Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Modelos matemáticos para estimar a sazonalidade de produção em pastagens de *Panicum maximum* cv. Mombaça, em regiões do Estado de São Paulo

Leandro Coelho de Araujo

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2011

Leandro Coelho de Araujo
Zootecnista

Modelos matemáticos para estimar a sazonalidade de produção em pastagens de *Panicum maximum* cv. Mombaça, em regiões do Estado de São Paulo

Orientadora:
Drª. PATRÍCIA MENEZES SANTOS

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Araujo, Leandro Coelho de
Modelos matemáticos para estimar a sazonalidade de produção em pastagens de *Panicum maximum* cv. Mombaça, em regiões do Estado de São Paulo / Leandro Coelho de Araujo. - - Piracicaba, 2011.
87 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Capim-mombaça 2. Gramíneas forrrageiras tropicais - Produção - São Paulo 3. Modelos matemáticos 4. Pastagens I. Título

CDD 636.08422
A663m

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A todos aqueles pós-graduandos que têm dedicado grande parte de seu tempo com os estudos e as pesquisas.

Ofereço

Aos meus pais, Valdir de Araujo e Maria Teresa C. de Araujo, por sempre estarem presentes em minha vida e me incentivarem nos estudos.

A minha querida noiva Sabrina, pela amizade, amor e convivência, tornando esse período muito mais agradável.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela oportunidade de realizar o doutorado na área de concentração em Ciência Animal e Pastagens.

À orientadora Drª Patrícia Menezes Santos pelos ensinamentos que tiveram início na realização do meu mestrado e deram continuidade durante o doutorado e pela correção e sugestões durante a elaboração deste trabalho.

A FAPESP pela concessão da bolsa de estudo.

Aos doutores pelo aceite na participação como banca avaliadora da tese, titulares e suplentes, Luis G. Barioni, Carlos G. S. Pedreira, Valdo R. Herling, José Ricardo Pezzopane, Patrícia P. A. Oliveira, Fernando C. Mendonça, Durval Dourado Neto, Gerson B. Mourão e Paulo C. Sentelhas.

Ao PhD. Daniel Rodriguez pela orientação durante o estágio “Sanduíche” no Department of Employment, Economic Development and Innovation (DEEDI) em Toowoomba, Queensland, Austrália, assim como pelas sugestões e correções do segundo capítulo desta tese.

Ao MSc. Peter DeVoil do DEEDI pela amizade, caronas, e inúmeras ajustas durante a utilização do modelo APSIM.

As amizades conquistadas em Toowoomba, Samuel, Renzo, Marina, Nicolas, Flor, Matheus, Regge, Li, San, Zizi e Rounda.

A Embrapa Pecuária Sudeste pela disponibilização de áreas, equipamentos e funcionários para realização do experimento em campo.

Aos estagiários da Embrapa Pecuária Sudeste, Ricardo, Jamile, Cristiam, Diogo, Leonardo, Matheus e Edson, Pedro e Renan pelas amizades, brincadeiras e ajuda nas atividades de campo.

Aos funcionários da Embrapa Pecuária Sudeste pelo auxílio prestado na condução do experimento em campo, principalmente ao Nésio, Mineiro, Amadeu, Fábio Jr., Piauí, José, Luis, Jorge, Cláudio, Natal, Carlão e Esmael pelos auxílios prestados durante minha permanência na Embrapa.

À bibliotecária da Embrapa Pecuária Sudeste, Sônia Alencar, pelas ajudas e amizade.

Às bibliotecárias da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pelas correções da tese quanto as normas.

À Universidade Federal do Tocantins, onde obtive o título de Zootecnista, e aos amigos que por lá conquistei.

A Escola Agrotécnica Federal de Araguatins onde tive a oportunidade de estudar pela primeira vez a Zootecnia e a Agricultura, despertando-me cada vez mais a vontade de seguir na área agropecuária.

SUMÁRIO

RESUMO....9
ABSTRACT....11
1 INTRODUÇÃO....13
1.1 Hipóteses....14
1.2 Objetivos....14
1.3 Justificativa....15
Referências....15
2 FATORES CLIMÁTICOS RELACIONADOS A SAZONALIDADE DE PRODUÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA....17
Resumo....17
Abstract....17
2.1 Introdução....18
2.2 Material e Métodos....21
2.2.1 Período e local experimental....21
2.2.2 Implantação e delineamento experimental....21
2.2.3 Parâmetros avaliados....24
2.2.3.1 Acúmulo de forragem e composição morfológica....24
2.2.3.2 Meristema apical....25
2.2.3.3 Índice hídrico pelo método direto....27
2.2.3.4 Índice hídrico pelo método indireto....30
2.2.3.5 Cálculo dos graus-dia....30
2.2.4 Adubação de manutenção....31
2.2.5 Análise estatística....31
2.3 Resultados e Discussão....32
2.3.1 Índice hídrico....33
2.3.2 Temperatura do ar....35
2.3.4 Fotoperíodo....39
2.4 Conclusão....42
Referências....43

3 MODELAGEM DO CRESIMENTO E DA PRODUÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA NO SUDESTE BRASILEIRO 49
Resumo 49
Abstract..... 49
3.1 Introdução 50
3.2 Material e Métodos 52
3.2.1 Dados experimentais utilizados para parametrização e avaliação dos modelos .. 52
3.2.2 Descrição dos modelos..... 55
3.2.2.1 Modelo APSIM 55
3.2.2.1.1 Estimativa da eficiência de uso da PAR, temperaturas base inferior e ótima e área foliar específica..... 56
3.2.2.2 Modelos empíricos..... 57
3.2.3 Critério de comparação dos modelos 59
3.3 Resultados e Discussão 61
3.3.1 Eficiência de uso da radiação, temperaturas base inferior e ótima e área foliar específica..... 61
3.3.2 Parametrização dos modelos 65
3.3.3 Avaliação dos modelos 71
3.4 Conclusão 75
Referências..... 75
ANEXOS 81

RESUMO

Modelos matemáticos para estimar a sazonalidade de produção em pastagens de *Panicum maximum* cv. Mombaça, em regiões do Estado de São Paulo

Um experimento em campo foi implantado na Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos-SP (21°57'42"S, 47°50'28"W) de 2010 a 20 11. Foram conduzidos simultaneamente dois ensaios com o capim-mombaça que diferenciaram entre si pela presença ou não da irrigação. O delineado em blocos completos casualizados com quatro repetições foi utilizado em cada ensaio. Os tratamentos foram representados pela soma diária da temperatura média do ar de 250; 500; 750 e 1000°C durante cada período de rebrotação. Após as avaliações referentes ao tratamento de 1000 °C acumulados, toda a pastagem era cortada a 0,3 m de altura do solo, fertilizadas (N-P-K) e iniciado um novo ciclo de rebrotação e avaliações. Ao longo de 13 meses foram avaliados 8 ciclos de rebrotação. As variáveis avaliadas em cada tratamento foram acúmulo de massa seca total acima do resíduo, identificação do meristema apical em vegetativo ou reprodutivo, índice hídrico (IH) estimado pela relação entre a evapotranspiração real (ensaio não irrigado) e da cultura (ensaio não irrigado) estimadas tanto pelo método direto (Diviner) e pela evapotranspiração atual com a potencial pelo indireto (Climatológico). Os dados gerados nos experimentos foram utilizados para determinar os valores críticos das principais variáveis que influenciam no crescimento do capim-mombaça, além de parametrizar e avaliar um modelo empírico de graus-dia (GD); um modelo empírico de unidades-fototérmicas (UF); um modelo empírico de índice de crescimento climático (ICC) e um modelo de função biofísica (APSIM-Growth). Os resultados demonstraram que a produção relativa do capim-mombaça diminui linearmente com a redução do IH. A temperatura base foi estimada em 15,6 °C e o capim-mombaça, e o período de flores cimento indica que essa cultiva seria uma planta de dias curtos sendo o valor de fotoperíodo crítico próxima a 11,81 h. Os modelos de GD, UF e ICC foram bem ajustados com os dados do experimento irrigado, assim como o modelo APSIM-Growth após a modificação de alguns parâmetros. Durante a etapa de avaliação dos modelos, com dados independentes de pastagem irrigada (literatura) e não irrigada (experimento não irrigado), todos os modelos apresentaram um bom desempenho, sendo o APSIM-Growth o modelo que apresentou um menor erro na média geral (6 kg MS/ha/corte) e o modelo UF o modelo empírico que proporcionou valores preditos mais próximo dos observados, com um erro médio geral de 268 kg MS/ha/corte.

Palavras-chaves: APSIM; Gramínea tropical; Graus-dia; Modelo empírico; *Panicum*; Índice hídrico

ABSTRACT

Mathematical models to estimate seasonal pastures production of *Panicum maximum* cv. Mombaça

Two experiments were held simultaneously at Embrapa South-East Cattle Research Center (São Carlos, SP, Brazil, 21°57'42"S , 47°50'28"W) in 2010-2011 using *Panicum maximum* cv. Mombaça (Guineagrass). They were differentiated by the presence or absence of irrigation. The randomized complete block design with four replications was used. The treatments were determined by cumulative thermal times during each growth cycles (i.e. 250, 500, 750 and 1000 °C, base temperature = 0 °C). After the last sample time (1000°C) of each cycle, all the plots were uniformly cut up to 0.3 m above the soil surface to begin a new cycle of re-growth and sampling. At every new growth cycle the pasture was fertilized (N-P-K). The variables recorded were the dry matter above-residue, identification of apical meristem at vegetative state or flowering one, calculation of water index (WI) by ratio between real evapotranspitarion to crop evapotranspiration using the direct method (Diviner) or actual evapotranspitarion to potential evapotranspitarion usgin an indirect method (Climatologic). The data sets from the experiments were used to determine the critical values of the main variables that may influence the Guineagrass growth, besides parameterizing and evaluating an agro-climatic degree-day model (DDi); a photo-thermal-units model (PUi); a growth climate index model (GCIi) and one biophysical function model (APSIM-Growth). The results showed that the relative production of Guineagrass decreases linearly with the reduction of the WI. The base temperature was estimated equal to 15.6 °C and Guineagrass is possibly identified as a short-day plant with a photoperiod critical value close to 11.81 h. All models performed well during the parameterization (R^2 from 0.78 to 0.86 and coefficient of variation from 27 to 32.1%), and evaluation (R^2 from 0.69 to 0.78; agreement index from 0.88 to 0.93; coefficient of variation from 37.6 to 50.2% and mean bias error from 6 to 470 kg DM ha/cutting). APSIM model was the one that showed a minor error and UF model was the empirical model that provided predicted values closer to the observed.

Keywords: APSIM; Crop water stress index; Degree-day; Empirical model; *Panicum*; Tropical grass

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil possui o maior rebanho comercial de bovino do mundo e é o líder mundial em exportação de carne bovina. Em 2010, o PIB do agronegócio da pecuária cresceu 5,47% e o valor bruto da produção pecuária representou R$ 95,6 bilhões (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA, 2011), sendo que as exportações de carne bovina brasileira do mesmo ano representaram US$ 4,89 bilhões (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC, 2011).

Os resultados do Censo Agropecuário realizado em 2006 mostram que a área ocupada por pastagens no Brasil é de 172 milhões de hectares (INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA - IBGE, 2007), o que ressalta a importância que as forrageiras têm no sistema de produção tropical.

O relatório do 4º Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas indica que, no futuro, haverá aumento da temperatura associada à redução da quantidade de água disponível no solo em várias áreas da América Latina (BATES et al., 2008), sendo que as mudanças no padrão de precipitação pluvial deverão afetar a disponibilidade de água para o consumo humano, a agricultura e a geração de energia.

O potencial produtivo de uma determinada espécie vegetal é diretamente influenciado pelos fatores climáticos de cada região (ZHU et al., 2008). Desta forma o conhecimento detalhado de como o clima interfere sobre a produção de pastagens é fundamental para que haja um planejamento coerente com os objetivos de cada sistema de produção, fornecendo informações para um melhor entendimento do crescimento da planta forrageiras devido às particularidades de cada região e aos recursos disponíveis para o seu cultivo.

Além disso, estratégias de utilização de modelos matemáticos simplificados também auxiliam no planejamento, pois podem ser úteis na simulação dos cenários agrícolas atuais e futuros (ANDALES et al., 2006; LAUGHLIN et al., 2007), e os impactos que as mudanças climáticas podem causar no sistema de produção agropecuário (ZHA; ZHANG, 2005; ZHANG; VALENTINE; KEMP, 2007).

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do clima sobre a sazonalidade de produção de massa seca em pastagem de *Panicum maximum* cv. Mombaça, buscando

parametrizar e avaliar modelos empíricos e de função biofísica para estimar a produção de massa seca dessa forrageira no estado de São Paulo.

1.1 Hipóteses

a. Valores de temperatura base e ótimas para o crescimento do *Panicum maximum* cv. Mombaça, assim como o fotoperíodo crítico podem ser estimados com dados obtidos em experimentos conduzidos em campo.

b. Modelos matemáticos empíricos podem estimar satisfatoriamente os efeitos das variáveis climáticas sobre a sazonalidade de produção de massa seca de *P. maximum* cv. Mombaça.

c. A inclusão de um fator de correção para o déficit hídrico nos modelos empíricos de graus-dia e unidade-fototérmica, ajusta significativamente as predições da sazonalidade de produção de forragem em áreas não irrigadas.

d. A atual parametrização do modelo APSIM-Growth não apresenta um desempenho satisfatório na predição da produção do *P. maximum* cv. Mombaça.

e. O modelo APSIM-Growth precisa ser re-calibrado para o *P. maximum* cv. Mombaça para que as simulações apresentem resultados satisfatórios.

1.2 Objetivos

a. Estimar os valores de temperatura base e ótimas para o crescimento do *P. maximum* cv. Mombaça, o fotoperíodo crítico e um índice baseado na evapotranspiração que represente o efeito do déficit hídrico nesta cultivar.

b. Parametrizar e avaliar os modelos de produção de índice de crescimento climático, graus-dia, unidades fototérmicas e APSIM-Growth para simular a sazonalidade de produção de *P. maximum* cv. Mombaça no estado de São Paulo.

c. Incluir um fator de correção para o déficit hídrico nos modelos de graus-dias e unidades fototérmicas, baseado na evapotranspiração, que auxilie nas simulações da sazonalidade de produção de *P. maximum* cv. Mombaça no Estado de São Paulo.

d. Identificar os modelos de melhor desempenho na predição da produção do *P. maximum* cv. Mombaça para áreas irrigadas e não irrigadas.

1.3 Justificativa

A condução de projetos de pesquisa com modelos que estimem a produção e o crescimento de plantas forrageiras tropicais é necessária para que ocorra um maior avanço nos estudos com modelos de simulação utilizados para caracterização da sazonalidade de produção de forragem no estado de São Paulo, contribuindo para um melhor planejamento pecuário, além de prever com maior eficiência os impactos dos cenários agrícolas futuros sobre a produção de pastagens na região.

Atualmente, modelos de simulação da sazonalidade de produção de forragem, considerando a influência das condições hídricas do solo associadas aos fatores climáticos como temperatura e fotoperíodo, são escassos. Isso dificulta a utilização dos atuais modelos para áreas de pastagens não irrigadas que representam a maior parte das condições brasileiras.

Outro ponto a ser destacado é que após a parametrização dos modelos, estes precisam ser avaliados quanto a sua eficiência na predição, sendo que dados independentes originados de observações em campo devem ser utilizados nesta etapa proporcionando uma melhor avaliação da precisão e acurácia, o que praticamente não ocorre nas pesquisas com plantas forrageiras atualmente no Brasil, devido principalmente a dificuldade em adquirir tais informações em qualidade e quantidade significativas. Desta forma, um projeto de pesquisa que aborde o exposto acima se faz necessário no estado de São Paulo para um maior avanço nos estudos com modelos de simulação.

Referências

ANDALES, A.A.; DERNER, J.D.; AHUJA, L.R.; HART, R.H. Strategic and tactical prediction of forage production in northern mixed-grass prairie. **Rangeland Ecology & Management,** Denver, v. 59, n. 6, 576-584, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/download/balanco.pdf >. Acesso em: 23 nov. 2011.

BATES, B.; KUNDZEWICZ, Z.W.; WU, S.; PALUTIKOF, J.P. **Climate change and water:** technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat, 2008. 210 p.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/> Acesso em: 24 nov. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA. **Censo agropecuário 2006.** Rio de Janeiro, 2007. 146 p. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/agropecuario.pdf> Acesso em: 01 ago. 2011.

LAUGHLIN, G.P.; RANATUNGA, K.; BRINKLEY, T.R.; JOHNSON, I.R.; HUTCHINSON, M.F. GROWEST PLUS: a tool for rapid assessment of seasonal growth for environmental planning and assessment. **Environmental Modelling & Software.** Oxford, v. 22, p. 1196-1207, 2007.

ZHA, Y.; GAO, J.; ZHANG, Y. Grassland productivity in an alpine environment in response to climate change. **Area,** London, v. 37, n. 3, p. 332–340, 2005.

ZHANG, B.; VALENTINE, I.; KEMP, P.D. Spatially explicit modelling of the impact of climate changes on pasture production in the North Island, New Zealand. **Climatic Change,** Dordrecht, v. 84, p. 203–216, 2007.

ZHU, X.-G.; LONG, S.P.; ORT; D.R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 19, n. 2, p. 153–159, 2008.

2 FATORES CLIMÁTICOS RELACIONADOS A SAZONALIDADE DE PRODUÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA

Resumo

A sazonalidade climática é função principalmente da oscilação na temperatura do ar, fotoperíodo e precipitação ao longo do ano, contudo ainda pouco se sabe sobre os valores críticos destas variáveis climáticas para o crescimento do *Panicum maximum* cv. Mombaça. O objetivo deste estudo foi identificar os valores críticos das principais variáveis climáticas que influenciam na produtividade do capim-mombaça no Estado de São Paulo. Para isso, um experimento em campo foi implantado na Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos-SP (21°57'42"S, 47°50'28"W) e ntre 2010 e 2011. Foram conduzidos simultaneamente dois ensaios com o capim-mombaça que diferenciaram entre si pela presença ou não da irrigação. O delineado em blocos completos casualizados com quatro repetições foi utilizado. Os tratamentos foram representados pela soma diária da temperatura média do ar de 250; 500; 750 e 1000°C durante cada período de rebrotação. Após as avaliações referentes ao tratamento de 1000 °C acumulados, toda a pastagem era cortada a 0,3 m de altura do solo, fertilizadas (N-P-K) e iniciado um novo ciclo de rebrotação e avaliações. Ao longo de 13 meses foram avaliados 8 ciclos de rebrotação. As variáveis avaliadas em cada tratamento foram acúmulo de massa seca total acima do resíduo, massa seca do resíduo e identificação do meristema apical em vegetativo ou reprodutivo. Ao longo de todo o período experimental foram realizadas leituras no perfil do solo com a sonda Diviner, para estimar a evapotranspiração atual (ETRa, ensaio não irrigado) e potencial (ETRp, ensaio não irrigado), afim de calcular um índice hídrico (IH, ETRa/ETRp) capaz de representar a redução na produtividade do capim-mombaça devido ao estresse hídrico. Um IH também foi estimado usando dados do balanço hídrico climatológico seqüencial, como um método alternativo ao método direto. Os resultados indicaram que a produção relativa reduziu linearmente com a redução do IH direto ou indireto, além de apresentarem uma alta correlação entre si (0,81; p>0,0001). A temperatura base média diária para o capim-mombaça foi estimada em 15,6 °C , no entanto os dados não foram suficientes para que a temperatura média diária ótima de crescimento fosse estimada, dando apenas indícios de que este valor seria superior ou igual a 20,74 °C. Os resultados indicam que o capim-mombaça é uma planta de dias curtos em que o fotoperíodo crítico sereia um valor próximo de 11,81 h.

Palavras-chaves: Balanço hídrico; Déficit hídrico; Fotoperíodo crítico; Graus-dia; Meristema apical; Temperatura base

Abstract

The pasture growth is strongly influenced by seasonal air temperature, photoperiod and precipitation over the year, but little still is known about the critical

values of these climatic variables for *Panicum maximum* cv. Mombaça (Guineagrass) growth. Two experiments were held simultaneously at Embrapa South-East Cattle Research Center (São Carlos, SP, Brazil, 21°57'42"S , 47°50'28"W) in 2010-2011 using Guineagrass. They were differentiated by the presence or absence of irrigation. The randomized complete block design with four replications was used. The treatments were determined by cumulative thermal times during each growth cycles (i.e. 250, 500, 750 and 1000 °C, base temperature = 0 °C). After the la st sample time (1000° C) of each cycle, all the plots were uniformly cut up to 0.3 m above the soil to begin a new cycle of re-growth and sampling. At every new growth cycle the pasture was fertilized (N-P-K). The variables recorded were the dry matter above-residue, identification of apical meristem at vegetative state or flowering one, the ratio of actual evapotranspitarion (Ea) to potential evapotranspiration (Ep) using a direct (Diviner) and an indirect (Climatologic) method. The results showed that the relative production of Guineagrass decreases linearly with the reduction of the Ea/Ep and that the direct and indirect methods are strongly correlated (0.81; p>0.0001). The daily average base temperature was equal to 15.6 °C. The daily average optimum temperature can not be estimated but probably this value should be higher than 20.74 °C. Guineagrass i s possibly identified as a short-day plant with a photoperiod critical value close to 11.81 h.

Keywords: Apical meristem; Base temperature; Degree-days; Photoperiod critical; Water balance; Water deficit

2.1 Introdução

As áreas de pastagens (cultivadas e naturais) no Brasil têm sido oficialmente registradas por aproximadamente quatro décadas (INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA - IBGE, 2007). Os resultados mostram que o aumento nesta área foi cerca de 11,8% entre 1970 e 2006, alcançando valores atuais de 172 milhões de hectares, sendo que a região Sudeste representa 19% desta fração, abaixo apenas da região Centro-Oeste com 33% do total (IBGE, 2007).

As plantas forrageiras tropicais perfazem a maior parte das pastagens cultivadas no estado de São Paulo sendo que as *Brachiaria* sp. são as mais cultivadas chegando a um valor de aproximadamente 7,19 milhões de ha (SÃO PAULO, 2008), no entanto as cultivares de *Panicum* maximum são muitas vezes preferidas em sistemas de produção mais intensificados devido a alta produtividade anual desta forrageira. Em 1993 foi lançada a cultivar Mombaça, sendo sua principal característica a elevada produção de massa seca total (até 41.000 kg/ano) e proporção de folhas (82%), além de ser mais produtiva e apresentar uma menor sazonalidade de produção quando comparada ao *P.*

maximum cv. Colonião (EMBRAPA GADO DE CORTE, 1990; JANK; COSTA, 1990; JANK, 1995).

