**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Desenvolvimento e avaliação de modelos preditores de acúmulo de
forragem em pastagens tropicais para apoio à tomada de decisão**

Felipe Tonato

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

Piracicaba
2009

Felipe Tonato
Zootecnista

**Desenvolvimento e avaliação de modelos preditores de acúmulo de forragem em
pastagens tropicais para apoio à tomada de decisão**

Orientador:
Prof. Dr. **CARLOS GUILHERME SILVEIRA PEDREIRA**

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

**Piracicaba
2009**

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

Tonato, Felipe

Desenvolvimento e avaliação de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais para apoio à tomada de decisão. - - Piracicaba, 2009.
110 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1 Crescimento vegetal - Modelagem 2. Gramíneas forrageiras 3. Pastagens 4. Sistema d
produção - Planejamento 5. Tomada de decisão I. Título

CDD 633.2
T663d

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

DEDICO

A minha mãe Ligia e a minha irmã Carolina,
a minha família, tios, tias, primos e primas,
por todo amor, carinho, dedicação, apoio incentivo e compreensão.

MINHA GRATIDÃO

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) pela oportunidade de realização do curso.

A Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP) e seus professores pela minha formação profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira pela oportunidade, confiança, amizade e constantes ensinamentos fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao grande amigo Luis Gustavo Barioni pela inestimável ajuda e constante disposição para realização desse trabalho e a sua família pela disponibilidade e carinho em me receber em sua casa.

Ao Coordenador Prof. Dr. Sila Carneiro da Silva pelo apoio e dedicação e conhecimentos transmitidos.

A Carolina de Castro Santos, Lyssa Otani e Juliana Atunes Galvão pelo amor, carinho e companheirismo fundamentais para conclusão de mais essa etapa.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Plantas Forrageiras Jorge Nunes Portela, Bruno Carneiro e Pedreira, Diego Noletto Luz Pequeno, Marcio André Stefanelli Lara, Renata La Guardia Nave, Marcos Schleiden Souza Carvalho, Daniel Collucci, Cacília Leonelli, Murilo Saraiva Guimarães, Felipe Vilela Nobre, Priscila de Mesquita, Lilian Eglalise Tecchio, Salim Jacaúna, Vitor Del’Alamo Guarda, Fabio Olegário Caminha, Adenílson José Paiva, Leandro Martins Barbero e Veridiana Aparecida Limão pelo incentivo e companheirismo em todos esses anos de convivência.

Aos amigos Fernando Logar Seraphico Peixoto da Silva, Camila Brossi, Marcelo Fernandes Faria e Marcelo de Queiroz Manella, pelo convívio harmonioso e amizade nos anos em que moramos juntos.

Ao Prof. Dr. Gerson Barreto Mourão e a Juaci Vitoria Malaquias pela ajuda nas análises estatísticas e a Ozanival Dario Dantas da Silva pela ajuda com o desenvolvimento do banco de dados.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO:.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Pastagens no Brasil	17
2.2 O Gênero Brachiaria	19
2.3 O Gênero Panicum.....	20
2.4 O Gênero Cynodon	21
2.5 Sistemas de produção animal baseados em pastagens	22
2.6 Planejamento alimentar.....	24
2.7 Conceitos básicos sobre modelagem.....	26
2.8 Uso de modelagem na agricultura.....	29
2.9 Modelos de crescimento de pastagens	32
2.10 Aplicações para bancos de dados em forragicultura.....	34
2.11 Sistemas de apoio à tomada de decisão.....	35
3 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1 Seleção dos conjuntos de dados.....	37
3.2 Modelagem e implementação do Banco de Dados	38
3.3 Carregamento do Banco de Dados	40
3.4 Consultas ao Banco de Dados	41
3.5 Análises Exploratórias e eliminação de dados discrepantes	42
3.6 Geração dos modelos	43
3.7 Calibração do modelo com dados reais de uma propriedade	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Correlação entre as variáveis.....	47
4.2 Variáveis influentes	49
4.3 Modelos gerados	75
4.4 Exercício de calibração do modelo para dados locais.....	85
5 CONCLUSÕES	91
REFERENCIAS	93

RESUMO

Desenvolvimento e avaliação de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais para apoio à tomada de decisão

O baixo custo, grande aptidão produtiva e fácil cultivo das plantas forrageiras são razões para que os pastos sejam a base da bovinocultura no Brasil, e que diversas forrageiras estejam entre as culturas mais amplamente distribuídas no país. A grande extensão territorial ocupada, no entanto faz com que as áreas pastoris estejam sujeitas a condições diversas de clima e ambiente, dificultando a estimação de sua produtividade para fins de planejamento. O sucesso dos empreendimentos agropecuários depende, cada vez mais, do desenvolvimento de ferramentas que racionalizem as intervenções gerenciais no processo produtivo, possibilitando estimar o desempenho, minimizar riscos e facilitando o planejamento do empreendimento agropecuário. Modelos matemáticos que possibilitem estimar o acúmulo de matéria seca e sua distribuição estacional são atualmente uma das grandes lacunas da zootecnia brasileira. Os objetivos deste trabalho foram modelar e implementar uma estrutura de banco de dados para experimentos de crescimento de plantas forrageiras, identificar e quantificar o efeito de atributos condicionantes do acúmulo de forragens nas condições do Brasil central e desenvolver modelos estimadores do acúmulo de forragem potencial com base em parâmetros climáticos. Foram usados seis conjuntos de dados, dois para *Cynodon* com cinco cultivares em dois anos em um mesmo local, um para *Panicum*, com cinco cultivares, em um ano e um local, e três para *Brachiaria*, com seis cultivares, em três anos em dois locais diferentes. Uma estrutura de banco de dados foi modelada e implementada de forma a permitir a inserção do atual conjunto de dados, e a inserção futura de novos dados. Com o banco de dados populado foram realizadas consultas de forma a se obter listagens ordenadas das taxas médias de acúmulo de forragem (TMA) e das variáveis climáticas como temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), radiação global incidente (Rad) e dias julianos (DJ) para cada período de crescimento. Foram realizadas regressões lineares simples e múltiplas usando as variáveis climáticas como regressoras e taxa média diária de acúmulo como variável resposta. As análises evidenciaram alta correlação entre as variáveis climáticas no conjunto de dados analisados, ficando entre 0,81 para Tmin e Rad e 0.98 para Tmed e Tmin. Termos quadráticos para as variáveis regressoras não foram significativos ($P > 0,05$). Dentre os modelos estudados, o simples com Tmin como variável independente se destacou apresentando os melhores valores para o coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação Bayesiano (BIC) para os diferentes cultivares. Com isso, optou-se por modelos simples com a Tmin como variável preditora. Inicialmente foram gerados modelos para cada gênero, agregando os diversos cultivares. Testes de coincidência demonstraram diferença de parâmetros entre cultivares. Novos modelos foram gerados para cada cultivar individualmente, e desta vez os testes de coincidência permitiram agrupar os cultivares em B1 para Marandu, Basilisk e Arapoty ($TA = -94.92 + 8.19Tmin$); B2 para Capiporã e Xaraés ($TA = -128.07 + 10.66Tmin$); C1 para Tifton 85 e Estrela ($TA = -84.69 + 9.06Tmin$); C2 para Coastcross, Florico e Florona ($TA = -67.01 + 7.97Tmin$); P1 para Atlas e Mombaça ($TA = -55.22 + 6.36Tmin$) e P2 para Tanzânia e Tobiatã ($TA = -29.15 + 5.93Tmin$).

Palavras-chave: Planejamento; Sistema de produção; Orçamento
forrageiro; Estacionalidade de produção; *Brachiaria*, *Cynodon*, *Panicum*

ABSTRACT

Development and evaluation of forage accumulation prediction models in tropical pastures to decision support

Low production costs, yield potential, and ease of cultivation are three major reasons why tropical forages are the backbone of livestock production systems in Brazil. It also explains why pasture species are among the most widely grown crops in the country. The large land area of the country, make for contrasting environments, which, in turn, make it difficult for the establishment of standard management practices, as well as for the prediction of pasture productivity for planning purposes of the forage-livestock enterprise. The success of the agricultural enterprise depends increasingly on the development of tools that can support management decisions, allowing for the estimation of pasture performance, minimizing risks and facilitating planning. The lack of strong, proven mathematical models developed to estimate the forage accumulation and seasonal yield distribution are some of the shortcomings of the Brazilian pasture-based livestock industry. The objectives of this study were to develop and implement a database on major tropical forage species, compiled from published studies, organize the datasets in standard formats, identify and quantify the constraints and major attributes related with forage accumulation in central Brazil conditions, and to propose models for estimating potential forage accumulation based on climatic variables. Five datasets were used, two on *Cynodon* spp. with five genotypes, grown over two years at the same location, one on *Panicum* spp. using five genotypes grown in one year at one location, and two on *Brachiaria* spp. using five genotypes grown at two locations over three years. A database structure was modeled and implemented to allow for the insertion of future data points. When the database completed, queries were simulated in order to check for output listings on mean herbage accumulation rates (HAR), as well as climatological variables such as low (Tmin), mean (Tmean) and high (Tmax) temperatures, incoming radiation (Rad), and day of the year (DOY), for each regrowth period. Simple and multiple regression models were tested using the climatological data as independent variables and mean herbage accumulation rate as the dependent variable, after correlation analysis showed high association between accumulation and the independent variables tested (from 0.81 for Tmin and Rad to 0.98 for Tmed and Tmax). No quadratic coefficients were significant in the regression models. The Tmin model showed the highest R^2 and the best values for both the Akaike Information Criterion (AIC) and the Bayesian Information Criterion (BIC) across genotypes. Thus, simple models based on Tmin were selected and initially, models were generated for groups of genotypes (genera), where confidence tests showed differences among genotypes within groups. For this reason, new models were generated for each genotype individually, which resulted in the following grouping: B1 for Marandu, Basilisk and Arapoty ($HAR = -94.92 + 8.19 T_{min}$), B2 for Capiporã and Xaraés ($HAR = -128.07 + 10.66 T_{min}$), C1 for Tifton 85 and stargrass ($HAR = -84.69 + 9.06 T_{min}$), C2 for Coastcross, Florico and Florona ($HAR = -67.01 + 7.97 T_{min}$), P1 for Mombaça and Atlas ($HAR = -55.22 + 6.36 T_{min}$), and P2 for Tanzania and Tobiata ($HAR = -29.15 + 5.93 T_{min}$).

Keywords: Planning; Production system; Forage budgeting; Seasonal production;
Brachiaria; *Cynodon*, *Panicum*

1 INTRODUÇÃO

No contexto da agropecuária moderna, uma propriedade rural se configura em uma empresa assim como qualquer outra existente nos demais setores da economia. Assim sendo, deve ser gerida de maneira profissional, com enfoque empresarial para que seja competitiva no mercado.

O gerenciamento eficiente de qualquer empresa passa pela execução de um planejamento prévio, que possibilite o estabelecimento de metas, o conhecimento das características do sistema, e a possibilidade de avaliar o impacto de cada nova técnica ou tecnologia no desempenho global da empresa antes de sua aplicação, auxiliando a tomada de decisões. Desta forma, ferramentas que agilizem e facilitem a execução do planejamento assumem papel fundamental no gerenciamento eficiente de propriedades agropecuárias.

Apesar desse caráter empresarial das fazendas, a atividade agropecuária ainda é em essência um processo produtivo de base biológica no qual se tem limitado controle sobre as condições ambientais. Riscos relativos ao clima e a fatores biológicos, tais como pragas e doenças, são inerentes à atividade. Além disso, a atividade incorpora riscos econômicos e de mercado, os quais estão quase que completamente fora do controle do produtor. Esse conjunto de características traz ao planejamento agropecuário uma dificuldade maior, a de projetar o desempenho de um sistema biológico complexo, dinâmico e inter-relacionado em seus mais diversos níveis, com alguma margem de segurança.

Dentro deste contexto, encontram-se as pastagens, que em relação à pecuária brasileira, assumem papel fundamental, pois se configuram na base alimentar do rebanho bovino, sendo muitas vezes a única fonte de alimento no decorrer de todo o ciclo produtivo dos nossos animais. Infelizmente, apesar da importância produtiva que as pastagens apresentam, no Brasil elas têm sido relegadas a um segundo plano, principalmente quando se trata do desenvolvimento de modelos e ferramentas preditoras e de gerenciamento. Isso se deve provavelmente à grande complexidade e dinamismo do processo de crescimento das pastagens no qual interagem um grande número de fatores como solo, planta, atmosfera e o animal.

Países desenvolvidos, marcadamente na Europa, América do Norte e Oceania, mesmo enfrentando dificuldades semelhantes, desenvolveram sistemas de gerenciamento e apoio a tomada de decisão em pastagens nas últimas décadas, e tem constantemente evoluído nessas ferramentas. No Brasil essas ferramentas não foram desenvolvidas, pois além dos desafios técnicos, assim como nos demais países, o contexto produtivo e econômico brasileiro até meados da década de 90, faziam sua utilização desnecessária. A instabilidade econômica e as altas taxas de inflação desestimulavam o investimento na produção, e tornavam a pecuária brasileira uma atividade especulativa, pouco profissional, de baixa tecnificação e baseada no extrativismo. Nesse período, em que os animais não eram considerados ativos, e sim reserva de valor, ferramentas de gestão ou de auxílio a tomada de decisão não eram necessárias já que as demandas técnicas e gerencias das propriedades eram pequenas. Com a estabilização da economia, esse contexto mudou, e o Brasil se inseriu na em uma situação semelhante aos demais países de economia desenvolvida, em que a administração e o planejamento são essenciais à eficiência produtiva e, ao sucesso das empresas.

Nessa nova pecuária, ferramentas de apoio à tomada de decisão, até então ignoradas, passam a ser importantes, embora, até hoje não estejam disponíveis para as condições de nossos sistemas de produção. O desenvolvimento de tais ferramentas é um processo lento e complexo, principalmente se for levado em consideração o fato de que é necessário um grande volume de dados coletados em diferentes locais, condições climáticas e anos, para que sistemas com boa capacidade de estimação sejam desenvolvidos.

A adaptação de ferramentas já existentes como softwares e planilhas eletrônicas desenvolvidas em outros países, apesar de poderem representar um valioso auxílio, marcadamente no que diz respeito à metodologia de desenvolvimento dos modelos, do sistema de apoio às decisões e dos mecanismos de estimação dos parâmetros, são insuficientes, pois as diferenças em características ambientais e entre as espécies animais e de plantas usadas aqui e nos países de origem dessas ferramentas, impedem que a adaptação seja direta e tornam a aplicação dos produtos estrangeiros impossível sem um grande esforço de adaptação.

O perfil produtivo da pecuária brasileira, grandemente baseada na exploração pastoril, faz com que a falta de planilhas ou softwares que auxiliem a predição de produtividade e distribuição estacional das pastagens nas diferentes condições ambientais do Brasil se configurem em uma das maiores lacunas para o processo de desenvolvimento de projetos agropecuários em nosso país.

Este trabalho objetivou representar um esforço inicial para minimizar essa falha, gerando modelos de crescimento e distribuição estacional da produção de forragem para as principais espécies de gramíneas forrageiras cultivadas nas diversas condições climáticas do Brasil e implementando esses modelos em um software de auxílio a tomada de decisão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pastagens no Brasil

As áreas de pastagens no Brasil se configuram na base alimentar de um rebanho que supera os 180 milhões de cabeças, sendo alimento quase que exclusivo para esses animais (BÜRGUI e PAGOTO, 2002), pois é responsável por mais de 90% da carne produzida (BARCELLOS; VILELA; LUPINACCI, 2001b).

Dados preliminares do último levantamento oficial (IBGE, 2007), apontam que o Brasil possui mais de 172 milhões de hectares de pastagens, mantendo as áreas pastoris como a atividade com maior expressão no uso da terra no País, ocupando aproximadamente 20% do território e 70% de toda a área agricultável de nosso território, e superando muito os 99,9 milhões de hectares ocupados com matas e florestas e os 76,7 milhões de hectares usados para lavoura segundo o mesmo censo (IBGE, 2007).

Apesar dessa inegável importância produtiva, as áreas pastoris têm sido esquecidas nos sistemas pecuários brasileiros, conforme indicam levantamentos que citam que 80% das pastagens cultivadas se encontram em algum estado de degradação (BARCELLOS; VILELA; LUPINACCI, 2001a) ou em áreas com solos degradados (KLUTHCOUSKI e AIDAR, 2003), e que ao menos 30 milhões de hectares necessitam de recuperação a curto prazo (ZIMMER e CORRÊA, 1993), o que é reforçado ao se confrontar os dados do Censo Agropecuário de 2007 com o anterior, de 1996, onde fica clara uma redução nas áreas de pastagens, em cerca de 3%, em função do aumento nas áreas de florestas, matas e de agricultura.

Essa perda de aproximadamente 5,2 milhões de hectares para outras atividades reflete um aumento na eficiência produtiva obtida pelo setor pecuário, pois nesse mesmo período, apesar da diminuição das áreas de pastagens houve aumento na produção de carne e leite (IBGE, 2007), um possível indicador de melhorias nas condições de parte das áreas pastoris, mas também a perda de competitividade do setor em relação a outras atividades agropecuárias, em função da baixa produtividade que persiste em nossas propriedades (BARCELLOS; VILELA; LUPINACCI., 2001b), grande parte em decorrência de uma situação geral bastante ruim dos pastos, com baixa taxa de lotação e capacidade produtiva (MACEDO e ZIMMER, 1993).

A menor importância dada às áreas de pastagens é histórica, e decorre de uma mentalidade extrativista, que até hoje ainda perdura em setores da pecuária brasileira, que tradicionalmente consideram o boi como reserva de capital e a bovinocultura como atividade que se viabiliza com baixos investimentos e risco, estando também associada à posse da terra (VEIGA et al., 2004). Na esteira desse processo extrativista, as grandes áreas de pastagens degradadas aparecem como fruto de uma sucessão de erros comumente cometidos pelos pecuaristas, como a escolha equivocada da espécie ou cultivar de planta forrageira a ser implantado, o manejo inadequado das plantas forrageiras, a exaustão da fertilidade dos solos, a falta de conservação dos solos (OLIVEIRA, 2007) ou a implantação de grandes áreas com uma mesma espécie forrageira, facilitando o surgimento de pragas e doenças (HEWITT, 1988).

Também seguindo essa mentalidade de baixos investimentos, a pecuária brasileira tem adotado sistemas extensivos de produção, usando a capacidade de tamponamento dos sistemas pastoris de baixa taxa de lotação (BARIONI e MARTHA JR., 2003) em que a baixa eficiência de colheita da forragem no período propício ao seu crescimento, faz com que ela se acumule, e essa massa acumulada é suficiente para tamponar variações inesperadas na produtividade da pastagem, e eventuais efeitos negativos no desempenho animal. Essa opção, apesar do baixo risco, resulta em índices de produtividade e rentabilidade insatisfatórios, gerando valores de taxas de lotação ao redor de 0,5 UA/ha e produtividade de 25 a 100 kg de PV/ha/ano, citadas por Zimmer e Corrêa (1993) como médias nacionais, ou de 0,8 UA/ha e produtividade inferior a 40 kg/ha/ano em peso vivo, indicados por Barcellos (1996) como os valores de referência para o Cerrado brasileiro.

Como resposta a essa realidade, de solos pobres e áreas degradadas, os produtores tem optado cada vez mais por plantas cuja tolerância a solos pobres e manejo deficiente estejam entre as principais características. Prova desse comportamento é o fato de dentre as dezenas de espécies de gramíneas forrageiras disponíveis para a produção animal no Brasil, as do gênero *Brachiaria* tem se destacado, ocupando uma área superior a 100 milhões de hectares. Dentre os diversos cultivares desse gênero, apenas um cultivar, o Braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) ocupa mais de 70 milhões de hectares (EMBRAPA GADO DE CORTE,

2008a), e perfaz cerca de 80% dos 5,5 milhões de hectares de pastagens perenes implantadas anualmente, e 50% do total de sementes vendidas no país (ZIMMER e CORRÊA, 1993).

Ainda em decorrência desse processo de valorização de espécies mais rústicas, outros gêneros mais exigentes em fertilidade e manejo, como os *Panicums* e *Cynodons*, por exemplo, ocupam áreas muito menores e são cada vez menos procurados. Os capins Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) e Mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça), dois dos principais cultivares do gênero *Panicum* por exemplo, ocupam área de aproximadamente cinco milhões de hectares cada um (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2008 b, c), e estimativas indicam que o capim o Tifton 85 (*Cynodon* spp. cv. Tifton 85), um dos últimos *Cynodon* trazidos para o Brasil, se encontra implantado em uma área pouco maior do que 500.000 ha (DA SILVA, 2005).

2.2 O Gênero *Brachiaria*

Os cultivares do gênero *Brachiaria* em função das extensas áreas que ocupam no Brasil hoje, cerca de 70 a 80% de toda a área de pastagens (VALLE; EUCLIDES; MACEDO, 2001) podem ser consideradas as principais plantas forrageiras para a nossa pecuária.

Os primeiros genótipos do gênero provavelmente foram introduzidas em nosso país de forma accidental, caso de *B. plantaginea* (Link) Hitchc e provavelmente *B. mutica*, como cama para escravos em navios negreiros (PARSONS, 1972). Já as espécies de interesse tiveram suas introduções registradas, *B. decumbens* em 1952, *B. ruziziensis* em 1960 e *B. brizantha* em 1965 (IBPGR, 1984). O gênero, originário principalmente da região leste do continente africano (VALLE e MILES, 1994) com mais de 70 espécies originárias desse continente, compreende na verdade mais de 100 espécies, das quais 14 serão nativas das Américas, 10 da Austrália e seis do sudoeste da Ásia (RENVOIZE; CLAYTON; KABUYE, 1996). Em função do grande número de espécies africanas esses genótipos são consideradas tipicamente de savanas, mas a origem de certa forma ampla faz com que as espécies do gênero se desenvolvam em uma grande variedade de habitats, desérticos, alagados, abertos a plena luz, ou sombreados (BUXTON e FALES, 1994).

No Brasil, mesmo com extensas áreas, poucos são os ecótipos em uso na produção animal, se concentrando entre *B. dictyoneura*, *B. brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *B. mutica* e *B. ruziziensis* (BUXTON e FALES, 1994). Dentre esses cultivares, as *B. decumbens* e em menor escala a *B. ruziziensis* cumpriram papel fundamental na expansão da fronteira agrícola, viabilizando a incorporação de áreas de solos ácidos e baixa fertilidade ao processo produtivo (ANDRADE, 1994; VALLE; EUCLIDES; MACEDO, 2001). Esse processo só foi alterado com o surgimento dos problemas com as cigarrinhas das pastagens *Zulia entreciana* (Berg), *Deois flavopicta* (Stal) e *Deois schach* (Fab)], às quais tanto a *B. decumbens* como a *B. ruziziensis* são muito suscetíveis (Soares Filho, 1994) e os problemas com fotossensibilização. Como possível alternativa ao problema com as cigarrinhas das pastagens, a EMBRAPA lançou em 1984 a *B. brizantha* cv. Marandu (NUNES; BOOK; PENTEADO; 1984), que em pouco tempo substituiu os demais ecótipos como cultivar pioneiro para áreas recém abertas.

Apesar das diferenças entre os diversos cultivares, os ecótipos do gênero de forma geral se caracterizam por serem pouco exigentes em fertilidade de solo, de fácil manejo, muito agressivas e de fácil formação através de sementes (ANDRADE, 1994; SOARES FILHO, 1994).

