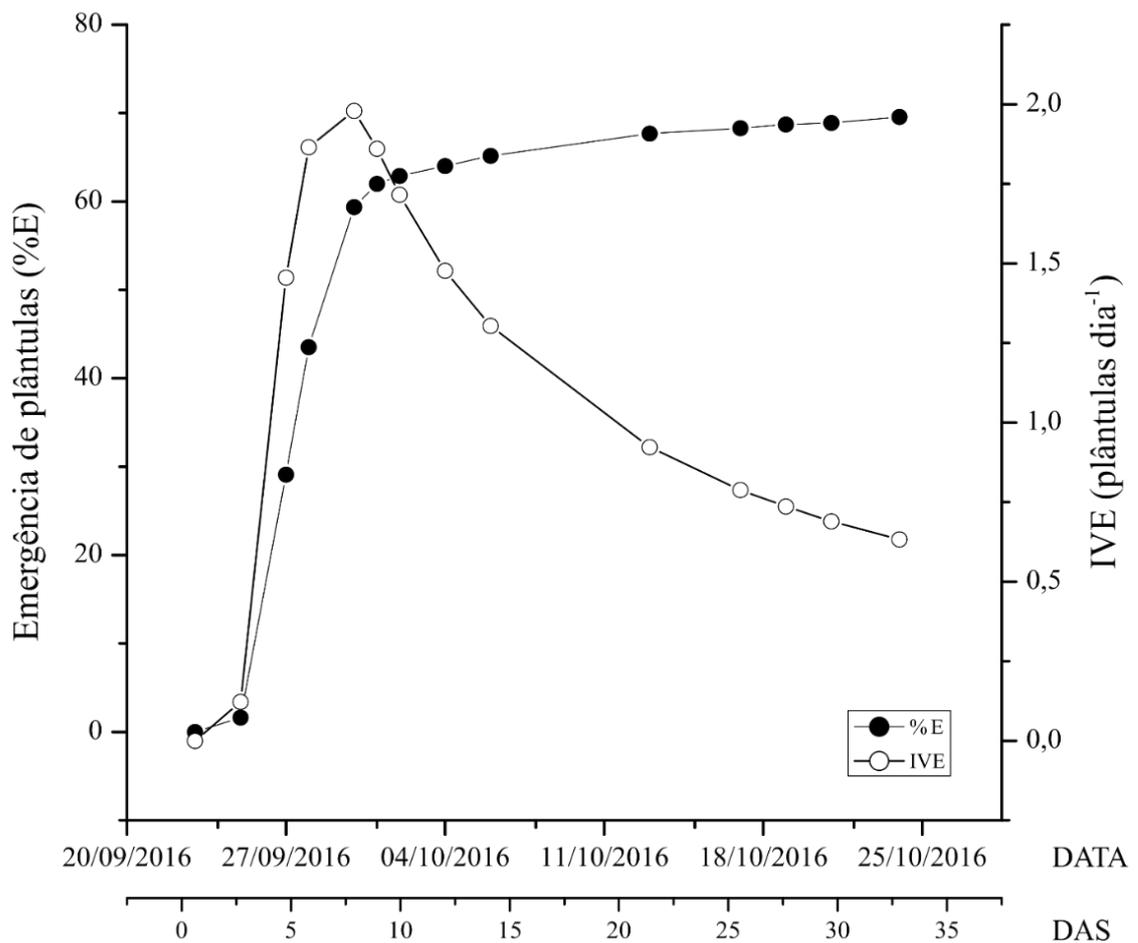
3 RESULTADOS

3.1 Emergência das plântulas

O lote de sementes comercial utilizado apresentou, $69,56 \pm 0,93\%$ de emergibilidade, alcançada aos 33 DAS. Aproximadamente 60% das plântulas emergiram 9 DAS, mesmo momento onde o índice de velocidade de emergência foi máximo, $1,98 \pm 0,03$ plântulas emergidas por dia.

O padrão de resposta da porcentagem de plântulas emergidas, assim como a velocidade de emergência determinada por meio do índice de velocidade de emergência proposto por Maguire (1962) estão representados na FIGURA 6.

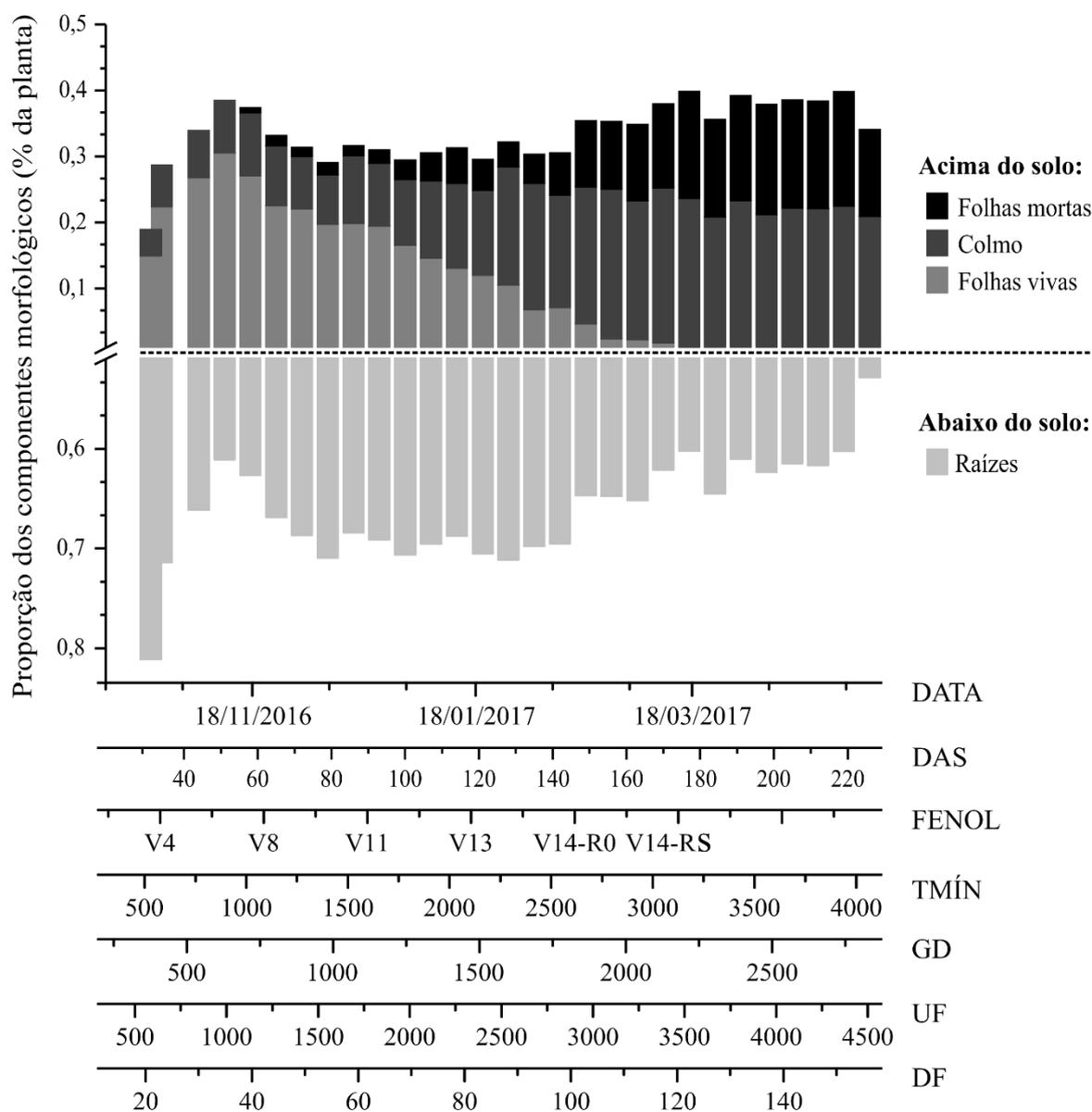
FIGURA 6 – Porcentagem de emergência de plântulas (%E) e índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) de capim Marandu, em função de data de semeadura (DATA) e dias após semeadura (DAS).



3.2 Componentes morfogenéticos e morfofisiológicos

A distribuição relativa dos componentes morfológicos dos perfilhos principais do capim Marandu ao longo do período experimental, estão representadas na FIGURA 7.

FIGURA 7 – Distribuição proporcional dos componentes morfológicos observados durante a análise do crescimento e desenvolvimento de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, com base em diferentes escalas temporais.

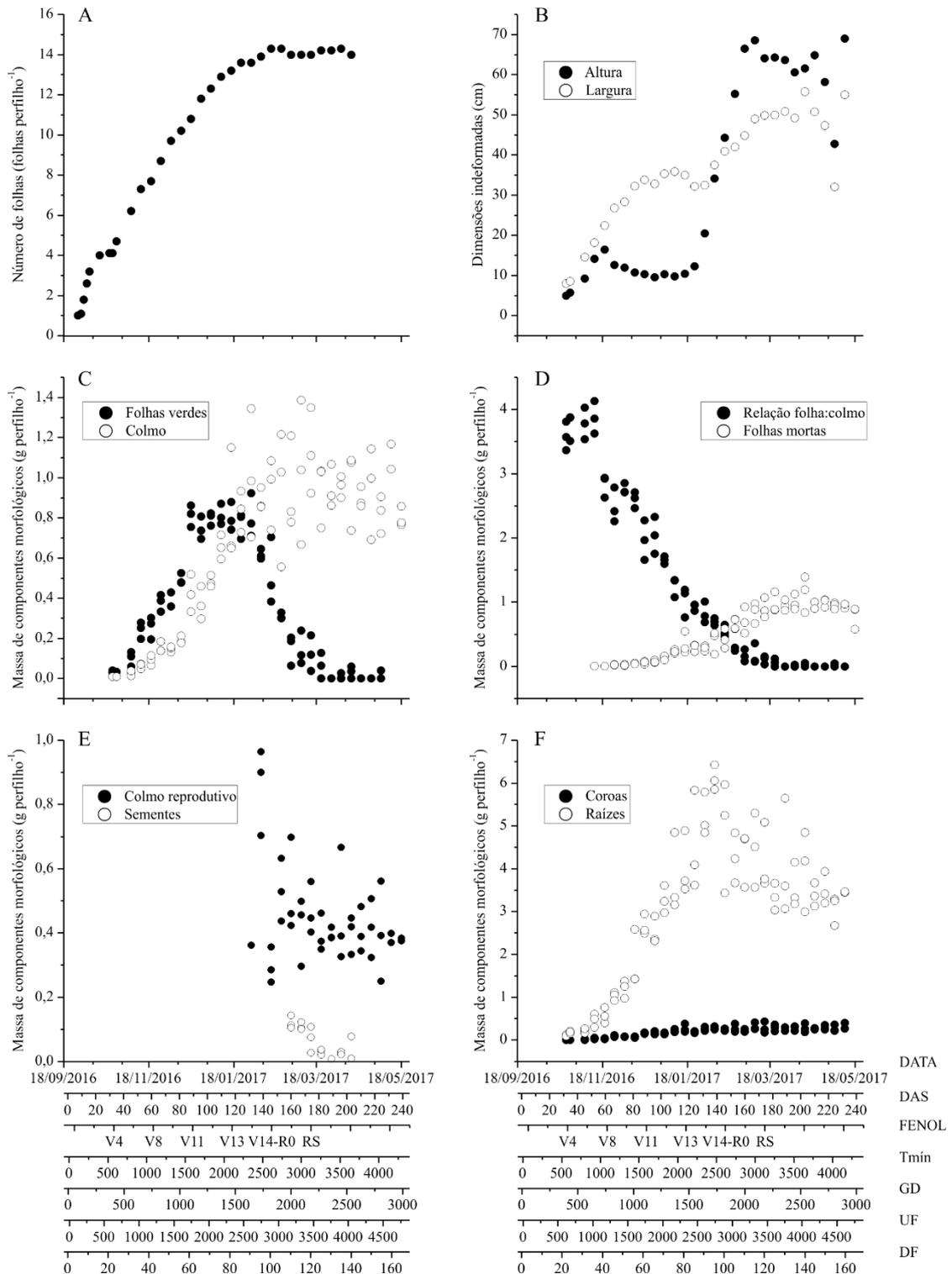


Legenda: DATA, referente ao período experimental; DAS, dias após sementeira; FENOL, estádios fenológicos; T_{mín}, temperatura mínima acumulada; GD, graus-dia acumulada; UF, unidade fototérmica acumulada; DF, dia fisiológico acumulado.

A interpretação da distribuição dos componentes morfológicos das plantas ao longo do seu desenvolvimento, além de exprimir proporcionalmente a composição da planta no decorrer do seu ciclo de vida, demonstra a época de ocorrência e a duração dos principais estádios fenológicos (FIGURA 7). Durante os estádios vegetativos de desenvolvimento ($V_n - V_{14}$) a proporção de componentes abaixo do solo (coroas + raízes) respondeu por cerca de 70% da massa total dos perfilhos avaliados, com redução para 60% da massa total durante o estágio reprodutivo (R0 – RS), resultado da mobilização dos tecidos de reserva destinados para alongamento e diferenciação dos colmos vegetativos a reprodutivos e formação de sementes. Aos 31 DAS, a proporção de folhas foi de 20% e apenas 6% da massa total era constituída por colmos. Aos 115 DAS as proporções entre os componentes de folhas e colmo se igualaram (13%) marcando a transição entre os estádios vegetativo e reprodutivo. O início do processo de senescência foliar ocorreu aos 60 DAS. Quando as proporções de folhas vivas e folhas mortas atingiram níveis semelhantes (6%) aos 140 DAS, verificou-se a diferenciação dos colmos seguido da formação de sementes.

Os padrões temporais das respostas morfológicas estão presentes na FIGURA 8.

FIGURA 8 – Características morfológicas observadas durante a análise do crescimento e desenvolvimento de perfis principais de plantas de capim Marandu, com base em diferentes escalas temporais.



Legenda: Número de folhas (A), altura e largura das plantas (B); distribuição de massas de folhas verdes e colmo (C); relação entre os componentes morfológicos de folhas verdes, colmos e folhas mortas (D); colmo reprodutivo e sementes (E); e coroas e raízes (F), analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento: DATA referente ao período experimental; DAS, dias após semeadura; FENOL, estádios fenológicos; T_{min}, temperatura mínima acumulada; GD, graus-dia acumulado; UF, unidade fototérmica acumulada; DF, dia fisiológico acumulado.

O número de folhas por perfilho (FIGURA 8-A) respondeu linearmente até 95 DAS e foi caracterizado pelo aparecimento da folha de número 12, estabilizando no total de 14 folhas emitidas por perfilho aos 135 DAS. Segundo Hodgson (1990), as gramíneas forrageiras possuem um número pré-programado geneticamente de folhas a surgir de acordo com o crescimento natural da planta antes da indução do florescimento. A altura e largura das plantas (FIGURA 8-B) mantiveram respostas proporcionais, 16,5 e 22,3 cm respectivamente, até 58 DAS. Após esse período, ocorreu a estabilização da altura quando comparada a largura máxima das plantas. Após 141 DAS a altura aumentou linearmente e alcançou 44,5 cm superando a largura máxima das plantas de 41,1 cm.

A produção de massa de folhas verdes (FIGURA 8-C) chegou a 0,93 gramas por perfilho aos 85 DAS. Após esse período a massa de folhas permaneceu constante até 130 DAS. Com redução para 0,12 g perfilho⁻¹ aos 170 DAS. O acúmulo de massa de colmos apresentou padrão de crescimento exponencial positivo até os 140 DAS seguido de estabilização. A relação entre massa de folhas verdes e massa de colmos ao longo do tempo (FIGURA 8-D), demonstra que no início do período experimental, a partir de 30 DAS, a proporção entre os componentes foi de aproximadamente 3,7 (g folha⁻¹/g colmo⁻¹). Após 60 DAS houve redução linear e constante da relação folha/colmo até 160 DAS onde ocorreu uma desaceleração da queda na relação mantendo-se constante em 0,25 g folha⁻¹/g colmo⁻¹ aos 180 DAS. A massa de folhas mortas foi aumentando com o passar do tempo iniciando a partir dos 50 DAS e mantendo-se crescente até os 210 DAS quando houve estabilização da massa morta em 1,03 g perfilho⁻¹, após esse período a quantidade de folhas mortas começou a reduzir em função da menor proporção de folhas verdes na planta.