Resultados de pesquisa com pastagens de capim-mombaça cultivadas no estado de São Paulo têm apresentado valores acumulados de massa seca total ao longo do ano de 19.686 a 41.680 kg/ha (HERLING et al., 1998; SISTI; HERLING; LUZ, 1999; MORENO, 2004; SOUZA et al., 2005; CARNEVALLI et al., 2006), sendo essa amplitude ocasionada principalmente pela diferença em manejo do pastejo, irrigação e adubação nitrogenada.

Fatores climáticos estão diretamente ligados ao crescimento das plantas forrageiras, sendo os principais responsáveis pela variação na produção ao longo do ano, quando o manejo da pastagem e a fertilidade do solo não são limitantes. De forma geral aproximadamente 84% da produção anual de plantas forrageiras cultivadas em São Paulo, ocorre na primavera/verão (PEDREIRA; MATTOS, 1981). Santos et al. (2004) observaram que em pastagem de capim-mombaça a baixa produção no outono/inverno também estava associada com o período do florescimento que interferiu tanto na produtividade, reduzindo as taxas de acúmulo de massa, quanto na qualidade da pastagem devido o aumento da relação colmo/folha.

O florescimento em plantas forrageiras é induzido principalmente pelo fotoperíodo. No caso de espécies de *P. maximum*, estudos têm indicados que, de modo geral, essas são plantas de dias curtos (FELIPPE, 1978; LOCH, 1980), sendo que um fotoperíodo de 12 horas tem sido relatado como crítico para o capim-colonião (FELIPPE, 1978). Após a indução floral é dado início a diferenciação meristemática, sendo que neste instante a formação dos primórdios foliares é interrompida e os tecidos reprodutivos passam a ser originados (TAIZ; ZEIGER, 2004; REINHEIMER; POZNER; VEGETTI, 2005). Por esses motivos ocorrem mudanças na composição morfológica dos perfilhos como a diminuição na relação folha/colmo devido a redução na taxa de aparecimento de folhas (SANTOS et al., 2004).

A sazonalidade climática é função, principalmente, além da variação no fotoperíodo, da oscilação na temperatura do ar e da precipitação ao longo do ano, mas apesar desta informação já ser relatada na literatura (PEDREIRA; MATTOS, 1981; HERLING et al., 1998; SISTI; HERLING; LUZ, 1999; MORENO, 2004; SOUZA et al.,

2005; CARNEVALLI et al., 2006), pouco se sabe sobre os valores críticos destas variáveis climáticas para o crescimento do capim-mombaça, sendo fornecido até então informações mais generalizadas sobre a interferência do clima na produtividade anual.

A modelagem do crescimento de plantas forrageiras tropicais tem sido uma ferramenta útil para um melhor entendimento da sazonalidade de produção devido às particularidades climáticas de cada localidade (VILLA NOVA et al., 1999; TONATO et al., 2010; CRUZ et al., 2011; PEDREIRA et al., 2011). Os modelos empíricos têm apresentado bons desempenhos quanto à predição das taxas de acúmulo de massa seca para pastagens irrigadas de *P. maximum* cv Tanzânia (CUNHA et al., 2008; ALMEIDA et al., 2011); *Pennisetum purpureum* cv Napier (VILLA NOVA et al., 1999), *Brachiaria ruzizienses* (VILLA NOVA et al., 2005) e *Urochloa brizantha* cv. Marandu (CRUZ et al., 2011), sendo a temperatura do ar e o fotoperíodo as principais variáveis envolvidas nos modelos desenvolvidos.

A inclusão de índices relacionados à disponibilidade de água no solo nestes modelos, têm apresentado resultados promissores na estimativa da taxa de acúmulo de massa seca de forragem em situações de sequeiro (ARAUJO et al., 2010; ALMEIDA et al., 2011; CRUZ et al., 2011), sendo que alguns índices têm explicado, de forma isolada, até 79% da variação na produção relativa de pastagem, como no caso da relação entre o armazenamento de água no solo atual com o máximo (PEZZOPANE et al., 2011).

A identificação dos fatores que determinam a produção sazonal do capim-mombaça contribuirá para o planejamento forrageiro, principalmente por fornecer valores que podem servir como indicadores do crescimento sazonal, o que seria uma ferramenta útil para auxiliar os técnicos na tomada de decisão e planejamento alimentar dos animais. Além disso, o conhecimento detalhado destes fatores contribuirá para o desenvolvimento de modelos de simulação da produção de forragem, proporcionando melhores ajustes dos parâmetros assim como das estimativas da produtividade, contribuindo para o manejo da pastagem, zoneamento agrícola, previsão da produtividade de massa ou identificação do potencial produtivo de uma determinada localidade. O objetivo com este estudo foi identificar os valores críticos das principais

variáveis climáticas que influenciam na sazonalidade de produção do capim-mombaça no Estado de São Paulo.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Período e local experimental

O experimento foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste (São Carlos, SP, 21°57'42"S, 47°50'28"W e 860 m de altitude). O clim a local é denominado tropical de altitude (classificação de Koeppen: Cwa) com média das temperaturas máxima, mínima e média do ar, e precipitação acumulada do local (2009-2011) de 27,1; 15,9; 21,5 °C e 1356 mm respectivamente (EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE, 2011). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com textura média, conforme Embrapa (1999).

2.2.2 Implantação e delineamento experimental

Foram realizadas análises físicas e químicas (Tabelas 1 e 2) da terra da área experimental nas profundidades de 0-0,20 m. Os teores de areia, argila e silte foram respectivamente 71,8; 24,8 e 34,0% para o solo da área irrigada e 72,5; 23,5 e 40,0% para a área não irrigada.

Tabela 1 - Análise de macronutrientes na camada de 0-0,20 m

Área	pH	pH	M.O.	P	S.SO4	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	S	V	M
	H_2O	$CaCl_2$	g/dm^3	mg/dm		mmol$_c$/dm							%	
Irrigada	5,5	4,7	23	8	3	0,9	15	5	32	1	53	21	39	5
Não Irrigada	5,8	4,8	26	11	7	1,1	17	7	34	2	59	25	42	6

M.O.= Matéria orgânica, CTC = Capacidade de troca catiônica potencial, S = Soma de bases, V = Saturação de bases e M = Saturação de alumínio.

Tabela 2 - Análise de micronutrientes na camada de 0-0,20 m

Área	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg/dm^3				
Irrigada	0,25	0,8	47	12,9	1,0
Não Irrigada	0,22	0,9	60	13,5	2,2

Antes da semeadura o solo foi preparado de forma convencional. A pastagem de capim-mombaça foi semeada em 18 de novembro de 2009 utilizando-se aproximadamente 5 kg se sementes puras e viáveis por hectare, sendo a semeadura realizada com auxílio de uma semeadora própria para forrageiras, respeitando-se um espaçamento entre fileiras de 0,25 m.

A pastagem foi irrigada durante todo o período de estabelecimento. Ao longo desta fase, foram realizados dois cortes de uniformização (19/Jan e 23/Fev/2010) a 0,3 m de altura do solo (resíduo adotado), a fim de proporcionar um maior perfilhamento e estabelecimento da forrageira. Após cada corte de uniformização adubou-se a pastagem com nitrogênio via sulfato de amônia (80 kg N/ha).

Cada ensaio (irrigado e não irrigado) foi delineado em blocos completos casualizados com quatro repetições (Figura 1). As parcelas experimentais tinham dimensões de 6 x 6 m onde estavam alocados os tratamentos, os quais representavam as somatórias da temperatura média do ar diária, que foram correspondentes a 250; 500; 750 e 1000°C (T250; T500; T750 e T1000, respectivamente) durante o período de rebrotação de cada ciclo de crescimento. Desta forma, a área experimental foi composta por um total de 32 parcelas.

Figura 1 - Imagem de satélite da área experimental. O contorno em vermelho destaca os ensaios irrigado e o não irrigado, as linhas brancas tracejadas delimitam os blocos e as linha azuis o sistema de irrigação

Data da imagem: 06/12/2010

Os valores da somatória das temperaturas médias do ar ficaram próximos ao previsto para cada tratamento na média de todas as avaliações, com média±desvio padrão de 255±10; 517±18; 756±12 e 1010±17 ℃ para os tratamentos T250; T500; T750 e T1000 respectivamente, sendo que os períodos de crescimento variaram de 13 a 49 dias.

No cultivo irrigado o fornecimento hídrico foi realizado com auxilio de um sistema de irrigação por aspersão convencional. A lâmina de água necessária em cada irrigação era calculada por meio do método “EPS” (EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE, 2002). Esse método considera os valores correspondentes a soma diária da evaporação de Pichê e da precipitação a cada quatro dias, assim se durante esse período a diferença entre estes valores for ≥ 20 mm, a irrigação se faz necessária.

2.2.3 Parâmetros avaliados

As freqüências com que os parâmetros foram avaliados correspondeu ao tempo equivalente a cada tratamento em estudo (T250; T500; T750 e T1000). Após a avaliação do último tratamento (T1000) foram realizados cortes de uniformização em todas as parcelas, a uma altura de 0,3 m, iniciando-se um novo ciclo de avaliações. Este procedimento foi repetido ao longo de 13 meses consecutivos (fevereiro de 2010 a abril de 2011).

2.2.3.1 Acúmulo de forragem e composição morfológica

Para cada tratamento foram realizadas amostragens para quantificar a massa seca acima e abaixo da altura estabelecida para o resíduo (0,3 m). Esta etapa correspondeu a coleta da forragem presente no interior de dois quadrados por parcela, com dimensões de 1,0 x 1,0 m. As amostras referentes a fração acima e abaixo do resíduo foram quantificadas individualmente.

Após a pesagem no campo foi retirada uma sub-amostra de aproximadamente 500g de massa verde, que foi destinada a separação morfológica em colmos+bainhas, lâminas foliares, materiais senescentes (qualquer fração morfológica com mais de 50% de tecido senescente era considerada por inteira como fração senescente, caso

contrário apenas o tecido em senescência era destacado da fração) e inflorescência. A determinação da porcentagem de massa seca das frações morfológicas foi realizada com auxílio de uma estufa de ventilação forçada a 60 ℃ até peso constante.

2.2.3.2 Meristema apical

A identificação da fase de desenvolvimento do meristema apical foi realizada em 10 perfilhos basais por parcela e que possuíssem altura próxima a da média observada (curvatura da folha recentemente expandida). Os perfilhos que apresentavam inflorescência não eram amostrados. Os perfilhos foram seccionados a altura do solo (Figura 2) e posteriormente levados ao laboratório onde foram cortados longitudinalmente (Figura 3) para identificar se a fase de desenvolvimento do meristema apical era reprodutiva, quando os racemos primordiais eram identificados (Figura 4 a, b e c), ou vegetativa, quando estes não eram observados (Figura 4 d). A observação dos meristemas foi realizada com auxílio de um microscópio estereoscópico Coleman modelo XTB.

Figura 2 - Coleta do perfilho basal em pastagem de capim-mombaça

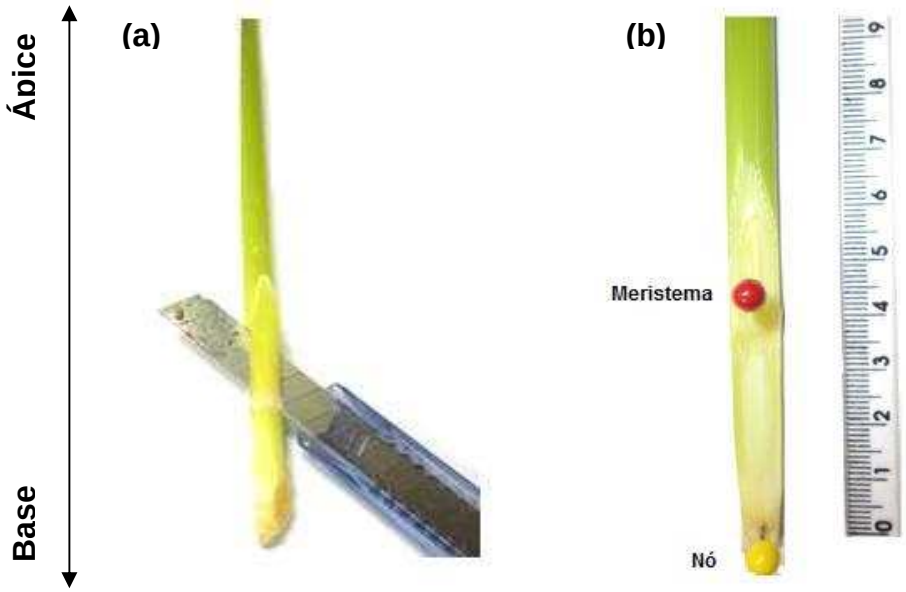


Figura 3 - Fotos ilustrando a (a) secção longitudinal e a (b) localização do meristema apical em perfilhos basais de capim-mombaça

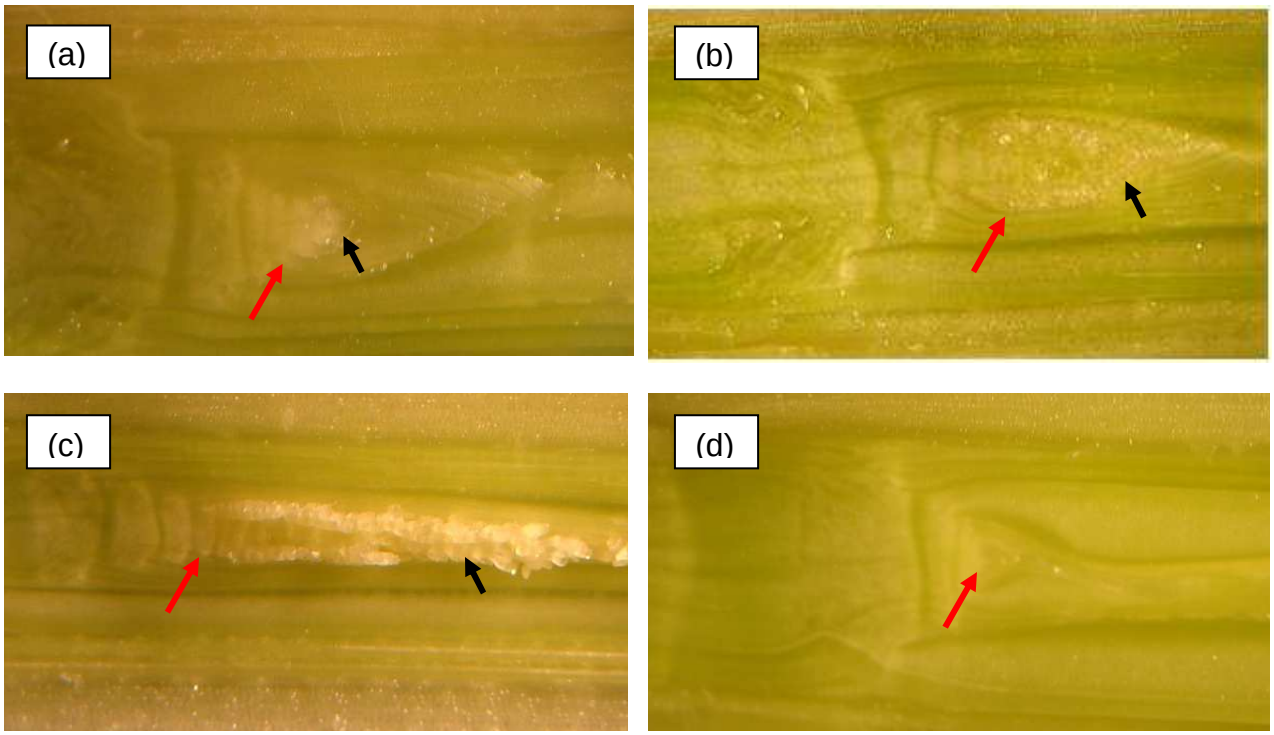


Figura 4 - Fotos ilustrando as fases reprodutiva: (a), (b), (c) e (d) vegetativa do meristema apical em perfilhos de capim-mombaça

As setas vermelhas destacam o meristema apical e as pretas os racemos. As posições basal e apical do perfilho estão situadas a esquerda e a direita da figura, respectivamente

2.2.3.3 Índice hídrico pelo método direto

O índice hídrico foi calculado como sendo a relação entre a evapotranspiração real (ETR_r) e a evapotranspiração da cultura (ETR_c), sendo estes determinados nos experimentos não irrigado e irrigado respectivamente.

O monitoramento do teor de água no solo foi realizado com o auxílio de um módulo de coleta de dados e um sensor capacitivo (Diviner®). O procedimento para se obter a curva de calibração da sonda Diviner 2000® foi realizado seguindo instruções fornecidas pelo fabricante do equipamento (SENTEK, 2001). Em uma área próxima do local experimental, que possuía tipo de solo e topografia semelhantes ao do experimento, foram instalados dois tubos de acesso (feitos em PVC) para cada condição de umidade do solo (encharcado, úmido e seco). Cada tubo possuía comprimento de 1,0 m e foram distanciados 2,0 m entre si, para a mesma condição de umidade no solo, e 5 m entre diferentes condições (Figura 5).

Figura 5 – Ilustração da disposição dos tubos no solo utilizado para calibração da sonda Diviner 2000®
Vista aérea

Durante o procedimento de calibração para cada condição de umidade no solo, foram realizadas leituras com a sonda a cada 0,10 m até a profundidade de 1,0 m. Logo após este procedimento, três amostras indeformadas de solo foram coletadas ao lado

de cada tubo e a cada 0,10 m de profundidade, para a determinação da umidade gravimétrica em volume do solo após a secagem em estufa a 105 ℃ por 24 h.

Também foram realizadas medições das capacitâncias do ar e da água com a sonda, obtendo-se as respectivas leituras de freqüência bruta. Desta forma, a freqüência relativa (FR, 0→1) foi então calculada conforme a eq. (1):

$$FR = (Fa - Fs)/(Fa - Fw) \quad (1)$$

Onde Fa = leitura de freqüência bruta no ar; Fw = leitura de freqüência bruta na água e Fs = leitura de freqüência bruta no solo em cada profundidade, para cada condição de umidade.

Após o registro dos dados de FR e os respectivos valores de umidade volumétrica do solo, foi possível estimar os coeficientes da equação de ajuste proposta pelo fabricante, como sendo:

$$\theta_v = A.FR^B + \mathrm{C} \quad (2)$$

Em que θ_v é a umidade volumétrica do solo em m^3/m^3, A, B e C são coeficientes de ajustes da equação (adimensionais) e FR a freqüência relativa. Um melhor ajuste foi obtido utilizando-se uma equação de calibração para cada profundidade do solo (Figura 6).

Durante a condução do experimento, as leituras com a sonda Diviner foram realizadas por meio de tubos de acesso instalados no centro de cada tratamento T1000 (representando o bloco) com freqüência de no mínimo quatro vezes por semana (as segundas, terças, quartas e quintas-feiras) a cada 0,10 m até 1,0 m de profundidade, próximo das 16h00min. Os valores da ETR_r e ETR_c foram então estimados pela

variação no teor de água total no solo entre as leitura, considerando o perfil de 0 a 1,0 m de profundidade.

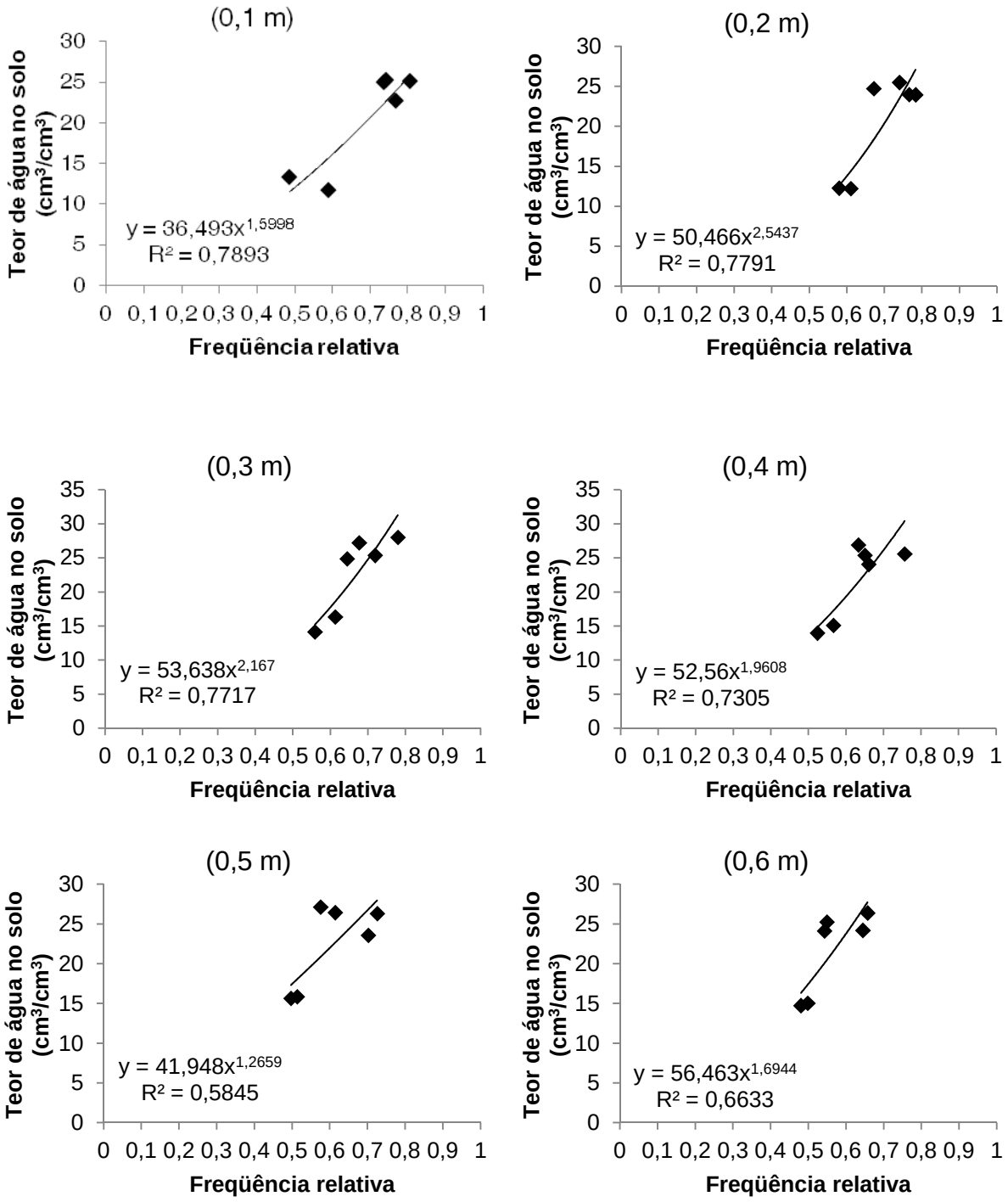


Figura 6 – Equações de calibração ajustadas para cada profundidade. Metodologia adotada conforme manual do Diviner®

Cada ponto é uma media de 3 amostragens (18 amostras por profundidade)

2.2.3.4 Índice hídrico pelo método indireto

O índice hídrico estimado pelo método indireto foi calculado como sendo a relação entre evapotranspiração atual (ETR_a) e a potencial (ETR_p). A ETR_a foi calculada pelo balanço hídrico climatológico seqüencial (THORNTHWAITE; MATHER, 1955) e a ETR_p como sugerida por Thornthwaite (1948), ambos na escala diária. Foi considerado o valor de 1,0 para o coeficiente de cultivo e 100 mm como a capacidade máxima de retenção de água no solo.