2.3 O Gênero *Panicum*

O centro de origem do gênero *Panicum* é a porção tropical do continente Africano, região onde é amplamente distribuído (PARSONS, 1972). O gênero é considerado grande, com ampla variabilidade genética, apresentando alta diversidade de espécies.

Assim como acontece com as braquiárias, a introdução das primeiras espécies do gênero *Panicum* no Brasil é de certa forma desconhecida, devendo ter ocorrido no século XVIII também como cama de para escravos (PARSONS, 1972). Sua disseminação segundo esse autor se deveu à notável adaptação às condições de clima e solo do Brasil, e a boa condição de fertilidade inicial dos nossos solos logo após a derrubada e queima da vegetação original, tornado os cultivares desse gênero o primeiro degrau na “escada da ilusão” citada por Corsi (1988).

Os cultivares do gênero atualmente empregados na produção animal no Brasil são de introdução relativamente recente (DIAS FILHO, 1995), vindos de diversas origens, como programas de melhoramento estrangeiros, caso do cultivar Tobiatã desenvolvido na Costa do Marfim pelo ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour Le Développement en Coopération) (USBERTI FILHO, 1982), ou coletados em seu local de origem como o Aruana trazido diretamente da África (INSTITUTO DE ZOOTECNIA, 1989), ou ainda, desenvolvidos aqui em programas de seleção de plantas, como os cultivares Tanzânia-1 e Mombaça (JANK, 1995).

De maneira geral, os cultivares do gênero *Panicum* são considerados muito produtivos e de elevado valor nutricional (ARONOVICH, 1995). Essa alta produtividade tem se configurado em fator primordial para disseminar seu uso, marcadamente em sistemas mais intensivos e tecnificados (CORSI, 1988). Ocorre, entretanto que, de forma geral, são espécies mais sensíveis à solos ácidos, e mais exigentes em fertilidade de solo, marcadamente em fósforo, fatores que dificultam uma maior aplicação na pecuária nacional.

2.4 O Gênero *Cynodon*

A introdução dos *Cynodons* no Brasil não tem registros precisos, mas acredita-se que a “grama seda” ou “grama bermuda comum” (*Cynodon dactylon* var. *dactylon*) tenha chegado à América com os conquistadores europeus, como feno para os animais (MARASCHIN, 1988), e a partir daí se disseminado.

Em termos de origem, a grande maioria das espécies do gênero advém da porção leste da África Tropical (Quênia, Uganda e Tanzânia) e África Ocidental (Angola), ou da região dos atuais Paquistão e Turquia, com poucos exemplares originários do sul da Ásia e ilhas do Pacífico Sul (HARLAN, 1970). As três principais espécies empregadas como forrageiras dentro do gênero são *Cynodon dactylon* (L.) Pers, denominadas de gramas-bermuda, denominação trazida dos EUA que decorre do fato de as primeiras plantas da espécie levadas a esse país terem saído das ilhas Bermudas. *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst e *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. são conhecidas coletivamente como gramas-estrela.

A atual condição dos cultivares do gênero como uma das principais opções de gramínea forrageira tropical, é resultado de um dos mais bem sucedidos programas de

melhoramento de plantas (CROWDER e CHEDA, 1982; citados por RODRIGUES; REIS; FILHO, 1998), em que uma espécie antes considerada invasora (grama-seda) foi transformada em espécie de interesse agrônomo com grande potencial produtivo (PEDREIRA et al., 1998).

Em relação a seu uso no Brasil, os *Cynodons* eram pouco usados como gramíneas forrageiras, sendo apenas a Estrela Africana (*Cynodon plectostachyus*) mais usada como pastagem para eqüinos (HADDAD e ALVES, 2005). Essa perspectiva começou a mudar por volta do final da década de 60, quando os primeiros cultivares advindos do programa de melhoramento desenvolvido por universidades e centros de pesquisa Americanos foram lançados. Atualmente, o gênero *Cynodon* possui um pequeno número de cultivares com aplicação para alimentação animal em condições tropicais (PEDREIRA e TONATO, 2006), e em comparação às braquiárias e panicuns, é o gênero que ocupa a menor área. A alguns anos, cultivares desse gênero foram alçados à condição de capim milagroso, na moda, fato que disseminou seu uso e renovou o interesse no gênero (PEDREIRA et al., 1998).

Capins do gênero *Cynodon* apresentam, em nossas condições, um elevado potencial de produção por animal e por área (CORSI e MARTHA JR., 1998) e grande flexibilidade de manejo (NUSSIO; MANZANO; PEDREIRA, 1998), possibilitando a conservação sob as mais diversas formas (CORSI e MARTHA JR., 1998).

2.5 Sistemas de produção animal baseados em pastagens

Um sistema, conceitualmente pode ser definido como uma entidade complexa, isto é, formada por diversos componentes inter-relacionados em diversos níveis, mas organizada, com limites determinados, e dentro dos quais os componentes e os processos envolvidos definem as respostas aos estímulos do meio externo (SPEDDING, 1988). Assim sendo, em agropecuária um sistema de produção pode ser sintetizado como a forma pela qual os fatores ambientais como solo, clima e demais características locais são aproveitadas no processo produtivo, e pela maneira com que a “empresa” organiza suas fases produtivas e realiza suas operações de produção.

Na teoria de sistemas outro ponto fundamental é o fato de que um componente reage de maneira diferente a um estímulo quando está isolado, do que quando integra um sistema (DOYLE, 1990), sendo fundamental que se considere, em qualquer sistema

as interações existentes entre os componentes. Caracteristicamente, em sistemas de produção agropecuários, existe uma grande dependência de fatores abióticos, não controláveis pelo gerenciador do sistema, como temperatura, luminosidade, topografia, material de origem ou processo de gênese do solo, por exemplo, e uma gama de fatores parcialmente controláveis, ou pela alocação de recursos existentes no sistema, como, por exemplo, o manejo das pastagens (VELOSO; BARIONI; MARTHA JR., 2003), ou pela inclusão de insumos externos como fertilizantes ou suplementos alimentares.

Gerenciar um sistema consiste em realizar intervenções sobre os fatores controláveis, com base em uma expectativa de resposta, para atingir condições previamente idealizadas, objetivos (KAY, 1986). Em sistemas complexos como os agropecuários, isso é muito difícil, exatamente pela grande quantidade de fatores não controláveis existentes, e o grande número de fatores que interagem para gerar o resultado final. Isso torna praticamente impossível para o gestor do sistema, sozinho, levar em consideração todas as variáveis envolvidas, e principalmente prever de maneira acurada o resultado de um curso de ação.

Em qualquer sistema, as tomadas de decisão envolvem risco (BLACKIE e DENT, 1979), chances de que um curso de ação determinado não leve ao resultado esperado. Isso ocorre principalmente porque; (a) nem todos os fatores envolvidos não são conhecidos ou a resposta a esses fatores não é perfeitamente estimada; (b) valores estimados no planejamento são incorretos (e.g valor nutricional da forrageira, área de pastagem, pluviosidade média); (c) variáveis exógenas não controláveis, como por exemplo, clima e preços podem apresentar comportamento diferente da média ou de um valor esperado, ou (c) eventos extremos imprevistos e incontroláveis ocorreram (e.g. uma doença contagiosa grave tal como a encefalopatia espongiforme bovina)

No contexto acima, autores como Turban (1988) citam que o acesso à informação e o conhecimento das variáveis envolvidas podem aumentar a eficiência nas tomadas de decisão, diminuindo os riscos. Ainda assim, os resultados podem se desviar do esperado pondo em risco a obtenção das metas estipuladas para o sistema. É necessário, portanto, monitorar o sistema produtivo e, diagnosticar os desvios em

relação ao desempenho previsto, para possibilitar que se tomem as medidas de controle.

Os sistemas agropecuários em geral, marcadamente os pecuários, são caracteristicamente sistemas de grandes dimensões, com elevado número de fatores de baixo nível de controle envolvidos no processo produtivo, tornando mais difícil o processo decisório. O restrito nível de controle nesses sistemas diminui o nível de confiança nas decisões, tornando a capacidade humana de tomar decisões de forma independente (sem ajuda externa) questionável, e a utilização de ferramentas de suporte à tomada de decisão recomendadas. Ferramentas desse tipo, permitem que grupos de técnicas de planejamento e gestão sejam aplicadas, de forma a racionalizar a tomada de decisão reduzindo os riscos envolvidos, e agilizando o processo (VELOSO; BARIONI; MARTHA JR., 2003).

2.6 Planejamento alimentar

Em um sistema de produção animal, marcadamente de bovinos, o consumo de alimento é o principal fator determinante do desempenho animal, respondendo por 60 a 90% das variações de desempenho (VAN SOEST, 1994). Isso faz com que a preocupação primordial deva ser garantir um adequado suprimento de alimento aos animais, ajustando o suprimento à demanda (DA SILVA e PEDREIRA, 1997).

A demanda por alimentos é determinada pela combinação do número de indivíduos que se pretende alimentar em cada categoria (animais em engorda, reprodução ou amamentação por exemplo), suas idades, sexo, peso vivo atual e expectativas de ganho de peso e crescimento do rebanho. A oferta é determinada primeiramente pela capacidade de produzir alimentos no sistema, em quantidade e qualidade, fatores que variam de acordo com a competência agrônoma do produtor em realizar os devidos tratos culturais e as características intrínsecas à propriedade, como solo o clima e o clima da região, e depois pela capacidade de armazenar e transferir os excedentes de uma época para outra.

Nesse processo de ajuste de oferta e demanda, existem vários obstáculos como o fato de em sistemas pastoris, a inter-relação direta entre o animal e a sua fonte de alimento básico, a forragem, tornarem os ajustes mais complexos para se atingir o desejado equilíbrio (HODGSON, 1990), assim como o fato de tanto o suprimento como

a demanda serem dinâmicos, variando ao longo do tempo de forma antagônica. Normalmente a demanda é crescente, particularmente em sistemas de recria e engorda, em decorrência do crescimento dos animais, enquanto que o suprimento tende a diminuir a partir do outono, fruto dos padrões climáticos de oferta de fatores de crescimento predominante no Brasil Central.

Outra característica relacionada à produção de alimento é a necessidade de um intervalo de tempo relativamente longo entre a implantação da cultura e sua colheita, obrigando que o alimento requerido no presente, tenha sua produção iniciada muito antes de sua necessidade. É dentro desse contexto que o planejamento alimentar se torna importante, pois planejar pode ser definido como estabelecer uma seqüência de ações e o momento em que elas serão executadas, de forma a se atingir um estado desejado no futuro (PARKER, 1993). Assim sendo, planejamento alimentar nada mais é do que identificar alternativas de alimentos, sua forma de produção e fornecimento aos animais, de forma previa à sua necessidade.

Conceitualmente, o planejamento alimentar engloba um espectro amplo de fatores necessários ao desenvolvimento de um sistema de produção, pois nele estão inseridos outros componentes como o orçamento alimentar, o planejamento forrageiro e o orçamento forrageiro que devem ser realizados previamente para que o planejamento alimentar seja correto. Em função dessa congruência, esses diferentes processos tem sido usados e mencionados como sinônimos quando na realidade não o são, sendo na verdade atividades complementares.

O planejamento alimentar pode ser definido como a atividade gerencial de estabelecer previamente todas as estratégias e atividades necessárias para produzir e fornecer uma quantidade predeterminada de alimento ao longo de um certo período de tempo, sendo que essa quantidade de alimento pode ser composta por diferentes alimentos, tanto volumosos (frescos ou conservados, diretamente colhidos pelo animal ou fornecidos a ele pelo homem), como concentrados, fornecidos das mais diversas formas (suplementação, semi-confinamento, confinamento, etc.).

Já o planejamento forrageiro tem o mesmo objetivo primordial, mas refere-se apenas aos alimentos volumosos, desconsiderando suplementação concentrada ou outras formas de alimentação, e portanto está inserido dentro do planejamento

alimentar. Em linhas gerais, fornece estimativas da quantidade de forragem produzida em cada área ou piquete e as metas para taxa de lotação, produtividade animal e quantidade demandada de forragem (BARIONI et al., 2006).

O orçamento alimentar e o forrageiro, são ferramentas utilizadas para o planejamento alimentar e forrageiro e se restringem à contabilidade da quantidade de alimento demandada e produzida visando estabelecer cursos de ação mais promissores e metas para os estoques de forragem e desempenho animal. Essas ações visam determinar desvios em relação ao desempenho planejado. O planejamento inclui além da contabilidade fornecida pela orçamentação diversas outras questões tais como: quem irá fazer, como será feito, com que recursos financeiros será feito, entre outros.

2.7 Conceitos básicos sobre modelagem

A modelagem deriva da análise de sistemas, com o objetivo de organizar os atributos de interesse pertencentes a esses sistemas de forma a simplificar a realidade, gerando uma ferramenta, o modelo, que permite que esses diversos atributos sejam combinados, criando um cenário simulado (MERTENS, 1976). O intuito é avaliar os possíveis resultados desses cenários, embasando a decisão por um determinado modo de ação, assim como entender a maneira como esses atributos se relacionam, e identificar os de maior influencia no sistema em questão (THORNLEY e JOHNSON, 1990; DOURADO NETO et al., 1998a). Essa simplificação da realidade inerente ao modelo, trás consigo erros, que estão associados à estrutura considerada para gerar o modelo, os atributos eleitos como relevantes para compô-lo, e os parâmetros usados para parametrizá-lo (DIAS, 1996).

A primeira questão em modelagem é exatamente que nível de simplificação adotar, já que idealmente os modelos devem ser o mais simples possível, mas tão complexos quanto o necessário (BARIONI, 2002), equilibrando os erros gerados pelas estimativas, com o dos parâmetros modelados. Ao se aumentar a complexidade do modelo considerando mais componentes e processos, reduz-se o erro associado à estrutura, já que essa é mais realista, mas amplia-se o erro ligado à parametrização (BARIONI, 2002). Além disso, o modelo passa a depender da atribuição de um maior

número de valores para variáveis de entrada, nem sempre disponíveis ou facilmente obtidas pelo usuário final.

O grau de simplificação do modelo varia de acordo com o conhecimento existente sobre o sistema em questão, com as informações necessárias pelos usuários sobre esse sistema, e com a disponibilidade das informações para sua parametrização (DIAS, 1996; BARIONI, 2002), sendo o modelo a formalização do conhecimento que se tem a respeito do sistema (ROMANELLI, 2002). As chaves para a efetividade de um modelo estão no nível de simplificação, abstração da realidade que é adotado em sua confecção (SANTOS, 1986) e nas suposições que são feitas para o seu funcionamento (MERTENS, 1976). Em função disso, a modelagem apesar de ser fortemente conectada a uma ciência exata, a matemática, ainda é considerada de alguma maneira arte, pois depende fortemente de um processo intuitivo no estabelecimento das características a serem usadas no desenvolvimento dos modelos e sua manipulação nesse processo (MERTENS, 1976).

O desenvolvimento de um modelo é um processo multifásico (RAGSDALE, 1997), cujas etapas seguem uma sequência lógica:

- Começa com a identificação do problema;
- Segue para a formulação clara dos objetivos, isto é, quais respostas se quer que o modelo forneça;
- Depois para a determinação dos limites, variáveis e processos que farão parte do modelo, sua hierarquização e níveis de agregação;
- Parametrização do modelo, seja por experimentação ou por análise bibliográfica;
- Validação do modelo, um “teste”, checando se o modelo reproduz de maneira coerente as situações que ele tenta representar, sendo que idealmente isso deve ser feito através de análises estatísticas (NELSON, 1995).

Dentre os três tipos básicos de modelos, os físicos, os conceituais (ou teóricos) e os matemáticos, os matemáticos são os de aplicação mais ampla, pois descrevem o sistema mediante equações matemáticas e algoritmos (THORNLEY, 1998; FIALHO,

1999) de forma a gerar relações quantitativas entre uma ou um conjunto de variáveis iniciais, denominadas de entrada, e outro grupo de variáveis resposta, denominadas de saída (BARIONI et al., 2003).

Os modelos matemáticos por sua vez, segundo (FRANCE e THORNLEY, 1984; HAEFNER, 1996) são classificados:

- Quanto à forma como tratam as mudanças no tempo físico, em dinâmico (quando incluem o tempo físico como uma de suas variáveis, descrevendo a mudanças ocorridas e as respostas obtidas em função do tempo), ou estáticos (quando o tempo não é uma variável que os compõem, gerando uma resposta para um instante fixo);
- Quanto à forma como contemplam os dados, em empíricos (aqueles se baseiam em dados simplesmente observados) ou mecanicistas (que se baseiam em leis da física, química e biologia envolvidas no processo (THORNLEY, 2001), construindo o modelo a partir de níveis de agregação mais baixos e gradativamente aumentando (TEDESCHI et al., 2005)).
- Quanto à forma como geram as respostas, em deterministas (aqueles que sempre obtêm a mesma solução para um determinado conjunto de variáveis de entrada (CESAR, 1982)) ou estocásticos (aqueles em que o processo é descrito através das leis das probabilidades, gerando uma distribuição de respostas para um certo conjunto de variáveis de entrada (NELSON, 1995)).

A classificação é apenas um referencial teórico dos diferentes tipos de modelos existentes, visando apenas sistematizar os objetivos e a utilidade dos mesmos (MEDEIROS, 2003). Essa classificação não define se um modelo é melhor ou pior, já que não existe na realidade um modelo universal, de aplicação generalizada, nem mesmo modelos certos ou errados, existindo sim, modelos com diferentes graus de aplicação em diferentes situações, com capacidades distintas de estimação.

O que é claro, é que nenhuma “indústria” ou ramo de atividade, se desenvolve antes que “modelos”, idealizações de seus componentes e de seu processo de produção sejam concebidos (DOURADO NETO et al., 1998b), e não será a “indústria” agropecuária que irá se desenvolver sem eles.

A modelagem diminui a distância existente entre a pesquisa e a prática, possibilitando que hipóteses teóricas sejam artificialmente testadas antes de serem efetivamente aplicadas, e auxiliando na identificação de lacunas do conhecimento, embasando decisões práticas, e direcionando novas pesquisas. Em função de seu caráter integrador e multidisciplinar, os modelos de simulação tem se tornado uma ferramenta eficiente e complementar à pesquisa experimental e tem gradativamente aumentado sua aplicação (BOOTE; JONES; PICKERING., 1996; PEREIRA, 1987).

2.8 Uso de modelagem na agricultura

Autores como Van Soest (1994) e Woodward (1998) citam que, a grande complexidade característica dos sistemas agropecuários, onde múltiplos fatores interagem, tornam esses sistemas ideais para a aplicação de técnicas de modelagem e simulação. Apesar do perfil favorável a essas técnicas, o uso de modelos e simulação pode ser considerado relativamente recente nas ciências agrárias. As possíveis causas para esse uso limitado são as restrições na capacidade de resolução de problemas até pouco tempo existentes, somente solucionadas com o uso mais generalizado da informática e aumento na capacidade de processamento dos computadores (CACHO, 1993, MONTEITH, 1996) e a carência de informações confiáveis para o desenvolvimento de modelos, em decorrência do distanciamento da pesquisa experimental tradicional da área de modelagem (VELOSO; BARIONI; MARTHA JR., 2003).

Um grande obstáculo ao desenvolvimento e aplicação de modelos especificamente na área agrícola tem sido a pequena interação e troca de informações entre os grupos de pesquisa no Brasil e exterior (VILLASCHI FILHO et al., 2005), o que não acontece em relação à produção animal, onde existe uma intensa colaboração entre grupos de pesquisa brasileiros e estrangeiros, principalmente na área de nutrição animal. Outro ponto falho em relação ao desenvolvimento de modelos no Brasil é a inexistência de um sistema de gerenciamento dos modelos desenvolvidos (VILLASCHI

FILHO et al., 2005), de forma a permitir o acúmulo do conhecimento já gerado e o maior acessos às ferramentas existentes.

As aplicações de modelos na agropecuária são múltiplas, permitindo desde o simples entendimento dos fatores envolvidos na produção de uma cultura ou animal em um certo local, até o desenvolvimento de sistemas complexos de apoio à tomada de decisão no âmbito regional ou nacional (COSTA e BARROS, 2001)

Dentre os diferentes ramos da agropecuária, a agricultura tem feito uso mais amplo e há mais tempo da modelagem, com os modelos aplicados ao desenvolvimento de culturas se iniciado há aproximadamente sete décadas (JOYCE e KICKERT, 1987). Nos anos de 1960 e 1970, os modelos iniciais para cultivos agrícolas se baseavam na transpiração, fotossíntese, clima e água no solo (MONTEITH, 1996), sendo marcadamente experimentais, e depois evoluíram para diversos modelos, de diferentes tipos, com diferentes aplicações, e para as mais variadas culturas, como por exemplo, modelos para testar e avaliar a resposta do milho em diferentes condições ambientais (CURRY e CHEN, 1971; SPLINTER, 1974; LIU; BOTNER; SAKAMOTO, 1989; LIMA, 1995), ou da soja (MEYER et al., 1979; MEYER et al., 1981; ACOCK e TRENT, 1991).

O objetivo de vários desses modelos é simular o desenvolvimento da planta, o acúmulo de massa nos seus diferentes componentes e o índice de área foliar em função de parâmetros climáticos e fenológicos (VAN KEULEN; DE VRIES; DRESS, 1982; SPITTERS et al., 1986a,b), mas como foram desenvolvidos em condições climáticas específicas sua aplicação é limitada quando se pretende fazer estimativas em condições distintas daquelas em que tais modelos foram desenvolvidos (DETOMINI, 2004).

Como alternativa, nos anos 80 foram lançados sistemas de aplicação mais genérica, em que um conjunto de modelos integrados simulam os principais processos fisiológicos da planta, como a fotossíntese, a respiração, o acúmulo e partição de fotoassimilados e massa, o crescimento dos diferentes componentes (folhas, colmos e raízes) nas diversas fases fenológicas, e os processos físicos no solo (extração, disponibilidade e evapotranspiração de água), o que permitiu que esses modelos fossem utilizados em condições mais amplas, nos mais diferentes locais (DALLACORT et al., 2006).

Dentro deste contexto, o Grassland, Soil and Water Research Laboratory (unidade do Departamento de Agricultura dos EUA em Temple no Texas) desenvolveu uma série de modelos de simulação dos processos fisiológicos de culturas, chamado CERES (Crop Environmental Resource Systems) (JONES e KINIRY, 1986), o Instituto de Pesquisas Científicas na Agricultura e Indústria da Bélgica lançou o modelo WAVE (Water and Agrochemical Vardose Environment) (FIGUEIREDO JR, 2004) e o International Consortium for Agricultural Systems Applications (ICASA) lançou o DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (BOOTE; JONES; HOOGENBOOM, 1998), todos pacotes complexos de simulação, que como ponto desfavorável apresentam uma grande quantidade de parâmetros de entrada, limitando sua utilização prática pela dificuldade na obtenção dos dados requeridos para as simulações (DETOMINI, 2004).

No Brasil, os esforços para desenvolvimento de modelos para cultivos agrícolas é mais recente, em função disso o número de modelos efetivamente gerados no país é relativamente pequeno. A existência de um grande número de modelos estrangeiros já bem desenvolvidos tem feito com que a adaptação ou “tropicalização” dos mesmos venha sendo a alternativa preferida em nosso meio científico. O uso de modelos de nutrição e crescimento animal podem ser consideradas às áreas em que a modelagem tem aplicação mais ampla e disseminada dentro da agropecuária, sendo largamente pesquisada pela comunidade científica e muito usada pelo setor produtivo.