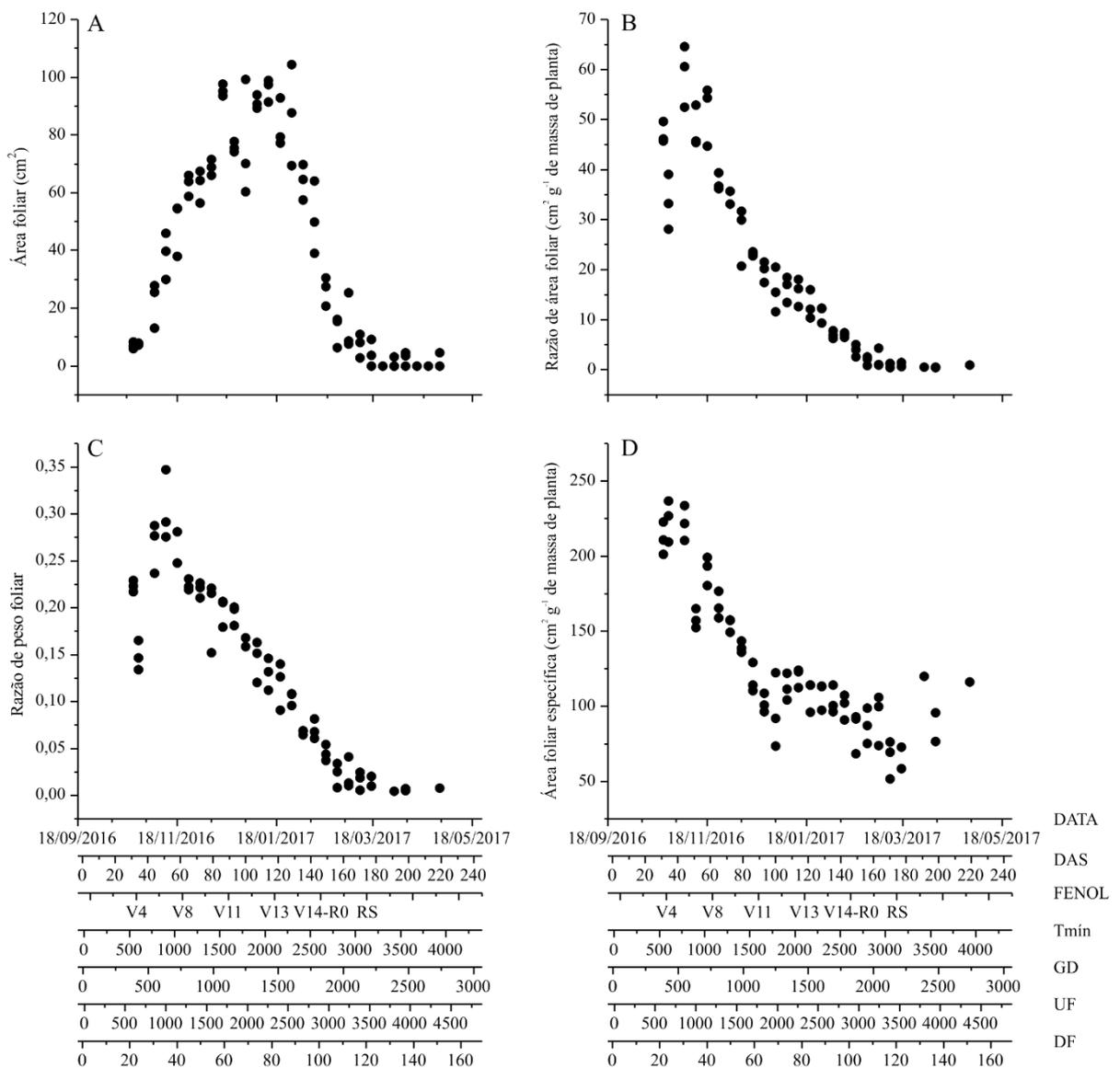
Os colmos identificados como reprodutivos (FIGURA 8-E) surgiram aos 130 DAS e as primeiras sementes foram detectadas nas avaliações destrutivas aos 155 DAS. A massa de colmos reprodutivos não seguiu um padrão uniforme, mas se manteve relativamente constante após 130 DAS, a variação nos dados mostra que mesmo sendo semeado e mantido um padrão de crescimento em condições controladas, houve variação na quantidade das massas e de perfilhos florescidos no experimento. A massa de sementes produzida permaneceu constante até 174 DAS, momento em que as sementes foram caracterizadas como maduras.

A distribuição das massas dos componentes abaixo do nível do solo, compreendendo as massas de coroas e raízes, possuem padrões de crescimento distintos (FIGURA 8-F). A massa de raízes tem resposta crescente até 130 DAS, com posterior tendência de redução quando ocorre o surgimento das inflorescências. É possível verificar que quando as plantas entram num

estádio fisiológico reprodutivo ocorre acentuada queda na massa de raízes, sendo a mobilização de reservas da coroa menos proeminente que se apresentou crescente até 170 DAS.

O padrão de resposta da área foliar específica e suas derivadas de significado fisiológico e anatômico, razão de área e peso foliar, e área foliar específica são representadas na figura abaixo (FIGURA 9).

FIGURA 9 – Características morfofisiológicas observadas durante a análise de crescimento e desenvolvimento de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, com base em diferentes escalas temporais.



Legenda: Área foliar (A); razão de área foliar (B); razão de peso foliar (C); área foliar específica (D), analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento: DATA referente ao período experimental; DAS, dias após semeadura; FENOL, estádios fenológicos; T_{\min} , temperatura mínima acumulada; GD, graus-dia acumulado; UF, unidade fototérmica acumulada; DF, dia fisiológico acumulado.

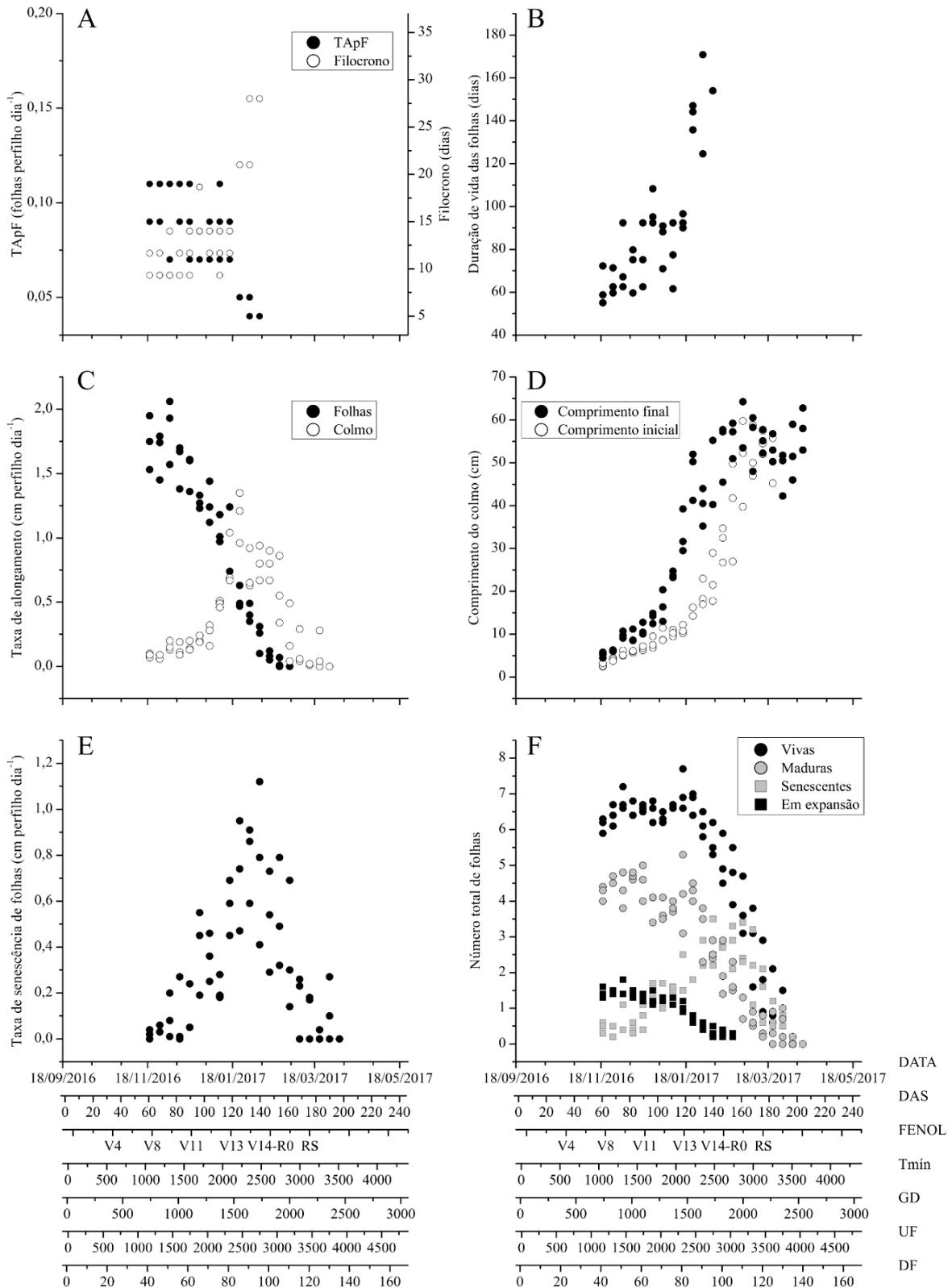
A AF média por perfilho (FIGURA 9-A), determinada desde o início dos desbastes aos 30 DAS foi de aproximadamente $7,5 \text{ cm}^2$ alcançando área máxima de $94,5 \text{ cm}^2$ aos 85 DAS. Mantendo-se constante com pequenas variações até 130 DAS, seguido de rápida diminuição a níveis próximos de zero, no intervalo de tempo de 50 dias. A RAF seguiu um padrão de curva exponencial decrescente (FIGURA 9-B). Partindo-se do máximo de $64 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ aos 44 DAS, seguido de redução acentuada até 160 DAS, com valores finais de $1,2 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ após 180 DAS. Apesar de inicialmente, apresentar razão inferior ($45 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) a máxima observada em função das primeiras folhas apresentarem reduzidas áreas de superfície em relação ao peso total das plantas.

A RPF respondeu de forma semelhante a RAF (FIGURA 9-C). Foram constatados valores iniciais inferiores à média geral de 0,23 aos 30 DAS. O valor máximo alcançado foi de 64 aos 44 DAS, seguido de redução exponencial até 160 DAS com valores finais de aproximadamente $0,008 \text{ g}$ de folha g^{-1} de perfilho total. AFE respondeu de forma exponencial decrescente ao longo do ciclo de vida das plantas (FIGURA 9-D), inicialmente alta alcançando valores de $220 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ aos 33 DAS e valores finais de $60 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ aos 180 DAS.

A TCA, definido como a variação do incremento de massas final e inicial dos perfilhos, avaliado entre 31 e 226 DAS, foi de $0,01393 \text{ g dia}^{-1}$, enquanto para o mesmo período avaliado, considerando os valores de massa preexistentes, a TCR foi de $0,02107 \text{ g g dia}^{-1}$, para o acúmulo de massa total por perfilho. Este índice também foi utilizado na determinação da taxa de acúmulo de massa dos componentes aéreos dos perfilhos e foram obtidos $0,01223 \text{ g dia}^{-1}$ e $0,02072 \text{ g g dia}^{-1}$, para os valores de TCA e TCR respectivamente, de parte aérea.

Na FIGURA 10, são reportados o padrão de resposta das características dos perfilhos relacionadas as variáveis morfogênicas.

FIGURA 10 – Características morfogênicas avaliadas durante a análise do crescimento e desenvolvimento de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento.



Legenda: Taxa de aparecimento de perfilhos (TApF) e filocrono (A); duração de vida das folhas (B); taxa de alongamento de folhas e colmo (C); comprimento inicial e final de colmo (D); taxa de senescência de folhas (E); e número de folhas por categoria (F), analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento: DATA referente ao período experimental; DAS, dias após sementeira; FENOL, estádios fenológicos; T_{min} , temperatura mínima acumulada; GD, graus-dia acumulado; UF, unidade fototérmica acumulada; DF, dia fisiológico acumulado.

A TApF, foi constante com cerca de 0,09 folhas perfilho dia⁻¹, desde o início das avaliações aos 58 DAS permanecendo assim até aproximadamente 115 DAS, decrescendo rápida e linearmente no intervalo de 20 dias (FIGURA 10-A). Ao passo que o filocrono, respondeu de forma inversa, em diferente escala com valores médios de 12 dias entre o aparecimento de duas folhas consecutivas, durante o início das avaliações até os 115 DAS, alcançado 28 dias de filocrono aos 135 DAS. Esses dados corroboram com os resultados de vários experimentos de pesquisa avaliando as características morfogenéticas do capim Marandu no verão (Casagrande *et al.*, 2010; Difante *et al.*, 2011).

A DVF respondeu linearmente e de forma positiva com o tempo até a emissão da última folha, aos 135 DAS (FIGURA 10-B), passando de 60 para mais de 160 dias de DVF com o avançar da idade das plantas. Folhas cuja superfície foliar são maiores, demandam mais tempo para completar o ciclo de expansão, senescência e morte. Por este motivo a duração de vida das folhas em um perfilho de acordo com a ordem de emissão de folhas e comprimento das lâminas foliares apresentam padrão de resposta de DVF crescente, até finalizar a expansão da última folha. A TAlF respondeu linearmente, reduzindo com o avanço no ciclo de vidas das plantas, iniciando com taxas de 1,75 cm perfilho dia⁻¹ aos 58 DAS e cessando o alongamento das folhas aos 150 DAS. Enquanto a TAIC teve sua máxima resposta aos 120 DAS com resultados que atingiram 1,35 cm perfilho dia⁻¹ e incrementos decrescentes até 185 DAS (FIGURA 10-C).

O comprimento do colmo mensurado no início e final do período de avaliações dos perfilhos apresentou padrão de resposta sigmoide ao longo do tempo. Tornando-se estável após 150 DAS (FIGURA 10-D). O padrão de resposta da TSF foi semelhante ao padrão da TAIC, com máxima taxa de 1,12 cm perfilho dia⁻¹ aos 135 DAS (FIGURA 10-E). Quanto ao número de folhas dos perfilhos o NFV, NFS, NFE e NFMa, foram constantes durante o período de desenvolvimento vegetativo e reduzidos após o florescimento (FIGURA 10-F). As plantas tiveram um valor médio máximo de 6,5 folhas vivas perfilho⁻¹ durante o início das avaliações até 128 DAS, seguido de redução total até 198 DAS.

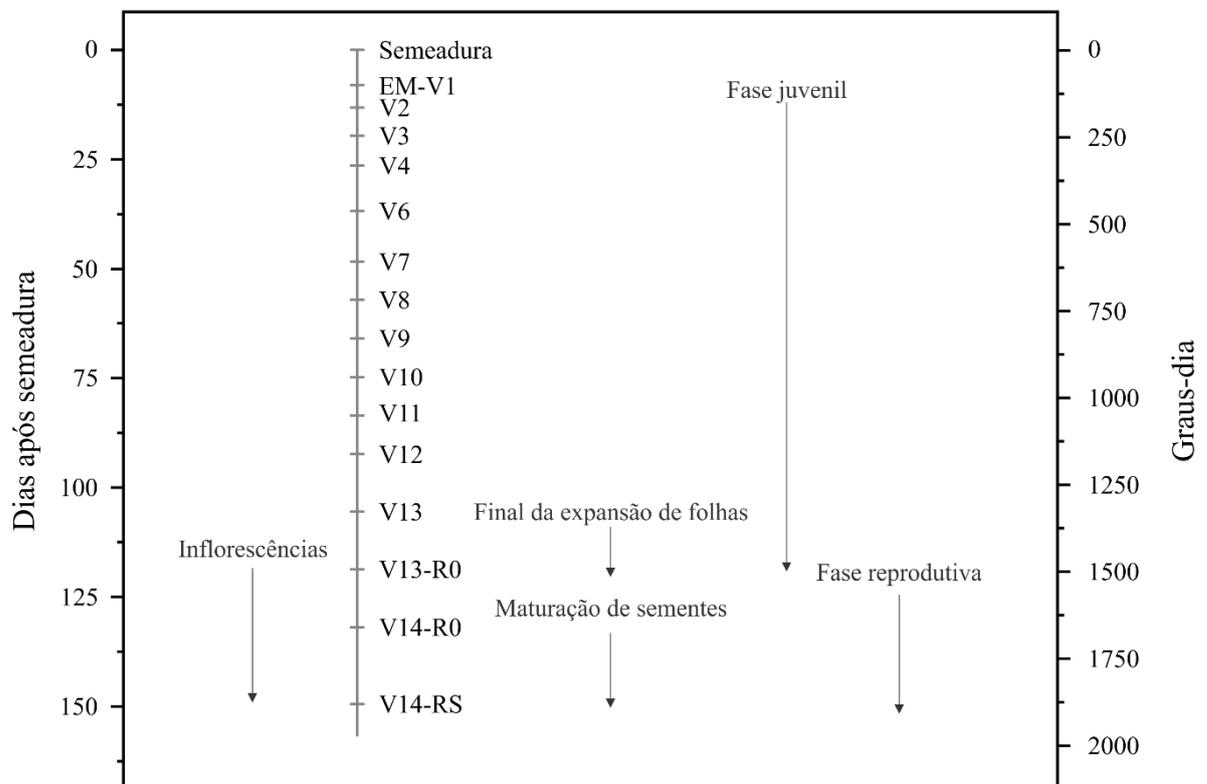
No início das avaliações os perfilhos possuíam aproximadamente 4,4 folhas maduras (NFMa) aos 58 DAS. Esse valor foi mantido até 128 DAS e depois decresceu com o avançar dos estádios fenológicos. O NFS observado aos 58 DAS foi de 0,50 por perfilho, alcançando o número máximo de 3,5 folhas senescentes por perfilho aos 135 DAS. Durante o estágio de desenvolvimento reprodutivo caracterizado pelo aparecimento de inflorescências pôde ser verificado redução do NFS como resultado da maior parte das folhas já terem morrido após esse período. O NFE manteve-se constante à 1,4 folhas em expansão por perfilho dos 58 DAS até

aproximadamente os 90 DAS. Após esse período, o NFE diminuiu linearmente até 150 DAS onde não houve mais expansão de folhas do perfilho.