2.2.3.5 Cálculo dos graus-dia

Os graus-dias foram estimados conforme Ometto (1981) considerando duas possibilidades de ocorrência da temperatura mínima do ar, conforme eq. (3):

$$GDi = \sum \left[\left(t\max_i + t\min_i \right) / 2 \right] - tb \qquad \text{onde} \qquad \text{tmin}_i > \text{tb} \tag{3.1}$$

$$GDi = \sum \left(t\max_i - tb \right)^2 / 2.\left(t\max_i - t\min_i \right) \qquad \text{onde} \qquad \text{tb} \geq \text{tmin}_i \tag{3.2}$$

Onde, $tmax_i$, $tmin_i$ e tb são os valores diários de temperatura máxima e mínima do ar respectivamente e tb é a temperatura base para o crescimento da pastagem.

A tb foi estimada pelo método da regressão linear simples (BONHOMME, 2000). Para isso, foi relacionado os dados de taxa de acúmulo de massa seca acima do resíduo (kg MS/ha/dia) observados para o tratamento T1000 do experimento irrigado, com a respectiva soma diária dos valores de temperatura média.

2.2.4 Adubação de manutenção

As adubações de manutenção foram realizadas aplicando-se os fertilizantes após o corte de uniformização de cada ciclo (final de cada ciclo de crescimento, após o acúmulo de 1000 ^{o}C). As quantidades de nitrogênio e potássio aplicados foram as mesmas para ambos os experimentos (irrigado e não irrigado) que corresponderam a 80 kg de N/ha/ciclo (MARTA JÚNIOR et al., 2004) via sulfato de amônia e 40 kg K_2O/ha/ciclo via cloreto de potássio (RAIJ et al., 1996). Já a adubação fosfatada foi realizada com base na produtividade de massa seca total de cada experimento, onde uma quantia de P_2O_5 (kg/ha/ciclo) equivalente a 0,25% da produtividade total de massa seca acima do solo (CORSI; NUSSIO, 1994) observada no corte do tratamento T1000, era aplicada via superfosfato simples. Um total de 262 e 199 kg P_2O_5/ha foi aplicado no experimento irrigado e não irrigado respectivamente.

Ao longo dos ciclos não foram constatados, visualmente, sintomas de deficiência nutricional na pastagem.

2.2.5 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa SAS (2002) versão 9.0. Foram utilizadas nas análises de acúmulo de massa seca, somente os valores observados acima do resíduo de corte (0,3 m), sendo este considerado o valor total acumulado para cada tratamento.

Antes da análise de variância, foi realizado o teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) com o auxílio do procedimento “UNIVARIATE”, para o teste de normalidade dos resíduos de cada variável. Para a análise de variância foi utilizado o procedimento de modelos mistos (MIXED) com medidas repetidas no tempo conforme o modelo estatístico (eq. 4):

$$y = \mu + B_i + T_j + E_{ij} + C_k + (TC)_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (4)$$

Onde μ = média geral; B_i = efeito do bloco (i = 1 a 8); T_j = efeito do tratamento (j = T250; T500; T750 e T1000); E_{ij} = efeito residual associado a parcela (bloco x tratamento); C_k = efeito do ciclo de avaliação (k = 1 a 8), TC_{jk} = interação do tratamento x ciclo de avaliação e ε_{ijk} = erro residual. Os efeitos fixos foram representados pelos tratamentos, ciclos e suas interações e os blocos foram considerados como efeitos aleatórios. A matriz de covariância que melhor se ajustou ao conjunto de dados foi a "Auto Regressiva de Primeira Ordem - AR (1)".

As médias foram comparadas ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Os valores apresentados são as médias ajustadas obtidas pelo método dos quadrados mínimos. Foi adotado como medida de dispersão o erro-padrão da média $\left(\sqrt{Quadrado\ Médio\ do\ Resíduo\ da\ ANOVA/n}\right)$. As correlações apresentadas foram realizadas com o auxílio do "Proc Corr".

2.3 Resultados e Discussão

A fração de folhas representou neste experimento cerca de 92% da produção total acima do resíduo, tanto para a pastagem irrigada como a não irrigada. Por esse motivo não serão apresentados os valores referentes a produção de colmos e folhas.

A precipitação acumulada ao longo do experimento foi de 1658 mm, sendo que os maiores e menores valores foram observados durante os ciclos 8 e 4 respectivamente (Tabela 3).

Os períodos mais chuvosos foram os referentes aos ciclos 1; 7 e 8 que juntos representaram ~75% da precipitação total (Tabela 3). O índice hídrico climatológico (IHC) reduziu acentuadamente do ciclo 1 (0,95) até o ciclo 4 onde atingiu o menor valor de 0,34, voltando a aumentar nos ciclos subseqüentes, estabilizando em 0,95 no ciclo 8 (Tabela 3). Variação semelhante foi observada para o método direto usando a sonda Diviner (IHD), porém com valores absolutos inferiores aos do IHC (Tabela 3).

Tabela 3 – Caracterização dos ciclos de crescimento avaliados em São Carlos, SP

Ciclo	ΨEstação do ano	†Duração do ciclo			§Clima							¶Fotoperíodo (h/dia)	
		Início	Fim	Dias	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Pre (mm)	Rs (MJ/m)	IHC	IHD	Ni	Nf
1	V/O	23/2/10	13/4/10	49	17,6	27,8	21,8	315	18,1	0,94	0,89	12,58	11,49
2	O	13/4/10	1/6/10	49	14,4	26,1	19,2	30	16,3	0,71	0,81	11,49	10,68
3	O/I	2/6/10	28/7/10	56	12,6	25,3	17,6	52	15,1	0,53	0,49	10,67	10,91
4	I	28/7/10	21/9/10	55	13,1	28,2	19,6	9	19,0	0,34	0,23	10,91	12,03
5	P	22/9/10	9/11/10	48	15,5	27,5	20,7	155	18,3	0,81	0,65	12,06	13,05
6	P	10/11/10	22/12/10	42	17,5	29,3	22,5	164	20,3	0,85	0,72	13,06	13,41
7	V	7/1/11	21/2/11	45	18,7	29,8	23,0	420	19,2	0,95	0,95	13,33	12,62
8	V/O	22/2/11	11/4/11	48	18,0	26,8	21,4	509	13,8	0,95	-	12,60	11,53

ΨV = verão; O = outono; I= inverno e P = primavera. †Duração de cada ciclo desde o corte de uniformização até a última avaliação (T1000). §Valores médios por ciclo, onde Tmin = temperatura mínima, Tmax = máxima e Tmed média do ar, Pre = precipitação acumulada, Rs = radiação solar global incidente e IHC = índice hídrico estimado pelo método climatológico ou IHD = Diviner ¶Fotoperíodo no início (Ni) e no final (Nf) do ciclo de crescimento

2.3.1 Índice hídrico

O clima onde o experimento foi conduzido é classificado como “Cwa” (Koeppen), o que caracteriza além de um verão quente um inverno seco. Assim os meses mais frios são também os com menor precipitação total, desta forma não é possível desassociar o efeito do déficit hídrico do estresse térmico em experimentos em campo, no entanto os valores de IH podem ser utilizados para destacar o efeito do déficit hídrico sobre a produção do capim-mombaça.

A redução na produção do capim-mombaça seguiu um comportamento semelhante aos valores de IHD e IHC. A produtividade relativa (não irrigado/ irrigado) apresentou uma maior acurácia com os valores de IHC (0,8685; P<0,0001) quando comparada ao IHD (0,7496; P<0,0001), sendo que ambos tiveram um intercepto igual a zero (P>0,10) (Figura 7).

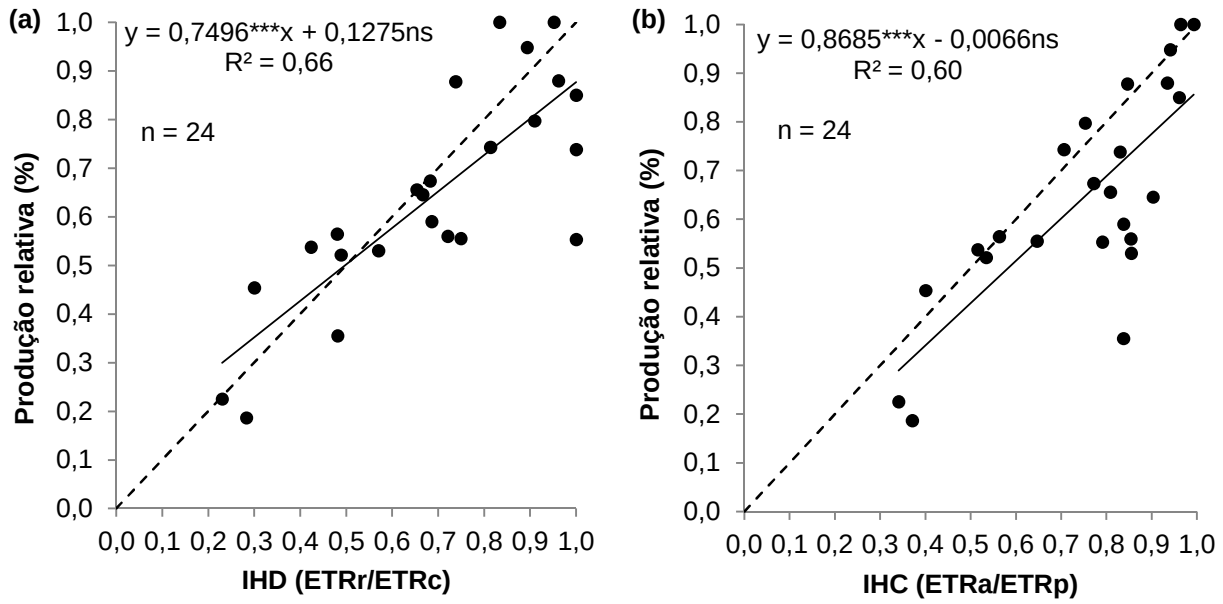


Figura 7 – Relação entre a produtividade relativa do capim-mombaça e o índice hídrico estimado pela (a) sonda Diviner (IHD) e pelo (b) balanço hídrico climatológico (IHC)

Onde ETRi = evapotranspiração (a= atual, p= potencial, r= real e c= cultura). Cada ponto representa um valor médio para um determinado tratamento e ciclo. Foi possível estimar 24 médias das 32 possíveis. --- linha 1:1. ***P<0,0001 e ^{ns}P<0,1

Resultados semelhantes foram apresentados por Pezzopane et al. (2011) para a mesma cultivar, ao utilizarem dados de dois anos (2004 a 2007) de pastagens cultivadas no Município de São Carlos-SP (n = 51). Os autores observaram uma redução linear na produção relativa quando o valor de IHC foi inferior a 0,94. Essas informações explicam os melhores ajustes obtidos em modelos empíricos quando este índice é considerado. Cruz et al. (2011) observaram que um modelo linear simples utilizando o graus-dia como variável independente, foi capaz de explicar 64% (R^2; p<0,0001) da variação na taxa de acúmulo de massa seca do capim-marandu em sequeiro (21°57'S, 47°51'W), contudo, quando o grau s-dia foi corrigido para o déficit hídrico (graus-dia x IHC) a precisão aumentou para 75% (p<0,0001).

A utilização do IHC também foi adotado de forma empírica por Tonato et al. (2010), como uma alternativa para identificar se os dados de taxa de acúmulo de forragens tropicais presente no banco de dados eram provenientes de períodos em que o déficit hídrico tinha ocorrido ou não.

Os resultados aqui apresentados indicam que tanto o IHD como o IHC podem ser variáveis úteis na identificação de períodos do ano em que a produtividade do capim-mombaça pode ser reduzida devido ao déficit hídrico. Outro ponto importante a ser destacado é a alta correlação existente entre os valores de IHD e IHC (0,81; p>0,0001; n = 24) indicando que o método indireto pode ser utilizado no lugar do método direto, o que é uma vantagem principalmente pela facilidade na estimativa do IHC que requer apenas dados de temperatura do ar, precipitação e latitude.

2.3.2 Temperatura do ar

Ao longo de todo o período experimental a temperatura mais baixa ocorreu durante o ciclo 3, com temperatura média do ar de 17,6 ℃ e média mínima de 12,6 ℃, enquanto que as temperaturas mais elevadas ocorreram no ciclo 7 com valores de 23,0 e 18,7 ℃ para temperatura média e mínima, respectivamente (Tabela 3).

A temperatura média diária base (tb) estimada para o capim-mombaça foi de 15,6 ℃ (Figura 8a), valor abaixo daquele apresentado por Moreno (2004) para a mesma cultivar (22°42''S, 47°30'W, 580 m) que foi de 17,54 ℃. Considerando que o experimento conduzido por Moreno (2004) também foi irrigado com altura de corte do resíduo (0,35 m) semelhante ao deste experimento (0,30 m), assim como a adubação nitrogenada que correspondeu a 485 kg N/ha/ano quanto comparado aos 640 kg N/ha/ano aplicados neste experimento, essa diferença observada entre os valores estimados pode está relacionada a diferença na amplitude dos dados de taxa de acúmulo observados por moreno que variaram de 7,5 a 110 quando comparados ao deste experimento que foram de 29,43 a 120,43 (Figura 8b).

No entanto, quando se adaptou os dados de Moreno (2004) aos do presente experimento em uma única análise de regressão (Figura 8b), um novo valor de tb pode ser estimado. Desta vez, a tb foi igual a 14,9 ℃ valor muito próximo daquele estimado inicialmente de 15,6 ℃ (Figura 8a), dando fortes indicações de que a tb de 15,6 ℃ estaria adequada para o capim-mombaça.

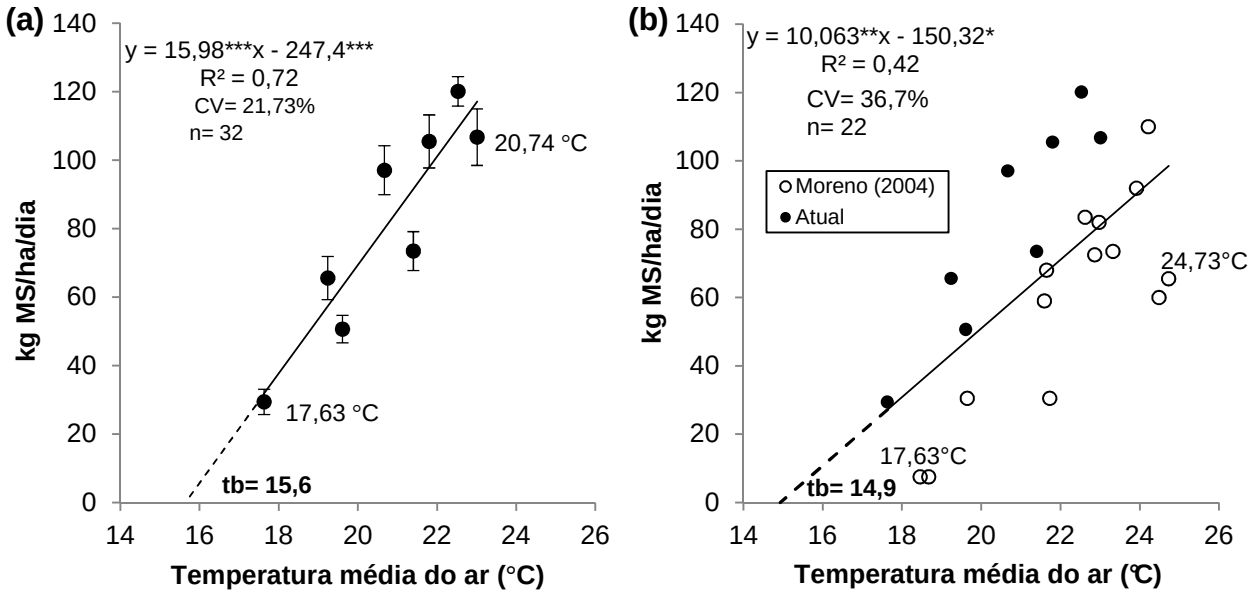


Figura 8 - Temperatura base estimada para o capim-mombaça utilizando (a) apenas os dados observados neste experimento ou (b) associados os adaptados de Moreno (2004)

No gráfico b foram usados apenas as médias. ***p<0,0001; **p<0,01; *p<0,05

Os resultados apresentados neste experimento não permitem informar qual a temperatura ótima para o máximo crescimento do capim-mombaça, visto que não foi identificada uma redução no acúmulo de forragem devido ao aumento nas temperaturas médias do ar (Figura 8), indicando apenas que esse valor seria igual ou superior a 20,74 °C que correspondeu ao valor máximo observado na média dos ciclos (Figura 8a).

A literatura é escassa, quanto as informações referentes as temperaturas ótimas para o crescimento do capim-mombaça, no entanto os resultados apresentados para outra espécie de forrageiras tropicais ou sub-tropicais, dão indícios de que esse valor seria superior a 25 °C. Em um estudo avaliando a taxa de crescimento de *Cenchrus ciliaris*, *Chloris gayana*, *Panicum maximum* var, trichoglume, *Panicum coloratum* var. makarikariense e *Pennisetum clandestinum* em função da temperatura do ar, Ivory e Whitwman (1978) observaram um crescimento mais acelerado para essas espécies, quando a temperatura média do ar na câmara de crescimento foi fixada de 29 a 35 °C e 26 a 30°C, para o período diurno e noturno respectivamente. Patjerson (1990) observou

que 75% do máximo crescimento de plantas de *Panicum texanum*, cultivadas em câmara de crescimento, ocorreu em temperatura média do ar diária de 26 ℃. Para o capim-marandu enquanto Cruz (2010) estimou com dados de campo que esse valor seria de 27 a 35 ℃ com base na temperatura média d iária do ar.

Quando todos os tratamentos e ciclos foram avaliados no experimento irrigado, foi detectado um efeito da interação entre eles (p<0,0001) (Figura 9). Observa-se que a diferença na produção entre os ciclos para o um mesmo tratamento, foi mais expressiva quanto maior foi o valor do tratamento. Assim, apesar das variações climáticas ao longo do período experimental (Tabela 3), pouca ou nenhuma variação foi observada entre os ciclos para o tratamento T250 (Figura 9), demonstrando que o crescimento do capim-mombaça até 250 ℃ acumulados esteve menos associad o às condições climáticas quando comparado aos tratamentos T500; T750 e T100.

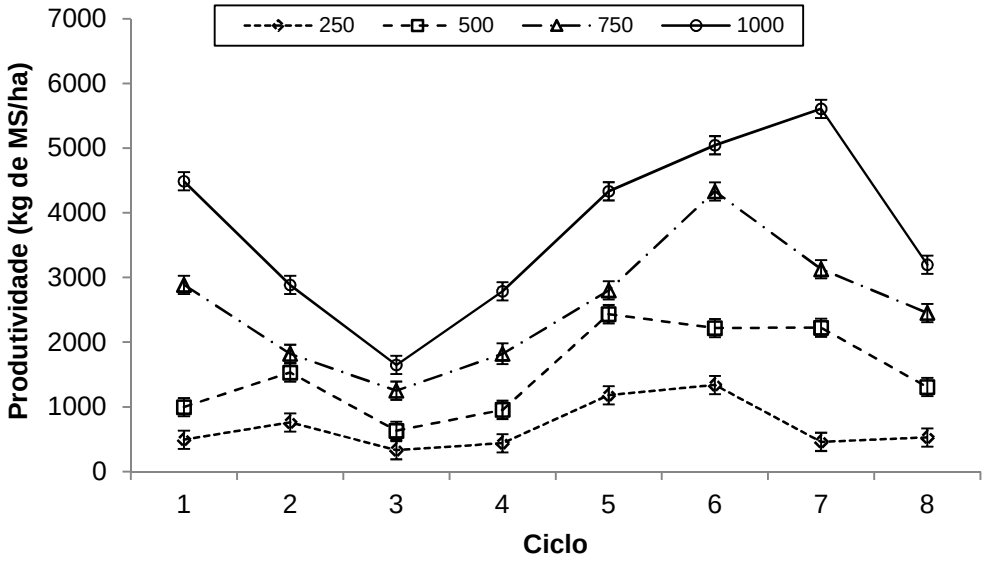


Figura 9 - Produtividade de massa seca, acima do resíduo (0,3 m), conforme a soma diária da temperatura média do ar (℃) e do ciclo d e crescimento

As barras verticais representam o erro padrão da média $\left(\sqrt{Q.M.Resíduo/n}\right)$

Na figura 10 é apresentada a correlação da produção de massa seca observada acima do resíduo com a massa seca de tecidos verdes do resíduo e a soma diária dos graus-dia. Nesta análise, observa-se que a produção de massa seca acima do resíduo

está mais correlacionada com a massa do resíduo inicial para o tratamento T250, enquanto que a correlação com o somatório de graus-dia foi maior com o tratamento T750 (Figura 10). Em outras palavras, a fase inicial de crescimento do capim-mombaça até a atingir o valor 250℃ está mais associada à m assa do resíduo inicial seguida de uma fase de equilíbrio quando 500 ℃ foram acumulad os, enquanto que a fase de crescimento acima de 750 ℃ estaria mais associada aos graus-dia.

Essa maior associação da fase inicial da rebrotação com a massa do resíduo estaria relacionada aos meristemas apicais, índice de área foliar, e reservas orgânicas remanescentes no resíduo após o corte, pois são as principais variáveis que determinam o vigor de uma rebrota após o corte ou pastejo (GOMIDE; OBEID; RODRIGUES, 1979; GOMIDE; ZAGO, 1980; HERLING; PAIVA; LUZ, 2001).