Ao longo dos aproximadamente 30 anos de desenvolvimento da modelagem na nutrição animal, diversos modelos matemáticos para simulação do crescimento de bovinos já foram desenvolvidos, em diversos países, vários deles culminando com o desenvolvimento de sistemas amplos para determinação das exigências nutricionais dos animais, demanda alimentar e formulação de dietas. Exemplos desses sistemas são o NRC americano (NATIONAL RESERACH COUNCIL, 2000), AFRC inglês (AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL, 1993), INRA francês (INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE, 1989) ou o CSIRO australiano (COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION, 1990) que são modelos estáticos, assumindo que os estados transitórios não influenciam o os resultados do modelo, e que a determinação do estado em um único

momento no tempo já é suficiente (HOFFMAN, 2007). Mais recentemente uma nova abordagem tem sido proposta, com uso dos chamados modelos dinâmicos, como os de Oltjen et al. (1986), Soboleva et al. (1999), Fox et al. (2000) e Barioni (2002) que consideram o efeito da nutrição prévia e da condição animal sobre as taxas de crescimento, consumo e composição corporal.

Na modelagem em nutrição animal, assim como na modelagem de cultivos agrícolas, tem sido dada preferência para a adaptação de modelos desenvolvidos no exterior às condições tropicais incluindo as diferenças entre raças, alimentos e as condições de criação.

2.9 Modelos de crescimento de pastagens

A determinação da capacidade de produção das plantas forrageiras, o suprimento de forragem, tem se configurado em um dos maiores desafios ao desenvolvimento de sistemas integrados de planejamento e apoio à tomada de decisão em sistemas pastoris em ambiente de clima tropical.

A combinação do elevado número de espécies de plantas forrageiras e seus diferentes cultivares no Brasil, com sua grande extensão territorial e a conseqüente variedade de climas e solos advinda dela, com a diversidade de manejo tanto de colheita da planta como de fertilidade do solo, resulta em grande variação nas condições de produção. Essa amplitude de condições de produção no Brasil, associada à falta de direcionamento das pesquisas nacionais com plantas forrageiras, que não tem depreendido esforços na agregação dos resultados de pesquisas, levam à existência dessa lacuna para nossos sistemas de produção.

Existem hoje à disposição algumas alternativas simples de modelos preditores de acúmulo de forragem como os propostos por Overman, Angley e Wilkinson (1988) para capim-bermuda cv. Coastal (*Cynodon dactylon*), por Burton et al. (1988) para Tifton 85 (*Cynodon spp.*), por Duru et al. (2002) para Capim dos pomares (*Dactylis glomerata*) por Kiniry et al. (2007) para Coastal e Pensacola (*Paspalum notatum*) ou mesmo, pacotes mais completos como o TAMU (SMITH, 1979), GROWIT (SMITH e LOEWER, 1981), GRAZE (LOEWER et al., 1998) CROPGRO (RYMPH et al., 2004) nos EUA, STOCKPOL (MARSHALL; MCCALL; JOHNS, 1991) na Nova Zelândia e GRAZPLAN (MOORE; DONNELLY; FREER, 1997) e GRAZFEED (FREER; MOORE;

DONNELLY, 1997) na Austrália. Todas essas ferramentas apesar de funcionarem bem em suas respectivas realidades, apresentam limitações para a sua aplicação nas condições brasileiras, pois ou são modelos para uma única espécie e condição ambiental específica, como no caso dos primeiros, ou apesar de serem mais genéricos em relação às espécies contempladas foram desenvolvidos e parametrizados em condições ambientais e de produção muito diferentes das nossas, como no caso dos demais modelos.

Existem também algumas iniciativas nacionais que de alguma forma tentaram minimizar essa lacuna, caso dos modelos propostos por Soto (1981) para Colonião (*Panicum maximum*) e Pangola (*Paspalum atratum*), por Medeiros et al. (2001) ou Tonato (2003) para gramíneas do gênero *Cynodon*, por Moreno (2004) para gramíneas do gênero *Panicum*, por Detomini (2004) com Marandú e Xaraés (*Brachiaria brizantha*) ou por Rodrigues (2004) e Lara (2007) para o gênero *Brachiaria*. Mas todos esses esforços também são pontuais, contemplando um único gênero e por um intervalo de tempo restrito o que limita suas aplicações como ferramenta preditora de uso amplo.

Nota-se por tanto que ainda se faz necessário o desenvolvimento de modelos matemáticos e métodos de otimização para apoiar a tomada de decisões em sistemas que utilizem plantas forrageiras dentro do contexto de produção brasileiro.

Esses modelos matemáticos, além da aplicação no planejamento e otimização dos sistemas de produção também teriam diversas outras aplicações no meio produtivo, como quantificação dos impactos ambientais provenientes das estratégias de produção adotadas, determinação da mitigação de poluentes e seu possível uso na obtenção de créditos de carbono. Serviriam ainda para aplicações governamentais ou estruturais como zoneamento agro-ecológico das culturas para determinação de taxas de juros para financiamento em função dos riscos de produção ou datas limite para disponibilização de empréstimos; e ainda, aplicações para a pesquisa como diminuição do número de tratamentos em um experimento em função de resultados advindos da simulação, ou identificação de pontos em que o conhecimento existente é limitado ou inexato, possibilitando sua complementação.

2.10 Aplicações para bancos de dados em forragicultura

Tradicionalmente o protocolo da pesquisa tem sido delinear o experimento, conduzi-lo coletando os dados, analisar esses dados e publicá-los, ficando esses praticamente esquecidos após a sua publicação, guardados na forma de papel, em alguma planilha ou arquivo eletrônico. Essa forma de armazenamento, ou mesmo teses, periódicos ou boletins impedem ou dão acesso apenas parcial aos dados, e normalmente de forma laboriosa e ineficiente, inviabilizando novas análises e a integração desses dados a um conjunto maior de informações.

A integração de dados armazenados em planilhas, em uma única planilha é uma atividade trabalhosa e propensa ao erro uma vez que os arquivos, normalmente, não se encontram padronizados em relação às variáveis coletadas, as unidades de medidas utilizadas ou no formato em que são gravados e armazenados. Para se processar cálculos estatísticos de um conjunto de informações com diversas unidades e parâmetros diferentes, sobre um mesmo assunto, seria necessário o mapeamento de todos os dados nas planilhas para a leitura, compatibilizá-los com os dados de outras planilhas e realizar as transformações necessárias para a padronização de unidades.

Apesar das dificuldades é inegável a vantagem de se agrupar as informações existentes, de forma prática e acessível. Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD's), ferramentas computacionais que podem receber e armazenar dados por tempo indeterminado e organizá-los de maneira fácil, segura e eficiente (Machado e Abreu, 1996) são uma solução em potencial. O uso dessas ferramentas, possibilita a combinação de todas as informações, dispondo-as de diferentes maneiras, permitindo sua filtragem, execução de cálculos, e seu resumo em uma tabela compacta sem complicações, e caso seja necessário sua exportação para uma planilha ou outro documento (THOMSEN, 2002). Por se tratar de um sistema relacional, o agrupamento de dados e criação de novos atributos dentro do banco de dados é feito de forma fácil e flexível, permitindo que sejam inseridos critérios ou filtros, gerando subconjuntos das informações segundo o interesse do usuário.

O volume de dados existentes hoje sobre forragicultura no Brasil após quatro ou cinco décadas de pesquisas na área, é grande e variado conforme indicam revisões feitas por Rocha e Aronovich (1988) e Nascimento Jr., Da Silva e Adese (2004), mas

encontra-se disperso e desorganizado, dificultando seu acesso, consulta e principalmente a sumarização de forma a se poder integrar as informações em ferramentas como modelos, simuladores ou outras de apoio à tomada de decisão. Essa talvez seja uma das maiores deficiências da pesquisa em forragicultura nacional no momento, pois outros setores da pesquisa agropecuária como a nutrição e crescimento animal vem há algum tempo agrupando e organizando seus dados, em diferentes grupos de pesquisa, e desenvolvendo ferramentas como as Tabelas Brasileiras de composição de alimentos para Bovinos (VALADARES FILHO et al., 2006a) e as Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de composição de Alimentos – BR Corte (VALADARES FILHO; PAULINO; MAGALHÃES, 2006b) que organizam e compilam diversos resultados de pesquisa e geram aplicações práticas.

2.11 Sistemas de apoio à tomada de decisão

Administrar é realizar escolhas entre diferentes alternativas, na expectativa de atingir um determinado objetivo (KAY, 1986), já que se não existirem alternativas, existe um problema, mas não um problema de decisão (KIRKWOOD, 1997). A decisão é uma escolha entre as alternativas existentes, com base nas estimativas da repercussão dessa alternativa no resultado final. Apoiar à decisão significa auxiliar nessa escolha, gerando essas alternativas, estimando sua evolução e seu resultado.

O problema na tomada de decisão existe em função da existência de informações incompletas sobre o que deve ser decidido (DENT, 1979), e o dilema nas decisões decorre do fato de informações completas sobre o futuro serem impossíveis, fazendo com que sempre haja risco na tomada de decisão. O intuito das ferramentas de apoio à tomada de decisão é exatamente fornecer o maior número possível de informações, aumentando a capacidade de avaliação dos resultados, diminuindo o risco e aumentando a eficiência na decisão (ANDERSON, DILLAN; HARDAKER, 1977; TURBAN, 1988). Outro ponto importante é o fato de que a tomada de decisão é apenas parte da resolução, e não seu todo, pois a resolução efetiva do problema vai além de tomar a decisão certa, dependendo também da correta implementação dessa decisão (PARKER, 1993).

No meio agropecuário, a tomada de decisão tradicionalmente é associada à intuição, sendo considerado por muitos um dom especial, um talento. De forma

nenhuma o sucesso na tomada de decisão é associado a métodos científicos, analíticos e quantitativos. É mais uma arte do que uma ciência. Na realidade, a análise decisória envolve o processamento e interpretação dos dados, de forma a destacar os cursos de ação que apresentem a maior tendência a obterem sucesso (TURBAN, 1995). Os sistemas de apoio à tomada de decisão são ferramentas que visam exatamente ajudar a diagnosticar o problema, encontrar seus pontos críticos, e estimar os resultados de diferentes decisões, possibilitando a identificação da melhor alternativa (TURBAN, 1993).

Atualmente, tecnologias ligadas à informática como banco de dados, modelos matemáticos, sistemas especialistas e inteligência artificial são empregadas com o intuito de agilizar e qualificar a decisão pelos seus tomadores. Dentro deste contexto, o presente trabalho objetivou modelar e implementar uma estrutura de banco de dados para experimentos de crescimento de plantas forrageiras, identificar e quantificar o efeito de atributos condicionantes do acúmulo de forragens nas condições do Brasil central e desenvolver modelos estimadores do acúmulo de forragem potencial com base em parâmetros climáticos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho optou-se por adotar uma abordagem empiricista no desenvolvimento dos modelos, já que para as plantas em questão não existem dados disponíveis sobre os diversos processos fisiológicos envolvidos, que permitam uma abordagem mecanicista. Também se optou pelo desenvolvimento de modelos de produção potencial, ou seja, modelos que estimam a produção das plantas na ausência de fatores restritivos, já que os conjuntos de dados empregados também foram originalmente gerados com esse objetivo.

3.1 Seleção dos conjuntos de dados

Para a geração dos modelos foram usados cinco conjuntos de dados de experimentos com gramíneas forrageiras. Como o objetivo dos modelos é fazer parte de um software para auxílio à tomada de decisão em sistemas de produção animal no Brasil Central, optou-se por trabalhar com dados referentes aos principais cultivares das espécies de gramíneas forrageiras mais difundidas nessa região do país.

Os seguintes experimentos, foram incluídos no banco de dados para as análises realizadas nesse trabalho:

Experimento 1: Avaliação da produção de plantas do gênero *Cynodon*, cultivares Estrela, Florico, Florona, Coastcross e Tifton 85 irrigados, manejados sob dois intervalos de cortes, 28 e 42 dias, adubados com equivalente a 400kg de N K₂O/ha/ano, coletados em Piracicaba - SP por um período de dois anos, entre 2001 e 2003 (TONATO 2003);

Experimento 2: Avaliação da produção de plantas do gênero *Brachiaria*, cultivares Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã, irrigados, manejados sob corte a cada 28 dias, adubados com equivalente a 675 kg de N e K₂O /ha/ano, coletados em Planaltina - DF pelo período de um ano, parte do trabalho de mestrado de Rodrigues (2004);

Experimento 3: Avaliação de gramíneas do gênero *Panicum*, Atlas, Massai, Mombaça, Tanzânia e Tobiata, também irrigados, em Piracicaba - SP, com manejo por cortes a cada 28 dias no verão e 49 dias no inverno para Atlas Massai e Mombaça, e a cada 35 dias no verão e 63 dias no inverno para Tanzânia e Tobiata, adubados com 485 kg de N e K₂O/ha/ano no caso de Atlas Massai e Mombaça e 400 kg de N e K₂O/ha/ano no caso de Tanzânia e Tobiata, pelo período de um ano (MORENO, 2004);

Experimento 4: Avaliação de um segundo conjunto de dados do gênero *Brachiaria*, com os cultivares Basilisk, Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã, irrigados, manejado por corte, 28 dias no verão e 42 dias no inverno e adubados com o equivalente a 220 kg de N e K₂O/ha/ano em Piracicaba-SP, por um ano (LARA, 2007);

Experimento 5: Avaliação de Um conjunto de dados de capim Xaraés não irrigado, manejado por pastejo, a cada 28 dias em média, por dois períodos de cinco meses em dois anos diferentes, em Piracicaba - SP, (PEDREIRA, 2006);

3.2 Modelagem e implementação do Banco de Dados

Todos os conjuntos de dados utilizados estavam organizados em planilhas do Microsoft Excel. Essas planilhas não possuíam formato padronizado, de forma que, para a análise conjunta dos experimentos, optou-se pelo cadastramento dos dados em um banco de dados relacional. Assim sendo, um banco de dados relacional foi modelado e implementado utilizando-se as ferramentas de desenvolvimento IBAAdmin (SQLLY Development, Moscou, Russia) e IBExpert (HK Software, Bremen, Alemanha) e o Sistema Gerenciador de Banco de Dados Firebird (IBPhoenix, South Oxon, Inglaterra).

Inicialmente, com base nas variáveis mensuradas nos conjuntos de dados existentes nas planilhas, foram determinados os atributos a serem considerados no

modelo do banco de dados, de forma a permitir que todos os dados de interesse ligados às unidades experimentais, tratamentos impostos e variáveis medidas, pudessem ser incluídos de maneira organizada. Além disso, visando contemplar uma das principais características de um banco de dados, o dinamismo, também foram listados outros atributos cuja presença em experimentos com plantas forrageiras é comum, mas que não estavam presentes nos conjuntos de dados. Dessa forma o banco de dados desenvolvido neste trabalho poderá ser alimentado com dados de outros experimentos no futuro, sem a necessidade de alterações em sua estrutura ou estruturação de um novo banco.

Após a determinação dos atributos a serem incluídos no banco de dados foi desenvolvido um modelo entidade-relacionamento. Assim, agrupou-se os atributos em entidades (Tabelas) com relacionamentos identificados, de forma a organizá-los em função de seu agrupamento lógico e de forma a evitar redundâncias (isto é, tecnicamente, normalizar o banco de dados). Em situações nas quais o relacionamento entre entidades era do tipo n:n (um registro de uma tabela podendo estar relacionado a vários registros e vice-versa) foram criadas tabelas intermediárias, como a tabela Crescimento-Clima (Figura 1).

Figura 1 - Exemplo de Tabela intermediária para relacionamento duas Tabelas com relacionamento n:n

Com as tabelas e seus atributos conhecidos foi estabelecido o relacionamento entre essas tabelas através de chaves primárias e secundárias, interligando as informações e gerando a estrutura final do banco de dados, conforme é apresentado no diagrama de entidade-relacionamento (Figura 2).

Todo o processo de modelagem do banco de dados foi feito usando as ferramentas IAdmin e IBExpert.

Figura 2 - Diagrama entidade-relacionamento do Banco de Dados

3.3 Carregamento do Banco de Dados

Com o banco modelado, os dados existentes foram organizados de maneira a poderem popular o banco. Todos os dados foram convertidos à unidade de medida de cada atributo no banco de dados antes do cadastro, padronizando as unidades. Os relacionamentos das entidades (e.g., experimento, cultivar, unidade experimental, crescimento e etc.) foram identificados individualmente, recebendo um identificador

(chave primária), que pode ser um campo único ou uma combinação de campos (Tabela 1). Por meio da combinação desses números, cada dado coletado pode então ser identificado de forma inequívoca no banco de dados.

Tabela 1 - Exemplo de codificação para identificação de cada dado a ser lançado no Banco

Tabela	Causa	
Id	Unidade	Id
Experimento	Id Unidade	CausaVariacao
1	1	1
1	2	1
1	3	1
1	4	2
1	5	2
1	6	2
1	7	3
1	8	3
1	9	3
2	1	4

3.4 Consultas ao Banco de Dados

Com o Banco de Dados populado, foram realizadas consultas através de linguagem SQL (Structured Query Language), permitindo que quaisquer Atributos dos diferentes experimentos fossem listados e combinados em uma única saída, a partir de um critério de interesse (Figura 3).

```
select
experimento.NOME_EXPERIMENTO as experimento,
crescimento.DATA_INICIAL,
amostra.ID_UNIDADE,
amostra.ID_CRESCIMENTO,
amostra.FORRAGEM_ACUMULADA,
crescimento.DATA_FINAL - crescimento.DATA_INICIAL as dias_crescimento,
amostra.FORRAGEM_ACUMULADA/(crescimento.DATA_FINAL
crescimento.DATA_INICIAL) as txacumulo,
```

```

avg(clima.temp_media) as TMedia,
avg(clima.temp_min) as TMin,
avg(clima.temp_max) as TMax,
avg(clima.rad_global) as Rad_Global,
avg(clima.chuva) as Chuva
from amostra, experimento, crescimento, crescimento_clima, clima
where
amostra.ID_EXPERIMENTO = experimento.ID_EXPERIMENTO and
amostra.id_crescimento = crescimento.ID_CRESCIMENTO and
crescimento.id_crescimento = crescimento_clima.id_crescimento and
clima.id_clima = crescimento_clima.id_clima and
experimento.ID_EXPERIMENTO = 2
group by
experimento.NOME_EXPERIMENTO,
crescimento.data_inicial,
amostra.id_unidade,
amostra.ID_CRESCIMENTO,
amostra.FORRAGEM_ACUMULADA,
crescimento.DATA_FINAL,
crescimento.DATA_INICIAL,
dias_crescimento,
txacumulo

```

Figura 3 - Exemplo de SQL usada para listar dados de taxa de acúmulo por crescimento e unidade experimental, com dados climáticos médios de cada período

3.5 Análises exploratórias e eliminação de dados discrepantes

Após a realização das consultas foram feitas análises exploratórias empregando planilhas eletrônicas e o software estatístico SAS, de forma a verificar a conformidade dos dados com as premissas das análises estatísticas (eliminação de valores discrepantes, independência e normalidade dos erros, aditividade do modelo e homogeneidade das variâncias). A adequação dos modelos sugeridos foi avaliada pela análise dos coeficientes de correlação parcial para verificação da existência de multicolinearidade. A normalidade dos resíduos, foi analisada pelos testes de Shapiro Wilk e o Kolmogorov-Smirnov, segundo metodologia constante no PROC UNIVARIATE do SAS (LITTEL et al., 2006). A heterocedasticidade dos dados foi avaliada pelo teste de Pesaran-Pesaran, também presente no mesmo software estatístico. Os dados discrepantes (“*outliers*”) foram identificados por análises gráficas de resíduos e independência dos erros, pelo teste de Durbin Watson.

Foram realizadas regressões lineares simples e múltiplas através do procedimento PROC REG do SAS (LITTEL et al., 2006) gerando equações simples ($y = a + bx$) e quadráticas ($y = a + bx + cx^2$), e equações múltiplas, com a inclusão de duas variáveis, também simples e quadráticas para cada uma das variáveis ($y = a + bx + cw$, $y = a + bx + cx^2 + dw$, $y = a + bx + cw + dw^2$, $y = a + bx + cx^2 + dw + ew^2$), escolhendo essas variáveis entre os principais fatores climáticos, como temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima, radiação global incidente e taxa média de acúmulo de forragem para cada espécie e ou cultivar. Também foram feitos estudos de correlação, através do procedimento PROC COR.

Com essas análises se objetivou identificar entre as diversas variáveis envolvidas:

- Os fatores potencialmente influentes no acúmulo de forragem, para sua posterior inclusão nos modelos;
- Algumas limitações pertinentes ao conjunto de dados, para posterior melhoria no banco de dados;
- A existência de dados discrepantes, que deveriam ser eliminados da composição do modelo;
- O nível de associação (correlação) entre as diferentes variáveis determinantes do acúmulo de forragem.

3.6 Geração dos modelos

A geração dos modelos foi feita com os conjuntos de dados após a eliminação dos dados discrepantes. Os modelos foram selecionados de acordo com a análise exploratória, empregando o coeficiente de determinação (R^2) e duas estatísticas paramétricas, os critérios de informação de Akaike (AIC) e o Bayesiano (BIC) (WOLFINGER e OCONNELL, 1993). Em razão da existência de problemas de heterocedasticidade das variâncias em relação às temperaturas, utilizou-se o ajuste de parâmetros por meio do Método dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP) em detrimento das transformações dos dados. A principal justificativa para isso decorre do fato de segundo Carroll e Ruppert (1988) sempre que possível, quando os resíduos do modelo não apresentam variância homogênea deve-se evitar transformar os dados

originais, pois além de se produzir dados com uma escala diferente da original, a transformação pode resolver o problema da heterocedasticidade, porém criar um outro como por exemplo a falta de linearidade dos mesmos, ou vice-versa. Para a ponderação utilizou-se o inverso do quadrado da temperatura de forma a adequar-se às premissas estatísticas do modelo de regressão linear. Os modelos foram parametrizados utilizando-se o PROC REG do SAS (LITTEL et al., 2006).

Os modelos desenvolvidos foram comparados através da metodologia de testes de coincidência e paralelismo (SEBER, 1977), implementados no PROC REG do SAS (LITTEL et al., 2006) visando agrupar cultivares com modelos mais simples e estatisticamente equivalentes. A partir da identificação dos materiais com respostas semelhantes por meio do teste de coincidência, foram geradas regressões usando o conjunto de dados combinados para os cultivares identificados como coincidentes e o modelo resultante atribuído ao respectivo grupo de cultivares.

3.7 Calibração do modelo com dados observados em uma propriedade

As equações para estimativa de produtividade geradas nesse trabalho se configuram em modelos de produção potencial, ou seja, estimam a produção em condições ideais de fertilidade de solo, de ausência de déficit hídrico, pragas, doenças e outros fatores restritivos à produção. Assim sendo, eles podem diferir das taxas de acúmulo em condições reais de produção.

O ajuste das estimativas dos modelos desenvolvidos para uso no planejamento, em condições reais de uma propriedade pode ser feita através da calibração do modelo com dados efetivamente medidos no local. Para tanto, assume-se um valor de temperatura base inferior constante, com valor igual ao ajustado para o cultivar utilizado a partir do banco de dados dos experimentos analisados.