3.3 Fases fenológicas

Por meio das avaliações qualitativas e quantitativas de crescimento, foi possível determinar o período de cada estágio de desenvolvimento fenológico (FIGURA 11). A utilização dessa escala fenológica determinada pelo intervalo de tempo necessário para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas permitiu a visualização do padrão de resposta das plantas baseado em diferentes escalas temporais de desenvolvimento (DAS, T_{\min} , GD, UF e DF) e permitiu seu emprego no banco de dados na plataforma DSSAT.

FIGURA 11 – Duração das fases fenológicas de plantas de capim Marandu, em função de dias após sementeira e graus-dia.



Legenda: EM, refere a emergência das plantas; V1 a V_n , referem-se aos estádios vegetativos de desenvolvimento seguido do número ordinal de folhas emitidas pela planta; R0, refere-se ao estágio reprodutivo, caracterizado pelo início do emborrachamento; e RS, refere-se a maturidade e dissipação das sementes no ambiente.

3.4 Análise de correlação dos modelos

As escalas temporais utilizadas para ajuste do modelo matemático foram semelhantes, quando comparados entre si por meio da avaliação da correlação linear de *Pearson*. Nesse sentido, trabalhar com uma das escalas temporais é suficiente para estimar as taxas dos processos de crescimento e/ou morte de tecidos além das estruturas morfológicas. O uso de uma escala de estimação mais simples compete na redução do levantamento de dados necessários para a estimação da variável.

As variáveis resultado das avaliações compreendidas neste estudo foram correlacionadas às diferentes escalas temporais utilizadas na predição do crescimento e desenvolvimento vegetal (TABELA 1).

TABELA 1 – Correlação entre escalas temporais de desenvolvimento dias após semeadura (DAS), temperatura mínima acumulada ($T_{\text{mín}}$), graus-dia acumulado (GD), unidade fototérmica acumulada (UF) e dia fisiológico acumulado (DF), e as variáveis de emergência de plântulas e componentes morfogênicos e morfofisiológicos ao longo do crescimento de plantas de capim Marandu.

Variáveis	DAS	$T_{\text{mín}}$	GD	UF	DF
----- Emergência das plantas -----					
Emergência acumulada ¹	0,59	0,57	0,57	0,55	0,57
Índice de velocidade de emergência ²	-0,72	-0,72	-0,72	-0,71	-0,72
----- Componentes morfogênicos e morfofisiológicos -----					
Número de folhas vivas ³	-0,87	-0,87	-0,87	-0,86	-0,87
Número de folhas em expansão ³	-0,91	-0,91	-0,92	-0,92	-0,92
Número de folhas maduras ³	-0,92	-0,92	-0,92	-0,92	-0,92
Número de folhas senescentes ³	-	-	-	-	-
Número médio de folhas por perfilho ³	0,86	0,87	0,86	0,87	0,87
Comprimento inicial de colmo ⁴	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Comprimento final de colmo ⁴	0,91	0,91	0,91	0,92	0,91
Taxa de alongamento de folhas ⁵	-0,96	-0,96	-0,97	-0,97	-0,97
Taxa de senescência de folhas ⁵	-	-	-	-	-
Taxa de alongamento de colmo ⁵	-	-	-	-	-
Taxa de aparecimento de folhas ⁶	-0,80	-0,81	-0,80	-0,80	-0,80
Duração de vida das folhas ⁷	0,79	0,80	0,80	0,80	0,80
Filocrono ⁸	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Massa total do perfilho ⁹	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78
Massa de parte aérea ⁹	0,84	0,85	0,85	0,86	0,85
Massa de folhas verdes ⁹	-0,33	-0,34	-0,34	-0,35	-0,34
Massa de folhas mortas ⁹	0,92	0,92	0,92	0,93	0,92
Massa de colmo ⁹	0,82	0,83	0,83	0,84	0,83
Massa de colmo reprodutivo ⁹	-0,38	-0,38	-0,39	-0,39	-0,39
Massa de sementes ⁹	-0,75	-0,77	-0,77	-0,79	-0,77

TABELA 1 – Continuação...

Variáveis	DAS	T _{mín}	GD	UF	DF
Massa de coroa ⁹	0,82	0,83	0,82	0,83	0,83
Massa de raiz ⁹	0,67	0,67	0,67	0,68	0,67
Proporção de folhas ¹⁰	-0,93	-0,93	-0,93	-0,94	-0,93
Proporção de folhas mortas ¹⁰	0,93	0,93	0,94	0,94	0,93
Proporção de colmo ¹⁰	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Proporção de colmo reprodutivo ¹⁰	-	-	-	-	-
Proporção de sementes ¹⁰	-0,75	-0,77	-0,77	-0,79	-0,77
Proporção de coroa ¹⁰	0,34	0,33	0,33	0,32	0,33
Proporção de raízes ¹⁰	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57
Proporção folha:colmo ¹¹	-0,94	-0,95	-0,94	-0,95	-0,95
Altura ⁴	0,88	0,88	0,88	0,89	0,88
Largura ⁴	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Área foliar ¹²	-0,36	-0,47	-0,47	-0,48	-0,47
Área foliar específica ¹³	-0,84	-0,84	-0,84	-0,83	-0,84
Razão de área foliar ¹⁴	-0,85	-0,85	-0,84	-0,83	-0,84
Razão de massa foliar	-0,89	-0,89	-0,88	-0,88	-0,89

Legenda: ¹ número ou porcentagem de plantas emergidas no período; ² número de plantas emergidas dia⁻¹ (IVE - Maguire, 1962); ³ número; ⁴ cm; ⁵ cm perfilho dia⁻¹; ⁶ folhas perfilho dia⁻¹; ⁷ dias; ⁸ dias folha perfilho⁻¹; ⁹ g de matéria seca de componente perfilho⁻¹; ¹⁰ porcentagem perfilho⁻¹; ¹¹ relação entre os componentes folha e colmo; ¹² cm² perfilho⁻¹; ¹³ cm² g⁻¹ de folha; ¹⁴ cm² g⁻¹ de perfilho.

A intensidade da relação linear entre os modelos temporais de desenvolvimento e as variáveis componentes do crescimento foram classificadas como altamente correlacionadas quando o coeficiente de correlação foi superior a 0,90 e pouco ou não correlacionadas quando inferior a 0,50, sem considerar o sentido da correlação (Cargnelutti Filho *et al.*, 2011).

As variáveis de comprimento do colmo, massa e proporção de folhas mortas tiveram elevado grau de correlação com os modelos avaliados no sentido positivo. Caracterizando o aumento irreversível em comprimento e massa dos componentes ao longo do ciclo de vida das plantas. As variáveis morfogênicas como número de folhas em expansão e maduras, assim como a taxa de alongamento das folhas, as proporções de folhas verdes e a relação entre folhas verdes e colmo, também tiveram elevado grau de correlação com os modelos avaliados, contudo no sentido negativo. Caracterizando a diminuição das características relacionadas ao componente foliar das plantas ao longo do ciclo das plantas em detrimento da senescência de folhas e alongamento de colmo.

As variáveis que tiveram baixa correlação linear, independente do sentido da relação foram, área foliar instantânea e massas de folhas verdes e colmos reprodutivos. As variáveis cujos coeficientes de correlação foram não significativos como, o número de folhas senescentes, taxa de senescência de folhas e proporção de colmos reprodutivos demonstram pouca ou

nenhuma relação existente com as variáveis ambientais compreendidas na estimativa das diferentes escalas temporais utilizadas na definição das escalas temporais de desenvolvimento.

3.5 Curvas de crescimento

Os parâmetros do modelo Logístico ajustado para cada componente morfológico utilizando diferentes escalas temporais estão presentes na TABELA 2.

TABELA 2 – Parâmetros do modelo Logístico não-linear para as características morfológicas de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento.

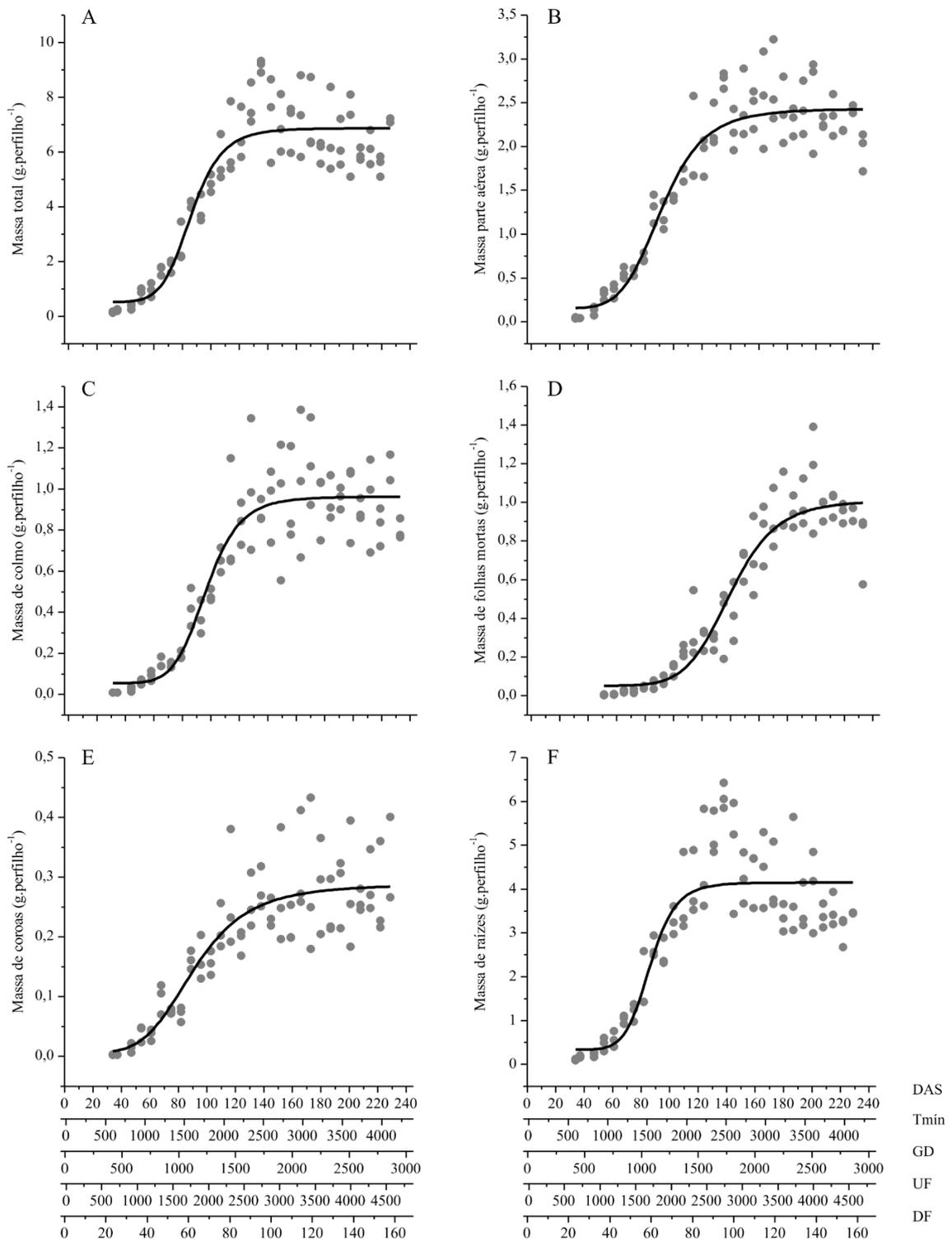
Variáveis	Escala	Parâmetros			R^2_{aj}	BIC	Ranking (BIC)
		α	β	γ			
Massa total do perfilho	DAS	6,868	84,08	0,076	0,9936	255,04	5
	T _{mín}	6,867	1467,48	0,004	0,9959	254,24	4
	GD	6,860	996,89	0,006	0,9983	254,00	2
	UF*	6,851	1514,23	0,004	0,9998	253,51	1
	DF	6,860	55,34	0,106	0,9981	254,03	3
Parte aérea	DAS	2,413	90,02	0,060	0,9993	38,53	3
	T _{mín}	2,411	1577,87	0,003	0,9999	38,90	4
	GD*	2,409	1076,00	0,005	0,9999	38,35	1
	UF	2,405	1648,50	0,003	0,9988	38,90	5
	DF	2,409	59,75	0,082	0,9999	38,35	2
Massa de colmo	DAS	0,960	95,15	0,074	0,9939	-69,75	5
	T _{mín}	0,960	1671,74	0,004	0,9959	-70,36	2
	GD	0,960	1141,44	0,006	0,9982	-70,35	3
	UF*	0,959	1755,66	0,003	0,9997	-70,64	1
	DF	0,960	63,40	0,099	0,9981	-70,34	4
Massa de folhas mortas	DAS*	1,000	137,74	0,056	0,9911	-93,90	1
	T _{mín}	1,005	2484,75	0,003	0,9909	-93,17	5
	GD	1,006	1720,01	0,004	0,9916	-93,67	2
	UF	1,014	2746,40	0,002	0,9921	-93,64	3
	DF	1,007	95,58	0,075	0,9913	-93,52	4
Massa de coroas	DAS*	0,278	87,86	0,054	0,9980	-244,49	1
	T _{mín}	0,278	1537,21	0,003	0,9973	-244,42	2
	GD	0,277	1047,81	0,004	0,9961	-244,12	4
	UF	0,276	1601,15	0,003	0,9940	-243,65	5
	DF	0,277	58,18	0,077	0,9961	-244,14	3
Massa de raízes	DAS	4,155	81,30	0,088	0,9884	220,46	5
	T _{mín}	4,156	1416,06	0,005	0,9917	219,99	4
	GD	4,154	960,81	0,007	0,9997	219,64	2
	UF*	4,152	1454,70	0,004	0,9984	219,12	1
	DF	4,154	53,33	0,123	0,9951	219,67	3

* Escala temporal na qual ocorreu melhor ajuste do modelo Logístico, segundo critério de informação Bayesiano (BIC); Todos os parâmetros foram significativos ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste t.

Os modelos ajustados foram semelhantes para os critérios de seleção de modelos R^2_{aj} e BIC. Os parâmetros de estabilização da produção do componente morfológico (α) também foram semelhantes independente da escala temporal. Já os parâmetros (β), que relaciona o momento no eixo x, em que 50% das massas totais (α) são alcançadas, e o parâmetro (γ) que representa a velocidade relativa com que os incrementos em massa ocorrem, variaram em função da amplitude das escalas geradas pelas escalas temporais.

As escalas temporais que tiveram melhor ajuste (TABELA 2) para os modelos de predição de acúmulo de massa para os diferentes componentes morfológicos estão representados na FIGURA 12. Todo incremento de massa ao longo do tempo seguiu um padrão sigmóide. No início do crescimento há maior homogeneidade dos dados que se dispersam mais com o passar do tempo, o que demonstra que desenvolvimento vegetativo ocorre de forma independente. Houve maior dispersão dos dados quando as plantas alcançaram o estágio reprodutivo. O modelo Logístico descreve bem o crescimento da maior parte dos componentes morfológicos, no entanto, a massa de raízes reduz após 140 DAS (FIGURA 12-F) o que ocasiona a redução da massa de forragem total após esse mesmo período (FIGURA 12-A). O modelo Logístico não é capaz de modelar essa variação negativa de acúmulo de massa de raízes.

FIGURA 12 – Ajuste do modelo Logístico não-linear para as características morfológicas de perfilhos principais de plantas de capim Marandu, analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento.



Legenda: Massa total do perfilho (A); massa de parte aérea (B); massa de colmo (C); massa de folhas mortas (D); massa de coroas (E); e massa de raízes (F), analisadas sob diferentes escalas temporais de desenvolvimento: DAS, dias após sementeira; T_{min}, temperatura mínima acumulada; GD, graus-dia acumulado; UF, unidade fototérmica acumulada; DF, dia fisiológico acumulado.

4 DISCUSSÃO

4.1 *Emergência das plântulas*

Por meio dos resultados das avaliações de germinabilidade ou porcentagem de plântulas emergidas por dia (%E) associados ao padrão de resposta da velocidade de emergência (IVE), é possível afirmar que as plantas de capim Marandu, tiveram grande capacidade de se estabelecer no ambiente. A partir da boa disponibilidade de nutrientes no solo e ausência de déficit hídrico, as plântulas rapidamente emergiram e se estabeleceram. Mesmo com 70 % de emergência ainda seria possível a boa formação de uma pastagem. Tal resposta comprova a habilidade de estabelecimento e cobertura do solo desta espécie forrageira, além da elevada capacidade de competição com espécies invasoras (Fonseca *et al.*, 2010).

A utilização de escalas temporais que contemplem variáveis ambientais são escalas que agregam significado fisiológico a unidade padrão de “tempo” de desenvolvimento das plantas. A sua aplicação no estudo e caracterização dos padrões de resposta das variáveis relacionadas com a emergência de plântulas auxilia a interpretação e favorece a extrapolação dos resultados obtidos para diversos cenários e ambientes de produção. Neste sentido, escalas como o GD que leva em consideração a temperatura basal de desenvolvimento das plantas e a temperatura ambiente e escalas simples baseado no somatório das temperaturas mínimas do ambiente ($T_{\text{mín}}$), podem ser adotados para estimar o prazo de emergência das plântulas em diferentes estações do ano e localidades.