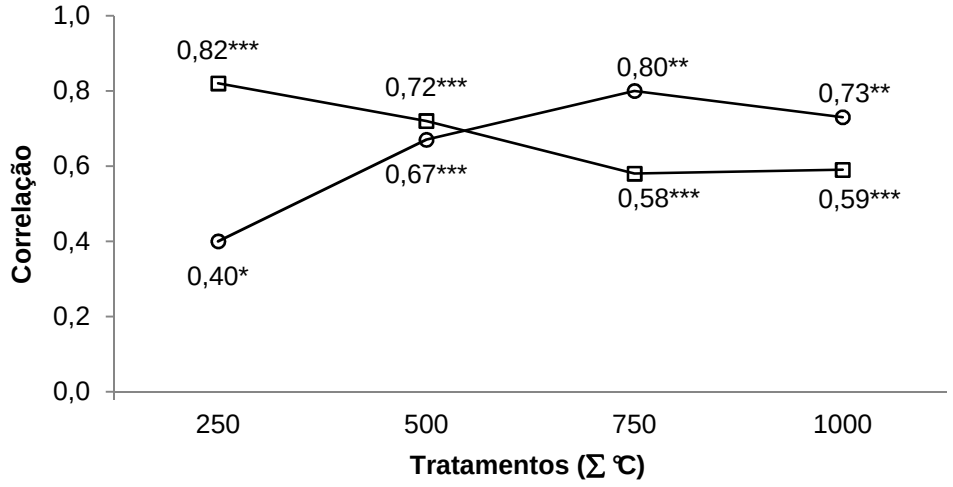


Figura 10 - Correlação entre a massa seca total acima do resíduo com a (—□—) massa seca dos tecidos verdes do resíduo, observada no primeiro dia de rebrotação de cada ciclo, e a (—○—) soma diária dos respectivos graus-dia

Média dos ciclos para a pastagem irrigada. Os dados do ciclo 1 não foram utilizados pois não foram realizadas amostragens de massa de resíduo no inicio deste ciclo. ***P<0,0001; **P<0,01 e *P<0,05

Apesar de haver grande discussão sobre qual destas variáveis possuiriam maior contribuição na fase inicial de crescimento da pastagem, os trabalhos têm mostrado no geral, que estes componentes estão envolvidos no processo, no entanto, suas

proporções e eficiências serão dependentes de fatores como: a intensidade e freqüência da desfolha, clima, espécie forrageiras, idade do perfilho entre outros (WOLEDGE; LEAFE, 1976, DONAGHY; FULKERSON, 1997; GOMIDE; OBEID; RODRIGUES, 1979; GOMIDE; ZAGO, 1980; GOMIDE et al., 2001; HERLING; PAIVA; LUZ, 2001).

Posteriormente, com o surgimento de novos tecidos foliares, a fotossíntese passa então a ter maior contribuição na formação de novos tecidos, principalmente devido a maior taxa fotossintética dos tecidos novos relativos aos mais velhos (RYLE; POWELL, 1975; JEWISS; WOLEDGE, 1967) e a temperatura passa a ter maior influência neste processo, principalmente sobre a eficiência de uso da radiação que será diferente conforme as estação do ano (DOLLING et al., 2001; ALEXANDRINO; GOMIDE; GOMIDE, 2005).

Essas informações servem de direcionamento para estudos que visão utilizar dados climáticos como temperatura do ar ou graus-dia, para estimar a produção de massa do capim-mombaça, indicando que melhores associações entre a massa seca acumulada e os graus-dia deverão ser obtidas quando o período de rebrotação for entre 500 e 1000 ℃ acumulados e que dados referentes a m assa de resíduo inicial poderiam melhorar a parametrização ou predição dos modelos empíricos, caso essa informação fosse considerada quando a temperatura média acumulada fosse inferior a 500℃.

2.3.4 Fotoperíodo

As espécies de *P. maximum* são, no geral, plantas de dias curtos (FELIPPE, 1978; LOCH, 1980), ou seja, são plantas que florescem quando o fotoperíodo é inferior ao valor crítico. Observando na figura 11 que meristemas reprodutivos foram inicialmente observados no fotoperíodo de 11,8 h para o 1° ano de avaliação (ciclo 1), fato que se repetiu no ano subseqüente durante o ciclo 8 (11,82 h).

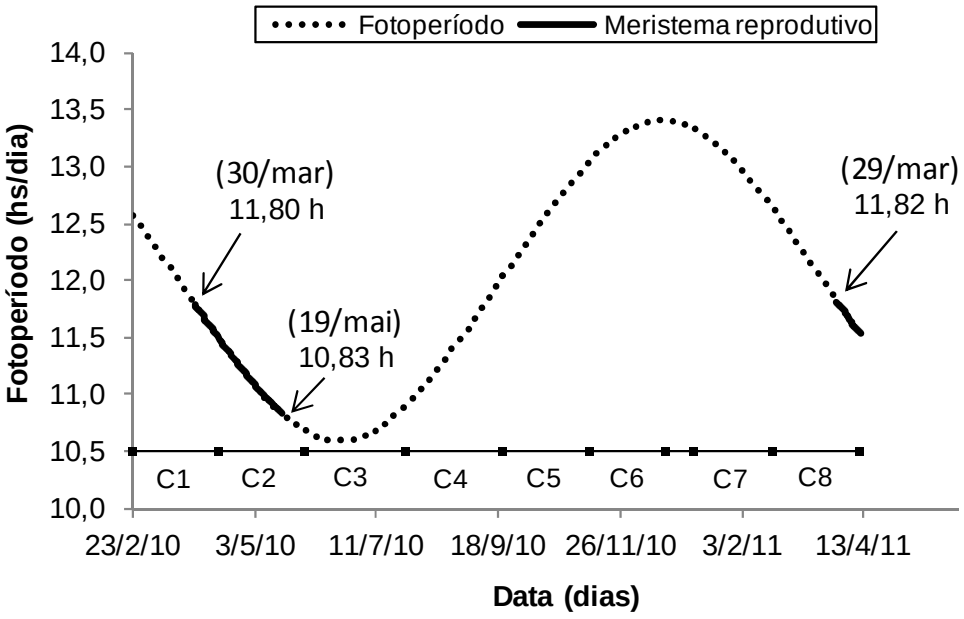


Figura 11 – Ocorrência de meristemas reprodutivos em perfilhos basais de capim-mombaça irrigado conforme o fotoperíodo local

As setas representam os extremos das ocorrências. C = ciclo. Observação realizada com o auxílio de uma lupa. Mais informações sobre a metodologia é descrita no texto

No entanto deve ser ter cuidado com a interpretação destes resultados, pois eles não indicam um valor de fotoperíodo crítico para o capim-mombaça, visto que a indução floral teria ocorrido em período anterior aquele em que os meristemas reprodutivos foram observados neste experimento, sendo a observação daquela fase possível de ser realizada apenas com o auxílio da microscopia eletrônica de varredura (REINHEIMER; POZNER; VEGETTI, 2005).

Contudo, os resultados aqui apresentados dão suporte para dizer que o fotoperíodo crítico do capim-mombaça seria um valor próximo a 11,82 h. Em estudo semelhante Camargo-Bortolin, Santos e Prado (2007) observaram que para o capim-tanzânia o fotoperíodo crítico seria um valor superior 11,5 h, já para o capim-colonião um valor de aproximadamente 12 horas têm sido relatado como o fotoperíodo crítico (FELIPPE, 1978).

Apesar de serem observados meristemas na fase reprodutiva entre 20/mar e 19/mai/2010 e a partir do dia 29/mar/2011, as proporções entre os meristemas reprodutivos e os vegetativos variaram ao longo destes períodos (Figura 12).

Como apresentado na figura 12, as avaliações referentes ao T1000 para o ciclo 1 e T750 e T1000 para o ciclo 8, foram as que apresentaram ocorrência dos meristemas reprodutivos com uma freqüência superior a 50%. As baixas freqüências identificadas para o ciclo 2 deve-se ao fato da emissão da inflorescência ter ocorrido de forma mais intensa neste ciclo e como os perfilhos que já tinham emitido a inflorescência não eram coletados para avaliação da fase meristemática, estes não foram contabilizados nos valores apresentados na figura 12.

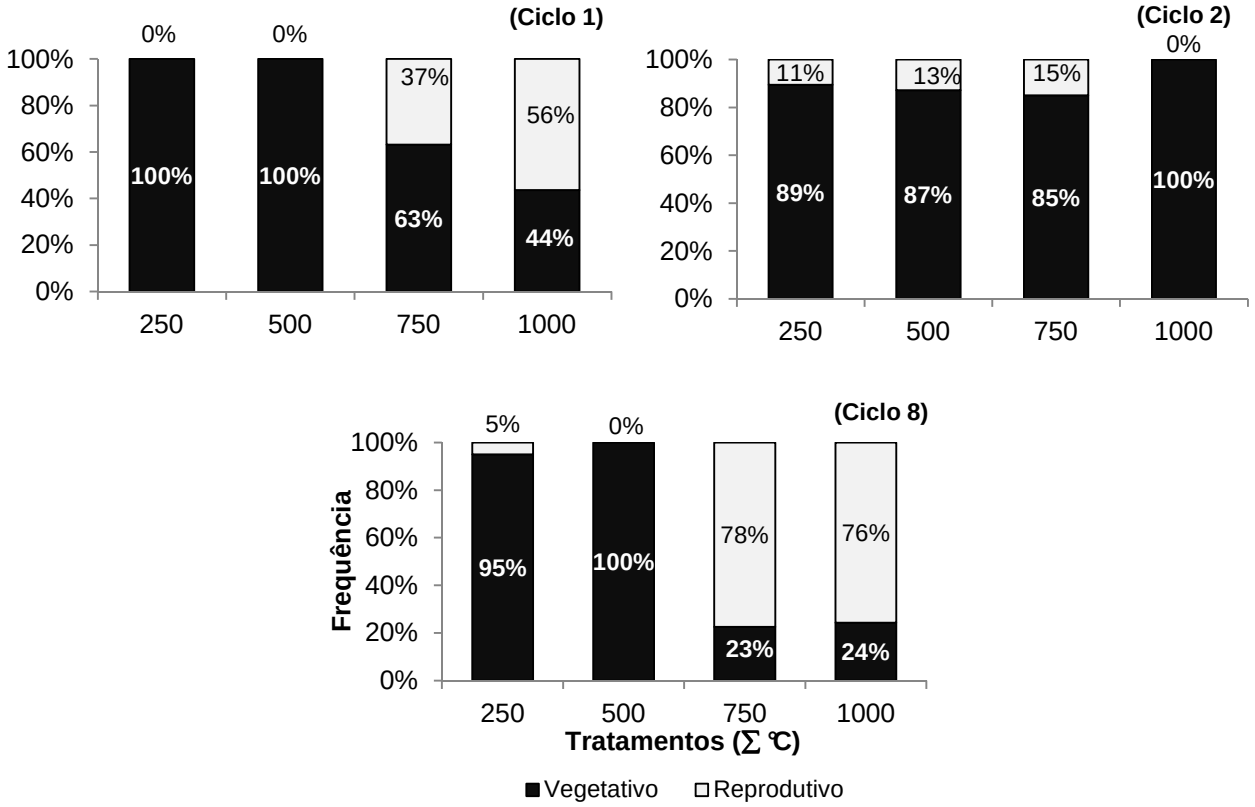


Figura 12 - Porcentagem de meristemas vegetativos e reprodutivos em perfilhos basais de capim-mombaça irrigado, conforme a soma diária da temperatura média do ar (tratamentos) e o ciclo de crescimento

Ciclo 1 = 23/2/10 a 13/4/10; Ciclo 2 = 13/4/10 a 1/6/10 e Ciclo 8 = 22/2/11 a 11/4/11. As freqüências apresentadas são baseadas em 40 observações

Além da determinação do fotoperíodo crítico o conhecimento correspondente a emissão das inflorescências se faz necessário. Resultados experimentais têm

apresentado que para o Sudeste (22°42’S e 47°38’W) e Sul do país (23°44'S, 53°17'W) o período entre a emergência da panícula e o florescimento do capim-mombaça ocorrem, no geral, entre os meses de abril e maio (SANTOS; BALSALOBRE; CORSI, 2004; BARTH NETO et al., 2010).

Durante a condução deste experimento o ciclo 2 foi o único ciclo de crescimento onde foram quantificadas massa seca de inflorescência, com valores de 66 kg/ha tanto para o tratamento T750 (19/Mai/2010) como para o T1000 (01/Jun/2010), corroborando com o período relatado por Santos, Balsalobre e Corsi (2004) e Barth Neto et al. (2010).

Durante todo o período correspondente a fase reprodutiva do capim-mombaça, desde a indução floral até o aparecimento da inflorescência, ocorrem modificações fisiológicas no meristema apical que irão influenciar na proporção dos componentes morfológicos e conseqüentemente na qualidade da pastagem. Isso acontece porque antes da emergência da panícula já ocorreram modificações no meristema apical, sendo que a transição da fase vegetativa para a de florescimento é caracterizada pelo alongamento deste, que dará origem ao eixo principal da inflorescência (REINHEIMER; POZNER; VEGETTI, 2005).

Como conseqüência da formação da inflorescência, há uma redução no acúmulo líquido de folhas devido tanto a redução na taxa de alongamento destas como a interrupção na formação de novos primórdios foliares, apesar do acúmulo de massa seca total não cessar devido principalmente a continuação no crescimento do colmo durante toda a fase reprodutiva (SANTOS; BALSALOBRE; CORSI, 2004).

Com os resultados obtidos com este experimento foram observados meristemas reprodutivos e inflorescência nos perfilhos de capim-mombaça, entre os fotoperíodos de aproximadamente 11,81 e 10,83 h, o que foi equivalente a 50 dias (Figura 11).

2.4 Conclusão

O crescimento do capim-mombaça é reduzido quando o IHC é inferior a 1,0 e limitado quando a temperatura média do ar é menor ou igual a 15,6 °C. Durante a rebrotação do capim-mombaça o acúmulo de massa seca é mais associado à massa de resíduo inicial até que 500°C sejam acumulados, sendo que de 500 a 1000 °C

acumulados os valores de graus-dia passam a ter mais associação com o acúmulo de massa. Os resultados apresentados indicam que o capim-mombaça se comportou como uma planta de dias curtos com um fotoperíodo crítico próximo a 11,82 h e que o período reprodutivo, neste experimento, pode ser observado ao longo de 50 dias.

Referências

ALEXANDRINO, E.; GOMIDE, J.A.; GOMIDE, C.A.M. Crescimento e desenvolvimento do dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2164-2173, 2005.

ALMEIDA, A.C.S.; MINGOTI, R.; COELHO, R.D.; LOURENÇO, L.F.T. Simulação do crescimento do capim Tanzânia irrigado com base na unidade fototérmica, na adubação nitrogenada e na disponibilidade hídrica do período. **Acta Scientiarum. Agronomy***,* Maringá, v. 33, n. 2, p. 215-222, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asagr/v33n2/04.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2011.

ARAUJO, L.C.; SANTOS, P.M.; PEZZOPANE, J.R.; CRUZ, P.G. Prediction of Tanzânia grass dry matter production using agrometereological parameters. In: AMERICAN DAIRY SCIENCE ASSOCIATION®; POULTRY SCIENCE ASSOCIATION; ASOCIACIÓN MEXICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL; CANADIAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE; AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE, 88., 2010, Denver. **Anais…** Denver: JAM, 2010. p. 627–628.

BARTH NETO, A.; BOLETA, V.S; PANCERA JÚNIOR, E.J; ALMEIDA, G.M; CANTO, M.W.; GASPARINO, E.; BALTAZAR, L.F. Nitrogênio e época de colheita nos componentes da produtividade de forragem e sementes de capim-mombaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 11, p. 1312-1320, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2010001100012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 nov. 2011.

BONHOMME, R. Bases and limits to using ‘degree day’ units. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, p. 1-10, 2000.

CAMARGO-BORTOLIN, L.H.G.; SANTOS, P.M.; PRADO,C.H.B.A. pstratégia de sobrevivência de *Panicum maximum* Tanzânia sob pastejo rotacionado. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 56, n. 214, p. 169-180, 2007.

CARNEVALLI, R.A.; DA SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O.; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; SILVA, G.N.; MORAIS, J.P.G. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v. 40, n. 1, p. 165-176, 2006. Disponível em: <http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_40_2006/Vol_40_03_2006_pp165_176.pdf>. Acesso em: 06 out. 2011.

CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; XAVIER, D.F. Inicio de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 717-722, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2002000500018&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 16 nov. 2011.

CORSI, M.; NUSSIO, L.G. Manejo do capim elefante: correção e adubação do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE PASTAGENS, 10., 1994, Piracicaba. **Manejo do capim elefante:** anais... Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 87-115.

CRUZ, P.G.; SANTOS, P.M.; PEZZOPANE, J.R.; OLIVEIRA, P.P.A.; ARAUJO, L.C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 7, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2011000700001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 nov. 2011.

DOLLING, P.J.; LATTA, R.A.; LYONS, A.M.; ASSENG, S.; ROBERTSON, M.J.; COCKS, P.S.; EWING, M.A. Adapting APSIM lucerne to the Western Australian environment. In: ROWE, B.; DONAGHY, D.; MENDHAM, N. (Ed.). **Science and technology:** delivering results for agriculture? Hobart: PAAC, 2001. p. 1-5.

DONAGHY, D.J.; FULKERSON, W.J. The importance of water-soluble carbohydrate reserves on regrowth and root growth of *Lolium perenne* (L.). **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 52, p. 401-407, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: EMBRAPA, Produção de Informação, 1999. 412 p.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Registra de 25 acessos selecionados de *Panicum maximum*.** Campo Grande, 1990. 68 p. (Documento, 44).

EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE. **Irrigação de pastagens**: freqüência e quantidade de aplicação de água em Latossolos de textura média. São Carlos, 2002. 7 p. (Circular Técnica, 31).

_____. Disponível em: <http://www.cppse.embrapa.br/dados-meteorologicos>. Acesso em: 01 set. 2011.

FAO. **Crop evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>. Acesso em: 10 nov. 2011.

FELIPPE, G.M. Effects of photoperiod, GA_3 and CCC on flowering of *Panicum maximum*. **Hoehnea**, São Paulo, v. 7, p. 11-16, 1978.

GOMIDE, J.A.; ZAGO, C.P. Crescimento e recuperação do capim-Mombaça após corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 293-305, 1980.

GOMIDE, J.A.; OBEID, J.A.; RADRIGUES, L.R. Fatores morfofisiológicos do capim-Colonião (*Panicum maximum*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 8, n. 4, p. 532-562, 1979.

GOMIDE, J.A; HUAMAN, C.A.M.; PACIULLO, D.S.C. Fotossíntese, reservas orgânicas e rebrota do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) sob diferentes intensidades de desfolha do perfilho principal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 2165-2175, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982002000900003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 nov. 2011.

HERLING, V.R.; PAIVA, F.A.; LUZ, P.H.C. Eliminação de meristemas apical e perfilhamento do capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) sob diferentes intensidade de pastejo e períodos de descanso. In: REUNIÓN DE LA ASSOCIACIÓN CUBANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 17., 2001, La Habana. **Anais...** La Habana: ALPA, 2001. p. 1-4.

HERLING, V.R.; PIAZZA, C.; JANTALIA, C.P.; SUDA, C.H; LUZ, P.H.C.; LIMA, C.G. Efeito de períodos de descanso e de matérias secas residuais sobre o capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq) sob pastejo. 1. Matéria seca disponível. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998. 1 CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA. **Censo agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2007. 146 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/agropecuario.pdf> Acesso em: 01 ago. 2011.

IVORY, D.A.; WHITEMAN, P.C. Effect of temperature on growth of five subtropical grasses. I. Effect of day and night temperature on growth and morphological development. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 5, n. 2, p. 131-148, 1978.

JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 21-58.

JANK, L.; COSTA, J.C.G. Avaliação, seleção e lançamentos de novas cultivares de gramíneas da espécie *Panicum maximum.* In: ENCONTRO SOBRE PRODUÇAO DE SEMENTES DE PLANTAS FORRAGEIRAS, 4.,1990, São José do Rio Preto. **Anais...** São José do Rio Preto: Associação Paulista de Produtores de Sementes e Mudas, 1990. p. 1-15.

JEWISS, O.R.; WOLEDGE, J. The effect of age on the rate of apparent photosynthesis in leaves of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). **Annals of Botany**, London, v. 31, n. 4, p. 661-671, 1967.

LOCH, D.S. Selection of environment and cropping system for tropical grass seed production. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v. 14, n. 3, p. 159-168, 1980.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L.; BARIONI, L.G.; SOUSA, D.M.G.; BARCELLOS, A.O. Manejo da adubação nitrogenada em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE PASTAGENS, 21., 2004, Piracicaba. **Fertilidade do solo para pastagens produtivas:** anais... Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 155-215.

MORENO, L.S.B. **Produção de forragem de capins do gênero *Panicum* e modelagem de respostas produtivas e morfofisiológicas em função de variáveis climáticas**. 2004. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-13122004-103013/pt-br.php>. Acesso em: 04 out. 2011.

OMETTO, C.O. **Bioclomatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 440 p.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S; BOOTE, K.J.; LARA, M.A.S; ALDERMAN, P.D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, p. 370-379, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271162&_user=5674931&_pii=S0378429010002935&_check=y&_origin=&_coverDate=14-Feb-2011&view=c&wchp=dGLzVlV-zSkzk&md5=a2e57f8fe808c46000912f3e1dfe2e84/1-s2.0-S0378429010002935-main.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2011.

PEDREIRA, J.V.; MATTOS, H.B. Crescimento estacional de vinte e cinco espécies ou variedades de capins. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 38, n. 2, p. 117-143, 1981.

RAIJ, B. van; CATARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico; Fundação IAC, 1996. 258 p. (Boletim Técnico, 100).

RASSINI, J.B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 821-825, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004000800014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 nov. 2011.

REINHEIMER, R.; POZNER, R.; VEGETTI, A.C. inflorescence, spikelet, and floral development in *Panicum Maximum* and *Urochloa Plantaginea* (poaceae). **American Journal of Botany**. Columbus, v. 92, n. 4, p. 565-575, 2005. Disponível em: <http://www.amjbot.org/content/92/4/565.full.pdf+html>. Acesso em: 24 nov. 2011.

RYLE, G.J.A.; POWELL, C.E. Defoliation and regrowth in the graminaceous plant: the role of current assimilate. **Annals of Botany**, London, v. 39, n. 2, p. 297-310, 1975.