Para o modelo $y = \beta_0 + \beta_1 T_{min}$

em que,

y = a taxa média de acúmulo de matéria seca em kg de MS/ha/dia,

β_0 = o intercepto da equação de regressão para o cultivar em questão,

β_1 = o coeficiente angular da equação de regressão para o cultivar em questão,

T_{min} = a temperatura mínima no período em questão.

obtem-se o valor de T_{bi} , temperatura abaixo da qual o crescimento do cultivar em questão é nulo ou desprezível, conforme a definição de (McWilliam, 1978), resolvendo a equação para que $y=0$, assim como calculado por (Pedro Jr, 1990) e apresentado na equação (2):

$$T_{bi} = \frac{\beta_0}{\beta_1} \quad (2)$$

Isso permite ajustar o coeficiente angular conforme o modelo da equação (3):

$$y = (T_{min} - T_{bi}) \times \beta_1 \quad (3)$$

A partir do ajuste desse modelo pode-se calcular o intercepto conforme apresentado na equação (4):

$$\beta_0 = -\beta_1 \times T_{bi} \quad (4)$$

Como exemplo foi feita a calibração do modelo para *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk usando dados de acúmulo de matéria seca obtidos por monitoramento local de uma propriedade localizada no município de Cristalina – GO conforme descrito por Ferreira (2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parte dos resultados aqui apresentados foram obtidos nas chamadas análises exploratórias, realizadas com intuito de identificar padrões de resposta e características das variáveis de influencia, sendo por tanto preliminares e podendo ser abandonados mais tarde. Esses resultados preliminares serviram de base para a continuação do processo de modelagem e por conseqüência para o estabelecimento dos modelos.

4.1 Correlação entre as variáveis

As análises de correlação entre as variáveis climáticas (Tabela 2) que para todos os conjuntos de dados as variáveis eram altamente e positivamente correlacionadas, indicando que o incremento em uma dada variável traz consigo, um incremento praticamente concomitante no mesmo sentido nas outras variáveis. Para modelagem, esse padrão de resposta, com os altos valores de correlação sugerem que modelos simples e múltiplos apresentariam um poder explicativo semelhante, e que conseqüentemente, a inclusão de mais de uma variável no modelo, aumentaria seu nível de complexidade, mas agregaria pouco em sua precisão.

As altas correlações entre as variáveis climáticas estudadas foram discutidas por diversos autores como Nelson e Volenec (1995) estando associadas ao fato de a radiação solar ser a fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos, processos físicos, químicos e biológicos observados em ecossistemas agrícolas, configurando-se na principal responsável pela temperatura do ar e por sua variação temporal, ao longo do dia, (VAREJÃO-SILVA, 2001). Isso faz com que variações na radiação solar se reflitam em variações subseqüentes na temperatura do ar e do solo (VOLENEC e NELSON, 2003).

De acordo com Bristow e Campbell (1984) a energia que chega á superfície da Terra na forma de radiação direta ou difusa determina a temperatura tanto da superfície quanto da atmosfera baixa, a qual por sua vez determina a capacidade de evaporação da água e subseqüentemente as demais características climáticas. Isso pode ser facilmente percebido, quando se verifica que a radiação solar recebida nos meses de maio, junho, julho e agosto, a época mais fria do ano no Brasil Central é 66% daquela

recebida nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, o período mais quente (SOTO, 1981).

A inter-relação entre as variáveis climáticas, marcadamente temperatura do ar e radiação solar também é facilmente notada em trabalhos na área de agrometeorologia ou irrigação, que usam os valores de radiação solar incidente (R_s) para determinar a evapotranspiração de referencia (ETo) em diferentes localidades. Raramente registros históricos da R_s são obtidos de forma direta, existindo na maioria das vezes apenas informações dos valores de precipitação pluvial e temperatura do ar (máxima e mínima) (CONCEIÇÃO e MARIN, 2005). Nessas situações, métodos como o desenvolvido por Samani (2000) ou outros, testados por Camargo e Sentelhas (1997), que se baseiam na amplitude térmica do período e radiação incidente no topo da atmosfera (R_a) são amplamente usados, e recomendados pela FAO (Food and Agriculture Organization das Nações Unidas) (ALLEN et al., 2000).

Outro exemplo do nível de associação entre as variáveis climáticas foi apresentado por Pedro Jr., et. al (1990) que estudando a aptidão climática de plantas forrageiras no estado de São Paulo, reportaram que a correlação entre a temperatura média mensal e a temperatura mínima média mensal foi de 98% para um período de um ano em oito diferentes localidades que constavam com postos meteorológicos.

Tabela 2 - Coeficiente de correlação entre as variáveis climáticas em cada experimento usado para popular o banco de dados (valores significativos com $P < 0,0001$)

	Cynodon 1	Cynodon 2	Panicum	Brachiaria 1	Brachiaria 2
Tmédia/Tmínima	0,98463	0,96923	0,95705	0,95277	0,98323
Tmédia/Tmáxima	0,98314	0,95723	0,89074	0,91145	0,96827
Tmédia/Rad.Global	0,94183	0,95020	0,91498	0,92762	0,87679
Tmínima/Tmáxima	0,94532	0,86237	0,72671	0,74968	0,91011
Tmínima/Rad.Global	0,89978	0,91583	0,88184	0,88254	0,80959
Tmáxima/Rad.Global	0,93213	0,91197	0,81296	0,87512	0,89792

4.2 Variáveis influentes

Com o intuito de identificar quais das variáveis climáticas apresentariam maior influência sobre as respostas produtivas foram desenvolvidos modelos de regressão entre a taxa média diária de acúmulo de forragem e todas as variáveis climáticas disponíveis nos conjuntos de dados, antes da adequação dos conjuntos de dados às premissas estatísticas, identificação de “outliers” ou homogeneização da variância de cada conjunto de dados.

Apesar da constatação da alta correlação entre as variáveis climáticas usadas como preditoras, foram feitas regressões múltiplas, ignorando intencionalmente o fato de a alta correlação descartar ganhos significativos em capacidade predatória de modelos com maior nível de complexidade. Também, para identificação de possíveis padrões de respostas dos acúmulos em função das diferentes variáveis climáticas, foram realizadas regressões de forma hierarquizada, partindo de níveis maiores de agregação em que se combinaram todos os gêneros e seus cultivares, dos diferentes conjuntos de dados, em uma única regressão, até se chegar a regressões individuais para cada cultivar.

Para diferenciação das regressões geradas foram usados como referencia os coeficientes de determinação (R^2), que indicam a proporção da variação total da variável dependente (acúmulo de forragem), que é explicada pela variação da variável independente (variável climática), assim como o usado por Burton et al. (1988) para comparar o efeito diferentes variáveis climáticas no crescimento de grama-bermuda cv.Coastal.

O coeficiente de determinação não foi usado como único critério para estabelecimento do modelo de melhor ajuste, por se tratar de um critério não paramétrico, que tende a apresentar maiores valores de ajuste com a inclusão de um maior número de parâmetros no modelo, mas desconsidera o impacto do aumento na variância individual de cada parâmetro, inerente à inclusão de um maior número de parâmetros, e seus possíveis impactos na perda de precisão dos modelos, penalizando modelos mais simples, e premiando modelos mais complexos. Assim sendo, optou-se por utilizar outros critérios estatísticos, estes sim, paramétricos, de aplicação mais

recente, que se baseiam no conceito de que a seleção de modelos deve ser feita levando em consideração o fato de o conjunto de dados ser finito, limitado e conter “ruídos”, e que a seleção deve incorporar um critério de balanceamento entre a precisão e o nível de complexidade do modelo, assim como o proposto por Burnham e Anderson (2004).

Dentro desse enfoque, foram adotados o Akaike Information Criterion (AIC), também denominado de “an information criterion”, apresentado por Akaike (1974), que matematicamente é representado por:

$$AIC = -2\ln(L) + 2k, \text{ onde:}$$

L é o valor de verossimilhança da função pela estimativa do parâmetro;

k é o número de parâmetros estimados;

E o Bayesian Information Criterion (BIC), apresentado por Schwarz (1978), por vezes também referido como Schwarz information criterion (SIC) ou Schwarz bayesian criterion (SBC) que é calculado como:

$$SBC = -2\ln(L) + \ln(N) k, \text{ em que:}$$

L é o valor de verossimilhança da função pela estimativa do parâmetro;

N é o número de observações;

k é o número de parâmetros estimados;

Tabela 3 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para o conjunto de dados completo

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R^2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	$TA = -187,42 + 11,29T_{med}$	24,05	0,51	9784,0	9786,0	6,07	0,28	-	-	-
Tmed ²	$TA = 1,11 - 6,79T_{med} + 0,43T_{med}^2$	23,98	0,52	9776,6	9778,6	61,71	5,90	0,14	-	-
Tmed ² DJ	$TA = 7,74 - 7,63T_{med} + 0,45T_{med}^2 + 0,02DJ$	23,94	0,52	9771,7	9773,7	61,65	5,89	0,14	0,01	-
Tmin	$TA = -75,03 + 8,18T_{min}$	23,45	0,54	9706,0	9708,0	3,15	0,19	-	-	-
Tmin ²	$TA = -14,77 + 0,07T_{min} + 0,26T_{min}^2$	23,37	0,54	9697,2	9699,2	18,57	2,47	0,08	-	-
Tmin ² DJ	$TA = -5,25 - 2,04T_{min} + 0,33T_{min}^2 + 0,03DJ$	23,11	0,55	9663,2	9665,2	18,43	2,47	0,08	0,01	-
Rad	$TA = -69,69 + 7,41Rad$	26,23	0,42	10050,5	10052,5	3,81	0,22	-	-	-
Rad ²	$TA = -208,73 + 24,53Rad - 0,51Rad^2$	25,80	0,44	10000,6	10002,6	19,51	2,37	0,07	-	-
Rad ² DJ	$TA = -201,71 + 23,88Rad - 0,49Rad^2 - 0,02DJ$	25,75	0,44	9996,3	9998,3	19,68	2,38	0,07	0,01	-
Tmin Rad	$TA = -76,65 + 7,76T_{min} + 0,49Rad$	23,44	0,54	9706,6	9708,6	3,42	0,39	0,40	-	-
Tmed Rad	$TA = -191,71 + 11,82T_{med} - 0,42Rad$	24,05	0,51	9785,3	9787,3	7,96	0,69	0,50	-	-
Tmin Rad ²	$TA = -123,5 + 7,46T_{min} + 6,56Rad - 0,17Rad^2$	23,40	0,54	9701,8	9703,8	18,31	0,41	2,36	0,07	-
Tmed Rad ²	$TA = -237,17 + 11,21T_{med} + 6,35Rad - 0,19Rad^2$	24,00	0,52	9779,6	9781,7	18,25	0,72	2,50	0,07	-
Tmin ² Rad	$TA = -15,84 - 0,47T_{min} + 0,26T_{min}^2 + 0,53Rad$	23,37	0,54	9697,5	9699,5	18,59	2,50	0,08	0,40	-
Tmed ² Rad	$TA = 10,4 - 7,48T_{med} + 0,47T_{med}^2 - 0,73Rad$	23,98	0,52	9776,5	9778,5	62,03	5,91	0,14	0,51	-
Tmin ² Rad ²	$TA = -65,98 - 6,67T_{min} + 0,45T_{min}^2 + 12,42Rad - 0,34Rad^2$	23,22	0,55	9678,4	9680,5	21,45	2,83	0,09	2,62	0,07
Tmed ² Rad ²	$TA = 179,01 - 37,49T_{med} + 1,15T_{med}^2 + 17,83Rad - 0,53Rad^2$	23,69	0,53	9740,6	9742,6	67,07	7,59	0,18	3,04	0,09

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 4 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Arapoty

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R^2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-168,31+9,58Tmed	19,17	0,53	462,7	464,8	22,54	1,05	-	-	-
Tmed ²	TA=-270,26+19,34Tmed-0,23Tmed ²	19,27	0,53	464,4	466,7	220,04	20,97	0,5	-	-
Tmed ² DJ	TA=-299,52+22,3Tmed-0,3Tmed ² -0,007DJ	19,39	0,53	466,4	468,8	242,68	23,38	0,55	0,03	-
Tmin	TA=-70,15+6,83Tmin	18,47	0,56	456,9	459,0	11,14	0,7	-	-	-
Tmin ²	TA=-42,55+3,02Tmin+0,13Tmin ²	18,56	0,56	458,7	460,9	61,54	8,36	0,28	-	-
Tmin ² DJ	TA=-19,53-0,79Tmin+0,26Tmin ² +0,022DJ	18,60	0,56	459,9	462,3	67,25	9,49	0,32	0,03	-
Rad	TA=-61,03+5,73Rad	22,26	0,36	486,0	488,1	15,26	0,88	-	-	-
Rad ²	TA=-343,52+38,11Rad-0,9Rad ²	20,23	0,48	472,1	474,3	69,94	7,9	0,22	-	-
Rad ² DJ	TA=-381,74+43,62Rad-1,06Rad ² -0,059DJ	19,56	0,52	467,8	470,2	69,35	7,95	0,22	0,02	-
Tmin Rad	TA=-70,06+6,84Tmin-0,02Rad	18,59	0,56	458,9	461,1	12,84	1,17	1,23	-	-
Tmed Rad	TA=-175,77+10,64Tmed-0,89Rad	19,25	0,53	464,3	466,5	25,86	2,06	1,49	-	-
Tmin Rad ²	TA=-225,06+5,62Tmin+18,96Rad-0,5Rad ²	18,07	0,59	455,4	457,8	67,82	1,25	8,25	0,22	-
Tmed Rad ²	TA=-342,15+8,58Tmed+22,02Rad-0,6Rad ²	18,40	0,57	458,2	460,7	63,62	2,1	8,19	0,21	-
Tmin ² Rad	TA=-40,14+2,91Tmin+0,13Tmin ² -0,15Rad	18,69	0,56	460,6	463,1	65,21	8,47	0,28	1,27	-
Tmed ² Rad	TA=-228,34+15,61Tmed-0,12Tmed ² -0,721Rad	19,37	0,53	466,3	468,7	241,86	22,81	0,56	1,68	-
Tmin ² Rad ²	TA=-167,34-7,24Tmin+0,43Tmin ² +23,18Rad-0,62Rad ²	17,93	0,60	455,2	457,8	78,21	8,95	0,29	8,69	0,23
Tmed ² Rad ²	TA=85,26-39,92Tmed+1,17Tmed ² +30,89Rad-0,88Rad ²	18,13	0,59	456,8	459,5	244,44	26,89	0,65	9,44	0,26

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 5 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Atlas

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R^2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-105,98+6,6Tmed	17,98	0,26	325,6	327,7	33,03	1,51	-	-	-
Tmed ²	TA=-733,23+65,32Tmed-1,37Tmed ²	17,94	0,28	326,2	328,6	555,79	51,96	1,21	-	-
Tmed ² DJ	TA=-653,7+58Tmed-1,17Tmed ² -0,067DJ	16,45	0,40	317,5	320,1	510,34	47,71	1,11	0,02	-
Tmin	TA=-28,49+4,02Tmin	17,94	0,27	325,3	327,4	15,27	0,91	-	-	-
Tmin ²	TA=-37,36+5,17Tmin-0,04Tmin ²	18,10	0,27	327,3	329,6	104,91	13,57	0,43	-	-
Tmin ² DJ	TA=-22,5+4,32Tmin+0,01Tmin ² -0,062DJ	16,86	0,37	320,3	322,9	97,83	12,64	0,4	0,02	-
Rad	TA=-11,23+2,87Rad	19,33	0,15	333,7	335,8	16,39	0,94	-	-	-
Rad ²	TA=-353,86+44,96Rad-1,26Rad ²	17,04	0,35	320,5	322,8	85,54	10,39	0,31	-	-
Rad ² DJ	TA=-260,31+33,74Rad-0,88Rad ² -0,07DJ	15,86	0,45	313,4	316,0	85,46	10,36	0,31	0,02	-
Tmin Rad	TA=-24,19+5,78Tmin-1,95Rad	17,90	0,28	326,0	328,3	15,72	1,83	1,76	-	-
Tmed Rad	TA=-165,47+12,09Tmed-3,51Rad	17,67	0,30	324,6	326,9	47,72	3,55	2,06	-	-
Tmin Rad ²	TA=-319,84+4,54Tmin+35,74Rad-1,09Rad ²	16,11	0,43	315,1	317,7	81,85	1,68	10,4	0,3	-
Tmed Rad ²	TA=-444,2+10,15Tmed+34,77Rad-1,11Rad ²	15,74	0,45	312,6	315,2	84,03	3,2	10,12	0,29	-
Tmin ² Rad	TA=-15,88+4,72Tmin+0,03Tmin ² -1,973Rad	18,07	0,28	328,0	330,6	106,51	13,55	0,43	1,8	-
Tmed ² Rad	TA=-772,49+68,91Tmed-1,32Tmed ² -3,462Rad	17,63	0,32	325,3	327,9	546,95	51,13	1,19	2,06	-
Tmin ² Rad ²	TA=-172,71-30,97Tmin+1,13Tmin ² +51,28Rad-1,57Rad ²	15,29	0,50	310,2	313,2	96,22	13,79	0,43	11,55	0,34
Tmed ² Rad ²	TA=1226,68-167,58Tmed+4,11Tmed ² +63,752Rad-1,96Rad ²	14,88	0,52	307,2	310,2	628,41	66,38	1,53	14,44	0,42

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 6 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Capiorã

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-233,95+13,08Tmed	21,37	0,63	442,92	445,03	25,59	1,19	-	-	-
Tmed ²	TA=46,65-13,78Tmed+0,64Tmed ²	21,33	0,64	443,56	445,82	246,35	23,48	0,56	-	-
Tmed ² DJ	TA=258,64-35,41Tmed+1,16Tmed ² +0,057DJ	20,86	0,66	441,36	443,82	262,84	25,34	0,6	0,03	-
Tmin	TA=-99,65+9,26Tmin	20,06	0,68	433,78	435,9	12,28	0,76	-	-	-
Tmin ²	TA=28,88-8,5Tmin+0,59Tmin ²	19,68	0,69	431,97	434,22	67,4	9,2	0,3	-	-
Tmin ² DJ	TA=118,08-23,45Tmin+1,1Tmin ² +0,088DJ	18,26	0,74	422,18	424,65	67,61	9,56	0,32	0,03	-
Rad	TA=-99,59+8,48Rad	24,57	0,52	462,98	465,09	17,14	0,98	-	-	-
Rad ²	TA=-337,19+35,7Rad-0,76Rad ²	23,34	0,57	456,55	458,81	82,81	9,35	0,26	-	-
Rad ² DJ	TA=-355,04+38,36Rad-0,83Rad ² -0,033DJ	23,29	0,58	457,17	459,64	84,07	9,61	0,27	0,03	-
Tmin Rad	TA=-109,73+7,78Tmin+1,95Rad	19,90	0,69	433,57	435,83	13,98	1,27	1,33	-	-
Tmed Rad	TA=-221,53+11,33Tmed+1,46Rad	21,41	0,64	444,15	446,4	29,42	2,35	1,69	-	-
Tmin Rad ²	TA=-176,86+7,24Tmin+10,16Rad-0,22Rad ²	19,93	0,69	434,75	437,21	77,23	1,4	9,39	0,24	-
Tmed Rad ²	TA=-341,02+9,93Tmed+17,73Rad-0,43Rad ²	21,11	0,65	443,04	445,51	74,91	2,46	9,55	0,25	-
Tmin ² Rad	TA=5,34-7,42Tmin+0,51Tmin ² +1,469Rad	19,65	0,70	432,71	435,17	70,66	9,24	0,31	1,34	-
Tmed ² Rad	TA=4,78-10,06Tmed+0,53Tmed ² +0,747Rad	21,46	0,64	445,39	447,86	269,59	25,44	0,62	1,89	-
Tmin ² Rad ²	TA=-80,11-13,93Tmin+0,7Tmin ² +16,85Rad-0,41Rad ²	19,42	0,71	431,99	434,73	87,82	9,99	0,33	9,67	0,25
Tmed ² Rad ²	TA=307,5-64,04Tmed+1,79Tmed ² +31,594Rad-0,86Rad ²	20,39	0,68	438,98	441,71	276,87	30,58	0,74	10,85	0,3

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 7 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Coastcross

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-158,22+10,1Tmed	19,96	0,59	1127,7	1129,8	13,47	0,62	-	-	-
Tmed ²	TA=-87,28+3,27Tmed+0,16Tmed ²	20,00	0,59	1129,5	1131,6	140,78	13,5	0,32	-	-
Tmed ² DJ	TA=-86,57+3,21Tmed+0,16Tmed ² -0,001DJ	20,06	0,59	1131,5	1133,6	141,74	13,58	0,32	0,01	-
Tmin	TA=-62,34+7,61Tmin	19,14	0,62	1111,8	1113,9	7,11	0,44	-	-	-
Tmin ²	TA=-41,81+4,85Tmin+0,09Tmin ²	19,18	0,62	1113,6	1115,7	43,36	5,76	0,18	-	-
Tmin ² DJ	TA=-38,9+3,91Tmin+0,12Tmin ² +0,023DJ	19,08	0,63	1112,6	1114,8	43,17	5,75	0,18	0,01	-
Rad	TA=-61,48+7,19Rad	21,15	0,53	1149,4	1151,5	8,38	0,49	-	-	-
Rad ²	TA=-130,77+15,95Rad-0,27Rad ²	21,10	0,54	1149,5	1151,6	51,33	6,42	0,2	-	-
Rad ² DJ	TA=-67,57+8,48Rad-0,03Rad ² -0,043DJ	20,81	0,55	1145,4	1147,5	56,68	7,02	0,22	0,02	-
Tmin Rad	TA=-65,39+6,58Tmin+1,16Rad	19,12	0,62	1112,5	1114,6	7,6	1,01	1,03	-	-
Tmed Rad	TA=-147,34+8,77Tmed+1,05Rad	19,99	0,59	1129,1	1131,2	19,46	1,82	1,35	-	-
Tmin Rad ²	TA=-67,62+6,57Tmin+1,46Rad-0,01Rad ²	19,18	0,62	1114,5	1116,7	47,7	1,04	6,27	0,18	-
Tmed Rad ²	TA=-143,52+8,82Tmed+0,47Rad+0,02Rad ²	20,04	0,59	1131,1	1133,3	48,82	1,92	6,97	0,2	-
Tmin ² Rad	TA=-34,6+2,26Tmin+0,13Tmin ² +1,31Rad	19,15	0,62	1114	1116,2	43,68	6,11	0,19	1,05	-
Tmed ² Rad	TA=-87,75+3,05Tmed+0,14Tmed ² +0,989Rad	20,03	0,59	1130,9	1133,1	140,96	13,52	0,32	1,36	-
Tmin ² Rad ²	TA=-49,53-0,06Tmin+0,2Tmin ² +5,386Rad-0,12Rad ²	19,19	0,62	1115,7	1118	51,85	7,5	0,23	7,66	0,22
Tmed ² Rad ²	TA=-69,37-0,53Tmed+0,22Tmed ² +3,494Rad-0,07Rad ²	20,08	0,59	1132,8	1135,1	156,45	18,85	0,44	9,25	0,26

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 8 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Estrela