4.2 *Componentes morfogênicos e morfofisiológicos*

Os padrões de resposta de desenvolvimento das plantas podem ser analisados sob diferentes perspectivas. Analisando-se os componentes morfogênicos e morfofisiológicos sob diferentes escalas temporais ou ainda sob o ponto de vista das fases fenológicas de desenvolvimento. Modificações significativas na composição e estrutura das espécies forrageiras são evidenciadas pelas transições entre os estádios vegetativo e reprodutivo principalmente. Este trabalho foi delineado para relacionar a dinâmica de fluxo de tecidos as adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas de capim Marandu.

Durante os estádios fenológicos subsequentes a emergência, as plantas claramente direcionam a maior parte de fotoassimilados em órgãos fundamentais para obtenção de mais energia. É durante os estádios vegetativos de desenvolvimento que ocorrem as maiores

elevações em AF ou seja, aparato fotossintético. Essa priorização, favorece o crescimento das plantas e garante o seu estabelecimento no ambiente. Durante essa fase inicial de crescimento além do direcionamento para produção de folhas, a produção de componentes e tecidos de reservas é também priorizada, a exemplo da produção de raízes e coroas dispostos abaixo do nível do solo (FIGURA 8).

O estágio vegetativo de desenvolvimento ou período juvenil, caracterizado pela emissão consecutiva de folhas em um mesmo perfilho, pôde ser verificado neste ensaio até a 13ª folha, delimitado pelo período de transição entre os estádios vegetativo e reprodutivo das plantas. Neste período o NFV médio mantidas no perfilho principal foi de 6,5 folhas enquanto o NFS não ultrapassou a média de 2 folhas por perfilho (FIGURA 10-F). A duração deste estágio pode ser definido por meio do número de folhas acumulado durante esta fase e a TApF foi de 0,09 folhas perfilho dia⁻¹ semelhante a encontrada por (Santos *et al.*, 2011).

Durante este estágio de desenvolvimento, os perfilhos avaliados apresentaram massa e área foliar (AF) crescentes e alcançaram níveis máximos, 0,93 g perfilho⁻¹ e 94,5 cm², respectivamente durante o seu ciclo de vida (FIGURA 8 e 9). Enquanto as médias das TSF (1,12) e TAIC apresentavam-se reduzidas, cerca de 0,3 cm perfilho dia⁻¹ (FIGURA 10). Caracterizando assim, a fase de crescimento linear das plantas, onde a energia produzida pela atividade fotossintética supera as demandas energéticas requeridas pelos processos de senescência e respiração (Hunt, 1982).

Ainda no decorrer do período vegetativo, apesar da reduzida TAIC quando comparada a TAIF, o incremento em massa de colmos e folhas foram proporcionais e uniformes (FIGURA 10-C e 8-C). Elevadas AF e RPF, sugerem o incremento da capacidade fotossintética das plantas (Benincasa, 1988) e está relacionado ao constante direcionamento de fotoassimilados na massa de folhas em detrimento de outros componentes morfológicos observado durante este período (FIGURA 9).

Ao longo do período vegetativo, desde a sementeira, existe uma dinâmica relacionada a velocidade de aparecimento de novas folhas e o tamanho das lâminas foliares. Onde as primeiras folhas são rapidamente emitidas e apresentam laminas foliares pequenas e apresentam baixa DVF. As folhas emitidas durante o período médio do estágio vegetativo são aquelas que detêm o maior tamanho em comprimento e apresentam maior DVF. Seguido das últimas folhas emitidas, de dimensões reduzidas e menor DVF. Neste sentido, a eficiência fotossintética dos perfilhos apesar de não ter sido avaliada, apresenta padrão de resposta correlacionado com a massa de folhas ao longo dos estádios fenológicos de desenvolvimento.

A partir do momento em que a capacidade fotossintética de cada folha reduz em função do aumento da área foliar, a DVF auxilia na manutenção do processo fotossintético dos perfilhos. Na maioria dos trabalhos contendo fluxo de tecidos em gramíneas tropicais, as avaliações são realizadas nas estações do ano, obtendo como resultado final apenas a taxa média da duração (Difante *et al.*, 2011; Magalhães *et al.*, 2017). No presente estudo, é possível observar que ao longo das fases fenológicas ocorre aumento da duração das folhas mesmo não havendo grandes variações no clima e no fotoperíodo (FIGURA 1). Isso demonstra que ao longo do desenvolvimento do perfilho há preservação das folhas em função do maior gasto de energia para manutenção como a respiração de manutenção.

A relação entre as massas dos componentes folha:colmo, apresentaram-se linearmente decrescentes até o final do ciclo de vida dos perfilhos avaliados. Durante os estádios vegetativos, o acúmulo de massa de folhas mortas (FIGURA 8-D) diretamente relacionado a TSF se manteve bastante reduzido ($0,4 \text{ g perfilho}^{-1}$). A associação entre essas variáveis é indicativa do período de transição entre os estádios vegetativos e reprodutivo das plantas. Coincidentemente a esta transição foram observadas a estabilização do número de folhas por perfilho, finalização da expansão foliar, alongamento de colmos e diferenciação dos colmos vegetativos a reprodutivos (FIGURAS 8 e 10).

Definido geneticamente, o número de folhas emitidas por um perfilho ao longo do ciclo de vida (Hodgson, 1990), pôde ser caracterizado pela redução da TApF, pela elevação do filocrono e DVF. Após a finalização da expansão foliar avaliada pela TAIF, os processos de diferenciação de colmos vegetativos e reprodutivos foram desencadeados. Ao mesmo tempo foi verificado por meio da TAIC, os maiores incrementos em comprimento característico da fase de alongamento colmos verificado em gramíneas tropicais (Sbrissia e Silva, 2001).

Os padrões de crescimento teóricos (Parsons *et al.*, 1983) preveem durante a transição entre os estádios de desenvolvimento a mobilização dos tecidos de reserva das plantas para a formação das sementes principalmente (Taiz *et al.*, 2017). Essa mobilização pôde ser evidenciada pela redução da massa de raízes e folhas, AF em detrimento da diminuição do número de folhas vivas por perfilho concomitantemente a estabilização do alongamento de colmo e formação de sementes (FIGURA 8-E e F, 10-F).

O padrão de resposta de massa de folhas e área foliar podem ser utilizados como indicativo de realização do primeiro corte ou desfolha, durante a fase de implantação de pastagens. Nessa fase são reportados, valores máximos de área foliar e o mínimo de senescência de folhas por perfilho. A realização de pastejo de baixa intensidade nesse momento, favorece a recuperação das plantas no pós-pastejo devido a manutenção do elevado IAF residual. A

exploração do recurso forrageiro neste contexto estimula a rebrotação das plantas e ao mesmo tempo o aparecimento de novos perfilhos.

As dimensões lineares de altura indeformada das plantas (FIGURA 8-B) apresentaram padrão de resposta variável ao longo do tempo. Devido ao hábito de crescimento inicialmente prostrado desta espécie forrageira. Durante a implantação de pastagens, é possível observar padrão de crescimento similar quando são utilizadas baixa taxa de semeadura ou quando ocorre redução do número de sementes emergidas. Como estratégia de garantir a ocupação e o estabelecimento as gramíneas primariamente se espalham superficialmente para depois ganhar altura, a partir do momento que ocorre competição por luz (Fonseca *et al.*, 2010). As dimensões de largura das plantas se mantiveram uniforme ao longo do tempo, sendo função principalmente do comprimento e projeção das lâminas foliares.

A RAF pode ser entendida como a área de folha disponível para realização da fotossíntese e retrata o aumento da eficiência fotossintética com o avançar dos estádios de desenvolvimento (FIGURA 9-B). Conforme o perfilho ganha massa, a área foliar disponível para fotossíntese diminui, mas a eficiência fotossintética aumenta (Lara e Pedreira, 2011). A RPF é uma variável de caráter fisiológico que representa a fração de matéria seca produzida pela fotossíntese que fica retida nas folhas, ou seja, não é utilizada na respiração e nem exportada para outros componentes da planta (FIGURA 9-C). O padrão de resposta dessa variável representa, portanto, a diminuição do investimento por meio da atividade fotossintética em massa de folhas, indicando o redirecionamento de fotoassimilados para a formação de colmo reprodutivo e sementes.

O padrão de resposta da AFE, retrata a adaptação das primeiras folhas as condições de pleno sol, resultado da elevada necessidade de interceptação de luz e realização de fotossíntese, durante os estádios vegetativos iniciais (FIGURA 9-D). Sua diminuição ao longo do tempo, pode ser entendido como redução da capacidade de realização de fotossíntese em detrimento da diminuição da área foliar total disponível.

4.3 Análise de correlação

As escalas temporais mais clássicas de predição de produção vegetal utilizadas neste estudo, utilizam-se principalmente dos dados de temperatura do ar e fotoperíodo. Em função da pequena amplitude de variação destes dados meteorológicos durante o período experimental, quando comparados entre si, as escalas temporais foram consideradas altamente correlacionadas. Dessa forma, não foi possível evidenciar a escala mais precisa para a

estimativa dos padrões de resposta de crescimento e desenvolvimento das plantas durante o período experimental. Com base nisso, a representação temporal do crescimento e do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo pode ser estimada por meio de qualquer escala temporal. Usando um princípio reducionista, a escala de cálculo mais simplista permite a simulação acurada do componente vegetal, sendo assim, as escalas temporais clássicas mais difundidas para reportar e discutir os dados obtidos seriam: T_{\min} e GD, por necessitarem de poucos dados meteorológicos para a estimativa do modelo. A variável dias após semeadura (DAS, resultado do número de dias acumulados após a semeadura) apesar de representar bem a produção vegetal neste estudo, não é aplicável à outras localidades. Um teste do modelo em diferentes locais poderia representar melhor a acurácia de cada escala temporal, contudo as mesmas condições de produção deveriam ser implementadas.

A avaliação de correlação de *Pearson* expressa além dos resultados de intensidade da relação linear entre as variáveis analisadas, o sentido dessas relações, positivas, quando uma variável aumenta ou diminui ao mesmo tempo, ou negativas, quando uma variável aumenta em detrimento da diminuição de outra e vice-versa. E nos casos de baixa intensidade de correlação ou ainda, ausência de correlação, entende-se que não há dependência linear entre as variáveis analisadas, ou que estas podem estar relacionadas a outros fatores não considerados em estudo, como por exemplo, aqueles fatores relacionados as características genéticas das plantas.

Variáveis como o comprimento do colmo, a massa e proporção de folhas mortas (TABELA 1) apresentaram elevada correlação positiva, caracterizando o ciclo de vida normal dos organismos vegetais. Enquanto as variáveis morfogênicas como número de folhas em expansão e maduras, taxa de alongamento das folhas, proporção de folhas verdes e a relação entre folhas verdes e colmo, altamente correlacionadas com as escalas temporais, entretanto apresentaram correlação negativa, caracterizando diminuição com o avançar do ciclo de vida das plantas (Benincasa, 1988).

As variáveis que apresentaram baixa correlação linear, independente do sentido da relação, como área foliar instantânea e massas de folhas verdes e colmos reprodutivos. Ou aquelas que foram não significativas, como o número de folhas senescentes, taxa de senescência de folhas, proporção de colmos reprodutivos. São variáveis que destacam provável relação não linear entre estas e as escalas de estimativa do crescimento utilizadas, evidenciando que outros fatores ambientais ou ainda fatores genéticos, são determinantes do padrão de resposta destas variáveis relacionadas ao crescimento.

Variáveis como a massa e a proporção de sementes produzidas por perfilho foram mais bem correlacionadas com a escala temporal que considerou as variações no fotoperíodo (Araújo

et al., 2018). Como a escala determinada pelo acúmulo de UF, que considera em seu cálculo o comprimento do dia, um fator ambiental relacionado com a indução do aparecimento de colmos reprodutivos e produção de sementes.

Os estádios fenológicos também influenciam nas correlações. Índices morfogênicos como a taxa de alongamento de colmo, pode ser resultado de características genéticas quando no estágio vegetativo, mas a taxa muda rapidamente em função da evolução dos estádios fenológicos de desenvolvimento e, portanto, apresentaram correlação não significativa.

4.4 Curvas de crescimento

A avaliação funcional do crescimento realizada por meio da análise do ajuste das escalas temporais utilizadas para predição do acúmulo de massa seca dos diferentes componentes vegetativos foi eficiente. Por meio de modelos não-lineares de crescimento do tipo Logístico, os ajustes apresentaram elevados valores de R^2_{aj} e valores semelhantes de BIC. Confirmando a elevada correlação linear existente entre as escalas temporais de desenvolvimento vegetal, observado durante o período experimental.

Os parâmetros γ estimados para os modelos de predição de massa total e aérea dos perfilhos (TABELA 2) exprimem a taxa média relativa de incremento em massa ao longo do tempo. Comparando-se os valores destes parâmetros estimados com base na escala de DAS (γ , 0,076 g g dia⁻¹ e 0,060 g g dia⁻¹), aos índices de crescimento relativo, obtidos por meio da análise clássica de desenvolvimento vegetal, como a TCR (0,02107 g g dia⁻¹ e 0,02072 g g dia⁻¹) determinados para massa total e de parte aérea respectivamente, fica evidente a diferença entre as estimativas. Indicando que a linearização das taxas de acúmulo relativo em massa das plantas subestima o crescimento diário das plantas. Ao passo que a abordagem funcional do crescimento por meio do ajuste de modelos não lineares favorece a definição das taxas de crescimento das plantas em qualquer fase de desenvolvimento (Silva *et al.*, 2000).

A organização de todas as informações e variáveis relacionadas ao crescimento e desenvolvimento vegetal neste estudo, demonstrou-se suficiente para a descrição e caracterização do crescimento de plantas de capim Marandu. Os padrões de respostas teóricos acerca da dinâmica de crescimento das espécies de gramíneas forrageiras (Parsons *et al.*, 1983), tornaram-se evidentes ao longo do tempo, definido aqui em diferentes escalas temporais. Associadas umas às outras, as informações geradas neste estudo poderão ser utilizadas no desenvolvimento e análise de novas técnicas, com o objetivo de otimizar a implantação, o manejo e a colheita desta gramínea forrageira nos mais variados sistemas de produção.

5 CONCLUSÕES

O crescimento e as fases de desenvolvimento dos perfilhos de capim Marandu pôde ser caracterizado por meio do relacionamento das abordagens da análise de crescimento. Relacionar as variáveis morfogênicas e estruturais obtidas por meio do fluxo de tecidos, com as fases de desenvolvimento fenológico, possibilitou descrever a dinâmica de acúmulo dos componentes morfológicos das plantas em diferentes escalas temporais utilizadas (DAS, $T_{\text{mín}}$, GD, UF e DF). Essas escalas permitem o entendimento do crescimento vegetativo em diferentes localidades auxiliando no planejamento de uso estratégico dessas plantas.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, L. C. D. et al. Key factors that influence for seasonal production of Guinea grass. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 3, p. 191-196, 2018. ISSN 0103-9016.

BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. **Estatística: para cursos de engenharia e informática**. Atlas São Paulo, 2004.

BEADLE, C. Growth analysis. In: (Ed.). **Photosynthesis and Production in a Changing Environment**: Springer, 1993. p.36-46.

BENINCASA, M. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Funep, 1988.

BROUGHAM, R. Pasture growth rate studies in relation to grazing management. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, 1957. p.46-55.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1363-1371, 2011. ISSN 1678-3921.

CASAGRANDE, D. R. et al. Características morfogênicas e estruturais do capim Marandu manejado sob pastejo intermitente com diferentes ofertas de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 2108-2115, 2010. ISSN 1516-3598.

CRUZ, P. et al. Modelos empíricos para a estimativa de matéria seca de cv. Marandu utilizando variáveis agroclimáticas. II Validação dos modelos. Embrapa Pecuária Sudeste-Resumo em anais de congresso (ALICE), 2010, In: JORNADA CIENTÍFICA-EMBRAPA SÃO CARLOS, 2., 2010, São Carlos, SP. Anais... São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária: Embrapa Pecuária Sudeste, 2010.

DE SÁ JÚNIOR, A. et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, n. 1-2, p. 1-7, 2012. ISSN 0177-798X.

DIFANTE, G. D. S. et al. Características morfogênicas e estruturais do capim Marandu submetido a combinações de alturas e intervalos de corte. **Embrapa Gado de Corte-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011.

DOURADO NETO, D. Modelos fitotécnicos referentes à cultura de milho. **Piracicaba: ESALQ/USP**, 1999.

FOLONI, J. S. S. et al. Emergência de plântulas de *Brachiaria brizantha* influenciada por escarificação das sementes, uso de adubo e profundidade de semeadura. **Científica**, v. 37, n. 2, p. 89-97, 2009. ISSN 1984-5529.

FONSECA, D.; SANTOS, M.; MARTUSCELLO, J. Importância das forrageiras no sistema de produção. **Plantas forrageiras. Viçosa: UFV**, p. 13-29, 2010.

HODGSON, J. **Grazing management. Science into practice.** Longman Group UK Ltd., 1990. ISBN 0582450101.

HUNT, R. **Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis.** Edward Arnold Ltd., 1982. ISBN 0713128445.