SANTOS, P.M.; CORSI, M.; BALSALOBRE, M.A.A. Efeito da freqüência de pastejo e da época do ano sobre a produção e a qualidade em *Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 244-249, 1999.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 2007/2008**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>. Acesso em: 13 dez. 2011.

SAS INSTITUTE. **SAS:** system for Microsoft windows; release 9.0. Cary, 2002. 1 CD-ROM.

SENTEK. **Calibration of the Sentek Pty Ltd Soil Moisture Sensors**. Stepney, 2001. 54 p.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, London, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SISTI, C.P.J.; HERLING, V.R.; LUZ, P.H.C. Efeito de ofertas de forragem e de períodos de descanso sobre a produção, perdas e resíduo de matéria seca do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: SBZ, 1999. 1 CD-ROM.

SOUZA, E.M.; ISEPON, O.J.; ALVES, J.B.; BASTOS, J.F.P.; LIMA, C.L.. Efeitos da irrigação e adubação nitrogenada sobre a massa de forragem de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 4, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982005000400008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 23 nov. 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E.R. Santarém et al. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TONATO, F.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; DANTAS, O.D.; MALAQUIAS, J.V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 522-529, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2010000500012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 nov. 2011.

VILLA NOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.; PEREIRA, A.R. Modelo para previsão de produtividade do capim elefante cv. Napier em função da temperatura do ar, fotoperíodo e freqüência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 75-79, 1999.

VILLA NOVA, N.A.; DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; PILAU, F.G.; PEDREIRA, C.G.S. Avaliação da produtividade potencial de *Brachiaria ruziziensis* (Germain & Evard) em função de unidades fototérmicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 3, p. 443-449, 1995.

WOLEDGE, J.; LEAFE, E.L. Single leaf and canopy photosynthesis in a ryegrass sward. **Annals of Botany**, London, v. 40, n. 68, p. 773-783, 1976.

3 MODELAGEM DO CRESIMENTO E DA PRODUÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA NO SUDESTE BRASILEIRO

Resumo

O objetivo com esse trabalho foi parametrizar e avaliar modelos para simular o crescimento e a produção da pastagem de capim-mombaça (i) um modelo empírico de graus-dia (GD); (ii) um modelo empírico de unidades-fototérmicas (UF); (iii) um modelo empírico de índice de crescimento climático (ICC) e um modelo de função biofísica (iv) o APSIM-Growth ver. 7.3. Os critérios para a seleção dos modelos foram discutidos em termos de sua adequação para aplicações de pesquisa e prática. A parametrização dos modelos foi feita utilizando-se um conjunto de dados de um experimento, irrigado e fertilizado, conduzido em campo entre 2010 e 2011. Equações lineares simples foram significativamente ajustadas utilizando os dados de MS como variável dependente e a soma diária de GD, UF e ICC como variável independente. A modificação dos parâmetros de eficiência de uso da radiação, temperaturas base e ótimas e área foliar específica foram suficientes para ajustar o APSIM-Growth. Durante essa etapa os valores de R^2 e coeficiente de variação foram de 0,78 a 0,86 e 27 a 32,1%, respectivamente. Os modelos parametrizados foram avaliados com dados independentes oriundos de experimentos em campo, irrigado e de sequeiro, com fertilização e altura do resíduo semelhante aos do experimento utilizado para a parametrização. Durante essa etapa os valores observados foram comparados aos preditos e os resultados mostraram que todos os modelos apresentaram um bom desempenho. O APSIM-Growth foi o modelo que apresentou um menor erro na média geral (6 kg MS/ha/corte) e o modelo UF, dentre os modelos empíricos, foi o que proporcionou valores preditos mais próximo dos observados, com um erro médio geral de 268 kg MS/ha/corte.

Palavras-chave: Modelo empírico; *Panicum*; Parametrização; Simulação; Pastagem tropical

Abstract

We parameterized and evaluated four modelling approaches having contrasting levels of complexity to simulate the production of Guineagrass in the southeast of Brazil. The different models included three agro-climatic index models i.e. a cumulative degree-day model; a photo-thermal-units model; and a growth climate index model; and one dynamic simulation model i.e. APSIM-Growth. Data sets for calibration and independent models validation included records of frequent above-ground dry matter sampling over 2005-2006 and 2010-2011 years across three trials. Recalibrated parameters in APSIM-Growth included the radiation use efficiency, a temperature growth modifier coefficient, biomass partitioning, and the values specific leaf area. All models performed well during the parameterization (R^2 from 0.78 to 0.86 and CV from 27 to 32.1%), and validation (R^2 from 0.69 to 0.78; agreement index from 0.88 to 0.93; relative root mean square error

from 37.6 to 50.2% and mean bias error from 6 to 470 kg DM ha/cutting). The performance of the different models and implications for model selection in research, development and extension activities in Brazil are discussed.

Keywords: Empirical model; *Panicum*; Parameterization; Simulation; Tropical pasture

3.1 Introdução

O Brasil possui atualmente o maior rebanho comercial de bovinos do mundo, com aproximadamente 170 milhões de animais (INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA – IBGE, 2007), sendo grande parte destes criados em sistema que utilizam pastagens. Atualmente a área de pastagens no Brasil esta por volta de 172 milhões de hectares, o que representa 69% de toda área dedicada a produção agrícola do país (BRASIL, 2007), sendo que as cultivares de *Panicum maximum* (ex. Tanzânia, Tobiatã, Massai, Atlas e Mombaça) são particularmente importantes nos sistemas de produção intensiva (ex. irrigado e fertilizados) devido a alta produtividade anual de massa seca nas condições tropicais brasileiras (SOUZA et al., 2005; CARNEVALLI et al., 2006).

A gestão de sistemas intensivos de produção animal exige a adoção de técnicas eficientes e sustentáveis, que proporcionem melhor aproveitamento dos insumos e que sejam flexíveis as mudanças climáticas e de mercado. Desta forma, os modelos de simulação do crescimento de pastagens, para estes sistemas de produção, devem ser sensíveis à influência do clima, do solo e ao manejo, para que haja melhorias tanto no planejamento da produção forrageira (ANDALES et al., 2006; LAUGHLIN et al., 2007), como nos estudos para estimar os impactos das mudanças climáticas sobre a produção de forragem (ZHA et al., 2005; ZHANG et al., 2007) e até mesmo a identificação de opções de adaptação para mitigar os prováveis impactos destas mudanças (THORNLEY; CANNELL 1997; ZHANG, 2007).

Os modelos empíricos são no geral, simples de serem usados. De forma geral, estes modelos são equações lineares simples onde os parâmetros foram ajustados pela análise de regressão, em que a produção de forragem é a variável dependente e a variável climática a independente. Apesar de estes modelos serem destinados a locais

específicos, uma vez que seria necessário uma re-calibração caso se pretenda usá-los em condições diferentes daquelas onde os modelos foram parametrizados e avaliados, quando bem calibrados eles podem fornecer simulações tão acuradas quanto os modelos dinâmicos, que necessitam de muito mais dados de entrada (TEH, 2006). Em adição, os modelos empíricos são muito mais simples de serem desenvolvidos e calibrados do que os modelos mecanicistas (TEH, 2006).

No Brasil, o primeiro modelo agroclimático usado para pastagens foi o Índice de Crescimento Climático, desenvolvido e utilizado inicialmente na Austrália por Fitzpatrick e Nix (1973). O modelo de índice climático de crescimento agrupa informações relacionadas ao clima como a temperatura media do ar, radiação solar global incidente e balanço hídrico climatológico em um único índice ($0 \rightarrow 1$) onde os extremos indicam mínima ou máxima produção potencial de uma forragem, para uma determinada localidade.

Este modelo foi utilizado para o Sul (MOTA et al., 1981) e o Sudeste (PEDRO JÚNIOR, 1995) do Brasil como uma ferramenta para auxiliar no planejamento pecuário e manejo prático da pastagem, descrevendo principalmente os meses do ano que proporcionariam o maior ou menor potencial de produção de uma determinada pastagem.

Posteriormente, outros modelos empíricos foram propostos para predizer a produção de massa seca da cana-de-açucar (*Saccharum officinarum* L.) (VILLA NOVA; CARRETERO; SCADUA, 1983) e de algumas espécies de pastagens como *Panicum maximum* cv Tanzânia (CUNHA et al., 2008; ALMEIDA et al., 2011); *Pennisetum purpureum* cv Napier (VILLA NOVA et al., 1999) e *Brachiaria ruzizienses* (VILLA NOVA et al., 2005), sendo usado nestes modelos tanto os valores de graus-dia com o de fotoperíodo do ciclo de crescimento.

Estudos de modelagem usando modelos dinâmicos como o CROPGRO e GRAZPLAN tem sido utilizados mais recentemente para espécies de *Brachiaria* spp. tanto em condições irrigadas (CRUZ, 2010; PEDREIRA et al., 2011), como para áreas de sequeiro (CRUZ, 2010) no Brasil. No entanto, o uso destes modelos tem sido limitado apenas para *Brachiaria* spp. sendo necessários mais experimentos para parametrizá-los para outras espécies forrageiras cultivadas no Brasil.

O “Agricultural Production Systems Simulator” (APSIM) é um exemplo de programa que aborda a modelagem para auxiliar no planejamento agropecuário, simulando tanto o crescimento de planta como o sistema de produção como um todo. Atualmente o APSIM é capaz de similar 25 diferentes culturas entre lavouras e pastagens (KEATING et al., 2003). Uma das vantagens do APSIM, comparado a programas como o CROPGRO ou GRAZPLAN, é a base de dados internacional sobre os parâmetros de lavouras e animais já disponível, além do apoio técnico fornecido pela equipe do APSIM (APSIM, 2011). No entanto, até o presente, não existem estudos disponíveis usando o APSIM com gramíneas tropicais.

Com este trabalho, teve-se o objetivo de parametrizar e avaliar quatro modelos com diferentes abordagens para simular o crescimento e a produção da pastagem de *Panicum maxium* cv Mombaça em São Paulo sendo eles (i) um modelo empírico de graus-dia; (ii) um modelo empírico de unidades-fototérmicas; (iii) um modelo empírico de índice de crescimento climático e um modelo de função biofísica (iv) o APSIM-Growth ver. 7.3.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Dados experimentais utilizados para parametrização e avaliação dos modelos

Os modelos foram parametrizados e avaliados utilizando-se conjuntos de dados experimentais independentes e coletados na Embrapa Pecuária Sudeste (São Carlos, SP, 21°57'42"S, 47°50'28"W e 860 m de altitude).

Para parametrização dos modelos foram utilizados dados de produção de massa de forragem coletados entre 23 de fevereiro de 2010 e 11 de abril de 2011 em área de capim-mombaça irrigado e adubado. O delineado experimental foi em blocos completos casualizados com quatro repetições e quatro tratamentos (períodos de rebrota definidos em termos de soma térmica; T250, T500, T750 e T1000 °C). Os dados foram coletados ao longo de oito ciclos de crescimento. Mais detalhes sobre a área experimental, tratamentos, manejo utilizado e coletas são reportados no capítulo 2.

As características físicas do solo foram obtidas pelo método direto por meio de amostragens indeformadas, realizadas nas proximidades da área experimental Tabela 1).

Tabela 1 – Propriedades físicas do solo onde os experimentos foram conduzidos

Propriedades Físicas	Profundidade (cm)					
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6
Densidade global do solo (g/cm^3)	1,30	1,39	1,44	1,48	1,54	1,56
Capacidade de campo (-0,01 MPa, g/100g)	26,5	22,7	22,3	23,5	25,2	25,4
Ponto de murcha permanente (-1,5 MPa, g/100g)	15,6	13,3	13,3	15,0	16,2	17,0

As temperaturas diárias do ar máxima, mínima e média, além da radiação solar global incidente e chuva, foram registradas com o auxílio de uma estação climática automatizada (Campbell Scientific Inc.) pertencente a Embrapa Pecuária Sudeste. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR, 400±700 nm) interceptada pelo dossel foi registrada na área experimental com o auxílio de três barras lineares com sensores quantum (Apogee Line Quantum, SQ-311), que foram dispostas dentro de uma única parcela durante a condução do experimento (T1000 do bloco 3). Também foi disposto um sensor PAR acima do dossel, para registrar a radiação incidente (Figura 1).

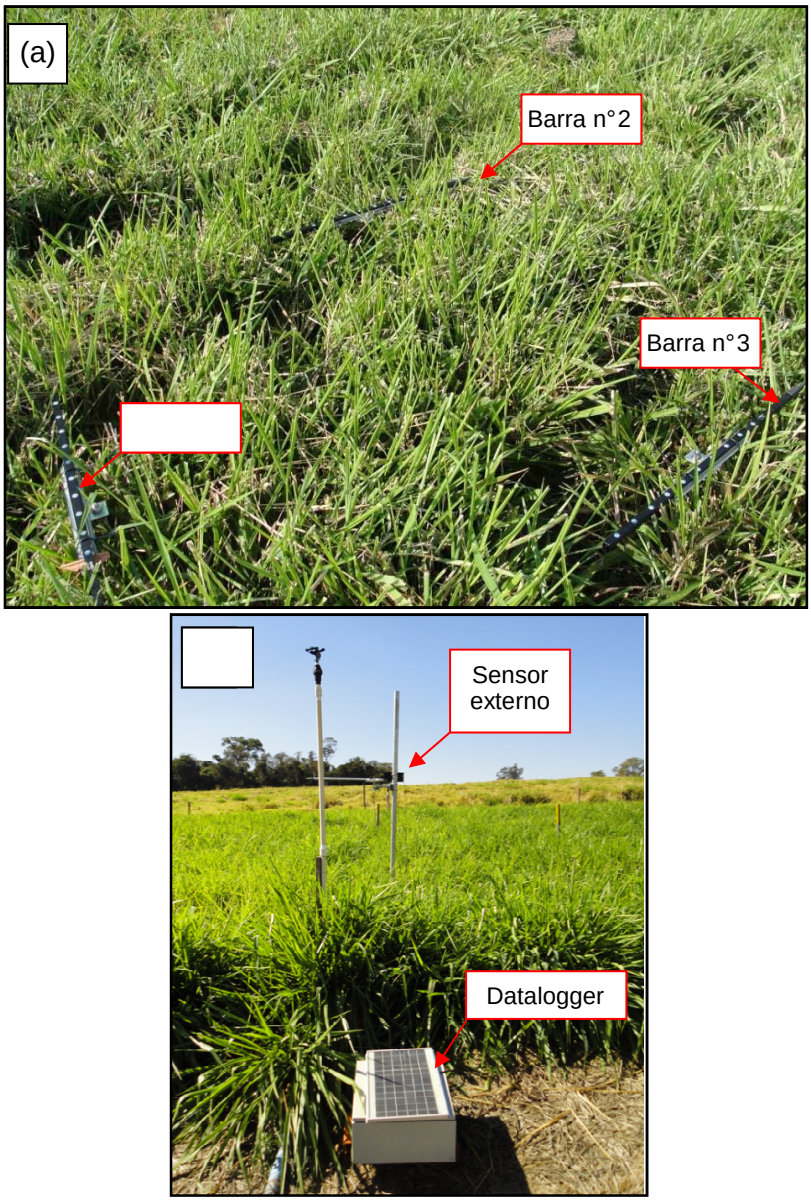


Figura 1- Foto ilustrando os sensores que registraram a radiação PAR (a) baixo e (b) acima do dossel

Todos os sensores foram conectados em um coletor de dados (CR1000, Campbell Scientific Inc.) programado para fazer leituras a cada 10 segundos e registro dos valores médios a cada 15 minutos.

Com o conhecimento da radiação incidente e aquela observada no interior do dossel, foi possível estimar a interceptação da PAR diariamente.

Para avaliação dos modelos, foram utilizados dados de produção de massa de forragem coletados entre fevereiro de 2010 e abril de 2011 em área de capim-mombaça

adubado sob condições de sequeiro e adubado (ver descrição detalhada da área no capítulo 2) e entre abril de 2005 e dezembro de 2006 em área de capim-mombaça irrigado e adubado (ver descrição detalhada em BERTOLONE, 2009). As condições de fertilidade do solo, adubação e altura do resíduo pós-desfolha dos experimentos utilizados para avaliação dos modelos, foram semelhantes àquelas do experimento utilizado para parametrização.

Os valores diários de temperatura mínima e máxima do ar e precipitação entre abril de 2005 a dezembro de 2006 foram registrados por uma estação metereológica convencional e disponibilizados pela Embrapa Pecuária Sudeste (EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE, 2011). A radiação solar global incidente durante os períodos de coleta de dados no campo foi estimada a partir dos dados diários observados de temperatura máxima e mínima com o auxílio do modelo descrito por Bristow e Campbell (1984). De fevereiro de 2010 a abril de 2011, as temperaturas diárias do ar máxima, mínima e média, além da radiação solar global incidente e precipitação, foram registradas com o auxílio de uma estação climática automatizada (Campbell Scientific Inc.) localizada na Embrapa Pecuária Sudeste.

3.2.2 Descrição dos modelos

3.2.2.1 Modelo APSIM

O APSIM-Growth é um módulo destinado para simulação do crescimento de gramínea forrageira e florestas, sendo que para a pastagem os parâmetros incluídos foram os referentes a espécie *Panicum coloratum* cv. Bambatsi (APSIM, 2011). Este módulo usa um passo de tempo de cálculo diário para simular o crescimento e a partição de biomassa entre os componentes morfológicos folha, colmo, tecido senescente e raiz, no entanto, ele não simula a fenologia da planta. Uma descrição geral da simulação é apresentada na eq.1:

$$\Delta C_i = \mathrm{Rsint} \cdot \mathrm{EUR} \cdot \min(\mathrm{Ft}, \mathrm{Fn}, \mathrm{Fvpd}) \cdot \mathrm{Fa} \quad (1)$$

Onde ΔC_i é a taxa de crescimento diário, *Rsint* é a radiação solar global interceptada diariamente (MJ/m^2), *EUR* é a eficiência de uso da radiação (g DM/MJ), e o *Ft*, *Fn*, *Fvpd* e *Fa* são os modificadores da produção por temperatura, nitrogênio, déficit de pressão de vapor e teor de água no solo, respectivamente. *Rsint* é calculado usando a área de cobertura do solo, área foliar, e uma suposição exponencial da extinção da luz ao longo do dossel. O *Ft* e *Fvpd* são baseados na temperatura média do ar e pressão de vapor diária respectivamente, o *Fn* é baseado na concentração de nitrogênio na folha e o *Fa* é calculado pela relação da demanda e do fornecimento de água no solo (APSIM, 2011).

Como dados de entrada para a simulação, são requeridos no mínimo, informações sobre o período de crescimento da pastagem (início e fim), solo (teor de água na saturação, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e densidade do solo) adubação nitrogenada (fonte, quantidade e época de aplicação) e clima (latitude local, temperatura média anual e amplitude média anual com base nas médias mensais, valores diários de temperatura do ar máxima, mínima, precipitação e radiação solar global incidente). Mais informações sobre o APSIM podem ser observadas em Keating et al. (2003).

O modelo APSIM-growth foi parametrizado para estimar a produção de massa seca do capim-mombaça tomando-se como base os parâmetros já definidos para *Panicum coloratum* cv. Bombatsi (APSIM, 2011). Neste trabalho foram estimados os parâmetros referentes a eficiência de uso da radiação PAR e temperaturas base inferior e ótimas e área foliar específica referentes ao capim-mombaça.

3.2.2.1.1 Estimativa da eficiência de uso da PAR, temperaturas base inferior e ótima e área foliar específica

A eficiência de uso da PAR (EU_{PAR}) foi estimada como sendo o coeficiente angular da regressão linear simples (intercepto igual a zero) entre a massa seca de forragem observada em cada tratamento e a respectiva somatória da PAR interceptada, sendo os valores de EU_{PAR} estimados individualmente para cada ciclo de crescimento.

Para estimar a EU_{PAR} foram utilizados os dados observados entre o período de 2 de junho de 2010 a 11 de abril de 2011. Apenas os dados de massa seca de forragem

em que os tratamentos corresponderam a uma interceptação da PAR igual ou inferior a 95% foram considerados. Esta metodologia foi adotada com o intuito de minimizar a sub-estimativa no valor da EU_{PAR} uma vez que a taxa de acúmulo de forragem, neste instante, estaria próxima do máximo (CARNEVALLI, 2003). A primeira e a segunda temperatura ótima utilizadas no APSIM-Growth, foram estimadas pela análise de regressão quadrática entre a EU_{PAR} relativa (%) e a temperatura média do ar observada no respectivo período, sendo consideradas como primeira e segunda temperatura ótimas aquelas correspondentes a uma EU_{PAR} relativa igual a 90%, respectivamente. A tb foi estimada pelo método da regressão linear simples (BONHOMME, 2000) como reportada no capítulo 2.

Os valores de área foliar específica foram calculados entre a razão dos valores de índice de área foliar (IAF) e a respectiva massa de folhas verdes. A área foliar foi estimada com auxílio do integrador de área foliar modelo LI-3100C (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA) para todas as amostras coletadas neste experimento. Como era de conhecimento a área onde as amostras forma obtidas no campo, assim como o respectivo peso das frações de folhas verdes, o IAF foi então estimado.

3.2.2.2 Modelos empíricos

Modelos empíricos utilizando como variáveis independentes os valores calculados de graus-dias (OMETTO, 1981) e unidades-fototérmicas (VILLA NOVA et al., 1983, 1999) e um índice climático de crescimento adaptado de Fitzpatrick e Nix (1973) foram parametrizados e avaliados neste trabalho.

Os valores de graus-dias (GD) apresentados na eq. 2.1 e 2.2 foram calculados conforme Ometto (1981):

$$GDi = \sum \left[\left(t\max_i + t\min_i \right) / 2 \right] - tb \qquad \text{onde} \qquad \text{tmin}_i > \text{bt} \qquad (2.1)$$

$$GDi = \sum \left(t\max_i - tb \right)^2 / 2.\left(t\max_i - t\min_i \right) \qquad \text{onde} \qquad \text{tmint}_i \leq \text{bt} \qquad (2.2)$$

Onde a $tmax_i$, $tmin_i$ e *tb* são as temperaturas diárias máxima, mínima do ar e a temperatura base inferior para o crescimento da planta.

A unidade-fototérmica foi calculada conforme Villa Nova et al. (1983, 1999) e representado na eq. 3:

$$PUi = \sum \frac{\left[\left(\frac{n}{2} \cdot GD\right)^{Nf/Ni+1}\right]}{Nf/Ni+1} \tag{3}$$

Onde, *n* é o número de dias de crescimento; GD é o graus-dia como apresentado na eq. 2.1 e 2.2; *Nf* e *Ni* são respectivamente os valores de fotoperíodo no final e no início do período de crescimento que foram calculados conforme a latitude e o dia do ano.