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-204,77+12,26Tmed	21,43	0,6	1154,3	1156,3	14,46	0,67	-	-	-
Tmed ²	TA=124,44-19,42Tmed+0,75Tmed ²	21,20	0,7	1151,4	1153,4	149,22	14,31	0,34	-	-
Tmed ² DJ	TA=131,95-20,05Tmed+0,77Tmed ² -0,008DJ	21,24	0,7	1153	1155,2	150,11	14,38	0,34	0,02	-
Tmin	TA=-90,08+9,35Tmin	19,76	0,7	1123,8	1125,8	7,34	0,45	-	-	-
Tmin ²	TA=30,16-6,78Tmin+0,52Tmin ²	19,41	0,7	1118,1	1120,2	43,89	5,83	0,19	-	-
Tmin ² DJ	TA=33,38-7,83Tmin+0,55Tmin ² +0,026DJ	19,28	0,7	1116,5	1118,7	43,63	5,81	0,19	0,01	-
Rad	TA=-87,88+8,77Rad	22,91	0,6	1179,4	1181,5	9,07	0,53	-	-	-
Rad ²	TA=-137,73+15,07Rad-0,19Rad ²	22,92	0,6	1180,6	1182,7	55,75	6,98	0,21	-	-
Rad ² DJ	TA=-40,77+3,6Rad+0,18Rad ² -0,067DJ	22,23	0,6	1170,1	1172,2	60,53	7,49	0,23	0,02	-
Tmin Rad	TA=-92,88+8,4Tmin+1,07Rad	19,76	0,7	1124,8	1126,9	7,85	1,04	1,06	-	-
Tmed Rad	TA=-188,4+10,27Tmed+1,58Rad	21,42	0,6	1155,1	1157,2	20,85	1,95	1,45	-	-
Tmin Rad ²	TA=-55,1+8,59Tmin-3,9Rad+0,15Rad ²	19,78	0,7	1126,2	1128,3	49,2	1,07	6,47	0,19	-
Tmed Rad ²	TA=-153,26+10,75Tmed-3,79Rad+0,15Rad ²	21,44	0,6	1156,5	1158,7	52,24	2,05	7,46	0,21	-
Tmin ² Rad	TA=39,5-10,14Tmin+0,58Tmin ² +1,697Rad	19,33	0,7	1117,5	1119,7	44,09	6,17	0,19	1,06	-
Tmed ² Rad	TA=123,84-19,7Tmed+0,72Tmed ² +1,261Rad	21,22	0,7	1152,6	1154,8	149,32	14,32	0,34	1,45	-
Tmin ² Rad ²	TA=9-14,89Tmin+0,72Tmin ² +10,024Rad-0,24Rad ²	19,32	0,7	1118,3	1120,6	52,21	7,55	0,23	7,72	0,22
Tmed ² Rad ²	TA=189,45-32,5Tmed+1,01Tmed ² +10,2Rad-0,26Rad ²	21,23	0,7	1153,7	1156	165,38	19,93	0,46	9,78	0,28

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 9 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Florico

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	$TA = -173,38 + 10,92T_{med}$	23,27	0,5	1185,4	1187,4	15,71	0,73	-	-	-
Tmed ²	$TA = -66,01 + 0,59T_{med} + 0,25T_{med}^2$	23,31	0,5	1187	1189	164,04	15,73	0,37	-	-
Tmed ² DJ	$TA = -70,77 + 0,98T_{med} + 0,24T_{med}^2 + 0,005DJ$	23,37	0,6	1188,8	1191	165,11	15,82	0,38	0,02	-
Tmin	$TA = -70,79 + 8,3T_{min}$	22,18	0,6	1167,2	1169,3	8,24	0,51	-	-	-
Tmin ²	$TA = -20,17 + 1,51T_{min} + 0,22T_{min}^2$	22,17	0,6	1168,2	1170,3	50,14	6,66	0,21	-	-
Tmin ² DJ	$TA = -16,12 + 0,2T_{min} + 0,26T_{min}^2 + 0,033DJ$	21,98	0,6	1165,8	1168	49,74	6,63	0,21	0,02	-
Rad	$TA = -68,34 + 7,76Rad$	24,54	0,5	1205,3	1207,4	9,72	0,57	-	-	-
Rad ²	$TA = -151,94 + 18,33Rad - 0,32Rad^2$	24,47	0,5	1205,3	1207,4	59,53	7,45	0,23	-	-
Rad ² DJ	$TA = -99,1 + 12,08Rad - 0,12Rad^2 - 0,036DJ$	24,33	0,5	1204,1	1206,3	66,26	8,2	0,25	0,02	-
Tmin Rad	$TA = -72,86 + 7,6T_{min} + 0,79Rad$	22,21	0,6	1168,8	1170,9	8,82	1,17	1,19	-	-
Tmed Rad	$TA = -163,61 + 9,73T_{med} + 0,94Rad$	23,31	0,5	1187	1189,1	22,7	2,12	1,58	-	-
Tmin Rad ²	$TA = -79,13 + 7,57T_{min} + 1,61Rad - 0,02Rad^2$	22,27	0,6	1170,8	1172,9	55,39	1,2	7,28	0,21	-
Tmed Rad ²	$TA = -165,96 + 9,7T_{med} + 1,3Rad - 0,01Rad^2$	23,38	0,5	1189	1191,2	56,96	2,24	8,13	0,23	-
Tmin ² Rad	$TA = -14,28 - 0,6T_{min} + 0,26T_{min}^2 + 1,069Rad$	22,19	0,6	1169,4	1171,6	50,61	7,08	0,22	1,21	-
Tmed ² Rad	$TA = -66,41 + 0,4T_{med} + 0,22T_{med}^2 + 0,843Rad$	23,36	0,6	1188,7	1190,8	164,36	15,77	0,38	1,59	-
Tmin ² Rad ²	$TA = -44,12 - 5,26T_{min} + 0,39T_{min}^2 + 9,218Rad - 0,24Rad^2$	22,20	0,6	1170,5	1172,8	59,99	8,68	0,26	8,87	0,25
Tmed ² Rad ²	$TA = -19,06 - 8,83T_{med} + 0,43T_{med}^2 + 7,294Rad - 0,19Rad^2$	23,40	0,6	1190,3	1192,6	182,28	21,96	0,51	10,77	0,31

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 10 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Florona

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-162,91+10,31Tmed	20,23	0,6	1132,8	1134,8	13,66	0,63	-	-	-
Tmed ²	TA=73,51-12,44Tmed+0,54Tmed ²	20,14	0,6	1131,9	1134	141,7	13,59	0,32	-	-
Tmed ² DJ	TA=54,25-10,84Tmed+0,5Tmed ² +0,022DJ	20,07	0,6	1131,6	1133,8	141,8	13,59	0,32	0,01	-
Tmin	TA=-62,97+7,65Tmin	19,89	0,6	1126,3	1128,4	7,39	0,45	-	-	-
Tmin ²	TA=-10,92+0,66Tmin+0,22Tmin ²	19,87	0,6	1126,9	1129	44,93	5,96	0,19	-	-
Tmin ² DJ	TA=-4,89-1,3Tmin+0,29Tmin ² +0,049DJ	19,28	0,6	1116,7	1118,8	43,64	5,81	0,19	0,01	-
Rad	TA=-65,5+7,43Rad	21,17	0,6	1149,7	1151,7	8,38	0,49	-	-	-
Rad ²	TA=-110,53+13,13Rad-0,17Rad ²	21,18	0,6	1150,9	1153	51,51	6,45	0,2	-	-
Rad ² DJ	TA=-85,13+10,12Rad-0,08Rad ² -0,017DJ	21,18	0,6	1151,9	1154,1	57,67	7,14	0,22	0,02	-
Tmin Rad	TA=-68,86+5,65Tmin+2,25Rad	19,70	0,6	1123,8	1125,9	7,83	1,04	1,06	-	-
Tmed Rad	TA=-144,4+8,06Tmed+1,79Rad	20,20	0,6	1133	1135,1	19,66	1,84	1,37	-	-
Tmin Rad ²	TA=-55,51+5,72Tmin+0,5Rad+0,05Rad ²	19,75	0,6	1125,7	1127,9	49,14	1,07	6,46	0,19	-
Tmed Rad ²	TA=-122,6+8,36Tmed-1,54Rad+0,1Rad ²	20,24	0,6	1134,8	1137	49,3	1,94	7,04	0,2	-
Tmin ² Rad	TA=3,34-4,46Tmin+0,32Tmin ² +2,592Rad	19,61	0,6	1123	1125,2	44,74	6,26	0,19	1,07	-
Tmed ² Rad	TA=72,76-12,78Tmed+0,5Tmed ² +1,564Rad	20,12	0,6	1132,6	1134,8	141,59	13,58	0,32	1,37	-
Tmin ² Rad ²	TA=-18,45-7,86Tmin+0,41Tmin ² +8,543Rad-0,17Rad ²	19,64	0,6	1124,4	1126,7	53,07	7,68	0,23	7,84	0,22
Tmed ² Rad ²	TA=123,75-22,73Tmed+0,73Tmed ² +8,511Rad-0,2Rad ²	20,14	0,6	1134	1136,3	156,94	18,91	0,44	9,28	0,27

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 11 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Basilisk

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-158,3+9,27Tmed	14,55	0,7	237,57	239,76	20,43	0,94	-	-	-
Tmed ²	TA=-196,72+12,97Tmed-0,09Tmed ²	14,72	0,7	239,53	241,96	186,62	17,9	0,43	-	-
Tmed ² DJ	TA=-80,34+1,2Tmed+0,2Tmed ² +0,024DJ	14,74	0,7	240,57	243,35	224,24	21,87	0,52	0,03	-
Tmin	TA=-67,39+6,83Tmin	12,75	0,8	225,99	228,18	9,47	0,58	-	-	-
Tmin ²	TA=1,98-2,91Tmin+0,32Tmin ²	12,60	0,8	225,87	228,3	49,62	6,87	0,23	-	-
Tmin ² DJ	TA=60,5-12,43Tmin+0,65Tmin ² +0,044DJ	12,04	0,8	222,78	225,56	54,27	7,84	0,26	0,02	-
Rad	TA=-65,39+5,92Rad	20,11	0,4	266,04	268,23	19,56	1,07	-	-	-
Rad ²	TA=-367,43+38,83Rad-0,87Rad ²	18,10	0,5	257,73	260,16	93,44	10,04	0,27	-	-
Rad ² DJ	TA=-442,22+47,96Rad-1,12Rad ² -0,055DJ	17,37	0,6	255,04	257,82	96,38	10,56	0,28	0,03	-
Tmin Rad	TA=-56,51+7,91Tmin-1,55Rad	12,63	0,8	226,06	228,48	12,33	0,98	1,14	-	-
Tmed Rad	TA=-174,29+12,7Tmed-3,22Rad	14,00	0,7	235,14	237,57	21,11	1,88	1,54	-	-
Tmin Rad ²	TA=4,12+8,5Tmin-8,64Rad+0,17Rad ²	12,71	0,8	227,51	230,29	86,6	1,29	10,1	0,25	-
Tmed Rad ²	TA=-184,05+12,52Tmed-1,85Rad-0,03Rad ²	14,17	0,7	237,13	239,91	81,28	2,42	11,11	0,26	-
Tmin ² Rad	TA=8,74-1,4Tmin+0,31Tmin ² -1,463Rad	12,50	0,8	226,07	228,85	49,5	6,91	0,23	1,13	-
Tmed ² Rad	TA=-110,24+6,62Tmed+0,15Tmed ² -3,369Rad	14,15	0,7	237,01	239,79	184,23	17,49	0,42	1,62	-
Tmin ² Rad ²	TA=-61,96-12,28Tmin+0,62Tmin ² +14,713Rad-0,39Rad ²	12,54	0,8	227,27	230,51	97,21	14,61	0,44	19,15	0,47
Tmed ² Rad ²	TA=450,1-98,05Tmed+2,5Tmed ² +57,567Rad-1,52Rad ²	13,85	0,7	235,99	239,24	381,87	65,17	1,47	36,64	0,91

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 12 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Marandu

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-153,77+8,71Tmed	22,75	0,4	495,62	497,73	26,44	1,23	-	-	-
Tmed ²	TA=-282,49+21,02Tmed-0,29Tmed ²	22,86	0,4	497,37	499,6	261,65	24,92	0,59	-	-
Tmed ² DJ	TA=-278,59+20,63Tmed-0,28Tmed ² +0,001DJ	23,01	0,4	499,37	501,79	291,19	28,06	0,67	0,03	-
Tmin	TA=-67,21+6,39Tmin	21,81	0,4	488,99	491,09	12,99	0,82	-	-	-
Tmin ²	TA=-53,74+4,54Tmin+0,06Tmin ²	21,95	0,4	490,95	493,19	72,66	9,86	0,32	-	-
Tmin ² DJ	TA=-23,49-0,47Tmin+0,23Tmin ² +0,028DJ	21,96	0,5	492,03	494,45	79,5	11,21	0,37	0,03	-
Rad	TA=-65,71+5,74Rad	23,99	0,3	504,05	506,15	16,32	0,94	-	-	-
Rad ²	TA=-354,85+38,89Rad-0,92Rad ²	22,09	0,4	491,96	494,19	76,55	8,65	0,24	-	-
Rad ² DJ	TA=-388,51+43,74Rad-1,06Rad ² -0,05DJ	21,73	0,5	490,32	492,75	77,41	8,89	0,25	0,03	-
Tmin Rad	TA=-71,94+5,66Tmin+0,94Rad	21,89	0,4	490,56	492,8	14,98	1,4	1,46	-	-
Tmed Rad	TA=-144,17+7,35Tmed+1,15Rad	22,83	0,4	497,19	499,42	30,4	2,45	1,77	-	-
Tmin Rad ²	TA=-269,88+4,15Tmin+25,11Rad-0,64Rad ²	21,15	0,5	486,05	488,47	79,29	1,48	9,62	0,25	-
Tmed Rad ²	TA=-354,89+4,82Tmed+29,97Rad-0,76Rad ²	21,69	0,5	490,03	492,45	75,17	2,47	9,64	0,25	-
Tmin ² Rad	TA=-68,33+5,19Tmin+0,02Tmin ² +0,922Rad	22,04	0,4	492,56	494,98	76,77	9,96	0,33	1,51	-
Tmed ² Rad	TA=-391,32+30,67Tmed-0,57Tmed ² +1,916Rad	22,87	0,4	498,39	500,81	284,95	26,85	0,66	1,98	-
Tmin ² Rad ²	TA=-219,91-7,06Tmin+0,37Tmin ² +28,842Rad-0,75Rad ²	21,13	0,5	486,82	489,49	91,84	10,53	0,34	10,22	0,27
Tmed ² Rad ²	TA=-50,72-29,7Tmed+0,83Tmed ² +36,326Rad-0,96Rad ²	21,67	0,5	490,8	493,46	291,58	32,07	0,77	11,29	0,31

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 13 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Massai

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-61,65+6,7Tmed	27,20	0,1	371,93	374,07	49,96	2,28	-	-	-
Tmed ²	TA=-2234,86+210,14Tmed-4,73Tmed ²	25,70	0,2	366,54	368,88	796,55	74,47	1,73	-	-
Tmed ² DJ	TA=-2201,17+207,04Tmed-4,65Tmed ² -0,028DJ	25,75	0,3	367,68	370,29	798,9	74,68	1,74	0,03	-
Tmin	TA=27,58+3,44Tmin	27,80	0,1	374,36	376,5	23,66	1,41	-	-	-
Tmin ²	TA=-313,72+47,97Tmin-1,41Tmin ²	26,84	0,2	371,38	373,72	155,52	20,11	0,63	-	-
Tmin ² DJ	TA=-308,46+47,67Tmin-1,39Tmin ² -0,022DJ	26,98	0,2	372,91	375,51	156,54	20,23	0,64	0,03	-
Rad	TA=24,64+3,5Rad	27,62	0,1	373,64	375,79	23,42	1,35	-	-	-
Rad ²	TA=-536,16+72,38Rad-2,06Rad ²	23,13	0,4	354,73	357,06	116,14	14,11	0,42	-	-
Rad ² DJ	TA=-533,24+72,03Rad-2,05Rad ² -0,002DJ	23,35	0,4	356,72	359,33	125,79	15,25	0,46	0,03	-
Tmin Rad	TA=22,02+1,17Tmin+2,52Rad	27,84	0,1	375,47	377,8	24,45	2,84	2,74	-	-
Tmed Rad	TA=-65,89+7,09Tmed-0,25Rad	27,46	0,1	373,92	376,26	74,12	5,51	3,21	-	-
Tmin Rad ²	TA=-545,23-1,21Tmin+74,84Rad-2,1Rad ²	23,30	0,4	356,46	359,06	118,38	2,43	15,04	0,43	-
Tmed Rad ²	TA=-568,3+3,61Tmed+68,76Rad-2,01Rad ²	23,22	0,4	356,1	358,7	123,93	4,72	14,93	0,43	-
Tmin ² Rad	TA=-351,49+48,77Tmin-1,53Tmin ² +3,47Rad	26,66	0,2	371,57	374,17	157,15	19,99	0,64	2,65	-
Tmed ² Rad	TA=-2235,72+210,22Tmed-4,73Tmed ² -0,076Rad	25,95	0,2	368,54	371,15	804,9	75,24	1,75	3,03	-
Tmin ² Rad ²	TA=-557,77+1,82Tmin-0,1Tmin ² +73,515Rad-2,06Rad ²	23,52	0,4	358,44	361,4	148,02	21,22	0,67	17,77	0,52
Tmed ² Rad ²	TA=216,49-79,87Tmed+1,93Tmed ² +82,369Rad-2,4Rad ²	23,30	0,4	357,39	360,35	983,75	103,91	2,4	22,6	0,65

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 14 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Mombaça

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-240,96+13,87Tmed	21,63	0,5	346,24	348,38	39,72	1,81	-	-	-
Tmed ²	TA=-1442,41+126,34Tmed-2,62Tmed ²	21,17	0,5	344,79	347,12	655,92	61,32	1,43	-	-
Tmed ² DJ	TA=-1431,78+125,36Tmed-2,59Tmed ² -0,009DJ	21,35	0,5	346,66	349,27	662,18	61,9	1,44	0,03	-
Tmin	TA=-67,14+7,78Tmin	23,20	0,4	354,09	356,23	19,74	1,18	-	-	-
Tmin ²	TA=-220,07+27,73Tmin-0,63Tmin ²	23,13	0,5	354,7	357,03	134	17,33	0,55	-	-
Tmin ² DJ	TA=-220,83+27,77Tmin-0,63Tmin ² +0,003DJ	23,34	0,5	356,69	359,29	135,44	17,5	0,55	0,03	-
Rad	TA=-64,96+7,38Rad	23,44	0,4	355,25	357,4	19,87	1,14	-	-	-
Rad ²	TA=-499,47+60,75Rad-1,59Rad ²	20,35	0,6	340,4	342,73	102,19	12,41	0,37	-	-
Rad ² DJ	TA=-474,4+57,75Rad-1,49Rad ² -0,019DJ	20,47	0,6	341,98	344,58	110,28	13,37	0,4	0,03	-
Tmin Rad	TA=-75,1+4,52Tmin+3,61Rad	22,86	0,5	353,43	355,76	20,08	2,34	2,25	-	-
Tmed Rad	TA=-235,35+13,35Tmed+0,33Rad	21,83	0,5	348,22	350,55	58,92	4,38	2,55	-	-
Tmin Rad ²	TA=-478,25+2,83Tmin+55Rad-1,49Rad ²	20,20	0,6	340,49	343,09	102,65	2,11	13,04	0,37	-
Tmed Rad ²	TA=-596,02+10,85Tmed+49,87Rad-1,44Rad ²	19,17	0,6	334,62	337,22	102,31	3,9	12,33	0,35	-
Tmin ² Rad	TA=-264,57+28,67Tmin-0,78Tmin ² +4,089Rad	22,64	0,5	353,25	355,86	133,45	16,97	0,54	2,25	-
Tmed ² Rad	TA=-1437,56+125,89Tmed-2,62Tmed ² +0,427Rad	21,36	0,5	346,76	349,36	662,61	61,94	1,44	2,49	-
Tmin ² Rad ²	TA=-429,64-8,9Tmin+0,37Tmin ² +60,139Rad-1,65Rad ²	20,32	0,6	342,04	345	127,85	18,33	0,58	15,35	0,45
Tmed ² Rad ²	TA=703,26-127,36Tmed+3,19Tmed ² +72,404Rad-2,1Rad ²	18,86	0,7	333,73	336,69	796,37	84,12	1,94	18,3	0,53

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 15 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Tanzânia

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-133,81+9,23Tmed	22,69	0,3	207,98	210,23	53,99	2,46	-	-	-
Tmed ²	TA=-314,68+26,19Tmed-0,4Tmed ²	23,05	0,3	209,93	212,51	885,04	82,88	1,93	-	-
Tmed ² DJ	TA=-330,14+27,66Tmed-0,45Tmed ² +0,036DJ	23,08	0,3	210,9	213,96	886,31	83	1,93	0,04	-
Tmin	TA=-24,54+5,56Tmin	22,81	0,3	208,35	210,6	25,45	1,51	-	-	-
Tmin ²	TA=-19,51+4,91Tmin+0,02Tmin ²	23,19	0,3	210,35	212,93	201,29	25,89	0,81	-	-
Tmin ² DJ	TA=-51,08+8,49Tmin-0,11Tmin ² +0,037DJ	23,20	0,3	211,25	214,32	203,89	26,15	0,82	0,04	-
Rad	TA=-42,79+6,47Rad	21,80	0,4	205,34	207,59	26,53	1,53	-	-	-
Rad ²	TA=-282,62+36,27Rad-0,9Rad ²	21,55	0,4	205,49	208,07	184,27	22,72	0,69	-	-
Rad ² DJ	TA=-324,11+41,36Rad-1,07Rad ² +0,026DJ	21,76	0,4	207,02	210,09	196,99	24,27	0,74	0,04	-
Tmin Rad	TA=-42,8-0,21Tmin+6,67Rad	22,16	0,4	207,33	209,91	26,97	3,71	3,94	-	-
Tmed Rad	TA=-33,7-0,79Tmed+6,95Rad	22,15	0,4	207,32	209,9	82,27	6,77	4,38	-	-
Tmin Rad ²	TA=-284,62-0,55Tmin+37,05Rad-0,91Rad ²	21,91	0,4	207,46	210,53	187,83	3,68	23,68	0,7	-
Tmed Rad ²	TA=-269,33-1,38Tmed+37,43Rad-0,91Rad ²	21,90	0,4	207,44	210,51	198,06	6,7	23,76	0,7	-
Tmin ² Rad	TA=-53,44+1,15Tmin-0,04Tmin ² +6,685Rad	22,54	0,4	209,33	212,4	196,65	25,26	0,79	4,01	-
Tmed ² Rad	TA=-105,97+5,99Tmed-0,16Tmed ² +6,917Rad	22,53	0,4	209,32	212,38	875,64	82,06	1,89	4,47	-
Tmin ² Rad ²	TA=-189-36,57Tmin+1,13Tmin ² +59,795Rad-1,6Rad ²	21,83	0,4	208,07	211,79	206,4	32,98	1,03	31,39	0,94
Tmed ² Rad ²	TA=1008,45-143,62Tmed+3,28Tmed ² +68,087Rad-1,81Rad ²	21,69	0,4	207,66	211,38	1043,72	114,3	2,63	34,04	1

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 16 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Tifton 85