JONES, J. W. et al. The DSSAT cropping system model. **European journal of agronomy**, v. 18, n. 3, p. 235-265, 2003. ISSN 1161-0301.

KAZMIER, L. J. **Estatística Aplicada à Administração e Economia-4.** Bookman Editora, 2006. ISBN 8577802477.

LACA, E.; LEMAIRE, G. Measuring sward structure. **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**, p. 103-121, 2000. ISSN 0851993516.

LARA, M. A. S. **Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de Brachiaria spp. às variações estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo.** 2007. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz

LARA, M. A. S.; PEDREIRA, C. G. S. Respostas morfogênicas e estruturais de dosséis de espécies de Braquiária à intensidade de desfolhação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 7, p. 760-767, 2011. ISSN 1678-3921.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Efficiency of Herbage Utilization. **Grassland ecophysiology and grazing ecology**, p. 265, 2000. ISSN 0851999409.

LEMAIRE, G. et al. The ecology and management of grazing systems. **The ecology and management of grazing systems**, 1996.

MAGALHÃES, A.; FERRI, M. Análise quantitativa do crescimento. **Fisiologia vegetal**, v. 1, n. 2, p. 333-350, 1979.

MAGALHÃES, J. A. et al. Características morfogênicas e estruturais do capim Marandu sob irrigação e adubação. **HOLOS**, v. 8, p. 113-124, 2017. ISSN 1807-1600.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. ISSN 0011-183X.

MOORE, K. et al. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. **Agronomy Journal**, v. 83, n. 6, p. 1073-1077, 1991. ISSN 0002-1962.

MOTT, G.; MOORE, J. Evaluating forage production. 1985.

OMETTO, J. **Bioclimatología Vegetal**, Editorial Agronómica Ceres Ltda. **Sao Paulo**, 1981.

PARSONS, A. et al. The physiology of grass production under grazing. II. Photosynthesis, crop growth and animal intake of continuously-grazed swards. **Journal of applied ecology**, p. 127-139, 1983. ISSN 0021-8901.

PARTON, W. J.; LOGAN, J. A. A model for diurnal variation in soil and air temperature. **Agricultural Meteorology**, v. 23, p. 205-216, 1981. ISSN 0002-1571.

PEDRO JUNIOR, M. et al. Aptidão climática para plantas forrageiras no Estado de São Paulo. **Campinas: Instituto Agrônomo**, 1990.

PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. **Tópicos em Ciências Agrárias**, p. 38, 2009.

PEQUENO, D. N. L.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J. Simulating forage production of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO-Perennial Forage model. **Crop & Pasture Science**, v. 65, n. 12, p. 1335-1348, 2014. ISSN 1836-0947.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Simple agrometeorological models for estimating Guineagrass yield in Southeast Brazil. **International journal of biometeorology**, v. 58, n. 7, p. 1479-1487, 2014. ISSN 0020-7128.

RADFORD, P. Growth analysis formulae-their use and abuse. **Crop science**, v. 7, n. 3, p. 171-175, 1967. ISSN 0011-183X.

RAIJ, B. V. et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 285 p. **Boletim técnico**, v. 100, 1997.

SANTOS, M. E. R. et al. Capim braquiária sob lotação contínua e com altura única ou variável durante as estações do ano: morfogênese e dinâmica de tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 11, p. 2323-2331, 2011.

SBRISSIA, A.; SILVA, S. D. O ecossistema de pastagens e a produção animal. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 731-754, 2001.

SEBER, G.; WILD, C. Nonlinear regression. 1989. **Search PubMed**, p. 325-365, 1989.

SILVA, L.; BELTRÃO, N. D. M.; AMORIM NETO, M. D. S. Análise do crescimento de comunidades vegetais. **Embrapa Algodão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2000.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. ISBN 8582713673.

TONATO, F. **Desenvolvimento e avaliação de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais para apoio à tomada de decisão**. 2009. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz

VILLA NOVA, N.; CARRETEIRO, M.; SCARDUA, R. Um modelo de avaliação do crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 1983, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia Campinas. p.31-48.

CAPÍTULO 3

CALIBRAÇÃO DO MODELO CROPGRO *FORAGE MODEL* PARA O ESTABELECIMENTO DE PLANTAS DE *UROCHLOA BRIZANTHA* CV. MARANDU

RESUMO

O modelo CROPGRO *Forage Model* vem sendo calibrado no Brasil com dados de gramíneas tropicais desde 2009, no entanto ainda não foram parametrizados os dados referentes ao crescimento inicial das forrageiras após semeadura. Objetivou-se com este trabalho utilizar a caracterização e descrição fenológica do crescimento e desenvolvimento de plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu para aprimorar as simulações do modelo CROPGRO *Forage Model*, por meio de modificações nos coeficientes de parâmetros relacionados ao crescimento inicial. Foi conduzido um experimento especificamente delineado para coleta dos dados de crescimento vegetal, onde as plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 6 dm⁻³ de substrato corrigido para acidez e adubado conforme recomendação de implantação de pastagens. A adubação de manutenção recomendada e a irrigação foram realizadas de maneira homogênea em todos os vasos. Previamente selecionadas, 30 sementes foram enterradas de maneira equidistante a mesma profundidade por vaso. Foram deixadas 2 plantas médias por vaso, após o período de desbaste. Os vasos eram irrigados diariamente e fertilizados a cada duas semanas. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, foram utilizados 90 vasos selecionando 3 repetições (vasos) por avaliação em 30 diferentes épocas após semeadura. Todos os estádios fenológicos foram identificados ao longo do ciclo de vida das plantas, compreendendo os estádios de emergência, desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e floral. Durante o crescimento, a cada época após semeadura, foram realizadas avaliações destrutivas semanais e separações dos componentes morfológicos das plantas em folhas, colmo, folhas mortas, coroas e raízes. A área de folhas verdes por vaso foi determinada utilizando-se integrador de área foliar de bancada. Os componentes morfológicos foram pesados após secagem em estufa a 55°C durante 72 horas. Os dados experimentais relacionados a produção de massa seca total de cada componente morfológico assim como os dados e informações relacionadas as condições iniciais de semeadura e manejo da cultura e aquelas relacionadas as variáveis meteorológicas, foram organizadas em arquivos específicos de entrada de dados requerido pela plataforma DSSAT. A última versão publicada do modelo CROPGRO *Forage Model* foi utilizado como ponto de partida para as simulações e calibração dos coeficientes dos parâmetros do modelo relacionados a ocorrência e ao tempo de duração dos estádios fenológicos, da partição dos componentes morfológicos entre folhas, colmos, órgãos de reserva e raízes, durante o estágio vegetativo e reprodutivo de desenvolvimento, outros relacionados as taxas de senescência de folhas e raízes e altura das plantas. As simulações utilizando-se os valores iniciais dos coeficientes dos parâmetros superestimou os valores observados. Após a calibração, a performance geral das simulações provou satisfatoriamente a capacidade do modelo em simular a dinâmica de crescimento e desenvolvimento inicial das plantas avaliadas, mesmo considerando a necessidade de novas avaliações e validação do modelo para recomendação de sua utilização como ferramenta de auxílio a tomada de decisões.

Palavras-chave: *Brachiaria*. Forragem. Fenologia. Modelagem. Simulação.

ABSTRACT

The CROPGRO Forage Model has been calibrated in Brazil with data from tropical grasses since 2009, however the data regarding to the initial growth of forages after sowing still have not been parameterized. The objective of this work was to use the phenological characterization and description of the growth and development of plants of *Urochloa brizantha* cv. Marandu to improve the response of the CROPGRO *Forage Model* simulations, through modifications in the coefficients of parameters related to initial growth. A specific experiment designed was conducted to collect the plant growth data, where the plants were cultivated in pots with 6 dm³ capacity of corrected and fertilized substrate as recommended for sowing. Fertilization and maintenance irrigation were performed throughout the experiment for the homogeneity of growth conditions. Seeds were used per pot buried at 25 mm depth. After thinning two plants were maintained per pot. The experimental design was completely randomized, using 90 pots and three replicates per evaluation in 30 times after sowing. In addition to seedling emergence and all phenological stages were identified throughout the plant life cycle, including vegetative, reproductive and floral development. During grow, weekly destructive pots evaluations were performed with separations of the plant morphological components in leaves, stem, dead leaves, crowns and roots. The leaf area was determined and the morphological components per pot were dried separately in a forced-draft oven at 55 °C for 72 hours and then weighed. The experimental data related to the production of total dry mass, of each morphological component as well as the data and information related to the initial conditions of planting and crop management and those related to the meteorological variables during the experimental period, were organized into specific input files required by the DSSAT platform. The last published version of the CROPGRO *Forage Model* was used as the starting point for the simulations. Were calibrated parameters related to the phenological stages, the partitioning of the morphological components between leaves, stems, reserve and roots, during the vegetative and reproductive stage of development, and others related to leaf and root senescence rates. The simulations using the default model overestimated the observed values. After the calibration, the overall performance of the simulations satisfactorily proved the ability of the model to simulate the growth dynamics and initial development of the evaluated plants, even considering the need for new evaluations and validation of the model.

Keywords: *Brachiaria*. Forage. Phenology. Modeling. Simulation.

1 INTRODUÇÃO

As plantas forrageiras do gênero *Urochloa* estão entre as gramíneas mais utilizadas como recurso forrageiro em sistemas pastoris tropicais. No Brasil destaca-se o uso do ecótipo *Urochloa brizantha* cv. Marandu, caracterizado pela tolerância a solos ácidos e de baixa fertilidade, com elevado acúmulo de forragem e valor nutritivo quando bem manejado (Nunes *et al.*, 1984).

Entender o crescimento dessas plantas é essencial para a melhor compreensão das adaptações morfofisiológicas quando em ambientes distintos e sob condições variadas de manejo. Os modelos de culturas são úteis para simular a interação entre as dinâmicas de produção vegetal e dos solos em resposta as variações climáticas e de manejo. A plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, <https://dssat.net/>), reúne atualmente 42 modelos mecanicistas para simulação de diferentes culturas, por meio de estrutura modular que integra informações relacionadas à fenologia, fotossíntese, balanço de nitrogênio e carbono, partição de componentes ao longo do crescimento das plantas, além de módulos específicos para as informações e caracterização do solo, clima, manejo e incidência de pragas e doenças.

Mais especificamente o modelo desenhado para a produção de forragens perenes, o CROPGRO *Forage Model*, desenvolvido a partir do modelo de culturas anuais por Rymph (2004), permite a simulação de sucessivos eventos de pastejo e rebrotação considerando os efeitos fisiológicos, de armazenamento e utilização de reservas de nitrogênio e carbono pelas plantas. O modelo vem sendo calibrado para simulação de espécies forrageiras de clima temperado como *Paspalum notatum* Flüggé cv. Pensacola (Rymph *et al.*, 2004) e tropicais como *Urochloa brizantha* Stapf. cv. Xaraés (Pedreira *et al.*, 2011) e cv. Marandu (Pequeno *et al.*, 2014), além do *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia (Lara *et al.*, 2012).

A maioria dessas adaptações e parametrização dos modelos de simulação voltados para a espécie de *U. brizantha* realizadas consideraram informações morfológicas e fisiológicas de um dossel já estabelecido, como características relacionadas a área foliar específica, taxas fotossintéticas, partição e composição de nutrientes, sem considerar as fases pós semeadura dessas gramíneas. Dessa forma, ainda não se sabe o tempo requerido para o desenvolvimento dos diferentes estádios fenológicos como emergência e florescimento ou a aceleração do crescimento o que auxiliaria na determinação do padrão de resposta de partição dos componentes morfológicos, da duração do crescimento e do acúmulo de massa seca pelas plantas.

Objetivou-se com este trabalho, caracterizar os estádios de desenvolvimento inicial de capim Marandu desde a fase de emergência até a maturidade fisiológica e senescência das plantas; determinar e adaptar os parâmetros que definem os principais estádios fenológicos de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo e calibrar o crescimento e desenvolvimento das plantas para melhorar a eficiência e robustez das simulações realizadas pelo modelo CROPGRO *Forage Model*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta de dados e análise de crescimento

Os dados utilizados na adaptação do modelo CROPGRO *Forage Model* foram obtidos a partir de um experimento delineado para análise de crescimento de plantas de capim Marandu, conduzido no campo experimental do setor de forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, situado no município de Lavras, MG (21°14' de latitude Sul, 44°58' de longitude Oeste e 919 metros de altitude), como descrito no capítulo 2.

As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 6 dm³ de substrato. O substrato de cultivo utilizado foi composto por uma mistura de Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa destorroado, coletado na camada de 0 a 20 e areia em proporções iguais, ambos peneirados a 10 e 6 mm respectivamente. Uma amostra do substrato de cultivo foi enviada para análise, cuja caracterização química foi: pH = 6,5; matéria orgânica = 6,1 g dm⁻³; P = 0,87 mg dm⁻³; K = 79,8 mg dm⁻³; Ca = 0,38 cmol_cdm⁻³; Mg = 0,11 cmol_cdm⁻³; e H + AL = 1,07 cmol_cdm⁻³. A partir desse resultado, foi realizada a correção da acidez e adequação da fertilidade de acordo com o boletim Técnico 100 do IAC de São Paulo (Raij *et al.*, 1997), incorporando o equivalente a 425 kg ha⁻¹ (ou 212,5 mg dm⁻³) de calcário dolomítico; e 40 kg ha⁻¹ (ou 20 mg dm⁻³) de fósforo (pentóxido de fósforo) e 20 kg ha⁻¹ (ou 10 mg dm⁻³) de enxofre (superfosfato simples), 3 kg ha⁻¹ (ou 1,5 mg dm⁻³) de zinco (sulfato de zinco) como fertilização para o estabelecimento das plantas. Os vasos foram preenchidos com o substrato e pesados, garantindo a mesma compactação e densidade do solo (1,31 g cm⁻³).

As sementes de capim Marandu foram adquiridas no comércio local. Para melhor germinação e uniformização do crescimento das plantas nos vasos, as melhores sementes de uma partilha do lote foram selecionadas por meio de padronização visual, retirando as impurezas e escolhendo as sementes de mesmo tamanho e com potencial de germinação. A semeadura foi realizada no dia 21 de setembro de 2016, distribuindo manualmente 30 sementes por vaso de forma equidistante utilizando um molde que marcava a profundidade de 25 mm (Foloni *et al.*, 2009).

O conteúdo de água dos vasos foi mensurado diariamente ao longo de todo o período experimental, a profundidade de 0 a 10 cm, por meio de sensores de umidade do equipamento ML2 (Theta probe - Delta T). Os vasos foram irrigados sempre que necessário, de forma manual com o auxílio de um Becker graduado, para manutenção 65% de água disponível, na porção de solo amostrada. A adubação de manutenção foi realizada a cada 15 dias com o equivalente a 25

kg ha⁻¹ (ou 12,5 mg dm⁻³) de nitrogênio na forma de sulfato de amônio, em cobertura. A adubação de cobertura iniciou após quarenta dias da emergência completa de 50% das plantas.

Foram utilizados 90 vasos no experimento distribuídos na área experimental distanciados 34 cm entre os vasos e 38 cm entre as fileiras de vasos. Os vasos foram separados em 3 lotes sendo utilizados como repetições na análise dos dados. O período experimental foi de 233 dias iniciando no dia 21/09/2016 até o dia 12/05/2017. Durante a emergência, foram realizados desbastes de duas plântulas a cada dois dias, removendo sempre as plântulas maiores ou menores em relação à média do tamanho das demais plantas do vaso. O procedimento de desbaste consistiu no corte, a uma profundidade de 30 mm, com auxílio de uma tesoura (para garantir a remoção da coroa), até que se permaneceu duas plântulas uniformes por vaso.

Avaliou-se a altura indeformada das plântulas desde sua emergência, a partir da emissão da primeira folha verdadeira, com o auxílio de régua milimetrada, para tanto, a régua era posicionada na lateral do perfilho, contabilizando a altura desde o nível do solo até o ponto mais alto do perfilho. As avaliações de largura máxima das plântulas iniciaram após a emissão da segunda folha verdadeira, momento em que as plântulas apresentavam uma folha completamente expandida projetada lateralmente o que possibilitou a aferição com o auxílio de paquímetro. Essas avaliações foram realizadas durante todo o período experimental, a cada dois dias, até o final do desbaste. As mesmas aferições foram realizadas semanalmente até o final do período experimental.

A análise de crescimento foi realizada por meio do método destrutivo, a cada semana três vasos eram selecionados aleatoriamente. Os componentes morfológicos da parte aérea foram separados em pseudo-colmo, folha vivas, colmo reprodutivo e sementes, além disso, as folhas mortas foram coletadas de todos os vasos semanalmente para evitar a perda desse material ao longo do tempo. A área foliar foi determinada por meio de um integrador de área foliar de bancada modelo Li-3100 (LiCor – Nebraska), contabilizando a área de todas as folhas verdes por vaso. Após a colheita e separação da parte aérea, a separação das raízes e coroas foi realizada, por meio do destorroamento do solo no vaso e lavagem da terra sobre uma peneira com crivo de 4 mm.