O índice de crescimento climático (ICC) foi adaptado de Fitzpatrick e Nix (1973) e calculado conforme a eq. 4.

$$ICC_i = IL \cdot IT \tag{4}$$

onde, *IL* é o índice de luz calculado conforme a eq. 5, sendo que *Rs* é a radiação diária solar total incidente (MJ/m^2).

$$IL_i = 1.0 - e^{-3.5.(Rs.23.92/750)} \tag{5}$$

O *IT* é o índice térmico estimado conforme o valor da temperatura média do ar e descrito por Mota, Berny e Mota (1981) (Figura 2).

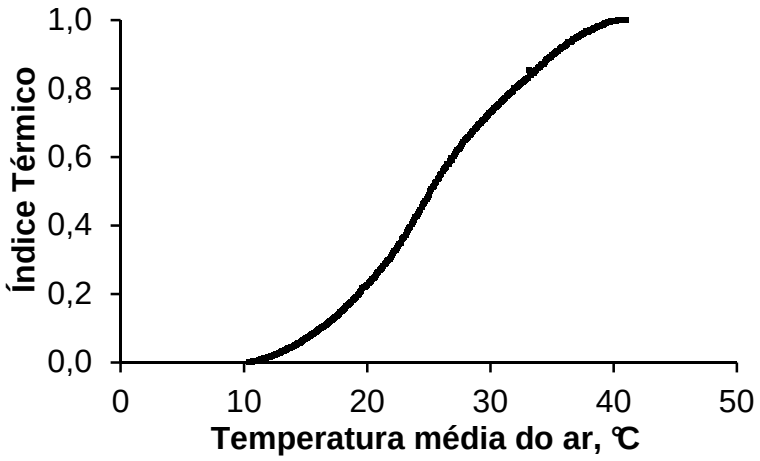


Figura 2- Índice térmico de gramíneas tropicais conforme a tabela apresentada por Mota, Berny e Mota (1981)

Os modelos empíricos foram desenvolvidos ajustando-se equações lineares simples por meio da análise de regressão, onde a produção de massa seca observada (kg MS/ha/corte) no experimento irrigado foi a variável dependente e a soma diária dos valores de GD, UF e ICC as variáveis independentes. Quando necessário, foram retirados “outilines” para que as premissas de normalidade dos resíduos e homossedasticidades fossem atendidas. O programa estatístico SAS (2002) versão 9.0, foi utilizado para o ajuste dos parâmetros.

3.2.3 Critério de comparação dos modelos

Os modelos foram avaliados utilizando-se dois conjuntos de dados independentes provenientes de experimentos em condições irrigadas e de sequeiro. Para avaliar o desempenho dos modelos empíricos em condições de sequeiro, um índice de estresse por déficit hídrico (IS_i) foi calculado para penalizar a produção de massa seca estimada pelas equações ajustadas para o GD, UF e ICC. O IS_i é similar ao reportado por Fitzpatrick e Nix (1969), sendo calculado pela relação entre a evapotranspiração atual (ETR_a) com a evapotranspiração potencial (ETR_p) diária (i), sendo utilizado o valor médio do período conforme a eq. 6:

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} IS_i \quad (6)$$

Onde *n* = número de dias avaliados e IS_i = ETR_a/ETR_p.

Um valor de IS_i igual a 1,0 indica que não há estresse hídrico (ETR_a = ETR_p) enquanto valores menores que 1,0 indicam um aumento do estresse hídrico. A ETR_a foi calculada pelo balanço hídrico climatológico seqüencial (THORNTHWAITE; MATHER, 1955) e a ETR_p como sugerida por Thornthwaite (1948). Foi considerado o valor de 1,0 como coeficiente de cultivo e 100 mm como a capacidade máxima de retenção de água no solo.

O índice ISi foi utilizado como um fator de correção nos modelos empríricos, assumido que existe uma relação linear entre ele e a produção de massa seca da pastagem, onde a produção diminuirá proporcionalmente com a redução do valor do ISi, conforme eq. 7.

$$Produção\ (kg\ MS/ha/corte) = [a + b \cdot variável(\sum_i GD, UF\ ou\ ICC\ )] \cdot IS \quad (7)$$

Onde *a* e *b* são os parâmetros lineares empíricos estimados para cada variável independente (GD, UF e ICC).

O erro médio do viés (EMV), o coeficiente de variação do modelo (CV) e o índice de concordância (D) entre os valores observados e preditos de produção de massa seca (APSIM-Growth e modelos empíricos) foram utilizados para avaliar o desempenho dos diferentes modelos.

O EMV apresenta a magnitude da super-estimativa (valor positivo) ou sub-estimativa (valor negativo) da média geral, sendo calculado conforme a eq. 8:

$$EMV = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)}{n} \quad (8)$$

O CV apresenta o desvio relativo entre a raiz quadra média do resíduo e a média do valor observado, sendo estimado conforme a eq. 9:

$$\text{CV}\ (\%) = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2/n\right)^{1/2}}{\bar{O}} \times 100 \quad (9)$$

O índice de concordância apresenta a proporção da variação do valor observado que é explicada pelo modelo e foi calculado conforme proposto por Willmott (1981) (eq. 10):

$$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)^2}\right] \quad (10)$$

Nas equações 8; 9 e 10, P_i é o valor predito pelo modelo e O_i é o correspondente valor observado e n é o número de observações. Na equação 10, $\bar{O}$ é a média observada e as barras verticais indicam o valor absoluto. Os valores considerados como ótimos para esses critérios são iguais a 0 para EMV e CV e 1,0 para o D.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Eficiência de uso da radiação, temperaturas base inferior e ótima e área foliar específica

As EU_{PAR} estimadas para o capim-mombaça variaram para os diferentes ciclos de crescimento (Figura 3), indicando que esse parâmetro pode alterar conforme a

estação do ano. Alexandrino, Gomide e Gomide (2005) também encontraram diferentes valores para EU_{PAR} estimadas para o capim-mombaça (18°41'S, 49°23'W) nas estações de outono (04/Mar-16/Abr) e verão (15/Jan-06/Mar), com valores de 0,54 e 1,76 g MS/MJ respectivamente.

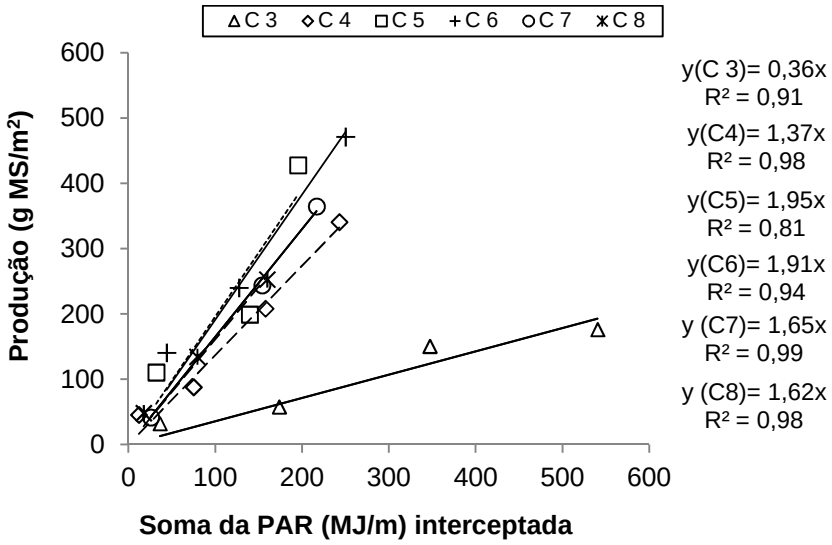


Figura 3 – Estimativa da eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa (coeficiente angular) para o capim-mombaça, em diferentes ciclos de crescimento (C) ao longo do ano

Com estudos de modelagem empírica conduzidos na Austrália, Rodriguez e Sadras (2007) observaram que a fração da radiação difusa explicou ~96% da variação (R^2) na eficiência de uso da radiação global (EUR) em plantas de trigo (n = 329; P<0,001) e ~60% em plantas de sorgo e milho (y = 5,63x+0,312; n = 6, P<0,06). Os autores também relataram que o déficit de pressão de vapor pode ser utilizado para explicar a variação na EUR desde que associado aos valores de temperatura do ar.

Neste experimento, foi observada uma relação quadrática entre os valores de EU_{PAR} e a temperatura média do ar no respectivo ciclo de crescimento (Figura 4), ocasionando uma significativa variação nos valores EU_{PAR} (R^2 = 0,92; n = 6; P<0,05) devido a oscilações ocorridas na temperatura media do ar, indicando que a temperatura do ar pode ser uma variável climática útil na penalização da EU_{PAR}, em modelos que

considerem esse parâmetro na estimativa do acúmulo de massa seca, como no caso do APSIM-Growth (APSIM, 2011).

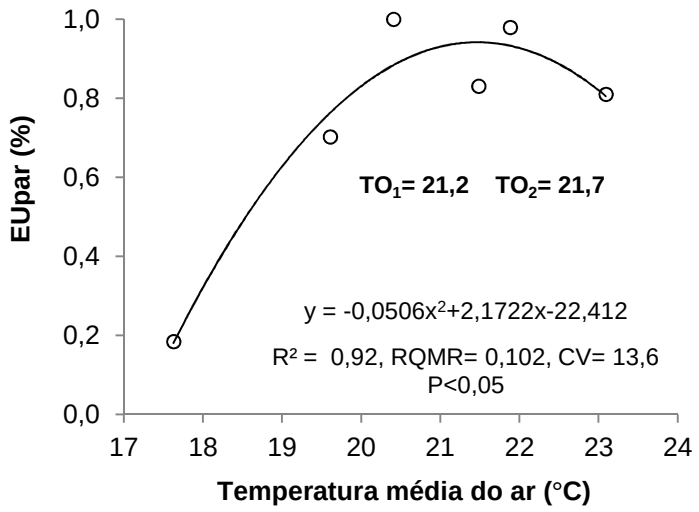


Figura 4 – Estimativa da primeira (TO_1) e segunda (TO_2) temperatura ótima do capim-mombaça com base na variação da eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa (EU_{par})

A primeira e a segunda temperatura ótima para o crescimento do capim-mombaça foram então estimadas como sendo iguais a 21,2 e 21,7 ℃, respectivamente (Figura 4). A primeira temperatura ótima ficou muito próxima aquela proposta para o capim-bambatsi no modelo APSIM-Growth que foi igual a 20 ℃ (APSIM, 2011), no entanto, a segunda temperatura ótima estimada foi bem inferior ao valor original de 30 ℃.

Para o capim-marandu Cruz (2010) estimou estes valores como sendo respectivamente iguais a 27 e 35 ℃, com base na temperatura média diária do ar. Valores de temperatura do ar entre 26 e 30 ℃ tem sido observados como ótimos, para o máximo crescimento de algumas forrageiras tropicais e sub-tropicais (ex. *Cenchrus ciliaris*, *Chloris gayana*, *Panicum maximum* var, trichoglume, *Panicum coloratum* var. makarikariense e *Pennisetum clandestinum e Panicum texanum*), quando cultivadas em ambiente controlado (IVORY; WHITWMAN, 1978; PATJERSON, 1990).

Essa diferença observada nas temperaturas ótimas estimadas neste experimento com aquelas observadas na literatura (IVORY; WHITWMAN, 1978; PATJERSON, 1990; CRUZ, 2010) pode ser decorrente das distintas metodologias utilizadas na estimativa deste parâmetro, enquanto neste experimento as temperaturas médias do ar ótimas foram estimadas com base na variação da EUpar, nos demais experimento essa comparação foi realizada com base na variação da produção relativa.

A gama de temperatura média registrada durante a condução do experimente não possibilitou a estimativa da temperatura base superior (Figura 4), que seria aquela correspondente a EU_{PAR} relativa inferior a 10%, assim foi mantida a temperatura original contida no APSIM-Growth.

Informações sobre as temperaturas base para o crescimento de plantas forrageiras tropicais são limitadas, no entanto, até o momento valores de 12; 15 e 17,2 ℃ têm sido apresentados como sendo limitantes para o crescimento de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var nlemfuensis cv Florico, *Pennisetum purpureum* Schum. cv Napier (VILLA NOVA et al*.,* 2007) e *Urochloa brizantha* cv Marandu (CRUZ et al., 2011) respectivamente. Existem também variações entre cultivares da mesma espécie (*Panicum maximum)* como para os capins mombaça (17,54 ℃), tobiatã (1 7,53 ℃), tanzânia (17,06 ℃), atlas (16,22 ℃) e massai (15, 61 ℃) (MORENO, 2004).

A apesar desta variação observada na literatura, para a temperatura base de forrageiras tropicais, todos os valores apresentados são maiores que o valor original do modelo APSIM-Growth de 8 ℃, dando fortes indicaçõe s de que esse parâmetro deve ser modificado para simular o crescimento do capim-mombaça. Neste trabalho, o valor estimado para a temperatura base do capim-mombaça foi de 15,6 ℃ como reportado no capítulo 2.

Os valores observados de área foliar específica para o capim-mombaça variaram de 13,6 a 25,9 m^2/kg. Estes valores são diferentes dos originais do APSIM-Growth de 15 m^2/kg. Apesar da disponibilidade de dois locais na programação do APSIM-Growth, para essa variável, o modelo original para o capim-bambatsi considera um único valor para ambos.

Para as simulações realizadas para o capim-mombaça, foram considerados o menor e o maior valor observado de área foliar específica neste experimento, pois foi

constatado um melhor ajuste entre os valores preditos (variável independente) e observados (variável dependente) nesta condição, que apresentou valores de R^2, D, CV e coeficiente angular iguais a 0,86; 96; 27,1% e 0,88 kg MS/ha/corte (P<0,0001) respectivamente, comparado aos respectivos valores de 0,81; 0,94; 32% e 0,86 MS/ha/corte (P<0,0001) quando um único valor médio de área foliar específica foi utilizado (18,6 m^2/kg).

3.3.2 Parametrização dos modelos

Inicialmente foi realizada uma simulação com o APSIM-Growth utilizando os parâmetros originais do capim-bambatsi contidos na programação, sendo modificadas apenas as informações referentes aos períodos de crescimento dos ciclos observado no experimento destinado a calibração, assim como as informações referentes ao clima, solo e adubação nitrogenada. Esta etapa foi realizada para verificar o quão distante os valores preditos ficariam dos observados, utilizando a programação padrão.

Foi constatado que o APSIM-Growth falhou durante a estimativa da produção de massa seca para o capim-mombaça durante o crescimento dos ciclos 2; 3 e 4, além de sub-estimar a produção nos demais ciclos (Figura 5a). No entanto, depois de ser analisada a partição da massa seca (sobre e abaixo do solo), foi observado que o modelo continuava a simular o acúmulo da massa seca ao longo dos ciclos 2; 3 e 4 porém, em taxas diárias muito pequenas (Figura 5b) sendo que toda a massa seca estava sendo direcionada para as raízes (Figura 5b) e por isso não foi constatado

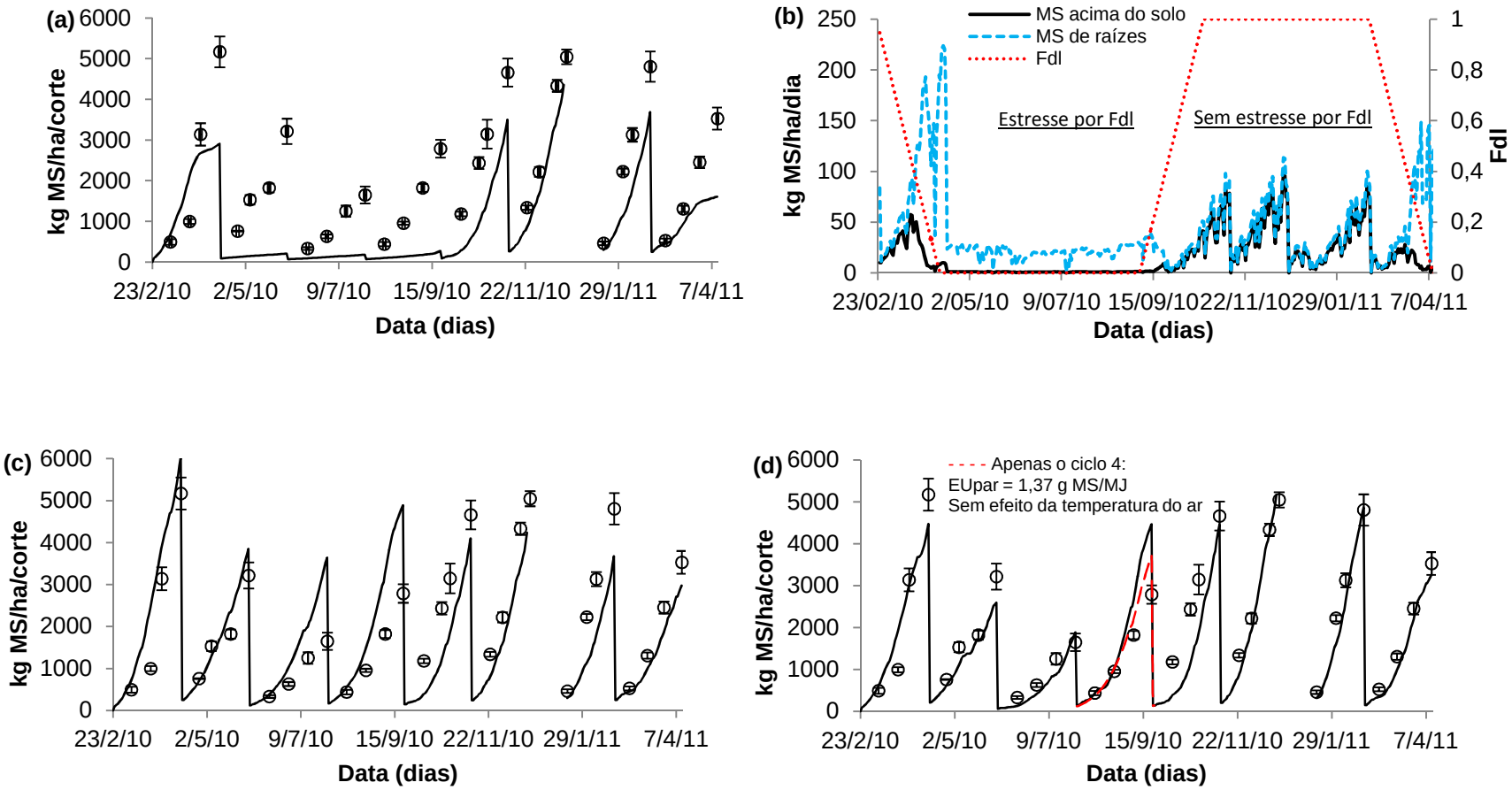


Figura 5 – Massa seca (MS) observada (o) e predita (—) para o capim-mombaça (dados para a parametrização) ao longo dos ciclos de crescimento, usando o (a) APSIM-Growth com os parâmetros originais descrevendo o efeito (b) do modificador da partição de MS devido ao fotoperíodo (Fdl). Simulação usando os (c) parâmetros originais sem efeito do Fdl e os (d) parâmetros estimados para o capim-mombaça usados durante toda a simulação ou modificados apenas para o ciclo 4 (observar dentro do gráfico ex. ---)

Cada ponto é uma média de quarto repetições para a MS observada. As barras verticais são o erro-padrão

acúmulo de forragem sobre o solo como descrito na figura 5a. Isso ocorreu, pois no APSIM-Growth existi um algoritmo de partição da massa seca devido ao comprimento do dia (Fdl) (eq. 11):

$$\text{partição_estresse} = min \cdot \left(F_a, F_{fasw}, F_n, F_{dl}\right) \quad (11)$$

Onde F_a, F_{fasw}, F_n e F_{dl} são os modificadores da partição por fornecimento hídrico, estresse devido a água, fornecimento de nitrogênio e comprimento do dia, respectivamente.

Quando o componente F_{dl} foi ignorado, a nova simulação aumentou a produção de massa seca sobre o solo para os ciclos 2; 3 e 4 (Figura 5c) mesmo utilizando os parâmetros originais, no entanto, quando foram incluídos os parâmetros calibrados para o capim-mombaça (Tabela 2) a performance do modelo melhorou, havendo apenas uma pequena super-estimativa para os ciclos 1; 2 e 4 (Figura 5d), mas de forma geral, a simulação apresentou uma elevada acurácia (coeficiente angular de 0,88 kg MS/ha/corte; P<0,0001) e precisão (R^2 = 0,86%) além de uma baixo CV= 27,1%.

Tabela 2 - Parâmetros originais do APSIM-Growth e os estimados para o capim-mombaça

Parâmetro	Definição	Original	Estimado
EUR	Máxima eficiência de uso da radiação (g MS/MJ).	2,0	1,95[†]
tb; TO_1; TO_2; TM	Temperatura (◦C) base inferior (tb), primeira ótima (TO1), segunda ótima (TO2), e máxima (TM) modificadoras da fotossíntese.	13; 25; 35; 50	15,6; 21,2, 21,7; 50[¶]
Fdl	Componente modificador da partição de massa seca devido o fotoperíodo (h). (0) = estresse e (1) = sem estresse.	12,5 (0); 13,5 (1)	Parâmetro ignorado
Área_foliar _específica	Mínima e máxima área foliar específica (m^2/kg).	15,0 e 15,0	13,6 e 25,9

[†]Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa. [¶]A temperatura base superior não foi estimada para o capim-mombaça sendo utilizado o valor original do modelo (mais detalhes são descritos no texto).

Na tentativa de corrigir a superestimativa no ciclo 4, os parâmetros foram novamente revisados e então tomada a decisão de substituir o valor da EU_{PAR} máxima (1,95 g MS/MJ) estimada para o capim-mombaça e contida no código do APSIM-Growth (Figura 5d), pelo valor que foi estimado para o ciclo 4 de 1,37 g MS/MJ (Figura 4). Como é de conhecimento que o valor da EU_{PAR} para o ciclo 4 foi penalizado pela temperatura média do ar (Figura 4), o componente *Modificador da Fotossíntese Devido a Temperatura do Ar* foi ignorado no código do APSIM-Growth, evitando que a temperatura do ar penalizasse a EU_{PAR} uma segunda vez, durante a nova simulação realizada para o ciclo 4.

A atual programação proporcionou uma redução de 17% no ultimo valor predito para esse ciclo, que ficou mais próximo do valor observado quando comparado a simulação anterior utilizando o valor da EU_{PAR} máxima (Figura 5d; observar a linha vermelha). Um procedimento similar não pode ser realizado para os ciclos 1 e 2 pois os valores de EU_{PAR} não foram estimados para esses ciclos de crescimento (figura 4).