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-252,49+14,63Tmed	21,84	0,7	1161,4	1163,4	14,74	0,68	-	-	-
Tmed ²	TA=405,67-48,72Tmed+1,5Tmed ²	20,78	0,7	1143,7	1145,8	146,21	14,02	0,33	-	-
Tmed ² DJ	TA=390,47-47,46Tmed+1,47Tmed ² +0,017DJ	20,76	0,7	1144,4	1146,5	146,69	14,05	0,33	0,01	-
Tmin	TA=-110,7+10,84Tmin	21,20	0,7	1150,2	1152,3	7,88	0,48	-	-	-
Tmin ²	TA=37,5-9,04Tmin+0,64Tmin ²	20,69	0,7	1142	1144,1	46,77	6,21	0,2	-	-
Tmin ² DJ	TA=45,02-11,48Tmin+0,72Tmin ² +0,061DJ	19,78	0,8	1126,3	1128,4	44,77	5,97	0,19	0,01	-
Rad	TA=-121,3+10,96Rad	21,57	0,7	1156,8	1158,8	8,54	0,5	-	-	-
Rad ²	TA=-76,19+5,25Rad+0,17Rad ²	21,58	0,7	1158	1160,1	52,5	6,57	0,2	-	-
Rad ² DJ	TA=17,49-5,83Rad+0,53Rad ² -0,064DJ	20,89	0,7	1146,8	1149	56,89	7,04	0,22	0,02	-
Tmin Rad	TA=-124,89+6,05Tmin+5,42Rad	19,92	0,8	1127,8	1129,9	7,91	1,05	1,07	-	-
Tmed Rad	TA=-189,56+6,97Tmed+6,08Rad	20,88	0,7	1145,5	1147,6	20,33	1,9	1,41	-	-
Tmin Rad ²	TA=-12,69+6,6Tmin-9,32Rad+0,43Rad ²	19,68	0,8	1124,4	1126,5	48,96	1,07	6,44	0,19	-
Tmed Rad ²	TA=-88,25+8,35Tmed-9,4Rad+0,44Rad ²	20,67	0,7	1142,7	1144,8	50,35	1,98	7,19	0,2	-
Tmin ² Rad	TA=72,48-21,6Tmin+0,86Tmin ² +6,354Rad	18,89	0,8	1108,9	1111,1	43,09	6,03	0,19	1,03	-
Tmed ² Rad	TA=403,05-49,9Tmed+1,37Tmed ² +5,468Rad	19,97	0,8	1129,9	1132	140,57	13,48	0,32	1,36	-
Tmin ² Rad ²	TA=66,73-22,49Tmin+0,89Tmin ² +7,923Rad-0,05Rad ²	18,94	0,8	1110,8	1113,1	51,19	7,4	0,22	7,57	0,22
Tmed ² Rad ²	TA=457,39-60,5Tmed+1,61Tmed ² +12,87Rad-0,21Rad ²	19,99	0,8	1131,2	1133,5	155,77	18,77	0,44	9,21	0,26

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 17 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Tobiatã

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-174,88+11,24Tmed	17,82	0,5	255,44	257,63	36,73	1,68	-	-	-
Tmed ²	TA=114,83-15,93Tmed+0,63Tmed ²	17,99	0,5	257,19	259,62	598,26	56,02	1,31	-	-
Tmed ² DJ	TA=103,04-14,81Tmed+0,6Tmed ² +0,027DJ	17,95	0,5	257,91	260,69	597,03	55,91	1,3	0,02	-
Tmin	TA=-34,52+6,33Tmin	19,18	0,4	261,91	264,09	18,53	1,1	-	-	-
Tmin ²	TA=-22,34+4,75Tmin+0,05Tmin ²	19,41	0,4	263,9	266,33	145,92	18,77	0,59	-	-
Tmin ² DJ	TA=-49,62+7,84Tmin-0,06Tmin ² +0,032DJ	19,32	0,5	264,38	267,16	147,03	18,86	0,59	0,03	-
Rad	TA=-55,4+7,37Rad	17,60	0,5	254,31	256,49	18,55	1,07	-	-	-
Rad ²	TA=-265,59+33,49Rad-0,79Rad ²	17,24	0,6	253,43	255,86	127,66	15,74	0,48	-	-
Rad ² DJ	TA=-283,37+35,67Rad-0,87Rad ² +0,011DJ	17,42	0,6	255,26	258,04	136,54	16,82	0,52	0,03	-
Tmin Rad	TA=-55,42-0,28Tmin+7,64Rad	17,81	0,5	256,29	258,72	18,77	2,58	2,74	-	-
Tmed Rad	TA=-110,81+4,82Tmed+4,45Rad	17,58	0,5	255,17	257,59	56,53	4,65	3,01	-	-
Tmin Rad ²	TA=-267,67-0,57Tmin+34,3Rad-0,8Rad ²	17,44	0,6	255,38	258,16	129,5	2,54	16,33	0,48	-
Tmed Rad ²	TA=-307,22+4,33Tmed+29,86Rad-0,76Rad ²	17,26	0,6	254,46	257,24	135,18	4,57	16,22	0,48	-
Tmin ² Rad	TA=-61,12+0,46Tmin-0,02Tmin ² +7,641Rad	18,03	0,5	258,29	261,07	136,23	17,5	0,55	2,78	-
Tmed ² Rad	TA=253,57-29,36Tmed+0,79Tmed ² +4,598Rad	17,71	0,5	256,75	259,53	596,25	55,88	1,29	3,05	-
Tmin ² Rad ²	TA=-181,48-33,04Tmin+1,02Tmin ² +54,798Rad-1,42Rad ²	17,20	0,6	255,06	258,31	140,88	22,51	0,7	21,42	0,64
Tmed ² Rad ²	TA=1506,42-197,55Tmed+4,66Tmed ² +73,367Rad-2,04Rad ²	15,97	0,6	248,53	251,78	665,56	72,89	1,68	21,71	0,64

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Tabela 18 - Quadrado médio do resíduo (QMR) Coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e equações de regressão para Xaraés

Variável independente	Modelo (Equação)	QMR	R2	AIC	BIC	EP	EP	EP	EP	EP
Tmed	TA=-198,75+11,06Tmed	18,42	0,6	468,09	470,19	21,4	0,99	-	-	-
Tmed ²	TA=-156,36+7Tmed+0,1Tmed ²	18,53	0,6	470,05	472,28	211,23	20,12	0,48	-	-
Tmed ² DJ	TA=93,66-18,36Tmed+0,71Tmed ² +0,063DJ	17,80	0,6	464,58	466,99	222,66	21,45	0,51	0,02	-
Tmin	TA=-86,18+7,92Tmin	17,20	0,7	457,17	459,27	10,22	0,64	-	-	-
Tmin ²	TA=-37,67+1,25Tmin+0,22Tmin ²	17,23	0,7	458,39	460,62	57,03	7,74	0,25	-	-
Tmin ² DJ	TA=66,49-16,02Tmin+0,81Tmin ² +0,097DJ	15,25	0,7	439,84	442,25	55,09	7,77	0,26	0,02	-
Rad	TA=-81,31+6,96Rad	21,70	0,5	494,37	496,47	14,76	0,85	-	-	-
Rad ²	TA=-369,31+39,96Rad-0,92Rad ²	19,58	0,6	478,87	481,1	67,69	7,64	0,21	-	-
Rad ² DJ	TA=-376,41+40,99Rad-0,95Rad ² -0,011DJ	19,68	0,6	480,64	483,06	69,75	8	0,22	0,02	-
Tmin Rad	TA=-89,9+7,37Tmin+0,72Rad	17,27	0,7	458,75	460,98	11,81	1,08	1,14	-	-
Tmed Rad	TA=-197,09+10,82Tmed+0,2Rad	18,53	0,6	470,07	472,3	24,62	1,98	1,43	-	-
Tmin Rad ²	TA=-238,08+6,23Tmin+18,82Rad-0,48Rad ²	16,76	0,7	454,91	457,33	62,82	1,15	7,62	0,2	-
Tmed Rad ²	TA=-367,91+8,74Tmed+23,61Rad-0,62Rad ²	17,61	0,7	462,9	465,31	60,89	2	7,83	0,2	-
Tmin ² Rad	TA=-46,2+1,64Tmin+0,19Tmin ² +0,534Rad	17,32	0,7	460,18	462,59	60,3	7,83	0,26	1,17	-
Tmed ² Rad	TA=-161,42+7,45Tmed+0,08Tmed ² +0,088Rad	18,65	0,6	472,04	474,46	232	21,86	0,54	1,61	-
Tmin ² Rad ²	TA=-172,27-8,54Tmin+0,49Tmin ² +23,746Rad-0,62Rad ²	16,51	0,7	453,48	456,14	71,77	8,23	0,27	7,99	0,21
Tmed ² Rad ²	TA=187,69-54,34Tmed+1,52Tmed ² +35,252Rad-0,98Rad ²	17,03	0,7	458,44	461,1	228,96	25,2	0,61	8,87	0,24

TA= Taxa média de acúmulo; Tmin= temperatura mínima; Tmed= temperatura média; Dj= dia Juliano; Rad= radiação global incidente.

Entre os critérios estáticos utilizados, o AIC foi consistentemente melhor para a detecção de diferença entre os modelos, sendo então adotado como referencia para a identificação dos modelos de melhor capacidade preditiva.

Dentre os parâmetros climáticos avaliados como variável independente nos modelos, a Tmin apresentou a melhor capacidade estimadora de forma mais constante, aparecendo como variável presente no modelo de melhor capacidade estimadora mais freqüentemente (62,3% das vezes), seguida de Rad (56,3%) e DJ (43,7%), (Tabela 19).

Tabela 19 - Modelo de menor valor de AIC, valor de AIC para o modelo em questão, e valor de AIC para o modelo de temperatura mínima

<i>Regressão</i>	<i>Modelo de menor AIC</i>	<i>AIC do modelo</i>	<i>AIC para o modelo de Tmin</i>
Geral	Rad ² DJ	9663,2	9706,0
Arapoty	Tmin ² Rad ²	455,2	456,9
Atlas	Tmed ² Rad ²	307,2	325,3
Capiporã	Tmin ² DJ	422,2	433,8
Coastcross	Tmin	1111,8	1111,8
Estrela	Tmin ² DJ	1116,5	1123,8
Florico	Tmin ² DJ	1165,8	1167,2
Florona	Tmin ² DJ	1116,7	1126,3
Basilisk	Tmin ² DJ	222,8	226,0
Marandu	Tmin Rad ²	486,0	489,0
Massai	Rad ²	354,7	374,4
Mombaça	Tmed ² Rad ²	333,7	354,1
Tanzânia	Rad	205,3	208,3
Tifton 85	Tmin ² Rad	1108,9	1150,2
Tobiatã	Tmed ² Rad ²	248,5	261,9
Xaraés	Tmin ² DJ	439,8	457,2

Em função da maior representatividade da Tmin nos modelos (Tabela 20 e Figura 4) e da alta correlação existente entre as diversas variáveis climáticas, optou-se por desenvolver modelos simples cuja variável independente é a Tmin.

Tabela 20 - Valores de raiz do quadrado médio do resíduo (RQME) e a diferença entre o modelo de menor erro e os demais (Variação)

Cultivar	Tmed	Tmin	Rad
Arapoty	19,17 (3,8%)	18,47 (0%)	22,26 (20,5%)
Atlas	17,98 (0,2%)	17,94 (0%)	19,33 (7,8%)
Capiporã	21,37 (6,5%)	20,06 (0%)	24,57 (22,5%)
Coastcross	19,96 (4,3%)	19,14 (0%)	21,15 (10,5%)
Estrela	21,43 (8,4%)	19,76 (0%)	22,91 (15,9%)
Florico	23,27 (4,9%)	22,18 (0%)	24,54 (10,7%)
Florona	20,23 (1,7%)	19,89 (0%)	21,17 (6,4%)
Basilisk	14,55 (14,1%)	12,75 (0%)	20,11 (57,6%)
Marandú	22,75 (4,3%)	21,81 (0%)	23,99 (10%)
Massai	27,20 (0%)	27,80 (2,2%)	27,62 (1,5%)
Mombaça	21,63 (0%)	23,20 (7,3%)	23,44 (8,4%)
Tanzânia	22,69 (4,1%)	22,81 (4,7%)	21,80 (0%)
Tifton 85	21,84 (3%)	21,20 (0%)	21,57 (1,8%)
Tobiatã	17,82 (1,3%)	19,18 (9%)	17,60 (0%)

Figura 4 - Incremento do erro padrão da regressão em relação ao modelo de melhor ajuste em função da variável independente adotada

A melhor capacidade preditiva da temperatura mínima, foi reportada por Pedro Jr. et. al (1990), estudando 25 espécies de gramíneas forrageiras e algumas de leguminosas, na tentativa de gerar um mapa de aptidão das principais espécies forrageiras para o estado de São Paulo, e também foi usada para o zoneamento climático de culturas forrageiras de clima tropical e subtropical (Rio Grande do Sul, 1975). Boote; Mínguez; Sal (2002) trabalhando com um modelo mecanicista, CROPGRO, apesar de atribuírem menor importância à temperatura mínima na determinação do desenvolvimento das plantas incluíram um efeito adicional das temperaturas mínimas noturnas em seu modelo.

A possível causa para a temperatura mínima apresentar maior poder explicativo para o acúmulo de forragem do que a temperatura média está provavelmente ligada ao fato de a temperatura mínima apresentar maior variação estacional (Tabela 21). Isso ocorre provavelmente em função de os dias com menores temperaturas mínimas apresentarem a maior insolação (tempo de exposição à radiação solar), assim como citado por Cordeiro et al. (2006), o que ocorre pois os dias de maior insolação se caracterizam em geral, por noites antecedentes e subseqüentes de céu limpo, em que a radiação de ondas longas para a atmosfera é intensificada, o que permite maior perda de temperatura da superfície do solo para a atmosfera, diminuindo mais a temperatura do ar (VIANELLO e ALVES, 1991). Segundo Cordeiro et al. (2006) isso ocorreu em todas as estações meteorológicas observadas em seu estudo.

Tabela 21 - Valores máximos e mínimos da temperatura média (Tmed) e temperatura mínima (Tmin) ao longo do ano para os diferentes experimentos

Experimento	maior Tmed	menor Tmed	maior Tmed /menor Tmed	maior Tmin	menor Tmin	maior Tmin /menor Tmin
Cynodon ano 1	24,28	16,97	1,43	20,57	10,71	1,92
Cynodon ano 2	24,39	16,95	1,44	19,76	10,33	1,91
Brachiaria ano 1	23,81	19,47	1,22	19,06	12,88	1,48
Brachiaria ano 2	25,12	19,68	1,28	18,81	12,26	1,53
Panicum ano 2	23,82	18,9	1,26	19,64	11,3	1,74

O efeito da temperatura no crescimento de gramíneas tem sido estudado em diversos trabalhos como os de Peacock (1975 a, b, c) que trabalhando com azevém perene (*Lolium perene* L.) para identificar o efeito da temperatura no crescimento de folhas tanto em condições de campo como em condições controladas (câmaras de crescimento) concluiu que as taxas de expansão foliar nessa espécie foram fortemente correlacionadas com a temperatura na região do meristema apical, mas foram sobrepostas por outros aspectos ligados à estacionalidade, pois em temperaturas similares na primavera e no outono as folhas apresentaram uma mesma taxa de aparecimento, mas diferentes taxas de expansão foliar. Isso provavelmente está relacionado ao fato de na primavera essas plantas estarem em fase reprodutiva e no outono estarem em fase vegetativa. Um padrão de resposta muito semelhante a este foi obtido com quatro espécies de gramíneas de clima temperado, azevém perene, azevém anual (*Lolium multiflorum* L.), festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) e Timothy Grass (*Phleum pratense* L.), por Peacock (1976).

Swanton et al. (2000) trabalhando com modelagem de crescimento de *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., uma gramínea de ciclo fotossintético C4 com importância como planta invasora em cultura de soja, algodão, milho e trigo nos EUA, demonstraram que a temperatura é um parâmetro importante no desenvolvimento dessas plantas principalmente na fase juvenil (da semeadura até a emergência da primeira folha), estágio após o qual, além da temperatura, o fotoperíodo passa a ser um fator de grande influência. Os autores também enfatizaram a importância de se considerar a fase fonológica em que a planta se encontra para entender a influência das diferentes variáveis climáticas em seu crescimento.

Ainda partindo do preceito que temperatura é a principal variável climática a afetar o crescimento das gramíneas, Ivory e Whiteman (1978) estudaram o efeito das temperaturas diurnas e noturnas em capim Buffel (*Cenchrus ciliaris*), capim de Rhodes (*Chloris gayana*), Green panic (*Panicum maximum* var. *trichoglume*), Kikuiu (*Panicum coloratum* var. *makarikariense*) e capim Makarikari (*Pennisetum clandestinum*). Para tanto combinaram temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C noturnas e diurnas no primeiro experimento e 15, 25, 30 e 35°C no segundo, e concluíram que a temperatura noturna afetou a taxa de crescimento e a taxa de assimilação líquida independentemente da

temperatura diurna, suportando as evidências dos trabalhos de Ludlow e Wilson (1971 a, b) e Pasternak e Wilson (1972) que sugeriram que baixas temperaturas noturnas causam redução na taxa fotossintética das plantas no dia seguinte, mas de forma geral a temperatura diurna tem um maior efeito sobre as plantas do que temperaturas noturnas. Segundo Ivory e Whiteman (1978) o desenvolvimento de folhas em todas as espécies foi sensivelmente restrito em temperaturas ao redor de 10 a 15°C, e apresentaram temperaturas ótimas para desenvolvimento variando entre 29 a mais de 40°C durante o dia, e de 26 a mais de 40°C à noite.

Assim como no presente estudo, diversos outros trabalhos geraram modelos de crescimento de gramíneas a partir de uma única variável climática como temperatura, fotoperíodo e radiação solar, e um número menor com uso combinado de mais de uma variável, provavelmente em decorrência da alta correlação normalmente existente entre elas. Dentre esses diversos modelos, os baseados em temperatura têm sido preferidos, em função de sua boa capacidade de estimação, assim como os baseados em radiação e contrariamente aos baseados exclusivamente em fotoperíodo, e de sua facilidade de uso, decorrente principalmente da maior simplicidade de medição e do maior número de estações meteorológicas aferindo a temperatura quando comparada com a radiação.

Dentre os modelos existentes os de uso mais amplo provavelmente sejam os que se baseiam no conceito de soma térmica, os chamados graus-dia (GD) (MC MASTER e WILHELM, 1997; TOLLENAAR et al., 1979). Esses modelos assumem uma relação linear entre o acréscimo de temperatura do ar e a taxa de crescimento da cultura (YAN e HUNT, 1999; YIN et al., 1995; SLAFER e SAVIN, 1991; PEDRO Jr, et al., 2004) e ou duração do ciclo fenológico (WARINGTON e KANEMASU, 1983; INFELD e SILVA, 1987), acima e abaixo de temperaturas limite denominadas temperaturas base (TB). Conceitualmente esses limites de temperatura determinam valores abaixo e acima dos quais o crescimento (MC WILLIAM, 1978) e desenvolvimento fenológicos (PRELA e RIBEIRO, 2002) das plantas é nulo ou muito reduzido, sendo que essas TBs são variáveis em função da espécie e cultivar (ALCÂNTARA et al., 1989), fase fenológica (CAMARGO; BRUNINI; MIRANDA, 1987; SOUZA, 1990) ou para cada processo fisiológico da planta (GRAMIG e STOLTENBERG, 2007). Cada grau Celsius de temperatura, acima da TB específica

para aquela cultivar, naquela fase, naquele dia, corresponde a um grau-dia (WANG, 1960).

Assim sendo, tanto a assunção da linearidade entre a temperatura e o crescimento ou desenvolvimento fenológico das plantas, quanto à necessidade de valores de TB tão precisos, se configuram em pontos fracos dos modelos de GD, pois tornam necessárias informações a respeito do crescimento e desenvolvimento das plantas de alguns parâmetros fisiológicos que nem sempre, ou raramente estão disponíveis para a espécie ou para os cultivares da espécie, gerando erros nas estimativas que podem comprometer seu uso.

A existência de outras temperaturas ou faixas de temperatura de referência citadas por Roberts e Summerfield (1987), como a temperatura ótima (TO, ponto de máxima taxa de crescimento da cultura), temperatura sub-ótima (intervalo de temperatura entre TB inferior (T_{Bi}) e TO), e temperatura supra-ótima (faixa entre TO e TB superior (T_{Bs})), já indicam o erro decorrente de se assumir linearidade entre crescimento das plantas e o acúmulo de temperatura (KINIRY e KEENER 1982), pois não apenas isso varia em função da fase do ciclo fenológico em que a planta se encontra, mas também com taxas de crescimento diferentes em cada faixa de temperatura, só sendo realmente efetivo, quando a temperatura é próxima da TO (SUMMERFIELD e ROBERTS, 1987) o que não ocorre em condições naturais (SHAYKEWICH, 1995).

A segunda limitação do uso de modelos de GD decorre do fato de geralmente, por praticidade ou desconhecimento de valores específicos para cada fase fenológica, se adotar um valor único de T_{Bi} (COSTA et al., 2005). Todavia, em função da T_{Bi} se configurar em uma característica fisiológica intrínseca a cada espécie ou cultivar (MONTEITH, 1984), parece ilógico que um único valor, determinado para um único processo possa ser considerado como válido para diferentes genótipos, mesmo que de mesma espécie.

Esse questionamento se justifica, pois diversos trabalhos têm relatado a existência de variações na T_{Bi} em função da espécie, do cultivar e mesmo do estágio de desenvolvimento (fase fenológica) da cultura (WANG, 1960; ALCÂNTARA et al., 1989; SEEFELDT; KIDWELL; WALLER, 2002). Os resultados obtidos por Cross e

Zuber (1972), Hesketh e Warrington (1989) e Ellis et al. (1992) com milho (*Zea mays*), Unruh; Gaussoin; Wiest (1996), com oito gramíneas tropicais, Liu; Kingston; Bull (1998) com cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.), Seefeldt; Kidwell; Waller (2002) com trigo (*Triticum aestivum* L.) e Yan e Wallace (1998) com aveia (*Avena* spp.), trigo milho e ervilha (*Pisum sativum* L.), Shaykewich (1995) com trigo e cevada (*Hordeum vulgare*), Abreu e Campbell (1997) e Pedro Jr. et al. (2004) com triticales (*X Triticosecale Wittm.*) evidenciaram essas diferenças.

Parece clara, portanto, a necessidade de se conhecer com exatidão a TBi para as diferentes espécies quando se visa trabalhar com modelos em que a soma térmica é uma das variáveis de entrada, mas a correta determinação desses valores, é difícil e muito trabalhosa (UNRUH; GAUSSOIN; WIEST, 1996), pois apesar de a TBi poder ser determinada utilizando-se diferentes métodos, como o baseado na menor variabilidade proposto por Arnold (1959), ou os baseados na combinação do crescimento relativo e na regressão linear (BRUNINI et al., 1976; GBUR et al., 1979) ou ainda, apenas com base na regressão linear (PEDRO JR., 1990), todos eles exigem a coleta de dados por um longo período, para um grande número de genótipos, com acompanhamento rigoroso de seu desenvolvimento fenológico.