Os componentes morfológicos foram secos em estufa de circulação de ar forçado a 55°C durante 72 horas, para obtenção da massa seca. Todo material seco foi pesado em balança de precisão e os resultados expressos em gramas ponderada por planta. Os estádios fenológicos foram identificadas utilizando a escala proposta por Moore *et al.* (1991). Onde os estádios fenológicos foram definidos quando em 50% + 1 do total de plantas avaliadas estava aparente uma característica que distinguia as fases de desenvolvimento. A escala adaptada compreendeu

os principais eventos de desenvolvimento vegetal como, emergência, o surgimento e sucessão de folhas ($V_1...V_n$) durante o estágio vegetativo, acompanhado da fase caracterizada pelo alongamento de colmo, assim como o surgimento das inflorescências e maturação de sementes durante os estádios de desenvolvimento reprodutivo e floral.

As fases fenológicas foram determinadas em função da escala temporal denominada Dia Fisiológico, unidade mais utilizada nos sistemas de quantificação do crescimento, desenvolvimento e utilização das grandes culturas e de forragens na plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrothechnology Transfer), levando em consideração as temperaturas basais e ótimas de desenvolvimento para os diferentes estádios fenológicos de desenvolvimento das plantas (Pequeno *et al.*, 2014), a utilização da soma térmica diária disponível, resultado da variação horária da temperatura ao longo do dia (Parton e Logan, 1981) e os efeitos de sensibilidade do crescimento da espécie vegetal às variações no comprimento do dia e efeitos depressores da produtividade como estresse hídrico e nutricional (Jones *et al.*, 2003).

2.2 Adaptação do modelo

A última versão do modelo CROPGRO *Forage Model* adaptado e calibrado para capim Marandu (Pequeno *et al.*, 2017) foi utilizado como ponto de partida para o presente estudo. O modelo possui módulos específicos de controle e determinação de colheita (Pedreira *et al.*, 2011), das relações solo-planta-atmosfera que considera o potencial de transpiração em razão do índice de área foliar, por meio do coeficiente de extinção luminosa ou de radiação e potencial de evapotranspiração das plantas, utilizando o método de Penman-Montieth FAO 56 (Allen *et al.*, 1998; Sau *et al.*, 2004) além dos módulos relacionados a da dinâmica de matéria orgânica e resíduos na camada superficial do solo (Gijssman *et al.*, 2002) e de fotossíntese utilizando o método do padrão de resposta da fotossíntese foliar (Carneiro e Pedreira, 2007).

O modelo pôde ser adaptado para outras culturas, a partir de modificações nos coeficientes dos parâmetros relacionados a descrição das espécies, cultivares e ecótipos. Para a calibração desses coeficientes foram utilizados, além da relação existente entre os parâmetros e suas funções na simulação do crescimento das plantas relatados na literatura (Boote, 1999; Boote *et al.*, 2001; Jones *et al.*, 2003), os dados obtidos a partir da análise de crescimento conduzida neste estudo.

Dados meteorológicos diários de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação acumulada, velocidade do vento, além de umidade relativa do ar, foram obtidos de uma estação

meteorológica, distante aproximadamente 1,2 km da área experimental. Dados de radiação solar e temperatura do ponto de orvalho foram obtidos por meio do portal NASA-POWER (<https://power.larc.nasa.gov/>) (White *et al.*, 2011; Van Wart *et al.*, 2013) e são apresentados como médias mensais (TABELA 1).

TABELA 1 – Dados meteorológicos médios mensais de radiação solar, temperaturas máximas e mínimas e volume de precipitação e irrigação acumulado durante o período experimental em Lavras, MG, Brasil.

Variável meteorológica	2016				2017				
	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.
Radiação solar (MJ m ⁻² d)	19,0	18,3	18,8	21,9	21,1	21,9	19,6	15,8	13,6
Temperatura máxima (°C)	30,0	28,8	27,4	29,5	30,3	29,9	29,4	27,6	25,1
Temperatura mínima (°C)	15,5	17,4	17,4	18,3	19,4	18,7	17,7	16,7	14,9
Precipitação e irrigação (mm)	106	202	305	336	315	249	367	264	106

Os dados experimentais e de manejo como a localização do ensaio, as condições de solo, clima, implantação e desenvolvimento da cultura também foram incluídas na plataforma. As condições iniciais de implantação consideram além da data e forma de semeadura, o espaçamento entre linhas e densidade de plantas por metro quadrado. Foi considerado a semeadura de 15,5 plantas m² e 0,38 m de espaçamento entre linhas e plantas. Também são descritas informações relacionadas ao método, frequência, quantidade e épocas, de fertilização, irrigação, tratos culturais e informações específicas acerca do controle de pragas e doenças.

Os dados de área foliar, acúmulo e fração dos componentes morfológicos das plantas foram organizados para composição dos dados de entrada no arquivo experimental do modelo “arquivo T”, foram consideradas as variáveis de massa de parte aérea, folhas, colmos, folhas mortas, raízes, além de área foliar específica, proporção de folhas na massa de parte aérea e também, altura, largura e número de folhas acumulado por planta. Os valores de massa dos componentes vegetativos foram considerados como a massa acumulada por planta multiplicado pela densidade de plantas por metro quadrado, expandindo esse número para representação de massa dos componentes em quilogramas por hectare.

2.3 Calibração e avaliação do desempenho dos modelos

Os parâmetros adquiridos a partir do ensaio de crescimento foram utilizados para a calibração dos parâmetros relacionados a espécie, cultivar e ecótipo do capim Marandu.

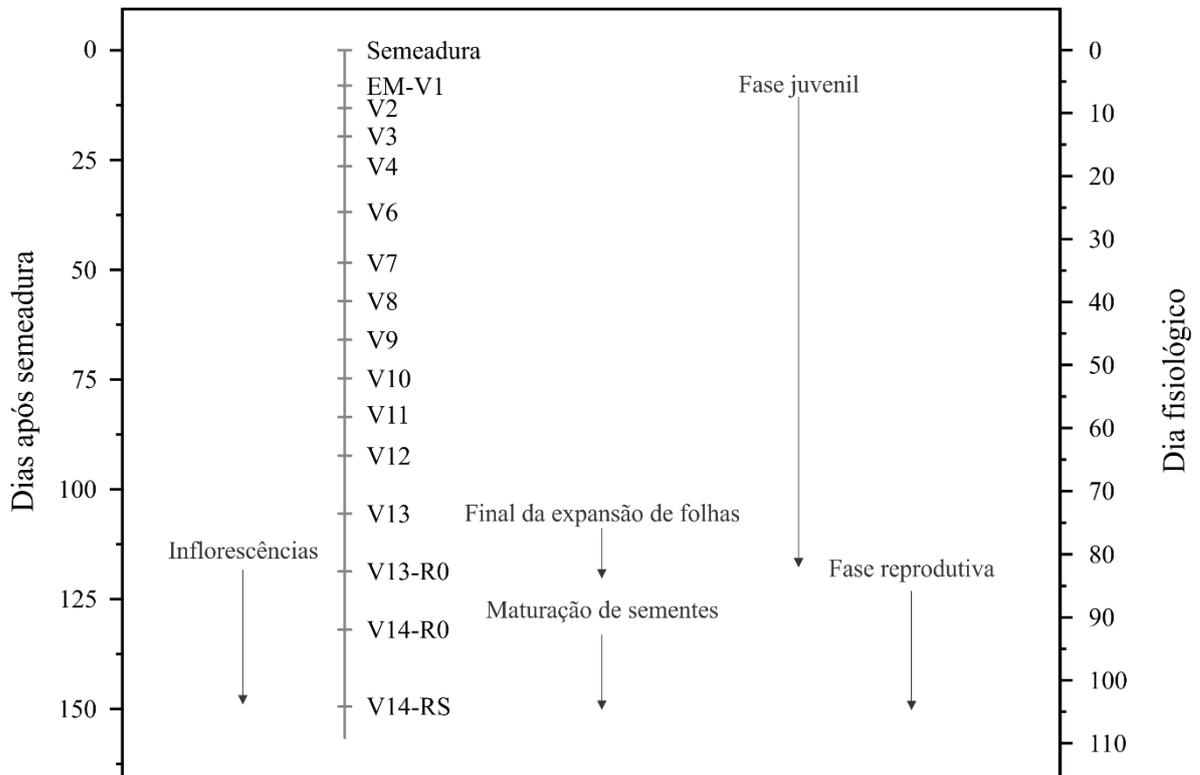
Seguindo a ordem adequada para calibração dos parâmetros do modelo CROPGRO (Boote, 1999), foram ajustados os parâmetros relacionados a ocorrência e ao tempo de duração dos estádios fenológicos nos arquivos de cultivar e ecótipo, enquanto no arquivo de espécie foram ajustados os coeficientes dos parâmetros relacionados a partição dos componentes morfológicos entre folhas, colmos, órgãos de reserva e raízes, durante o estágio vegetativo e reprodutivo de desenvolvimento, outros relacionados as taxas de senescência de folhas e raízes, assim como aqueles relacionados ao padrão de resposta de altura das plantas.

A plataforma DSSAT permite que os modelos possam ter seu padrão de resposta avaliado por meio de parâmetros estatísticos como, razão entre os valores observados e preditos, quadrado médio do resíduo (RMSE) e por meio do índice de concordância de Willmott (D-Stat) (Willmott, 1981; Willmott *et al.*, 1985). A melhor resposta dos modelos pode ser caracterizada pela relação existente entre os valores observados e simulados e D-Stat, próximos a 1, além do menor valor de RMSE para cada variável.

3 RESULTADOS

Na primeira etapa as simulações foram realizadas utilizando-se os valores padrão, dos coeficientes dos parâmetros, calibrados para estimar o crescimento e desenvolvimento de uma comunidade de plantas já estabelecidas (Pequeno *et al.*, 2017). Numa outra etapa, além do parâmetro relacionado ao tempo de duração do estabelecimento das plantas no ambiente desde a semeadura (SDLEST) (TABELA 2), os coeficientes dos parâmetros relacionados à partição dos componentes morfológicos durante o estágio vegetativo de desenvolvimento foram modificados (YLEAF, YSTEM e YSTOR – TABELA 2). E por último, considerando o desenvolvimento vegetal e suas diferentes fases de desenvolvimento (FIGURA 1), foram ajustados os parâmetros de distribuição dos componentes morfológicos das plantas relacionados aos estádios vegetativos e reprodutivos das plantas (TABELA 2). Nesta última etapa também foram ajustados os parâmetros que descrevem as taxas de senescência de colmo e folhas durante as diferentes fases fenológicas de desenvolvimento (TABELA 3).

FIGURA 1 – Duração das fases fenológicas de plantas de capim Marandu, em função de dias após sementeira e dia fisiológico.



Legenda: EM, refere a emergência das plantas; V1 a V_n, referem-se aos estádios vegetativos de desenvolvimento seguido do número ordinal de folhas emitidas pela planta; R0, refere-se ao estágio reprodutivo, caracterizado pelo início do emborrachamento; e RS, refere-se a maturidade e dissipação das sementes no ambiente.

TABELA 2 – Parâmetros dos arquivos de espécie relacionados a partição dos componentes morfológicos durante o estágio vegetativo e reprodutivo de desenvolvimento, as taxas de senescência de folhas e colmos das plantas de capim Marandu durante a fase inicial de crescimento.

Parâmetros ¹	Definições	Coeficientes dos parâmetros		
		Padrão	Otimização 1	Otimização 2
----- Espécie -----				
SDLEST	Tempo necessário para o estabelecimento da cultura desde a semeadura, em função de dia fisiológico.	60,0	180,0	180,0
XLEAF	Estádio vegetativo onde são definidas as partições dos componentes morfológicos.	0,0 1,5 2,0	0,0 1,5 2,0 3,0	0,0 1,5 2,0
		3,0 5,0 7,0	5,0 7,0 30,0	3,0 5,0 7,0
		30,0 40,0	40,0	30,0 40,0
YLEAF	Descreve a partição de folhas entre os componentes morfológicos em função do estágio vegetativo (dados expressos de acordo com a escala XLEAF).	0,60 0,57	0,53 0,52	0,53 0,53
		0,55 0,50	0,51 0,49	0,52 0,50
		0,44 0,36	0,40 0,22	0,42 0,24
		0,29 0,26	0,11 0,07	0,09 0,08
YSTEM	Descreve a partição de colmo entre os componentes morfológicos em função do estágio vegetativo (dados expressos de acordo com a escala XLEAF).	0,10 0,10	0,08 0,09	0,08 0,09
		0,10 0,10	0,11 0,13	0,11 0,13
		0,15 0,21	0,14 0,16	0,14 0,16
		0,27 0,31	0,17 0,18	0,16 0,17
YSTOR	Descreve a partição de tecidos de reserva entre os componentes morfológicos em função do estágio vegetativo (dados expressos de acordo com a escala XLEAF).	0,04 0,04	0,03 0,03	0,03 0,03
		0,04 0,04	0,04 0,04	0,04 0,04
		0,04 0,04	0,04 0,04	0,04 0,04
		0,04 0,04	0,05 0,05	0,05 0,05

TABELA 2 – Continuação...

Parâmetros ¹	Definições	Coeficientes dos parâmetros ²					
		Padrão		Otimização 1		Otimização 2	
CADPR1	Fração máxima de massa de colmo após o florescimento que pode ser realocada como carboidrato de reserva antes da maturação completa das sementes.	,280		,280		,010	
FRLFF	Fração do acúmulo de massa alocado nas folhas quando cessa a expansão foliar.	0,20		0,20		0,09	
FRSTMF	Fração do acúmulo de massa alocado no colmo quando cessa a expansão foliar.	0,05		0,05		0,12	
FRSTRF	Fração do acúmulo de massa alocado nos tecidos de reserva quando cessa a expansão foliar.	0,69		0,69		0,66	
FRSTRMX	Máxima partição de reserva para parte aérea.	0,60		0,60		0,57	
PORPT	Proporção entre o acúmulo de massa de bainha foliar e folhas senescentes.	0,27		0,27		0,24	
LFSEN	Senescência de folhas fração por dia fisiológico.	0,14		0,14		0,13	
RTSEN	Senescência de raízes, fração por dia fisiológico.	0,008		0,008		0,007	
		0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00
		4,00	6,00	4,00	6,00	4,00	6,00
XVSHT	Estádio vegetativo onde são definidas a altura das plantas.	8,00	10,00	8,00	10,00	8,00	10,00
		14,00	16,00	14,00	16,00	14,00	16,00
		20,00	40,00	20,00	40,00	20,00	40,00
		,0650	,0765	,0650	,0765	,0090	,0150
		,0815	,0830	,0815	,0830	,0400	,0470
YVSHT	Descreve a altura relativa das plantas (metros) em função do estágio vegetativo de crescimento (dados expressos de acordo com a escala XVSHT).	,0845	,0830	,0845	,0830	,0485	,0450
		,0810	,0755	,0810	,0755	,0440	,0430
		,0670	,0530	,0670	,0530	,0420	,0410

Legenda: ¹Nome dos parâmetros na linguagem Fortran; ² Coeficientes dos parâmetros: Padrão, parametrizado por Pequeno *et al.* (2017); Otimização 1, após parametrização das variáveis relacionadas a partição dos componentes vegetativos; e Otimização 2, após adaptação dos parâmetros relacionados as partições dos componentes morfológicos em função dos estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo além das taxas de senescência de folhas e colmo, além dos parâmetros relacionados a fenologia das plantas.

TABELA 3 – Parâmetros dos arquivos de cultivar e ecótipo relacionados aos principais estádios fenológicos de desenvolvimento das plantas de capim Marandu durante a fase inicial de crescimento.

Parâmetros ¹	Definições	Coeficientes dos parâmetros ²		
		Padrão	Otimização 1	Otimização 2
----- Cultivar -----				
EM-FL	Tempo entre a emergência das plântulas (EM) e a primeira flor (R1), em função de dia fototérmico (DF).	99,0	99,0	5,0
FL-SH	Tempo entre R1 e a primeira vagem (R3), em função de DF.	10,0	10,0	70,0
FL-SD	Tempo entre R1 e a primeira semente (R5), em função de DF.	18,0	18,0	100,0
SD-PM	Tempo entre R5 e a maturidade fisiológica (R7), em função de DF.	33,0	33,0	200,0
FL-LF	Tempo entre R1 e o final da expansão foliar, em função de DF.	25,0	25,0	1,0
----- Ecótipo -----				
PL-EM	Tempo entre a semeadura e a emergência das plântulas (EM), em função de dia térmico (DT).	0	0	1,0
EM-V1	Tempo entre EM e a emissão da primeira folha verdadeira (V1), em DT.	0	0	1,0
V1-JU	Tempo entre V1 e o final da fase juvenil da planta (JU), em DT.	0	0	1,0
JU-R0	Tempo para indução floral, em função de DF.	9999,	9999,	90,0
FL-VS	Tempo entre a primeira e última folha por perfilho, em função de DF.	9999,	9999,	1,0

Legenda: ¹Nome dos parâmetros na linguagem Fortran; ² Coeficientes dos parâmetros: Padrão, parametrizado por Pequeno *et al.* (2017); Otimização 1, após parametrização das variáveis relacionadas a partição dos componentes vegetativos; Otimização 2, após adaptação dos parâmetros relacionados as partições dos componentes morfológicos em função dos estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo além das taxas de senescência de folhas e colmo, além dos parâmetros relacionados a fenologia das plantas.

A análise estatística das parametrizações e o resultado médio de cada variável observada e predita relacionadas ao ajuste do modelo a cada etapa de otimização dos parâmetros, estão descritos na TABELA 4.