Similar procedimento foi realizado por Dolling et al. (2001) durante a adaptação do módulo APSIM-Lucerne, para leguminosas. Inicialmente os autores realizaram uma simulação utilizando o valor original de EUR, como uma constante. No entanto, o viés existente entre a relação dos valores observados com os preditos foi muito elevado (-64%). Os autores propuseram então, usar os respectivos valores de EUR estimados para cada período de crescimento sendo que a nova simulação reduziu o viés de -64 para -5%, havendo assim uma maior aproximação dos valores preditos com os observados.

Apesar de ter sido observado um melhor ajuste para o ciclo 4 neste experimento, quando o respectivo valor de EU_{PAR} foi utilizado (Figura 5d), também foi constada uma eficaz simulação quando a EU_{PAR} de 1,95 g MS/MJ foi utilizada como uma constante (Figura 5d), apresentando nesta ocasião um R^2 = 0,86% e um coeficiente angular igual a 0,88 kg MS/ha/corte ($P<0,0001$) quando os valores preditos foram comparados com os observados. Devido a isso, o valor de EU_{PAR} de 1,95 g MS/MJ foi utilizado como constante durante as simulações para avaliar o desempenho do modelo com dados independentes.

Os valores estimados para GD, UF e ICC apresentaram uma significativa e positive correlação (P<0,0001) com os valores de massa seca observados no experimento destinado a parametrização dos modelos. As correlações foram de 0,93 (n = 120); 0,91 (n = 125) e 0,88 (n = 126) para a UF_i, ICC e GD respectivamente. Quando as equações lineares simples foram ajustadas, os parâmetros estimados apresentaram uma precisão acima de 0,77 (R^2; Figura 6) sendo que a equação ajustada para a UF foi a que apresentou a maior precisão com valor de R^2 = 0,86% e o menor erro com valor de CV = 26% (Figura 6a).

A elevada precisão (R^2>0,77) observada neste experimento para os modelos empíricos indica que simples relações lineares podem ser usadas para parametrizar equações de predição da produção de massa seca do capim-mombaça. Altos valores de correlações entre a produção de massa seca e variáveis climáticas, também foram observadas por Araujo et al. (2010), Tonato et al. (2010) e Cruz et al. (2011), trabalhando com espécies forrageiras topicais cultivados em campo no Brasil, respectivamente.

Tonato et al. (2010) ao utilizarem a temperatura média, mínima e máxima do ar assim como a radiação solar global incidente, como variáveis preditoras da taxa de acúmulo de espécies do gênero *Cynodon*, *Panicum* e *Urochloa* em condições sem déficit hídrico, observaram que a temperatura mínima do ar foi a variável independente que mais explicou a variação nas taxas de acúmulo e de forma mais constante, estando sempre presente nos modelos que proporcionaram as melhores estimativas; com uma freqüentemente de aproximadamente 62,3% das vezes.

Cruz et al. (2011) realizou um estudo semelhante ao de Tonato et al. (2010), com a diferença que as equações lineares foram parametrizadas com dados de capim-marandu em pastagem de sequeiro. Nestas condições, os autores relataram um melhor ajuste dos parâmetros lineares quando a variável independente erra corrigida pelo balanço hídrico local (ETRa/ETRp), sendo constatado um R^2 de 0,64; 0,73; 0,44 e 0,64% quando a temperatura do ar média, mínima e máxima e graus-dia foram utilizadas sem correção pelo balanço hídrico local, contra os respectivos valores de 0,71; 0,75; 0,69 e 0,75% quando a correção pelo balanço hídrico foi realizada.

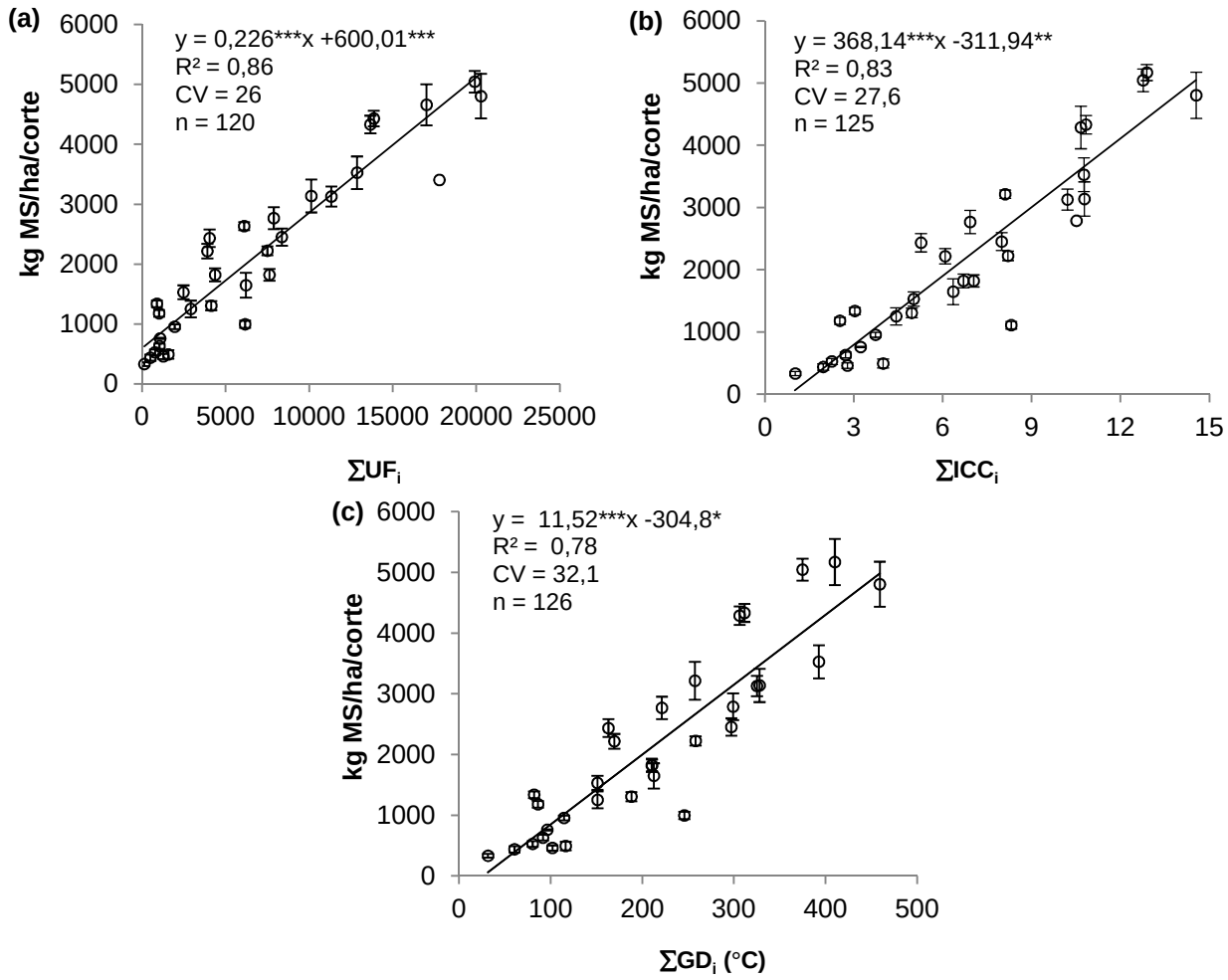


Figura 6 – Equações parametrizadas para estimar a produção de massa seca (MS) do capim-mombaça em pastagem irrigada, conforme a soma diária da (a) unidade-fototérmica (UF_i), (b) índice de crescimento climático (ICC_i) e (c) graus-dia (GD_i)

Cada ponto é uma media de quarto repetições para a MS observada. R^2 = coeficiente de determinação (%); CV = coeficiente de variação (%); n = número de observações. As barras verticais são os erros-padrão. ***p≤0,001; **p≤0,01 e *p≤0,05

Apesar destes estudos utilizaram diferentes cultivares e variáveis climáticas, todos apresentaram modelos lineares simples parametrizados com alta acurácia, confirmando a elevada correlação entre a produção forrageira e o clima local. Estes autores destacaram também, a importância do uso de modelos empíricos na simulação de pastagem, principalmente por exigirem variáveis independentes mais acessíveis, além de utilizar técnicas estatísticas mais simplificadas. No entanto, existe a necessidade destes modelos serem avaliados após sua parametrização com dados independentes, para que o seu desempenho seja corretamente avaliado.

3.3.3 Avaliação dos modelos

Durante a avaliação, a relação entre os valores preditos e observados foi significativa para todos dos modelos (Figura 7), que explicaram de 69 a 79% (R^2) da variabilidade da produção de massa seca (UF_i > GD_i > APSIM > ICC_i, Figura 7). Todos os modelos também apresentaram alta acurácia (coeficiente angular>0,79), sendo que um baixo valor de 0,125 kg/MS/ha foi verificado entre o modelo com maior e menor coeficiente angular (Figura 7b, d). A aproximação da equação linear da linha relativa 1:1, checada pelo índice D, também foi alto acima de 0,87 para todos os modelos (UF_i > APSIM > GD_i > ICC_i, Figura 7).

O positivo valor de EMV indicou que os modelos de forma geral superestimaram mais do que subestimaram as produções de capim-mombaça (Figura 7), sendo que na média essa super-estimativa foi muito baixa para o modelo APSIM, cerca de 6 kg MS/ha/corte na média total, enquanto que os modelos UF_i, GD_i e ICC_i apresentaram valores mais elevado, equivalente a 268; 318 e 470 kg MS/ha/corte, respectivamente (Figura 7b, c, d).

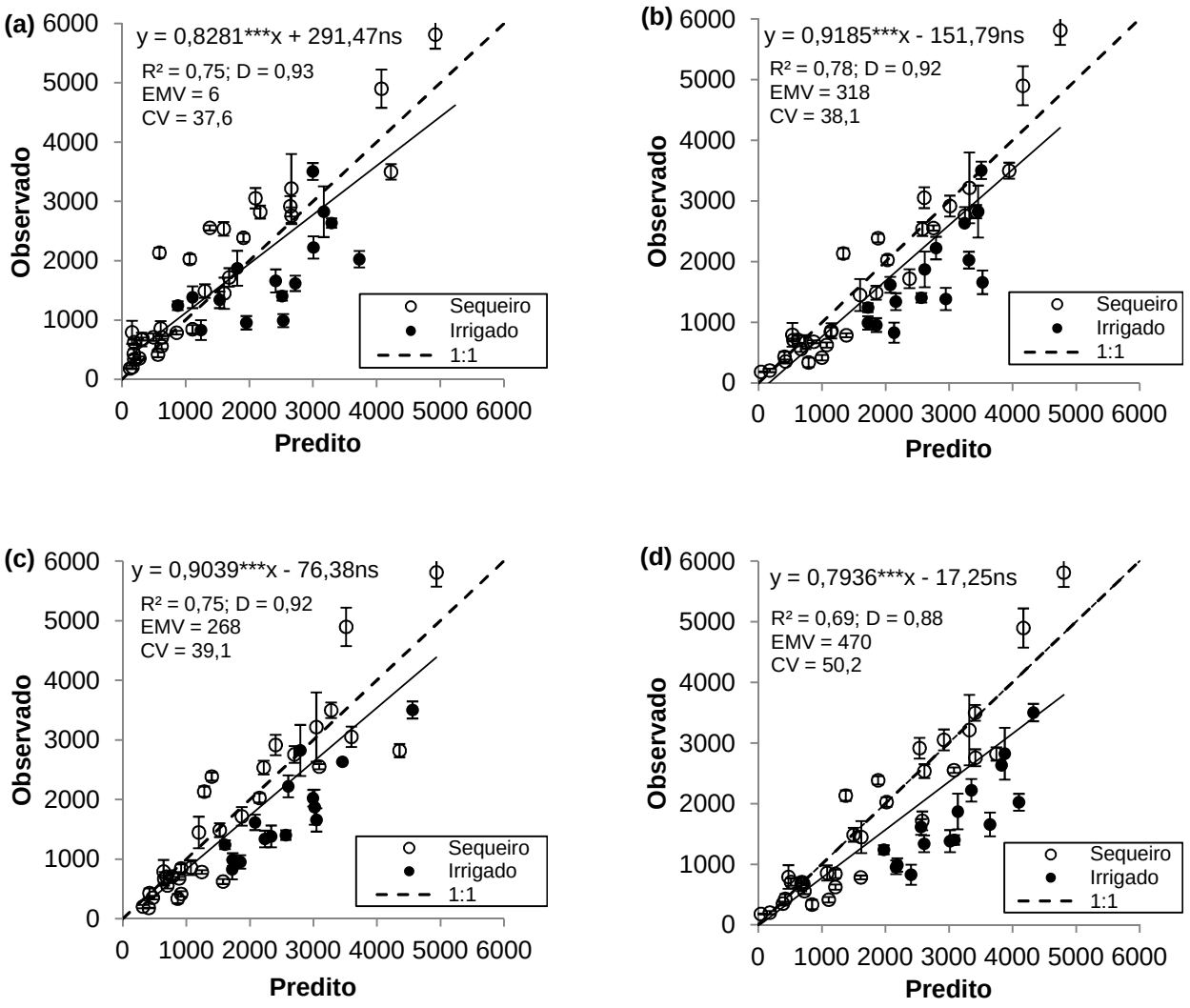


Figura 7 - Massa seca (MS) predita versus a observada para o capim-mombaça (kg MS/ha/corte), usando os modelos parametrizados: (a) APSIM-Growth, (b) graus-dia, (c) unidade-fototérmica e (d) índice de crescimento climático

Cada ponto é uma media de quarto repetições para a MS observada e as barras verticais são os erros-padrão. ***$p \leq 0{,}001$ e ^{ns}não significativo. Se todos os valores observados e simulados fossem iguais, os seguintes parâmetros teriam valores de: EMV (erro médio do viés, kg MS/ha/corte) = 0; CV (coeficiente de variação, %) = 0; R^2 (coeficiente de determinação) = 1 e D (índice de concordância) = 1

Uma melhor representação desta superestimativa é apresentada na figura 8, que corresponde a uma função empírica de distribuição acumulativa da produção observada e predita, onde os pontos de divergência entre a super e subestimativa foram observados entre aproximadamente 350-3500; 0-3500; 750-4100 e 1000-3100 kg

MS/ha/corte para os modelos GD, UF; ICC e APSIM-Growth respectivamente (Figura 8), sendo que a maior e menor distância das distribuições ocorreram para os modelos ICC_i e APSIM respectivamente (Figura8 c, d).

Assim, se as atuais equações parametrizadas para GD e ICC forem usadas para estimar a produção de massa seca do capim-mombaça, elas deveram superestimar muito a produção entre o intervalo descrito anteriormente. Por exemplo, enquanto a produção observada na probabilidade acumulada de 50% é de 1452 kg MS/ha/corte o valor estimado pelo atual modelo ICC é de 2185 kg MS/ha/corte, cerca de 50% de superestimativa para esse ponto (Figura 8).

Uma superestimativa nos valores de taxa média de acúmulo do capim-marandu também foi observado por Cruz et al. (2011) usando modelos lineares simples, considerando o GD ou o ICC como variáveis independentes. Os autores justificaram essa superestimativa devido a manejos contrastantes da pastagem entre os dados utilizados para parametrizar e avaliar os modelos (ex. diferentes alturas e freqüências de cortes). O mesmo poderia ter ocorrido neste experimento, uma vez que foram usados dados de diferentes sistemas de manejos da pastagem durante a parametrização (corte mecânico) e avaliação (corte mecânico e pastejo), no entanto essa hipótese deveria explicar apenas parte dos erros observados nos modelos, uma vez que menores erros foram observados nos modelos de UF e APSIM-Growth (Figura 7a, c) que utilizaram os mesmos conjuntos de dados que os modelos GD e ICC.

Entre os modelos empíricos, o modelo de UF foi o que apresentou melhor desempenho nas simulações como discutido anteriormente. Significativa relação entre os valores de UF e a sazonalidade no crescimento de pastagem tropical também foram observadas para o capim-tanzânia (ALMEIDA et al., 2011); *Pennisetum purpureum* cv Napier (VILLA NOVA et al., 1999) e *Brachiaria ruzizienses* (VILLA NOVA et al., 2005), sendo que os autores destacaram a utilização das UF como uma eficiente preditora da sazonalidade de produção destas espécies forrageiras.

Os modelos UF e o APSIM-Growth apresentaram uma melhor predição da produtividade de massa seca do capim-mombaça (Figura 7a, c; Figura 8), indicando que esses modelos são mais eficientes do que os modelos GD e ICC. No entanto,

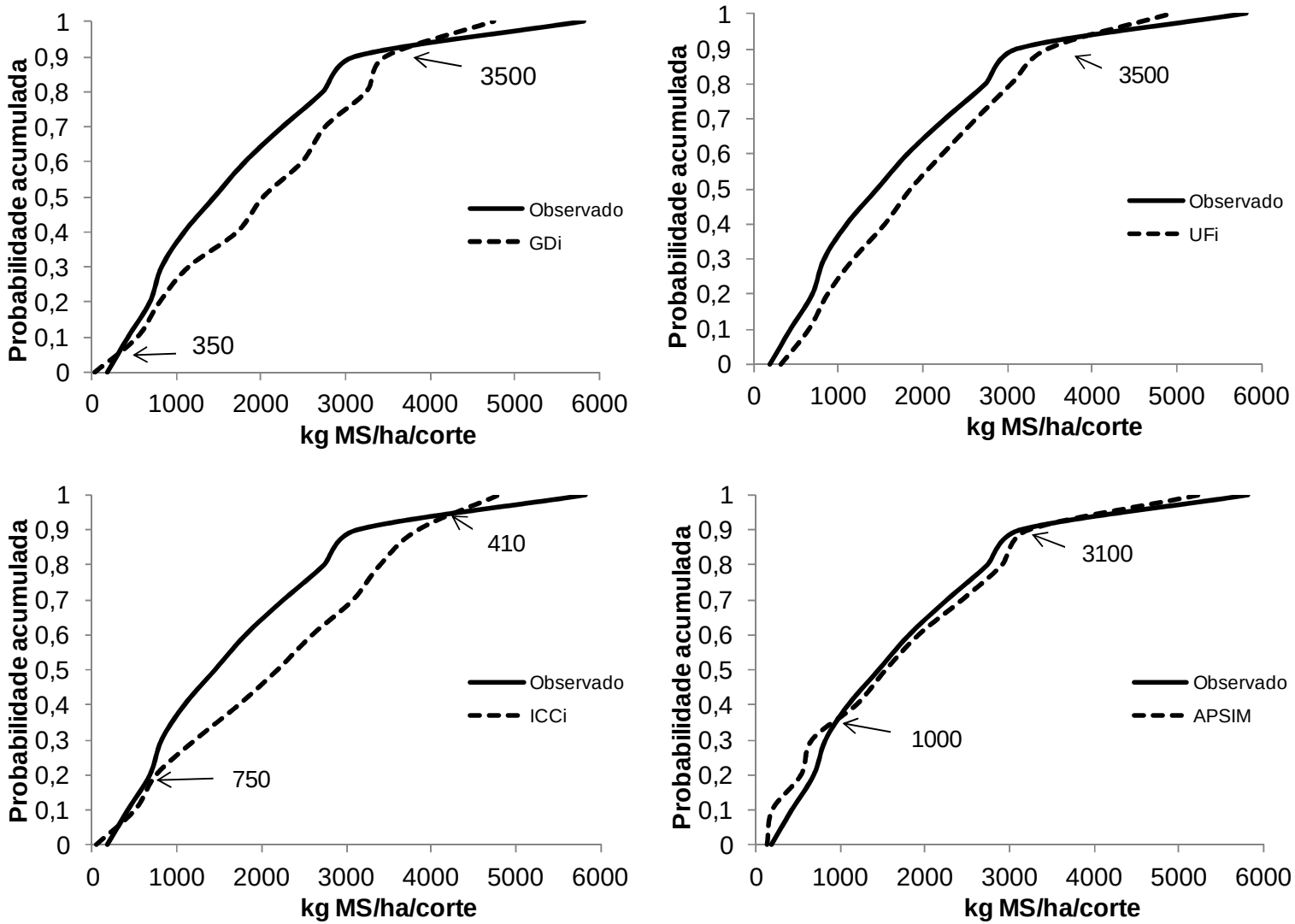


Figura 8 - Função empírica de distribuição acumulativa da produção de massa seca (MS) do capim-mombaça observada e predita pelos (GD_i) modelos graus-dias, (UF_i) unidades-fototérmicas, (ICC_i) índice de crescimento climático e APSIM-Growth

Dados de pastagem irrigada e não irrigada. A probabilidade acumulada representa a produção no respectivo valor de percentil (%). As setas destacam os pontos de divergência entre a super e subestimativa

essa melhor predição não se restringiu a média total (EMV), mas sim ao longo de toda a simulação como apresentado na figura 8. Nesta figura pode ser observado que as probabilidades acumuladas dos dados observados e preditos estão muito próximas, apresentando uma menor distância entre esses dados quando comparado aos modelos GD e ICC, sendo que essa distância foi menor para os dados estimados pelo APSIM-Growth (Figura 8).

3.4 Conclusão

Equações lineares simples podem ser parametrizadas com alta precisão e acurácia, utilizando apenas dados de produção de massa seca como variável dependente e a soma diária de GD, UF e ICC como variáveis independentes. Os parâmetros originais conditos no APSIM-Growth referentes a espécie forrageira, devem ser substituídos pelos estimados para o capim-mombaça e o componente de partição da massa seca devido ao fotoperíodo deve ser ignorado para melhorar o desempenho da simulação. O modelo APSIM-Growth foi o que apresentou o melhor desempenho durante as avaliações realizadas pela comparação dos valores preditos com aqueles observados. Dos modelos empíricos, o que considera a UF como variável independente foi o que apresentou o melhor desempenho. A decisão pelo uso do modelo de UF ou APSIM-Growth deve ser realizada pela disponibilidade das variáveis de entrada exigidas por cada modelo, assim como pelas características do clima local que deve ser semelhantes aquelas onde o modelo UF foi parametrizado e avaliado.

Referências

AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS SIMULATOR. Disponível em: <http://www.apsim.info>. Acesso em: 20 jun. 2011.

ALEXANDRINO, E; GOMIDE, J.A; GOMIDE, C.A.M. Crescimento e desenvolvimento do dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2164-2173, 2005.