Alguns outros trabalhos como de Mota et al. (1981), Mota (1990), Pedro Jr. (1995) e Santos et al. (2008), provavelmente pela dificuldade em separar os efeitos das diferentes variáveis climáticas na determinação do crescimento das plantas forrageiras, tentaram gerar modelos de crescimento dessas plantas com base no conceito estabelecido por Fitzpatrick e Nick (1970), denominado como Índice Climático de Crescimento. Esse índice considera em seu cálculo a radiação solar global, a temperatura média do ar e a umidade do solo, essa última através da elaboração de um balanço hídrico seqüencial como de Thornthwaite e Mather (1955) para determinar a capacidade de água disponível no solo, e necessita que sejam dados valores de referencia para TO, TBi e TBs, o que faz com que existam nesses modelos boa parte das inconsistências presentes nos modelos de GD, apenas um pouco atenuadas pela menor importância da temperatura na determinação desse índice.

Apesar de muitos estudos já terem sido realizados com intuito de determinar quais variáveis climáticas são mais importantes para o crescimento e desenvolvimento

das plantas forrageiras, essa ainda é uma questão sem uma resposta conclusiva, pois diferentes trabalhos apresentam diferentes resultados, Burton et al. (1988) avaliando o efeito de temperatura, comprimento do dia (fotoperíodo) e radiação solar na produção de capim-bermuda cv.Coastal (*Cynodon dactylon* L. Pers.) irrigado e não irrigado, por um período de três anos consecutivos obtiveram uma alta correlação entre a produção e o comprimento do dia ($r = 0,95$) e a radiação solar ($r = 0,93$), apesar da impossibilidade de separar essas duas variáveis no banco de dados, e de ter havido uma relação apenas moderada entre a produção e a temperatura ($r = 0,46$) ou produção e soma calórica ($r = 0,37$), também conhecido como Graus-dia.

Marousky et al. (1992) tentaram separar o efeito de comprimento do dia da radiação solar em um estudo também com 10 cultivares de grama bermuda, mas de uso para gramados (turfgrass). Para tanto, os autores simularam os dias longos com as mesmas 9 horas de luz natural diurna, mais 4 horas de luz artificial no período noturno com lâmpadas incandescentes. Segundo os autores as plantas submetidas a regimes estendidos de luz apresentaram maior comprimento da lâmina foliar, mas sem nenhuma mudança na massa das plantas ou no número de estolões, concluindo que o comprimento do dia não é uma variável tão determinante para o desenvolvimento dessas plantas. Apesar de inconsistente com o obtido por Burton et al.(1988), isso foi justificado por Marousky et al. (1992) como diferenças inerentes a cada cultivar, apesar de isso ser pouco elucidativo.

Sinclair et al, (2003) em um experimento com capim Pensacola, mais as bermudas Florakirk e Tifton 85, e grama estrela Florona, prolongaram a luminosidade natural para 15 horas usando lâmpadas halogenas durante os meses de menor fotoperíodo. O uso das lâmpadas teve como vantagem o fato de não contribuir significativamente no total de energia radiante recebida pelas plantas, já que a radiação proveniente das lâmpadas era inferior a 2% da do sol. Os resultados desse estudo mostram que a produção das quatro espécies foi aumentada com o comprimento do dia prolongado, chegando a ser até seis vezes superior à das plantas em fotoperíodo normal em um dos cortes, mas mesmo assim foram inferiores às produções obtidas em cortes realizados durante os meses de verão em que tanto temperatura como fotoperíodo são maiores. Outro fato enfatizado pelos autores foi o de que o acúmulo de

biomassa abaixo do solo (raízes e estolões) não foi diferente entre os tratamentos, e a quantidade de carboidratos não estruturais sofreu decréscimos nos dois tratamentos com o passar do tempo, sugerindo a existência de um processo de dormência dessas espécies tropicais no outono-inverno (períodos de dias curtos), processo esse regulado apenas parcialmente pelo fotoperíodo, mas com participação das outras variáveis climáticas.

4.3 Modelos gerados

Conforme apresentado anteriormente nas análises exploratórias, a temperatura mínima (Tmin) foi a variável climática escolhida como variável independente para geração dos modelos. Com base nela foram gerados primeiramente modelos para cada um dos três gêneros, agregando todos os cultivares pertencentes a um mesmo gênero em cada regressão. Esses modelos foram então testados quanto à coincidência (semelhança entre si), revelando-se altamente significativos ($P = 0,0001$) na comparação entre os gêneros, o que indica a pertinência de se ter modelos diferentes para cada um dos gêneros.

Em função dessa diferenciação entre os gêneros foram feitas novas regressões, desta vez para cada cultivar dentro de gênero. O teste de coincidência desses modelos revelou semelhanças entre diversos cultivares conforme (Tabelas 22, 23, 24), possibilitando o agrupamento do gênero *Cynodon* em dois grupos diferentes, do gênero *Panicum* também em dois diferentes grupos e *Brachiaria* em dois grupos distintos (Tabela 25).

Tabela 22 - Valores estimados de intercepto (INT) e coeficiente angular (CA), e resultados dos testes de coincidência para plantas do gênero *Cynodon*

Cultivar (a)	Cultivar (b)	INT(a)	INT(b)	CA(a)	CA(b)	valor de P	Resultado
Florico	Florona	-76,25	-64,65	8,42	7,51	0,2087	semelhante
Coastcross	Florico	-68,52	-76,25	7,77	8,42	0,4116	semelhante
Coastcross	Florona	-68,52	-64,65	7,77	7,51	0,8113	semelhante
Estrela	Tifton 85	-84,20	-90,77	8,71	9,26	0,5284	semelhante
Coastcross	Tifton 85	-68,52	-90,77	7,77	9,26	0,0011	diferente
Coastcross	Estrela	-68,52	-84,20	7,77	8,71	0,0061	diferente
Estrela	Florico	-84,20	-76,25	8,71	8,42	0,0088	diferente
Estrela	Florona	-84,20	-64,65	8,71	7,51	0,0007	diferente
Florico	Tifton 85	-76,25	-90,77	8,42	9,26	0,0071	diferente
Florona	Tifton 85	-64,65	-90,77	7,51	9,26	0,0001	diferente

Tabela 23 - Valores estimados de intercepto (INT) e coeficiente angular (CA), e resultados dos testes de coincidência para plantas do gênero *Brachiaria*

Cultivar (a)	Cultivar (b)	INT(a)	INT(b)	CA(a)	CA(b)	valor de P	resultado
Arapoty	Basilisk	-77,54	-73,21	7,83	7,35	0,5447	semelhante
Arapoty	Xaraés	-77,54	-97,23	7,83	9,14	0,3523	semelhante
Capiporã	Xaraés	-118,26	-97,23	10,82	9,14	0,0370	semelhante
Basilisk	Marandu	-73,21	-73,83	7,35	7,22	0,6575	semelhante
Basilisk	Xaraés	-73,21	-97,23	7,35	9,14	0,1305	semelhante
Arapoty	Capiporã	-77,54	-118,26	7,83	10,82	0,0012	diferente
Arapoty	Marandu	-77,54	-73,83	7,83	7,22	0,0453	diferente
Capiporã	Basilisk	-118,26	-73,21	10,82	7,35	0,0002	diferente
Capiporã	Marandu	-118,26	-73,83	10,82	7,22	0,0001	diferente
Marandu	Xaraés	-73,83	-97,23	7,22	9,14	0,0073	diferente

Tabela 24 - Valores estimados de intercepto (INT) e coeficiente angular (CA), e resultados dos testes de coincidência para plantas do gênero *Panicum*

Cultivar (a)	Cultivar (b)	INT(a)	INT(b)	CA(a)	CA(b)	valor de P	resultado
Atlas	Mombaça	-30,51	-79,94	4,14	8,57	0,1182	semelhante
Tanzânia	Tobiatã	-21,98	-34,52	5,40	-34,52	0,5547	semelhante
Atlas	Tanzânia	-30,51	-21,98	4,14	5,40	0,0391	diferente
Atlas	Tobiatã	-30,51	-34,52	4,14	-34,52	0,0147	diferente
Mombaça	Tanzânia	-79,94	-21,98	8,57	5,40	0,0338	diferente
Mombaça	Tobiatã	-79,94	-34,52	8,57	-34,52	0,0251	diferente

Tabela 25 - Agrupamento dos diferentes cultivares dentro de cada gênero

Gênero	Grupo	Cultivares
Cynodon	C1	Tifton 85 e Estrela
	C2	Coastcross, Florico e Florona
Brachiaria	B1	Marandu, Basilisk e Arapoty
	B2	Capiporã e Xaraés
Panicum	P1	Atlas e Mombaça
	P2	Tanzânia e Tobiatã

Para o efetivo agrupamento dos cultivares foram desenvolvidas novas regressões combinando os dados dos diferentes cultivares pertencentes a cada grupo, de forma a gerar uma regressão única para o grupo, conforme apresentado na Tabela (26).

Tabela 26 - Intercepto e coeficiente angular, com respectivos erros padrão, e equações de regressão para os diferentes agrupamentos de cultivares

Grupo	intercepto		coeficiente angular		equação
	valor	erro padrão	valor	erro padrão	
B1	-94,92	8,97	8,19	0,59	TA=-94,92+8,19Tmin
B2	-128,07	10,32	10,66	0,68	TA=-128,07+10,66Tmin
C1	-84,69	3,52	9,06	0,27	TA=-84,69+9,06Tmin
C2	-67,01	2,87	7,97	0,22	TA=-67,01+7,97Tmin
P1	-55,22	8,65	6,36	0,60	TA=-55,22+6,36Tmin
P2	-29,15	11,51	5,93	0,78	TA=-29,15+5,93Tmin

Por meio dessas regressões e com base nos dados climáticos obtidos em cada experimento usado para geração do banco de dados, foram calculadas as produtividades potenciais para os diferentes grupos de plantas em cada local, e comparados com os dados efetivamente observados nos experimentos(Figuras 05 a 10).

Figura 5 - Produtividade média observada e estimada pelo modelo para plantas do grupo B1

Figura 6 - Produtividade média observada e estimada pelo modelo para plantas do grupo B2

Figura 7 - Produtividade média observada e estimada pelo modelo para plantas do grupo C1

Figura 8 - Produtividade média observada e estimada pelo modelo para plantas do grupo C2

Figura 9 - Produtividade média observada e estimada pelo modelo para plantas do grupo P1

Figura 10 - Produtividade média observada e estimada pelo modelo para plantas do grupo P2

Dentre os modelos os dois desenvolvidos para o gênero *Cynodon* apresentaram os melhores ajustes, provavelmente em função do fato de os dois anos de experimento terem sido realizados em um mesmo local, gerando menor variabilidade nos dados. De qualquer forma, os ajustes podem ser considerados bons para modelos lineares, com coeficiente de determinação (R^2) na faixa de 60 a 70% para ambas as regressões, valores bastante semelhantes aos reportados por Burton et al. (1988) para os melhores modelos desenvolvidos para estimar crescimento de Coastal.

Os dois modelos desenvolvidos para o gênero *Brachiaria* apresentaram ajustes inferiores ao dos *Cynodons*, mas que podem ser considerados ao menos razoáveis com R^2 ao redor de 55 a 60%. As limitações desses modelos possivelmente estão ligadas às características intrínsecas ao conjunto de dados, tais como o fato de os dados terem sido gerados em dois experimentos realizados em locais diferentes, e manejados a alturas de corte e intervalos também distintos, tanto entre os experimentos como entre as diferentes épocas do ano dentro do próprio experimento, assim como pode ser visto em (RODRIGUES, 2004 e LARA, 2007), o que faz com que a variabilidade aumente.

Para o gênero *Panicum* os modelos apresentaram um ajuste pobre, com R^2 inferior a 40%, o que faz com que sua aplicação deva ser feita de forma bastante cautelosa. Conceitualmente diversas causas se combinaram para que isso tenha ocorrido, como o número restrito de dados, advindos de um único experimento em um único ano e local, e principalmente estratégias de manejo (intervalos e altura de corte) diferentes nas diversas épocas do ano (MORENO, 2004), gerando confundimento sobre quais variáveis, as climáticas ou de manejo realmente estão atuando na determinação das respostas produtivas das plantas. Os valores de R^2 obtidos para os *Panicums* é um pouco inferior aos dos piores modelos desenvolvidos por Burton et al. (1988) para plantas do gênero *Cynodon*.

4.4 Exercício de calibração do modelo para dados locais

Inicialmente se realizou a estimativa de acúmulo de forragem com o modelo original para *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk (grupo B1, $TA = -94,92 + 8,19T_{min}$), com base nas temperaturas mínimas médias do local de coleta de dados. Em seguida foram calculados os desvios das estimativas obtidas com o modelo original dos valores

efetivamente observado na propriedade para verificar o ajuste do modelo às condições locais, e calculada a soma de quadrados para esses desvios (Tabela 27).

Tabela 27 - Temperatura mínima média (Tmin), taxa média de acúmulo de forragem observada, taxa média de acúmulo de forragem estimada pelo modelo original (TMA-O), taxa média de acúmulo de forragem estimada pelo modelo com calibração (TMA-C), soma de quadrado do modelo original (SQ-O) e soma de quadrado do modelo calibrado (SQ-C) para pastos de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em uma propriedade em Cristalina – GO nos anos de 2005 e 2006

Mês	Tmin	TMA observada	TMA-O	TMA-C	SQ-O	SQ-C
	°C	kg MS/ ha/dia			kg MS/ ha/dia ²	
Set	16,50	30,35	40,10	31,29	9,75	0,93
Out	17,93	34,40	51,81	40,42	17,41	6,01
Nov	18,09	41,90	53,13	41,44	11,22	-0,46
Dez	17,63	39,62	49,38	38,52	9,76	-1,10
Jan	17,44	39,42	47,85	37,32	8,43	-2,09
Fev	18,48	39,21	56,36	43,97	17,15	4,76
Mar	18,33	45,54	55,11	42,99	9,57	-2,55
Abr	17,54	44,07	48,65	37,95	4,58	-6,12
Mai	14,71	36,80	25,44	19,85	-	-
Jun	12,97	29,53	11,25	8,77	-	-
Jul	13,35	22,26	14,29	11,15	-	-
Ago	15,57	26,31	32,55	25,39	-	-

Apenas oito meses foram usados para esses cálculos, pois o período de maio a agosto de 2006 (4 meses) foi desconsiderado já que o fator de restrição hídrica (FH), relação entre evapotranspiração real (ETR) e evapotranspiração máxima (ETM) obtido pelo balanço hídrico seguindo a metodologia proposta por (THORNTHWAITE e MATHER, 1955) para esse período era inferior a 0,5; demonstrando ter havido déficit de água nesses meses (Tabela 28 e Figura 11), o que não pode ser contemplado pelo modelo.

Tabela 28 - Valores de precipitação, evapotranspiração real (ETR), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração máxima (ETM) e fator de restrição hídrica (FH) calculados segundo balanço hídrico de (Thornthwaite e Mather, 1955) para a cidade de Cristalina – GO nos anos de 2005 e 2006

Mês	Precipitação	ETR	ETP	ETM	FH
----- mm -----					
Novembro	303,6	88,6	88,64	79,8	100%
Dezembro	292,5	85,4	85,37	76,8	100%
Janeiro	174,0	91,4	91,40	109,7	100%
Fevereiro	123,5	84,6	84,64	101,6	100%
Março	220,5	82,6	82,61	99,1	100%
Abril	176,0	76,4	76,43	68,8	100%
Maio	9,5	26,8	67,59	60,8	88%
Junho	3,5	4,2	54,32	48,9	17%
Julho	2,0	2,0	64,39	38,6	11%
Agosto	5,0	5,0	90,57	54,3	18%
Setembro	65,5	65,5	94,83	56,9	100%
Outubro	300,0	91,0	91,05	81,9	100%

Figura 11 - Balanço hídrico mensal (THORNTHWAIT e MATHER, 1955) no decorrer do período experimental, novembro de 2005 a outubro de 2006 em Cristalina-GO

Com base no valor inicial de soma de quadrado dos desvios entre os dados preditos e observados, ajustou-se o coeficiente angular do modelo de forma a minimizar a soma de quadrado dos resíduos, obtendo um novo valor de coeficiente angular (6,39). O novo valor de coeficiente angular foi então usado para calcular um novo valor de intercepto, assumindo que o valor de TBi é uma constante para o cultivar, obtendo um valor de -74,124. Com isso, o modelo calibrado para a propriedade em questão seria $TA = -74,124 + 6,39T_{min}$.

As figuras 12, 13 e 14 mostram com o modelo antes da calibração superestimava os valores em aproximadamente 27%, e como o modelo calibrado melhorou a capacidade estimadora.

Fi

Figura 12 - Relação entre o ajuste ideal da taxa média de acúmulo (TMA) estimada e a observada para o modelo sem calibração

Figura 13 - Relação entre o ajuste ideal da taxa média de acúmulo (TMA) estimada e a observada para o modelo com calibração

Teoricamente, a calibração do modelo em períodos sem restrição hídrica em um determinado ano pode aumentar a acurácia na estimação da produtividade potencial em um ano com dados climáticos normais, na simulação do risco de produção potencial a partir de uma série histórica de dados climáticos ou na estimação do potencial de resposta à irrigação em uma determinada região, como apresentado na Figura 14

Figura 14 - Relação entre a taxa média de acúmulo (TMA) estimada pelo modelo sem calibração, com calibração e os valores efetivamente observados

5 CONCLUSÕES

Os modelos de forma geral se mostraram eficientes para estimar o acúmulo de forragem potencial com base na temperatura mínima, mas com capacidade estimadora diferente para cada cultivar, em função das características do conjunto de dados usado no desenvolvimento dos modelos.

Apesar de o banco de dados usado para o desenvolvimento desses modelos ser provavelmente o maior banco de dados desenvolvido especificamente com essa finalidade no Brasil até hoje, a aplicação prática dos modelos ainda é restrita em função das limitações do conjunto de dados, particularmente da pequena abrangência geográfica dos dados analisados e pela ausência de efeitos de fertilidade do solo e déficit hídrico. A calibração do modelo à condições específicas, como a exemplificada nesse trabalho, aliando a calibração da temperatura base para os dados experimentais e o coeficiente angular para dados observados em fazenda pode, entretanto, facilitar sua aplicação.

A estrutura desenvolvida para o banco de dados permite que dados de novos experimentos sejam inseridos e a modelagem refeita, ampliando a capacidade de atuação do modelo.

É imprescindível que novos conjuntos de dados, seja para os cultivares e espécies já contemplados, seja para outros cultivares e espécies não incluídos nesse estudo, sejam gerados e inseridos no banco de dados possibilitando o aumento da acurácia dos modelos tanto para estimativas referentes a diferentes locais, como em relação à diferentes condições climáticas.

O desenvolvimento de ferramentas de apoio à tomada de decisão como essa são cada vez mais importantes pois possibilitam o planejamento das atividades no campo, minimizando seus riscos, devendo ter seus usos ampliados nos diferentes aspectos ligados ao setor agropecuário como planejamento e desenvolvimento de projetos, análises de risco para produção ou liberação de financiamentos, assim como já ocorre em grande parte dos países com agropecuária desenvolvida.

REFERENCIAS

ABREU, J. P. M.; CAMPBELL, G. S. Spring wheat development under mediterranean conditions: 1, Prediction of anthesis and maturity. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.20, n.2, p.17-32, 1997.

ACOCK, B.; TRENT, A. **The soybean crop simulator, GLYCIM: documentation for the modular version 9.1**. Moscow: University of Idaho, Department of Plant, Soil and Entomological Sciences, 1991. 242p.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL – AFRC. **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, Brookline, v.19, n.6, p.716-723, 1974.

ALCANTARA, P. B.; PEDRO, J. R.; DONZELLI, P. L. Zoneamento edafoclimático de plantas forrageiras. In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R. A. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 2., 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP-UNESP, 1989. p.1-16.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANDERSON; J. R.; DILLAN, J. L.; HARDAKER, R. **Agricultural Decision Analysis**. Ames: Iowa Sate University Press, 1977. 344p.

ANDRADE, R. P. Tecnologia de produção de sementes do gênero *Brachiaria*. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Ed.) In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM – MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.49-71.

ARNOLD, C.Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v.74, p.430-445, 1959.

ARONOVICH, S.O capim colônia e outros cultivares de *Panicum maximum* (Jacq.): Introdução e evolução do uso no Brasil. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM – O CAPIM COLÔNIA, 12., 1995. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995, p.1-20.

BARCELLOS, A.O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos cerrados. In: PEREIRA, R. C. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8., 1996, Planaltina. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1996. p.130-136.

BARCELLOS, A.O.; VILELA, L.; LUPINACCI, A.V. Produção animal a pasto: desafios e oportunidades. In: ENCONTRO NACIONAL DO BOI VERDE: A PECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 3., 2001, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sindicato Rural de Uberlândia, 2001(a). p.29-64.

BARCELLOS, A.O.; VILELA, L.; LUPINACCI, A.V. Desafios da pecuária de corte a pasto na região do cerrado, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001(b). 40p. (EMBRAPA Cerrados. Documentos, 31).

BARIONI, L.G. **Modelagem dinâmica e otimização metaheurística para apoio à tomada de decisões na recria e engorda de bovinos de corte.** 2002. 100p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BARIONI, L.G.; MARTHA JÚNIOR, G.B. **Método para Estimar o Tamponamento Nutricional para Vacas de Corte em Sistemas Pastorais.** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2003. 4p. (EMBRAPA Cerrados. Comunicado Técnico, 100).

BARIONI, L.G.; MARTHA JUNIOR, G.B.; RAMOS, A.K.B.; VELOSO, R.F.; RODRIGUES, D.C.; VILELA, L. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; Da SILVA, S. C.; FARIA, V.P. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2003. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p.105-153.

BARIONI, L.G.; FERREIRA, A.C.; RAMOS, A. K.B.; MARTHA JUNIOR, G.B.; SILVA, F. A.M.; LUCENA, D.A.C. Planejamento alimentar e ajustes de taxa de lotação em fazendas de pecuária de corte. In: SIMPÓSIO SOBRE DESAFIOS E NOVAS TECNOLOGIAS NA BOVINOCULTURA DE CORTE, 2006. Brasília. **Anais...** Brasília: UPIS, 2006. p.1-31.

BLACKIE, M.J.; DENT, J.B. **Information systems for agriculture.** London: Applied Science Publishers, 1979. 176 p.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N. B. Potential uses and limitations of crop model. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p.704-716, 1996.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.) **Agricultural systems modeling and simulation.** New York: Marcel Dekker, 1998. chap. 18 p.651-691.

BOOTE, K. J.; MÍNGUEZ, M.I.; SAL, F. Adapting the CROPGRO Legume Model to Simulate Growth of Faba Bean. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.743-756, 2002.

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

BRUNINI, O.; LISBÃO, R.S.; BERNARDI, J.B.; FORNASIER, J.B.; PEDRO JÚNIOR, M. J. Temperatura-base para alface cultivar "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, Campinas, v.35, n.19, p.213-219, 1976.

BÜRGI, R.; PAGOTTO, D.S. Aspectos mercadológicos dos sistemas de produção animal em pastagens. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; PEDREIRA, C.G.S.; FARIA, V.P.de (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 19., 2002. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2002. p.217-231.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel Inference Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological Methods & Research**, Oxford, v.33, n.2, p.261-304, 2004.

BURTON, G.W.; HOOK, J.E.; BUTLER, J.L.; HELLWING, R.E. Effect of temperature, daylength and solar radiation on production of Coastal bermudagrass. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.557-560, 1988.