TABELA 4 – Médias observadas, simuladas e análise estatística das simulações do crescimento inicial de plantas de capim Marandu em Lavras, MG, Brasil.

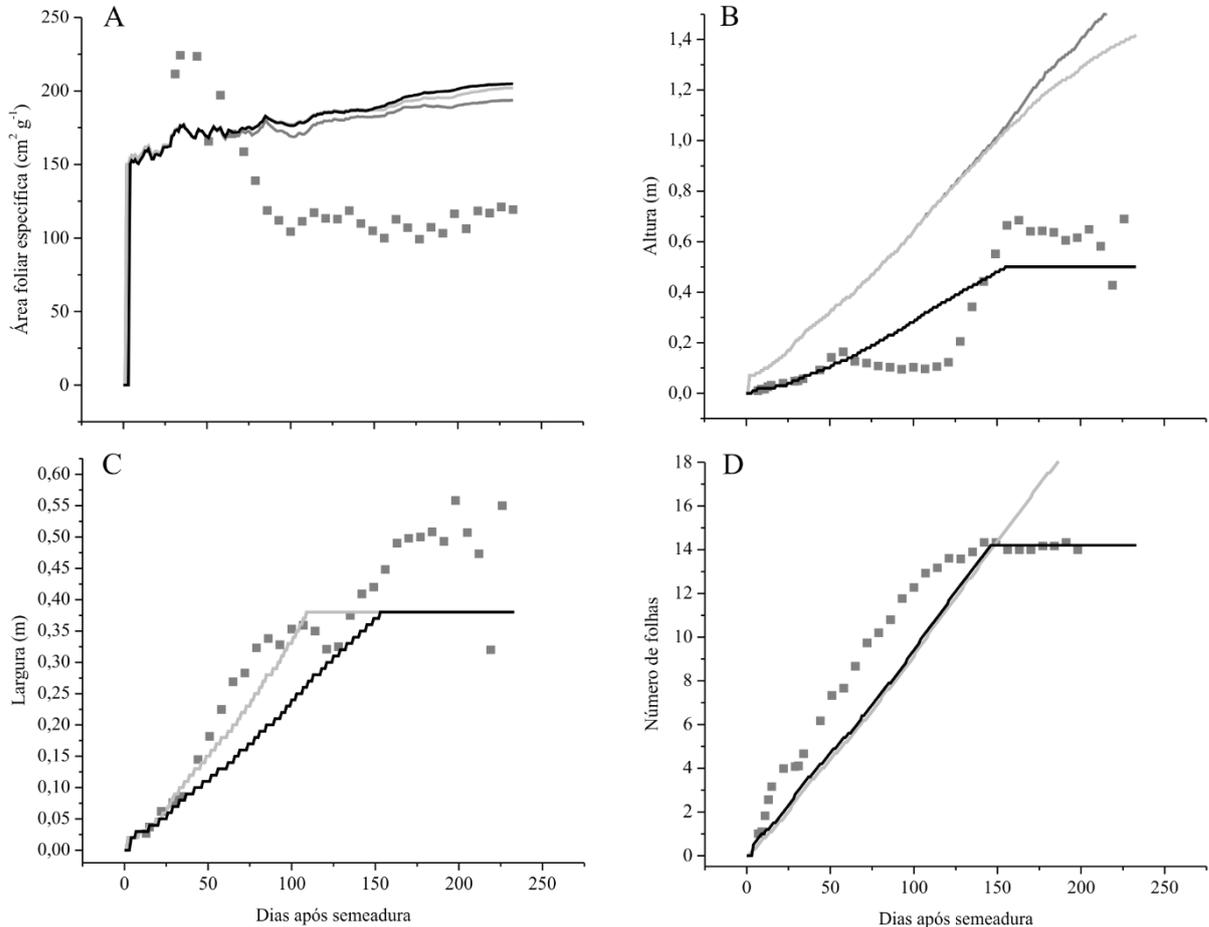
Parâmetros	Observado	Simulado	RMSE	Razão (obs/sim)	D-Stat
----- Padrão -----					
Massa de parte aérea (kg MS ha ⁻¹)	1246,0	4840,0	4611,35	3,60	0,36
Massa de folhas (kg MS ha ⁻¹)	514,0	2551,0	2577,87	4,45	0,23
Massa de colmo (kg MS ha ⁻¹)	623,0	2290,0	2182,18	3,32	0,41
Massa de folhas mortas (kg MS ha ⁻¹)	337,0	2533,0	2897,91	11,46	0,27
Massa de raízes (kg MS ha ⁻¹)	2256,0	1374,0	1118,92	0,71	0,81
Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	131,4	181,0	64,94	1,47	0,37
Proporção de folhas na parte aérea (%)	52,3	60,9	11,31	1,23	0,85
Altura (m)	0,3	0,7	0,52	3,78	0,65
Largura (m)	0,3	0,3	0,08	0,91	0,93
Número de folhas	9,5	8,6	2,50	0,79	0,94
----- Otimização 1 -----					
Massa de parte aérea (kg MS ha ⁻¹)	1246,0	1180,0	173,45	1,29	0,99
Massa de folhas (kg MS ha ⁻¹)	514,0	534,0	88,37	1,37	0,98
Massa de colmo (kg MS ha ⁻¹)	623,0	646,0	79,79	1,26	0,99
Massa de folhas mortas (kg MS ha ⁻¹)	337,0	599,0	302,75	5,25	0,87
Massa de raízes (kg MS ha ⁻¹)	2256,0	2320,0	641,23	0,94	0,96
Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	131,4	185,8	70,09	1,51	0,34
Proporção de folhas na parte aérea (%)	52,3	55,0	4,75	1,07	0,98
Altura (m)	0,3	0,7	0,47	3,73	0,68
Largura (m)	0,3	0,3	0,08	0,91	0,93
Número de folhas	9,5	8,6	2,50	0,79	0,94
----- Otimização 2 -----					
Massa de parte aérea (kg MS ha ⁻¹)	1246,0	1207,0	181,66	1,29	0,99
Massa de folhas (kg MS ha ⁻¹)	514,0	528,0	89,53	1,35	0,98
Massa de colmo (kg MS ha ⁻¹)	623,0	678,0	104,37	1,33	0,99
Massa de folhas mortas (kg MS ha ⁻¹)	337,0	584,0	285,65	5,00	0,88
Massa de raízes (kg MS ha ⁻¹)	2256,0	1933,0	495,62	0,82	0,97
Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	131,4	187,0	71,69	1,52	0,32
Proporção de folhas na parte aérea (%)	52,3	53,8	3,42	1,04	0,99
Altura (m)	0,3	0,3	0,12	1,33	0,93
Largura (m)	0,3	0,3	0,10	0,79	0,89
Número de folhas	9,5	8,2	1,78	0,80	0,97

Legenda: Padrão, simulação utilizando o modelo padrão CROPGRO *Forage Model* versão 4.7 (Pequeno *et al.*, 2017); Otimização 1, simulação após calibração dos parâmetros relacionados a partição de componentes vegetativos; Otimização 2, simulação após calibração dos parâmetros relacionados a partição de componentes morfológicos ao longo dos estádios vegetativo e reprodutivo, taxas de senescência de folhas e colmo e altura das plantas; RMSE, quadrado médio do resíduo; Razão (obs/sim), Relação entre os dados observados e simulados; D-Stat, de Willmott (1981).

O modelo padrão parametrizado para plantas já estabelecidas, superestimou todas as variáveis analisadas. Após a primeira etapa de otimização, aumentando-se o tempo necessário para o estabelecimento das plantas no ambiente e modificando as partições dos componentes vegetativos, a precisão das estimativas aumentou. Após a segunda otimização, com a parametrização dos coeficientes relacionados ao tempo e época de ocorrência dos estádios fenológicos, das partições em diferentes estádios de desenvolvimento e das taxas de mobilização de assimilados aos demais componentes das plantas, houve um segundo aumento de qualidade de predição o que melhorou a representatividade das respostas relacionadas ao acúmulo de massa de componentes morfológicos, principalmente massa verde aérea e raízes.

Os padrões de resposta e as simulações de cada etapa de calibração dos parâmetros que descrevem as características estruturais das plantas, como a dinâmica de área foliar específica, a altura e largura das plantas, além da variação do número de folhas acumulado por planta ao longo do crescimento inicial e implantação de capim Marandu são apresentados na FIGURA 2.

FIGURA 2 – Simulações de área foliar específica (A), altura (B), largura das plantas (C) e número de folhas acumulado por perfilho (D), em função de dias após semeadura, durante a fase de implantação de capim Marandu em Lavras, MG, Brasil.



Legenda: Quadrados representam os valores observados (■) e linhas contínuas representam os valores simulados utilizando o modelo padrão (—) (Pequeno *et al.*, 2017), o modelo após a primeira otimização (—) e o modelo final, após a segunda otimização (—).

A área foliar específica (AFE, FIGURA 2-A) foi pouco influenciada pelos parâmetros ajustados (TABELAS 2 e 3). Houve maior variação ao final do período experimental, principalmente quando houve mudanças nos parâmetros relacionados aos estádios fisiológicos de crescimento verificado após 150 dias após semeadura (DAS). Apesar da maior AFE ocorrer quando as plântulas ainda eram pequenas, o modelo não foi capaz de simular a redução na AFE.

As variáveis de altura, largura e número de folhas acumulado ao longo do ciclo de vida das plantas (FIGURA 2-B, C e D) responderam linearmente e de forma semelhante durante a primeira parametrização e foram influenciadas pelas modificações nos parâmetros relacionados ao estágio fenológico de desenvolvimento quando as plantas passaram do estágio vegetativo

para reprodutivo. O número de folhas vivas acumuladas no perfilho também foi responsável pela quebra da curva de incremento em altura e largura.

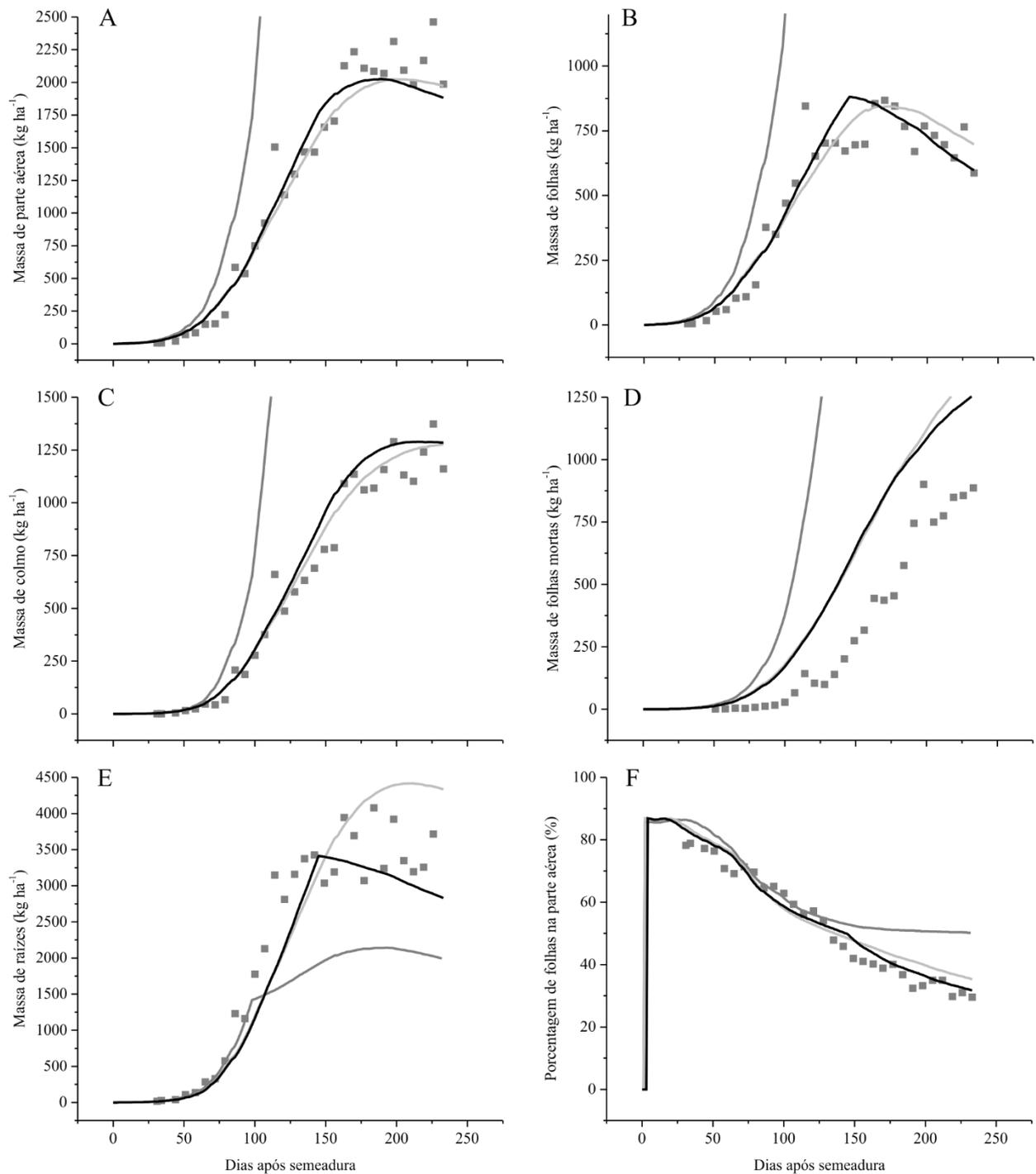
A parametrização da altura das plantas reflete em pouca mudança na produção de forragem, sendo uma variável regulada pela variação no alongamento dos entrenós dos colmos. Para melhorar a simulação da altura das plantas foi necessário ajuste modificando-se os parâmetros (YVSHT, TABELA 2) durante a terceira etapa de calibração do modelo.

A largura das plantas e o número de folhas, foram diretamente influenciados pelo ajuste do parâmetro (JU-R0, TABELA 3) relacionado com o intervalo de tempo requerido para a transição entre os estádios vegetativos e reprodutivo das plantas. O modelo não simula a variação na largura e altura ocasionada pela resposta mais prostrada da planta a partir dos 50 DAS. A altura constante e a largura crescente são resposta fenotípica da planta ao espaçamento entre plantas e vasos.

As variáveis relacionadas com o acúmulo de massa dos componentes morfológicos tiveram padrão de resposta semelhante (FIGURA 3). Apesar da baixa resposta e superestimava do acúmulo dos componentes obtidos na simulação utilizando os coeficientes padrão do modelo (TABELA 2 e 3), após as etapas de calibração as simulações tiveram melhora significativa (TABELA 4).

Os padrões de resposta e as simulações de cada etapa de calibração dos parâmetros relacionados a distribuição dos componentes morfológicos das plantas relacionados em função dos estádios vegetativos e reprodutivos de desenvolvimento, as taxas de senescência de colmo e folhas durante as diferentes fases fenológicas, bem como a variação entre folhas e colmo por planta, ao longo do crescimento inicial e implantação de plantas de capim Marandu são apresentados na FIGURA 3.

FIGURA 3 – Simulações do acúmulo de massa dos componentes vegetativos, em função de dias após semeadura, durante a fase de implantação de capim Marandu em Lavras, MG, Brasil.



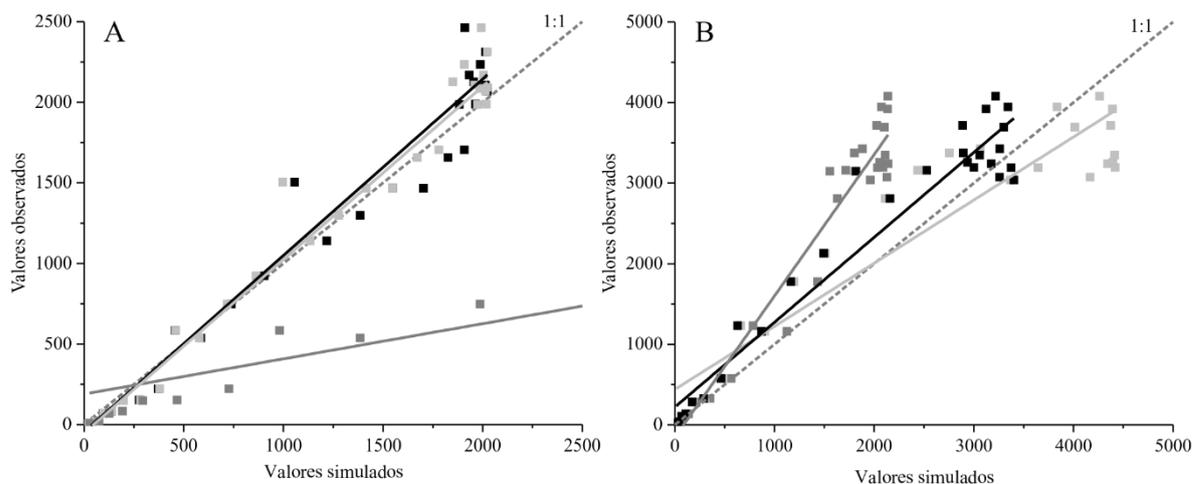
Legenda: Quadrados representam os valores observados (■) e linhas contínuas representam os valores simulados utilizando o modelo padrão (—) (Pequeno *et al.*, 2017), o modelo após a primeira otimização (—) e o modelo final, após a segunda otimização (—). Massa de parte aérea (A); massa de folhas (B); massa de colmo (C); massa de folhas mortas (D); massa de raízes (E); e porcentagem de folhas na parte aérea (F).