ALMEIDA, A.C.S.; MINGOTI, R.; COELHO, R.D.; LOURENÇO, L.F.T. Simulação do crescimento do capim Tanzânia irrigado com base na unidade fototérmica, na adubação nitrogenada e na disponibilidade hídrica do período. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 215-222, 2011.

ANDALES, A.A.; DERNER, J.D.; AHUJA, L.R.; HART, R.H. Strategic and tactical prediction of forage production in northern mixed-grass prairie. **Rangeland Ecology & Management**, Lawrence, v. 59, n. 6, p. 576-584, 2006.

ARAUJO, L.C.; SANTOS, P.M.; PEZZOPANE, J.R.; CRUZ, P.G. Prediction of Tanzânia grass dry matter production using agrometereological parameters. In: AMERICAN DAIRY SCIENCE ASSOCIATION®; POULTRY SCIENCE ASSOCIATION; ASOCIACIÓN MEXICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL; CANADIAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE; AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE, 88., 2010, Denver. **Anais…** Denver: JAM, 2010. p. 627–628.

BERTOLONE, L.E.M. **Sobressemeadura de forrageiras de clima temperado em pastagens tropicais**. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

BONHOMME, R. Bases and limits to using ‘degree day’ units. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 1–10, 2000.

BRISTOW, R.L; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 31, n. 2, p. 159-166, 1984.

CARNEVALLI, R.A. **Dinâmica da rebrotação de pastos de capim-mombaça submetidos a regimes de desfoliação intermitente.** 2003. 136 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CARNEVALLI, R.A.; DA SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O.; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; SILVA, G.N.; MORAIS, J.P.G. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v. 40, n. 1, p. 165-176, 2006. Disponível em: <http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_40_2006/Vol_40_03_2006_pp165_176.pdf>. Acesso em: 06 out. 2011.

CRUZ, P.G. **Produção de forragem em *Brachiaria brizantha*:** adaptação, geração e avaliação de modelos empíricos e mecanicistas para estimativa do acúmulo de forragem. 2010. 102 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CRUZ, P.G.; SANTOS, P.M.; PEZZOPANE, J.R.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; ARAUJO, L.C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 7, p. 675-681, 2011.

CUNHA, F.F.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C.; PEREIRA, O.G.; ABREU, F.V.S. Produtividade do capim tanzânia em diferentes níveis e freqüências de irrigação. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 103-108, 2008.

DOLLING, P.J.; LATTA, R.A.; LYONS, A.M.; ASSENG, S.; ROBERTSON, M.J.; COCKS, P.S; EWING, M.A. Adapting APSIM Lucerne to the Western Australian environment. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 10., 2001, Tasmania. **Science and technology:** delivering results for agriculture?; proceedings… Tasmania, 2001. p. 1-5.

EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE. Disponível em: <http://www.cppse.embrapa.br/dados-meteorologicos>. Acesso em: 01 set. 2011.

FITZPATRICK, E.A.; NIX, H.A. A model for simulating soil water regime in alternating fallow-crop systems. **Agricultural Meteorology**, n. 6, v. 5, p. 303-319, 1969.

_____. The climatic factor in Australian grassland ecology. In: MOORE, R.M. (Ed.). **Australian grasslands.** Canberra: Australian National University Press, 1973. chap. 1, p. 3-36.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA **Censo agropecuário 2006.** Rio de Janeiro, 2007. 146 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/agropecuario.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2011.

IVORY, D.A.; WHITEMAN, P.C. Effect of temperature on growth of five subtropical grasses. I. Effect of day and night temperature on growth and morphological development. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 5, n. 2, p. 131-148, 1978.

KEATING, B.A.; CARBERRY, P.S.; HAMMER, G.L.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, M.J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N.I.; HARGREAVES, J.N.G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J.P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K.L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R.L.; FREEBAIRN, D.M.; SMITH, C.J. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 18, n. 3/4, p. 267-288, 2003.

LAUGHLIN, G.P.; RANATUNGA, K.; BRINKLEY, T.R.; JOHNSON, I.R.; HUTCHINSON, M.F. GROWEST PLUS: A tool for rapid assessment of seasonal growth for environmental planning and assessment. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 22, n. 8, p. 1196-1207, 2007.

MORENO, L.S.B. **Produção de forragem de capins do gênero *Panicum* e modelagem de respostas produtivas e morfofisiológicas em função de variáveis climáticas**. 2004. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-13122004-103013/pt-br.php>. Acessado em: 04 out. 2011.

MOTA, F.S.; BERNY, Z.B.; MOTA, J.F.A.S. Índice climático de crescimento de pastagens naturais no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 4, p. 453-472, 1981.

OMETTO, C.O. **Bioclomatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 440 p.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; BOOTE, K.J.; LARA, M.A.S.; ALDERMAN, P.D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, n. 3, p. 370–379, 2011.

PEDRO JÚNIOR, M.J. Índice climático de crescimento para gramíneas forrageiras no estado de São Paulo, **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 4, p. 427-435, 1995.

RODRIGUES, D.; SANDRAS, V.O. The limit to wheat water-use efficiency in eastern Australia. I. Gradients in the radiation environment and atmospheric demand. **Australian Journal of Agricultural Research.** Victoria, v. 58, p. 287–302, 2007.

SAS INSTITUTE. **SAS:** system for Microsoft Windows; release 9.0. Cary, 2002. 1 CD-ROM.

SOUZA, E.M.; ISEPON, O.J.; ALVES, J.B.; BASTOS, J.F.P.; LIMA, C.L.. Efeitos da irrigação e adubação nitrogenada sobre a massa de forragem de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 4, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982005000400008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 23 nov. 2011.

TEH, C. **Introduction to mathematical modeling of crop growth:** how the equations are derived and assembled into a computer program. Boca Raton: Brown Walker Press, 2006. 256 p.

THORNLEY, J.H.M.; CANNELL, M.G.R. Temperate grassland responses to climate change: an analysis using the Hurley pasture model. **Annals of Botany**, London, v. 80, n. 2, p. 205-221, 1997.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38**,** n.1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104 p.

TONATO, F.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; SILVA, O.D.D.; MALAQUIAS, J.V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 522-529, 2010.

VILLA NOVA, N.A.; CARRETERO, M.V.; SCADUA, R.A. 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. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 2., 1983, Campinas. **Anais…** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p. 31-48.

VILLA NOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.; PEREIRA, A.R. Modelo para previsão de produtividade do capim elefante cv. Napier em função da temperatura do ar, fotoperíodo e freqüência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 75-79, 1999.

VILLA NOVA, N.A.; TONATO, F.; PEDREIRA, C.G.S.; MEDEIROS, H.R. Método alternativo para cálculo da temperatura base de gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 545-549, 2007.

VILLA NOVA, N.A.; DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; PILAU, F.G.; PEDREIRA, C.G.S. Avaliação da produtividade potencial de *Brachiaria ruziziensis* (Germain & Evard) em função de unidades fototérmicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 3, p. 443-449, 2005.

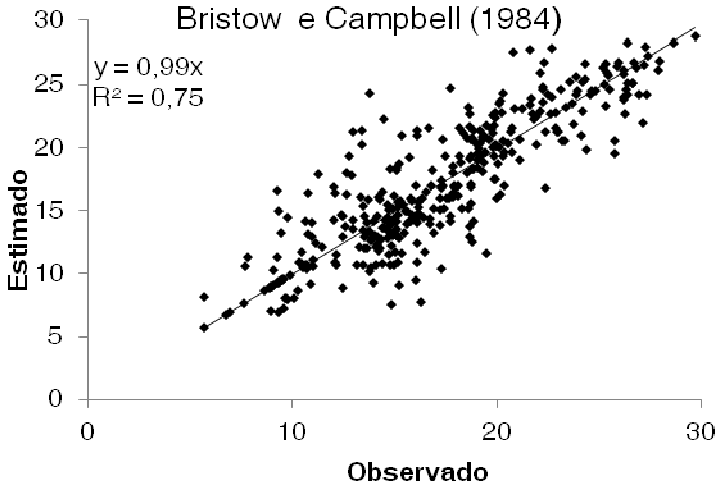
WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, Oxford, v. 2, p. 184–194, 1981.

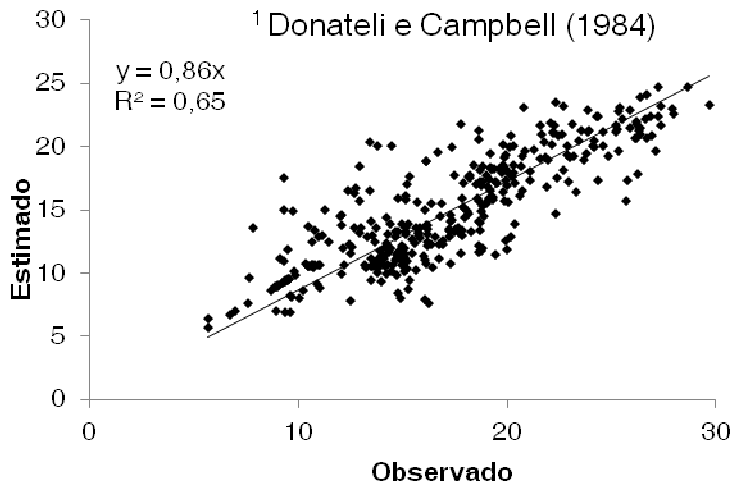
ZHA, Y.G.A.O.J.; ZHANG, Y. Grassland productivity in an alpine environment in response to climate change. **Area**, London, v. 37, n. 3, p. 332–340, 2005.

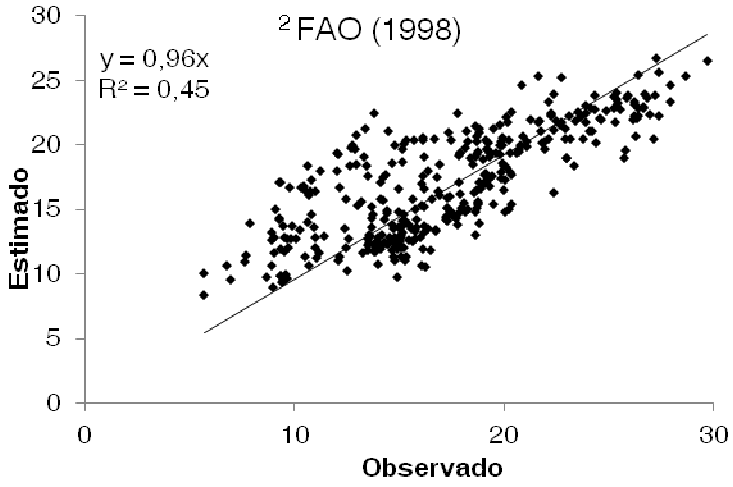
ZHANG, B.; VALENTINE, I.; KEMP, P.D. Spatially explicit modelling of the impact of climate changes on pasture production in the North Island, New Zealand. **Climatic Change,** Dordrecht, v. 84, p. 203–216, 2007.

ANEXOS

Anexo A - Valores observados e estimados da radiação solar global incidente (MJ m^2/dia) de 01/Ago/2010 a 31/Jul/2011, utilizando três modelos, para São Carlos, SP (21°57'42"S, 47°50'28"W)



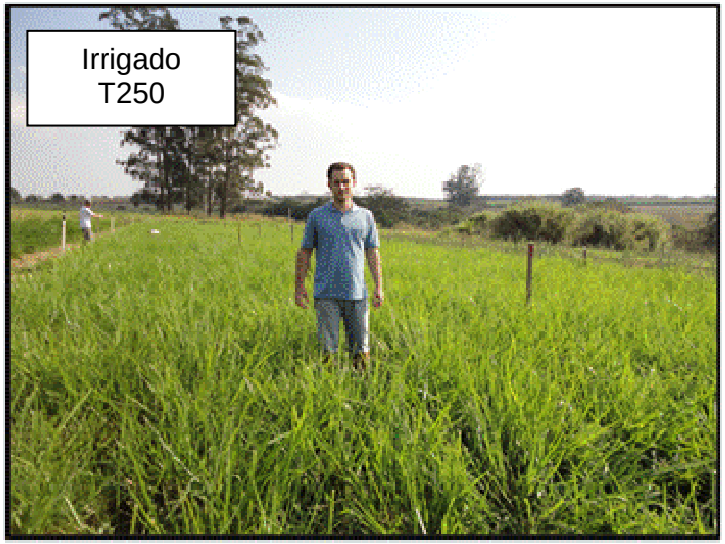




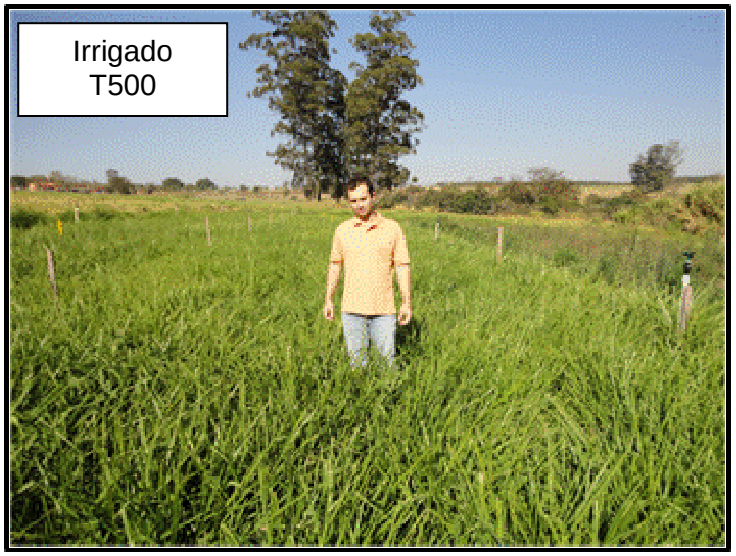
[1]DONATELLI, M.; CAMPBELL, G.S. A simple model to estimate global solar radiation. In: Proc. 5th Congress of the European Society for Agronomy. 5, 1998. Nitra. **Anais...** Nitra: Congress of the European Society for Agronomy, p. 133-134. 1998.
[2]FAO. **Crop evapotranspiration:** Guidelines for computing crop water requirements. Roma, 1998. (Irrigation and Drainage paper, 56).

Anexo B – Fotos representando a pastagem de capim-mombaça ao longo do ciclo 4 (28/7 a 21/9/10)

(continua)



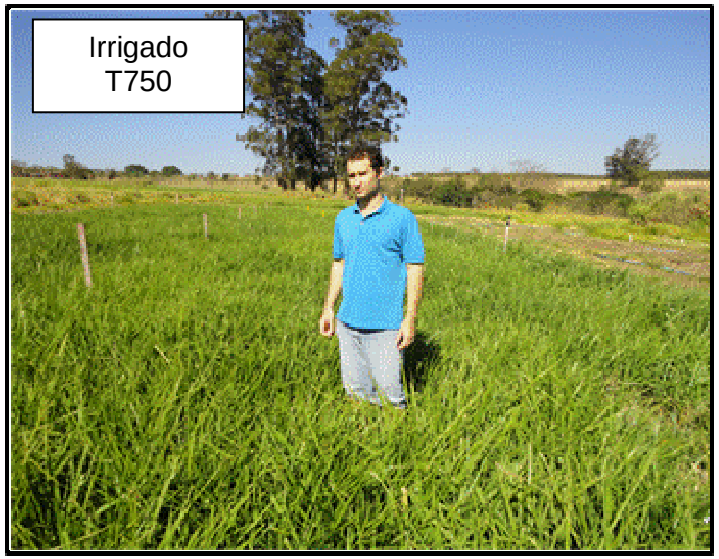
----- (11/8/10) -----



----- (25/8/10) -----

Anexo B – Fotos representando a pastagem de capim-mombaça ao longo do ciclo 4 (28/7 a 21/910)

(conclusão)

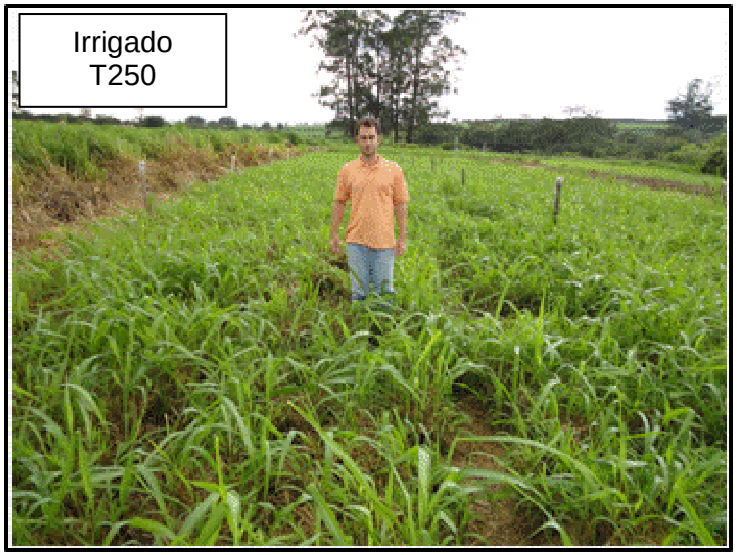


----- (8/9/10) -----

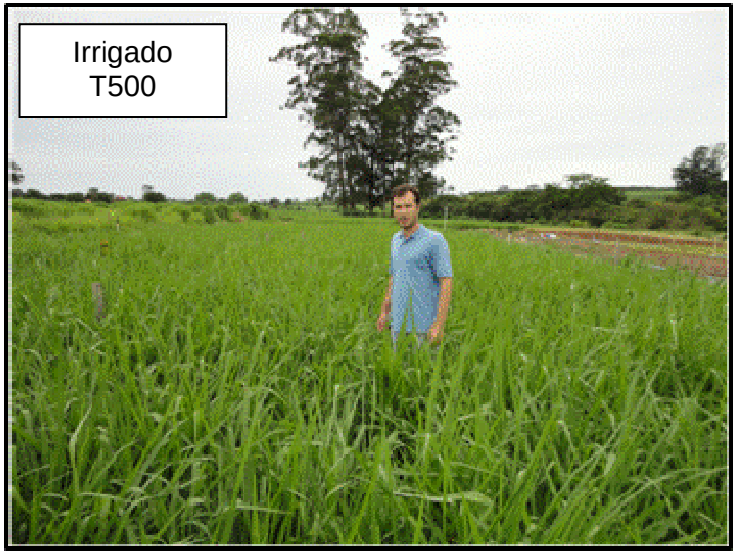
----- (21/9/10) -----

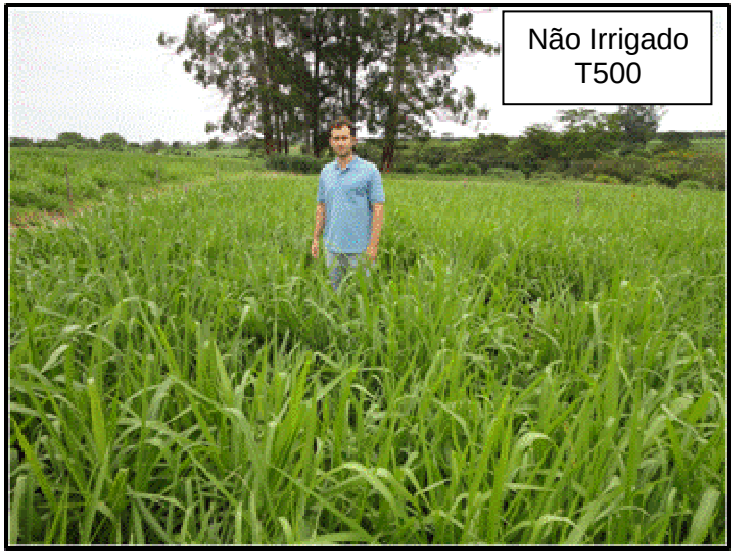
Anexo C – Fotos representando a pastagem de capim-mombaça ao longo do ciclo 7 (7/1 a 21/2/11)

(continua)



----- (18/1/11) -----



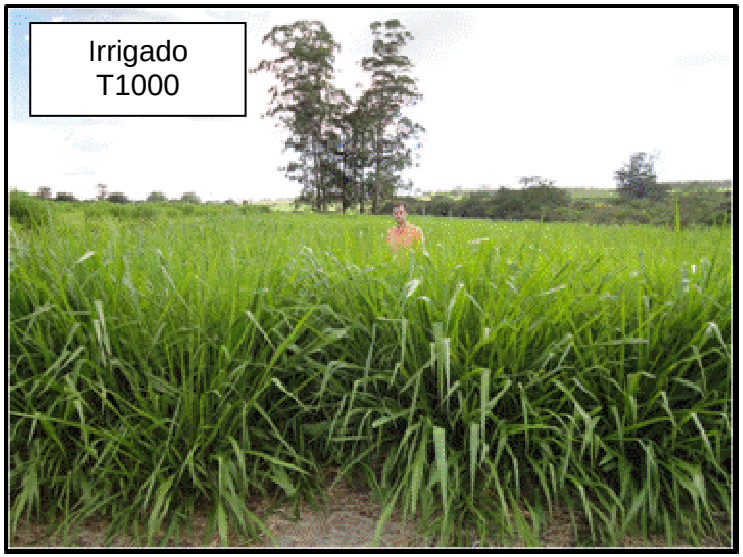


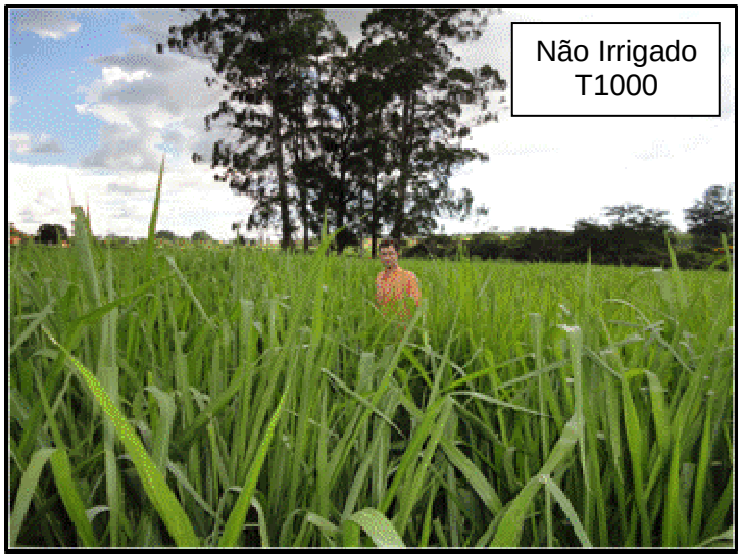
----- (1/2/11) -----

Anexo C – Fotos representando a pastagem de capim-mombaça ao longo do ciclo 7 (7/1 a 21/2/11)

(conclusão)

----- (8/2/11) -----





----- (21/2/11) -----