O acúmulo de massa verde da parte aérea (FIGURA 3-A) é resultado do somatório das massas de folhas e colmo (FIGURA 3-B e C) foi definido pelo ajuste dos parâmetros relacionados a partição dos componentes morfológicos nos diferentes estágios de desenvolvimento das plantas. O modelo padrão superestimou os componentes acima do solo e subestimou a produção de raízes (FIGURA 3 -E). A segunda etapa de parametrização promoveu simulações mais suaves de crescimento enquanto as mudanças nas fases fenológicas causaram interrupção do crescimento vegetativo, melhorando as simulações de raiz (FIGURA 3 – E) e de colmos (FIGURA 3 – B). Apesar da melhora da simulação da senescência de folhas, o modelo antecipa a senescência em aproximadamente 15 dias.

A proporção de folhas em relação ao acúmulo de massa na parte aérea das plantas (FIGURA 3-F), foi ajustada de acordo com modificações nos parâmetros de transição do estágio vegetativo para reprodutivo e garantiram a diminuição dessa proporção quando as plantas cessam a emissão de novas folhas aos 150 DAS, resultando do aparecimento de inflorescências e formação de sementes.

A FIGURA 4 mostra os gráficos de regressão linear entre os valores de acúmulo de massa de raízes e parte aérea observados e estimados. A dispersão dos pontos em torno da reta de regressão e da reta 1:1 reforça os indicadores de desempenho das simulações descritos na TABELA 4.

FIGURA 4 – Valores observados e simulados de acúmulo de massa de parte aérea (A) e raízes (B) durante a fase de implantação de capim Marandu em Lavras, MG, Brasil.



Legenda: Linha tracejada representa a reta 1:1, quadrados representam os dados observados e linhas contínuas representam o ajuste linear entre os dados observados e simulados utilizando o modelo padrão (■, —) (Pequeno *et al.*, 2017), o modelo após a primeira otimização (□, —) e o modelo final, após a segunda otimização (■, —).

4 DISCUSSÃO

Capaz de predizer o crescimento e desenvolvimento de gramíneas forrageiras sob diversos regimes de colheita, a versão mais atual do modelo CROPGRO *Forage Model* para o gênero *Urochloa* não possui calibração para a fase inicial de crescimento e fenologia. Os parâmetros relacionados aos estádios fenológicos (TABELA 3) não são considerados desde o desenvolvimento do módulo geral de simulação do crescimento das espécies forrageiras (Kelly, 1995; Giraldo *et al.*, 1998). No arquivo de cultivar, os parâmetros que levam em consideração o tempo são mantidos em zero ou com valores 9999 o que indica estagio juvenil infinito. Partindo dos dados de Pequeno *et al.* (2017), foi possível estimar a produção de forragem e seus componentes morfológicos desde a sementeira. Para tanto, foram realizadas modificações na seção *Planting details* no arquivo “X” do modelo, mudando o código T (*transplants*) para S (*dry seed*) incluindo a distribuição das plantas (R, *row*) e o espaçamento entre plantas e densidade populacional de plantas por ha.

O solo utilizado como substrato foi misturado em areia lavada na proporção de 50%. A desestruturação do solo e a única camada de substrato (0-20 cm) contida no vaso, não promoveu a germinação no modelo. Para contornar esse problema, foi necessário aumentar a quantidade de matéria residual sobre o solo, mudando o fator ICRIIP (*Incorporation percentage for initial surface residue, %*) de 0 para 1000 kg ha.

Avaliando-se as estimativas geradas pelo modelo padrão de Pequeno *et al.* (2017), ainda sem modificações nos parâmetros, pôde ser verificado que o acúmulo de massa dos componentes vegetativos simulado foi sempre superestimado em relação aos dados observados. (TABELA 4). Uma das principais causas dessa superestimativa é a estruturação das plantas. Quando maduras as plantas possuem maior relação folha/raiz que reduz de acordo com o surgimento de novos perfilhos e a formação da touceira (Martuscello *et al.*, 2009). Neste contexto, com o objetivo de melhorar simulações para as condições iniciais de crescimento, foi realizada a parametrização do modelo em diferentes etapas considerando os parâmetros relacionados ao desenvolvimento de plantas desde a sementeira (TABELA 2 e 3).

A primeira etapa de otimização do modelo foi iniciada pelo aumento do intervalo de tempo requerido para a implantação da espécie no ambiente (SDLEST – TABELA 2). Esse parâmetro modula a fase de estabilização do crescimento vegetativo que no caso foi definido pelo número máximo de folhas surgidas no perfilho principal. Esse valor de 60 passou para 180, alongando o período de crescimento das raízes (FIGURA 3 – E). Após a calibração da estabilização do crescimento, os parâmetros relacionados a partição dos componentes

morfológicos durante os estádios vegetativos de desenvolvimento (YLEAF, YSTEM e YSTOR – TABELA 2) foram calibrados em função dos reais valores de partição encontrados na distribuição dos componentes vegetais no vaso. A redução da massa de folhas e principalmente de colmos foi o diferencial para ajuste da curva de crescimento. Comparando-se os valores utilizados no modelo padrão aos valores ajustados, houve redução de aproximadamente 10% no acúmulo de massa dos componentes aéreos. Tornando evidente a priorização inicial da produção de raízes e tecidos de reserva em detrimento a produção de folhas e colmo, como estratégia de estabelecimento (Dias-Filho, 2006). Com a otimização desses parâmetros, o ajuste do modelo foi melhorado, no entanto, a simulação da fase reprodutiva ainda não seguia o padrão dos dados observados.

Na segunda etapa de otimização foram modificados os parâmetros relacionados a duração das fases fenológicas de desenvolvimento das plantas presente no arquivo de ecótipo e cultivar (TABELA 3). O ajuste dos parâmetros relacionados ao tempo entre a emergência e o surgimento de inflorescências (EM-FL) e o intervalo de tempo requerido para indução floral (JU-R0), determinaram a época e a estabilização do número de folhas emitidos por perfilho. Os demais parâmetros no arquivo de cultivar e ecótipo relacionados a fenologia (FL-LF, PL-EM, EM-V1, V1-JU e FL-VS) foram desconsiderados e tiveram seus valores modificados para 1. O ajuste nos coeficientes destes parâmetros tornou evidente a transição entre os estádios vegetativos e reprodutivo das plantas.

No arquivo de cultivar, os demais parâmetros relacionados a duração entre as fases de desenvolvimento reprodutivo (FL-SH, FL-SD, SD-PM) tiveram os coeficientes-padrão do modelo modificados progressivamente. Com o propósito de apenas simular as alterações morfofisiológicas das plantas caracterizadas pela transição entre os estádios vegetativos e reprodutivos. As gramíneas são usualmente exploradas ao longo da fase vegetativa. O modelo CROPGRO *Forage Model* ainda foi parametrizado com a finalidade de exprimir a produção de sementes de espécies forrageiras ao longo do tempo, pois as dinâmicas de produção de sementes de gramíneas forrageiras diferem daquelas compreendida pelos modelos de culturas anuais.

Em consequência das modificações das épocas de ocorrência dos estádios de desenvolvimento, houve necessidade de realizar novos ajustes nos parâmetros responsáveis por determinar a partição dos componentes vegetativos das plantas contidos no arquivo de espécies (TABELA 2). Durante a segunda etapa de otimização ainda, foi verificado que o acúmulo de massa de colmos aumentou abruptamente, durante a transição entre os estádios vegetativo e reprodutivo das plantas. Tal padrão de resposta indica que parâmetros relacionados a partição de fotoassimilados durante o estágio reprodutivo das plantas diferem da partição que ocorre

durante os estádios vegetativos de desenvolvimento (Taiz *et al.*, 2017). Dessa forma parâmetros relacionados a mobilização de carboidratos solúveis, a fração de colmo senescente em função da morte de folhas, a fração permanente de massa alocado nas folhas, colmo e tecidos de reserva (CADPR1, FRLFF, FRSTRF, FRSTMF, FRSTRMX e PORPT – TABELA 2) foram ajustados.

O parâmetro CADPR1, relacionado com a mobilização de carboidratos solúveis durante a fase de florescimento das plantas foi reduzido de 28 para 10%, com o objetivo de suavizar a curva simulada após o período de indução floral, diminuindo a fração de colmo que pode ser redirecionado para a formação de sementes. Esse ajuste resultou na menor proporção de colmo e raízes mobilizada durante o estágio reprodutivo das plantas.

Os parâmetros relacionados a partição do acúmulo de massa total das plantas após o florescimento, como o acúmulo de folhas (FRLFF), colmos (FRSTMF) e tecidos de reserva (FRSTRF) também foram modificados. Reduzindo FRLFF de 20 para 9% e FRSTRF de 69 para 66%, com o objetivo de aproximar os valores simulados aos observados. Reduzindo a massa acumulada de folhas e tecidos de reserva após o florescimento. Enquanto o parâmetro relacionado a fração da massa total destinada a formação do colmo (FRSTMF) foi aumentado de 5 para 12%, representando assim o maior incremento de acúmulo de colmo após indução floral.

A partição entre o acúmulo dos tecidos de reserva e a parte aérea das plantas, definido pelo parâmetro FRSTRMX foi reduzido de 60 para 57%, com o objetivo de diminuir a mobilização de tecidos de reserva e raízes após iniciado a fase reprodutiva das plantas. Da mesma forma o parâmetro PORPT, relacionado com a proporção entre o acúmulo de massa bainha foliar e folhas senescentes foi reduzida de 27 para 24%, com o objetivo de aproximar a simulação dos valores observados de massa de folhas mortas durante o ciclo de vida das plantas. Associado a essas modificações, pequenos ajustes foram realizados nos parâmetros relacionados a senescência de folhas (LFSEN) e raízes (RTSEN), reduzindo 1 ponto percentual das taxas de 14 e 8% de senescência por dia de folhas e colmo, respectivamente (Pedreira *et al.*, 2011). Com o objetivo de aperfeiçoar a performance do modelo após atingir o estágio reprodutivo das plantas. Momento este onde o processo de senescência e mobilização de reservas predominam sobre os processos de crescimento das plantas.

Os parâmetros relacionados à altura das plantas ao longo dos estádios vegetativos de desenvolvimento (YVSHT) também foram ajustados para aperfeiçoar a simulação e não prejudicaram o desempenho das estimativas dos componentes principais das plantas. Os ajustes realizados contribuíram para melhorar a simulação das variáveis de produção. Mesmo considerando o significativo ganho em eficiência de predição, variáveis como por exemplo, a

área foliar específica, a largura das plantas e as dinâmicas de acúmulo de raízes e folhas mortas, tiveram padrões de resposta menos correlacionados com os dados observados e, portanto, com os parâmetros ajustados, resultando em simulações menos precisas. É necessário conhecer melhor a interação entre os diferentes parâmetros que compõe o modelo para elucidação dos processos e dinâmicas de crescimento durante a fase de implantação de gramíneas ou ainda gerar novos parâmetros que auxiliem na melhor expressão da variável simulada.

Boote (1999) sugere que a modificação de parâmetros relacionados a taxa de fotossíntese foliar (LFMAX) e ao intervalo de duração entre a primeira flor e o final da expansão das folhas (FL-LF) podem tornar evidentes o pico inicial de área foliar específica observado, no entanto, esses parâmetros refletem diretamente na fase madura da cultura já ajustado por Pequeno *et al.* (2017) e Pedreira *et al.* (2011). Neste mesmo contexto, o acúmulo de folhas mortas e número de folhas por perfilho são influenciadas pelo parâmetro que descreve a taxa de aparecimento de folhas (TRIFL) que está relacionado ao parâmetro de senescência foliar que foi ajustado neste estudo, modificando a simulação de plantas em pastos já estabelecidos.

5 CONCLUSÕES

Os resultados da calibração do modelo CROPGRO *Forage Model* a partir de dados de análise de crescimento vegetal e caracterização fenológica provou satisfatoriamente a capacidade do modelo em simular a dinâmica de crescimento e desenvolvimento inicial de plantas de capim Marandu durante a fase de implantação dessa gramínea forrageira, mesmo considerando a necessidade de novas avaliações e a validação do modelo para recomendação de sua utilização como ferramenta de auxílio a tomada de decisões.

A acurada capacidade do modelo em simular diversas situações de produção é clara. Contudo para simulação do crescimento inicial de gramíneas forrageiras ainda é necessário aprofundar no entendimento das interações entre os parâmetros ativos e inativos presente no módulo de simulação de forragem. Esses parâmetros podem ser a chave para melhorar o desempenho das simulações de crescimento sob os diversos cenários em que são exploradas, compreendendo melhor as fases de semeadura, produção e utilização como recurso forrageiro em sistemas de pastejo e produção animal.

Parâmetros relacionadas aos eventos intrínsecos de plantas pós emergentes como taxa de fotossíntese, duração de vida e taxa de senescência, relacionado as folhas jovens, assim como o acúmulo de raízes, podem ser implementadas ao modelo afim de melhorar as simulações em situações de crescimento inicial de plantas forrageiras.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- BOOTE, K. Concepts for calibrating crop growth models. **DSSAT version**, v. 3, n. 4, p. 179-200, 1999.
- BOOTE, K.; KROPFF, M.; BINDRABAN, P. Physiology and modelling of traits in crop plants: implications for genetic improvement. **Agricultural Systems**, v. 70, n. 2, p. 395-420, 2001. ISSN 0308-521X.
- CARNEIRO, B.; PEDREIRA, C. G. S. P. Fotossíntese foliar do capim Xaraés [Brachiaria brizantha (A. Rich.) Stapf. cv. Xaraés] e modelagem da assimilação potencial de dosséis sob estratégias de pastejo rotativo. **R. Bras. Zootec**, v. 36, n. 4, p. 773-779, 2007.
- DIAS-FILHO, M. B. D. F. **Competição e sucessão vegetal em pastagens**. Embrapa Amazônia Oriental, 2006.
- FOLONI, J. S. S. et al. Emergência de plântulas de Brachiaria brizantha influenciada por escarificação das sementes, uso de adubo e profundidade de semeadura. **Científica**, v. 37, n. 2, p. 89-97, 2009. ISSN 1984-5529.
- GIJSMAN, A. J. et al. Modifying DSSAT crop models for low-input agricultural systems using a soil organic matter-residue module from CENTURY. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 3, p. 462-474, 2002. ISSN 1435-0645.
- GIRALDO, L. et al. Adaptation of the DSSAT model for simulation of Brachiaria decumbens production. **Pasturas Tropicales**, v. 20, p. 2-12, 1998.
- JONES, J. W. et al. The DSSAT cropping system model. **European journal of agronomy**, v. 18, n. 3, p. 235-265, 2003. ISSN 1161-0301.
- KELLY, T. C. bioeconomic systems approach to sustainability analysis at the farm level. 1995.
- LARA, M. A. et al. Predicting Growth of: An Adaptation of the CROPGRO-Perennial Forage Model. **Agronomy journal**, v. 104, n. 3, p. 600-611, 2012. ISSN 0002-1962.
- MARTUSCELLO, J. A. et al. Produção de gramíneas do gênero Brachiaria sob níveis de sombreamento. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2009.
- MOORE, K. et al. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. **Agronomy Journal**, v. 83, n. 6, p. 1073-1077, 1991. ISSN 0002-1962.
- NUNES, S. et al. Brachiaria brizantha cv. marandu. **Embrapa Gado de Corte-Documents (INFOTECA-E)**, 1984.

PARTON, W. J.; LOGAN, J. A. A model for diurnal variation in soil and air temperature. **Agricultural Meteorology**, v. 23, p. 205-216, 1981. ISSN 0002-1571.

PEDREIRA, B. C. et al. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, v. 120, n. 3, p. 370-379, 2011. ISSN 0378-4290.

PEQUENO, D. et al. Species-genotypic parameters of the CROPGRO Perennial Forage Model: Implications for comparison of three tropical pasture grasses. **Grass and Forage Science**, 2017. ISSN 1365-2494.

PEQUENO, D. N. L.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J. Simulating forage production of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO-Perennial Forage model. **Crop & Pasture Science**, v. 65, n. 12, p. 1335-1348, 2014. ISSN 1836-0947.

RAIJ, B. V. et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 285 p. **Boletim técnico**, v. 100, 1997.

RYMPH, S. et al. Adapting the CROPGRO model to predict growth and composition of tropical grasses: developing physiological parameters. Proceedings, 2004.

RYMPH, S. J. **Modeling growth and composition of perennial tropical forage grasses**. 2004. University of Florida

SAU, F. et al. Testing and improving evapotranspiration and soil water balance of the DSSAT crop models. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 5, p. 1243-1257, 2004. ISSN 1435-0645.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. ISBN 8582713673.

VAN WART, J. et al. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. **Field crops research**, v. 143, p. 44-55, 2013. ISSN 0378-4290.

WHITE, J. W. et al. Evaluation of satellite-based, modeled-derived daily solar radiation data for the continental United States. **Agronomy journal**, v. 103, n. 4, p. 1242-1251, 2011. ISSN 0002-1962.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical geography**, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981. ISSN 0272-3646.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985. ISSN 2156-2202.