BUXTON, T.R.; FALES, S.L. Plant environment and quality, In: FAHEY Jr., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.155-199.

CACHO, O.J. A practical equation for pasture growth under grazing. **Grass and Forage Science**, Oxford, v.48, n. 4, p.387-394, 1993.

CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C. Temperatura-base para cálculo dos graus-dia para cultivares de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.115-121, 1987.

CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CARROLL, R. J.; RUPPERT, D. **Transformation and weighting in regression**. New York: Chapman and Hall, 1988. 249p.

CEZAR, I.M. Modelo bioeconômico de produção de bovinos de corte I, Descrição do modelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.6, p. 941-949, 1982.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION – CSIRO. **Feeding standards for Australian livestock, Ruminants**. Melbourne: CSIRO Publishing, 1990. 266p.

CONCEIÇÃO, M.A.F.; MARIN, F.R. Estimativa da radiação solar incidente com base na amplitude térmica diária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005. Campinas. **Resumos...** Campinas: UNICAMP, 2005. p.234-237.

CORDEIRO, A.P.A.; KLERING, E.V.; FONTANA, D.C.; BERLATO, M. A. Relação entre o rendimento da cultura do arroz irrigado e a insolação e temperatura mínima do ar nas regiões orizícolas do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis:UFSC, 2006. p.123-128.

CORSI, M. Manejo de plantas forrageiras do gênero *Panicum*. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM – PLANTAS FORRAGEIRAS DE PASTAGENS, 9., 1988. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. p.57-76.

CORSI, M.; MARTHA Jr.; G.B. Manejo de pastagens para a produção de carne e leite, In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. de (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM – MANEJO DE PASTAGENS DE TIFTON, COASTCROSS E ESTRELA, 15., 1998. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p.55-84.

COSTA, L.C., BARROS, A.H.C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n.1, p. 75-82, 2001.

COSTA, A.C.T.; GERALDO, J.; PEREIRA, M.B.; PIMENTEL, C. Unidades térmicas e produtividade em genótipos de milho semeados em duas épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1171-1177, 2005.

CROSS, H.Z.; ZUBER, M.S. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, p.351-355, 1972.

CURRY, R.B.; CHEN, H. Dynamic simulations of plant growth, Part II, Incorporation of actual daily weather data and portioning of net photosynthate. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.14, p.1170-1175, 1971.

DALLACORT, R.; FREITAS, P.S. L.; FARIAS, R.T.; GONÇALVES, A.C.A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A. Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 583-589, 2006.

Da SILVA, S.C. Potencial das pastagens de *Cynodon* na pecuária de corte. In: VILELA, D.; RESENDE, J. C.; LIMA, J. (Ed.) **Cynodon – forrageiras que estão revolucionando a pecuária brasileira**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. p.177-189.

Da SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem, In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 3., 1997. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1997. p.1-62.

DENT, J.B.; BLACKIE, M.J. **Systems simulation in agriculture**. London: Applied Science Publishers, 1979. 180p.

DETOMINI, E.R. **Modelagem da produtividade potencial de *Brachiaria brizantha* (variedades cultivadas marandu e xaraés)**. 2004. 112p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DIAS-FILHO, M.B. Colônia como planta pioneira. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM – O CAPIM COLÔNIA, 12., 1995. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.305-314.

DIAS, C.T. dos S. **Planejamento de uma fazenda em condições de risco: programação linear e simulação multidimensional**. 1996. 100p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

DOYLE, C.J. Application of systems theory to farm planning and control: modeling resource allocation. In: JONES, J.G.W.; STREET, P.R. (Ed.) **Systems theory applied to agriculture and food chain**. London: Elsevier Applied Sciences, 1990. p.89-112.

DOURADO NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J. A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: I, Uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, p.46-50, 1998a.

DOURADO NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J. A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: II, The implications of the objective in model development. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, p.51-57, 1998b.

DURU, M.; DUDROCQ, H.; FABRE, C.; FEUILLERAC, E. Modeling net herbage accumulation of an orchardgrass sward. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.1244-1256, 2002.

ELLIS, R.H.; SUMMERFIELD, R.J.; EDMEADES, G.O.; ROBERTS, E.H.; Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. **Crop Science**, Madison, v.32, p.1225-1232, 1992.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Marandu, cultivar de *Brachiaria brizantha***, Disponível em: <<http://www.cnpqc.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/marandu.pdf>, Acesso em: 18 ago, 2008a.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Tanzânia cultivar de *Panicum maximum***. Disponível em: < <http://www.cnpqc.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/tanzania.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2008b.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Mombaça cultivar de *Panicum maximum***. Disponível em: < <http://www.cnpqc.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/mombaca01.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2008c.

FERREIRA, A.C. **Monitoramento da massa de forragem e altura para ajustes de taxa de lotação em fazenda agropecuária na região do cerrado**. 2007. 47p. Relatório (Estágio supervisionado em Zootecnia) - Faculdades Integradas UPIS, Brasília, 2007.

FIALHO, F.B. Sistemas de apoio à decisão de produção de suínos e aves, In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBZ, 1999. p.307-317.

FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. **Modelo para a estimação da produtividade de grãos de milho no Estado de São Paulo**. 2004. 67p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

FITZPATRICK, E.A.; NICK, H. A. **The climatic factor in Australian grasslands**. Camberra: National University Press, 1970. 173 p.

FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P.; VAN AMBURGH, M.E.; CHASE, L.E.; PELL, A.N.; OVERTON, T.R.; TEDESCHI, L.O.; RASMUSEN, C.N.; DURBAL, V.M. **The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion**. Ithaca: Cornell University, Animal Science Department, 2000. 235p.

FRANCE, J.; THORNLEY, J.H.M. **Mathematical models in agriculture: A quantitative approach to problems in agriculture and related sciences**. London: Butterworths, 1984, 335p.

FREER, M.; MOORE, A.D.; DONNELLY, J.R. GRAZPLAN: decision support systems for Australian grazing enterprises - II, The animal biology model for feed intake, production and reproduction and the GrassFeed DSS. **Agricultural Systems**, Essex, v.54, p.77-126, 1997.

GBUR, E.E.; THOMAS, G.L.; MILLER, F.R. Use of segmented regression in determination of the base-temperature in heat accumulation models. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, p.949-953, 1979.

GRAMIG, G.G.; STOLTENBERG, D.E. Leaf appearance base temperature and phyllochron for common grass and broadleaf weed species. **Weed Technology**, Washington, v.21, p.249-254, 2007.

HADDAD, C.M.; ALVES, F.V. Potencial de utilização de *Cynodon* para a exploração de eqüinos, In: VILELA, D.; RESENDE, J.C.; LIMA, J. (Ed.) **Cynodon – forrageiras que estão revolucionando a pecuária brasileira**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite, 2005. p.165-189.

HAEFNER, J.W. **Modeling biological systems: principles and applications**. New York: Chapman & Hall, 1996. 473p.

HARLAN, J.R. *Cynodon* species and their value for grazing and hay. **Herbage Abstract**, Aberystwith, v.40, n.3, p.233-238, 1970.

HESKETH, J.D.; WARRINGTON, I. J. Corn growth response to temperature: Rate and duration of leaf emergence. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.696-701, 1989.

HEWITT, G.B. Grazing management as a means of regulating spittlebug (Homoptera: Cercopidae) numbers in Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.7, p.697-707, 1988.

HODGSON, J. **Grazing management – science into practice**. New York: John Wiley., Longman Scientific & Technical, 1990. 203p.

HOFFMAN, B.M. **Parametrização e validação de um modelo de estimativas das exigências e do desempenho de gado de corte**. 2007. 113p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006: Resultados Preliminares**. Rio de Janeiro, 2007. 146p.

INFELD, J.A.; SILVA, J.B. Somas térmicas da duração da fase vegetativa do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETOROLOGIA, 5., 1987, Belém. **Anais...** Belém: SBA, 1987. p.160-161.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE – INRA. **Ruminant Nutrition, recommended allowance and feed tables**. Montrouge: Libbey Eurotext, 1989. 389p.

INTERNATIONAL BOARD FOR PLANT GENETIC RESOURCE. **Tropical and subtropical forages: report of working group**. Rome: FAO, 1984. 29p.

INSTITUTO DE ZOOTECNIA **Capim Aruana (*Panicum maximum* cv, Aruana 12-5)**, Pré-lançamento, Nova Odessa. 1989. 5p.

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 Plant Physiology**, Collingwood, v.5, p.131-148, 1978.

JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. de (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS – O CAPIM COLONIAÇÃO 12., 1995. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.21-58.

JONES, C.A.; KINIRY, J.R. **CERES-Maize**: a simulation model of maize growth and development. College Station: Texas: A & M University Press, 1986. 194p.

JOYCE, L.A.; KICKERT, R.N. Applied plant growth models for grazinglands, forests and crops. In: WISOL, K.; HESKETH, J.D. (Ed.) **Plant growth modeling for resource management**: current models and methods. Boca Raton: CRC Press, v.1. 1987. p.141-156.

KAY, R.D. **Farm management**: planning control and implementation. New York: McGraw-Hill, 1986. 370p.

KINIRY, J.R.; KEENER, M.E. An enzymatic kinetic equation to estimate maize development rates. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.115-119, 1982.

KINIRY, J.R.; BURSON, B.L.; EVERS, G.W.; WILLIAMS, J.R.; SANCHEZ, H.; WADE, J. W.; FEATHERSTON, J.W.; GREENWADE, J. Coastal Bermudagrass, Bahiagrass, and Native Range Simulation at Diverse Sites in Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v.99, p.450-461, 2007.

KIRKWOOD, C.W. **Strategic Decision Making - Multiobjective Decision Analysis with spreadsheets**. Belmont: Duxbury Press, 1997. 352p.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas, In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2003. p.182-224.

LARA, M.A.S. **Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de *Brachiaria* spp, às variações estacionais de temperatura do ar e fotoperíodo**. 2007. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LIMA, M.G. **Calibração e validação do modelo CERES MAIZE em condições tropicais do Brasil**. 1995. 119p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D.; SCHABENBERGER, O. **Sas for Mixed Models**. 2nd ed. Cary: SAS Institute, 2006. 813p.

LIU, D.L.; KINGSTON, G.; BULL, T.A. A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including sub-optimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.90, p.119-139, 1998.

LIU, W.T.H., BOTNER, D.M., SAKAMOTO, C.M. Application of CERES-Maize model to yield prediction of Brazilian maize hybrid. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v.45, p.299-312, 1989.

LOEWER, O.J. Graze: a beef-forage model of selective grazing, In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.) **Agricultural Systems Modeling and Simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p.301-418.

LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L. Photosynthesis of tropical pasture plants. I, Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature, and leaf-air vapour pressure difference. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v.24, p.449-70, 1971a.

LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L. Photosynthesis of tropical pasture plants. II, Temperature and illuminance history. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v.24, p.1065-1075, 1971b.

MACEDO, M.C.M., ZIMMER, A.H. Sistema de Pasto-Lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1993. p.217-245.

MACHADO, F.R.; ABREU, M. **Projeto de Banco de Dados – Uma Visão Prática**. 15.ed. São Paulo: Érica, 1996. 320p.

MARASCHIN, G.E. Manejo de plantas forrageiras dos gêneros *Digitaria*, *Cynodon* e *Chloris*. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM – PLANTAS FORRAGEIRAS DE PASTAGENS, 9., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. p.109-140.

MAROUSKY, F.J.; DUDECK, A.E.; McCarty, L.B.; ANDERSON, S.F. Influence of daylength and fertility on growth of bermudagrass cultivars. **Proceeding of Florida State Horticultural Society**, Gainesville, v.105, p.236-238, 1992.

MARSHALL, P.R.; McCALL, D.G.; JOHNS, K.L. Stockpol: a decision support model for livestock farms. In: NEW ZEALAND GRASSLAND ASSOCIATION, 1991. Palmerston North. **Proceedings...** Palmerston, 1991, v.53, p.137-140.

McMASTER, G.S.; WILHELM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.87, n.4, p.291-300, 1997.

McWILLIAM, J.R. Response of pastures plants to temperature. In: WILSON, J.R. (Ed.) **Plant relation in pastures**. East Melbourne: CSIRO, 1978. p.17-34.

MEDEIROS, H.R. **Avaliação de modelos matemáticos desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisão em sistemas de produção de ruminantes em pastagens**. 2003. 98p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MEDEIROS, H.R. de; PEDREIRA, C.G.S. ; VILLA NOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; MELLO, A.C.L. Prediction of herbage accumulation of Cynodon Grasses by an empirical model based on temperature and daylength. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, Piracicaba . **Proceedings...** Piracicaba:FEALQ, 2001. p.263-265.

MERTENS, D R. Principles of modeling and simulation in teaching and research. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v.60, p.1176-1186, 1976.

MEYER, G.E.; CURRY, R.B.; STREETER, J.G.; MEDERSKI, H.J. **SOYMOD/OARDC**: a new dynamic simulator of indeterminate soybean growth, development and seed yield: I, Theory, structure and validation, Ohio: Ohio Agricultural Research and Development Center, 1979. (Research Bulletin, 1113)

MEYER, G.E.; CURRY, R.B.; STREETER, J.G.; BAKER, C.H. Simulation of reproductive processes and senescence in indeterminate soybeans. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, p.421, 1981.

MONTEITH, J.L. Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. **Experimental Agriculture**, London, v.20, p.125-137, 1984.

MONTEITH, J.L. The Quest for Balance in Crop Modeling. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.696-697, 1996.

MOORE, A.D.; DONNELLY, J.R.; FREER, M. GRAZPLAN: decision support systems for Australian grazing enterprises, III, Pasture growth and soil moisture submodels and the GrassGro DSS. **Agricultural Systems**, Oxford, v.55, p.535-582, 1997.

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. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

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.

MOTA, J.F.A.S. Clima, lotação animal e suplementação de feno em pastagem nativa em Pelotas, Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991. Viçosa. **Resumos...** Viçosa: SBA, 1991.p.34-45.

NASCIMENTO Jr. D. ; Da SILVA, S. C.; ADESE, B. Perspectivas futuras do uso de gramíneas em pastejo, In: REUNIÃO ANUAL DA SOIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004. p. 1-20.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 8th ed. Washington: National Academic Press, 2000. 248p.

NELSON, B.L. **Stochastic Modeling**: Analysis and simulation. New York: McGraw-Hill, 1995. 321p.

NELSON, C.J.; VOLENEC, J.J. Environmental and physiological aspects of forage management. In: BARNES, R.F.; MILLER, D.A.; NELSON, C.J. (Ed.). **Forages**: An introduction to grasslands agriculture. Ames: Iowa State University Press, 1995. p.55-69.

NUNES, S.F.; BOOK, A.; PENTEADO, M.I. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 1984. 31p. (EMBRAPA Gado de Corte. Documentos, 21).

NUSSIO, L.G.; MANZANO, R.P.; PEDREIRA, C.G.S. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. de (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM – MANEJO DE PASTAGENS DE TIFTON, COASTCROSS E ESTRELA, 15., 1998. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p.203-242.

OLIVEIRA, P.P.A. Recuperação e reforma de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM - PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM PASTAGENS, 24., 2007. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2007. p.155-216.

OLTJEN, J.W.; BYWATER, A.C.; BALDWIN, R.L.; GARRETT, W.N. Development of a dynamic model of beef cattle growth and composition. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.62, p.86-97, 1986.

OVERMAN, A.R.; ANGLE, E.A.; WILKINSON, S.R. Evaluation of an empirical model of Coastal bermudagrass production. **Agricultural Systems**, Oxford, v.28, p.57-66, 1988.

PARKER, W. J. Feed Planning on the farm. In: CENTRAL DISTRICTS SHEEP AND BEEF CATTLE CONFERENCE, 1993, Palmerston North. **Proceedings...** Palmerston North: Massey University Press, v. 2, 1993. p..75-84.

PARSONS, J.J. Spread of African pasture grasses of the american tropics. **Journal of Range Management**, Baltimore, v.25, n.1, p.12-17, 1972.

PASTERNAK, D.; WILSON, G.L. After-effects of night temperatures on stomata¹, behavior and photosynthesis of *Sorghum*. **New Phytologist**, London, v.71, p.683-689, 1972.

PEACOCK, J.M. Temperature and leaf growth in *Lolium perenne*, I, The thermal microclimate: its measurements and relation to crop growth. **Journal Applied Ecology**, Oxford, v.12, p.99-114, 1975a.

PEACOCK, J.M. Temperature and leaf growth in *Lolium perenne*, II, The site of temperature perception. **Journal Applied Ecology**, Oxford, v.12, p.115-123, 1975b.

PEACOCK, J.M. Temperature and leaf growth in *Lolium perenne*, III, Factors affecting seasonal differences. **Journal Applied Ecology**, Oxford, v.12, p.685-697, 1975c.

PEACOCK, J.M. Temperature and leaf growth in four grass species. **Journal Applied Ecology**, Oxford, v.13, p.225-232, 1976.

PEDREIRA, C.G.S.; NUSSIO, L.G.; Da SILVA, S.C. Condições edafo-climáticas para produção de *Cynodon* spp. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. de (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM - MANEJO DE PASTAGENS DE TIFTON, COASTCROSS E ESTRELA, 15., 1998. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p.85-113.

PEDREIRA, C.G.S.; TONATO, F. Bases ecofisiológicas para o manejo de gramíneas do gênero *Cynodon*. In: PEREIRA, O.G.; OBEID, J.A.; NASCIMENTO Jr., D.; FONSECA, D.M. (Ed.). SIMPOSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3., 2006. Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV; DZO, 2006. p.93-116.

PEDRO Jr., M.J.; ALCÂNTARA, P.B.; ROCHA, G.L.; ALFONSI, R.R.; DONZELI, P.L. **Aptidão climática para plantas forrageiras no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1990. 13p. (Boletim técnico, 1390).

PEDRO Jr., M.J. Índice climático de crescimento para gramíneas forrageiras no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.54, n.2, p.427-435, 1995.

PEDRO Jr., M.J.; CAMARGO, M.B.P.; MORAES, A.V.C.; FELÍCIO, J.C.; CASTRO, J.L. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de tritcale. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.447-453, 2004.

PEREIRA, A.R. Simulação do crescimento e da produtividade. In: VIEGAS, G.P. (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987. Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.17 p.201-209.

PRELA, A.; RIBEIRO, A.M.A. Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.83-86, 2002.

RAGSDALE, C.T. **Spreadsheet modeling and decision analysis: a practical introduction to management science**. Cincinnati: South Western College Publishing, 1997. 730p.

RENVOIZE, S.A.; CLAYTON, W.D.; KABUYE, C.H.S. Morphology, taxonomy and natural distribution of *Brachiaria*. In: MILES, J.W.; MASS, B.L.; VALLE, C.B. (Ed.). **Brachiaria: Biology, agronomy and improvement**, Cali: CIAT, 1996. cap.1 p.1-15.

RIO GRANDE DO SUL. Programa de Investimentos Integrados para o Setor Agropecuário, Zoneamento climático por cultura: forrageiras de clima tropical e subtropical. In: ZONEAMENTO AGRÍCOLA. Porto Alegre: Editora Pallotti, 1975, v.2, cap.2 p. 177 -183. (Estudos básicos, v,z)

ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J. Measurement and prediction of flowering in annual crops. In: ATHERTON, J. G. (Ed.). **Manipulation of flowering**. London: Butterworths, 1987. p.17-50.

ROCHA, G.L., ARONOVICH, S.A SBZ e o desenvolvimento da pesquisa em forragicultura no Brasil. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 25., 1988. Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 1988. p.33-48.

RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A.; FILHO, C.V.S. Estabelecimento de pastagens de *Cynodon*. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. de, (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM – MANEJO DE PASTAGENS DE TIFTON, COASTCROSS E ESTRELA, 15., 1998. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p.115-128.

RODRIGUES, D.C. **Produção de forragem de cultivares de Brachiaria brizantha (Hochst. ex A. Rich.) Stapf. e modelagem de respostas produtivas em função de variáveis climáticas**. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ROMANELLI, T.L. **Modelagem do balanço energético na alimentação suplementar para bovinos**. 2002. 110p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RYMPH, S.J.; BOOTE, K.J.; IRMAK, A.; MISLEVY, P.; EVERS, D.G.W. Adapting the CROPGRO model to predict growth and composition of tropical grasses: Developing physiological parameters. **Soil Crop Science Proceedings**, Gainesville, v.63, p.37-51, 2004.

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.126, n.4, p.265-267, 2000.

SANTOS, J.E. Procedimentos básicos para a modelagem ecológica. **Ciência e Cultura**, Rio de Janeiro, v.36, n.6, p.983-992, 1986.

SANTOS, F.G.; CHAVES, M.A.; SILVA, M.R.; SOARES, R.D.; FRANCO, I.L.; PINHO, B. D. Índice climático de crescimento para os capins *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85 e *Panicum maximum* cv. Tanzânia e relação com a produção de massa seca. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.9, n.3, p.627-637, 2008.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **Annals of Statistics**. Hayward, v.6, n.2, p.461-464, 1978.

SEBER, G.A.F. **Linear Regression Analysis**. New York: John Wiley, 1977. 465p.

SEEFELDT, S.S.; KIDWELL, K.K.; WALLER, J.E. Base growth temperatures, germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the US Pacific Northwest. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.75, p.47-52, 2002.

SHAYKEWICH, C.F. An appraisal of cereal crop phenology modeling. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.75, p.329-341, 1995.

SINCLAIR, T.R.; RAY, J.D.; MISLEVY, P.; PREMAZZI, M. Growth of subtropical forage grasses under extended photoperiod during short-daylength months. **Crop Science**, Madison, v.43, p.618-623, 2003.

SLAFER, G.A.; SAVIN, R. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.42, p.1077-1082, 1991.

SMITH, G.M., **The TAMU beef cattle production model**. College Station: Texas A&M University, 1979. 10p.

SMITH, E.M.; LOEWER, O. J. A nonspecific crop growth model. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, p.421, 1981.

SOARES FILHO, C.V. Recomendações das espécies e variedades de *Brachiaria* para diferentes condições. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. de, (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 11., 2002. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2002. p.25-47.

SOBOLEVA, T.K.; ODDY, V.H.; PLEASANTS, A.B.; OLTJEN, J.W.; BALL, A.J.; MCCALL, D.G. A dynamical model of body composition in sheep. 1999. Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: NZSAP, 1999. v.59 p.275-278.

SOTO, A.H. **Um modelo simples de estimativa de produção de forragem para colônia (*Panicum maximum* Jacq.) e pangola (A-24 *Digitaria pentzii* Stent) usando parâmetros climáticos.** 1981. 58p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.

SOUZA, P.R. Alguns aspectos de influência do clima e temperatura sobre a cultura do arroz irrigado no sul do Brasil. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.43, n.389, p.9-22, 1990.

SPEEDING, C.R.W. **An introduction to agricultural systems.** London: Elsevier Applied Science, 1988. 189p.

SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis, I. Components of incoming solar radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.38, p.217-229, 1986a.

SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis, II. Calculation of canopy photosynthesis. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.38, p.231-242, 1986b.

SPLINTER, W.E. Modelling of plant growth for yield prediction. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.14, p.243-245, 1974.

SUMMERFIELD, R. J.; ROBERTS, E.H. Effects of illuminance on flowering in long- and short-day grain legumes: a reappraisal and unifying model, In: ATHERTON, J. G. (Ed.). **Manipulation of flowering.** London: Butterworths, 1987. 438p.

SWANTON, C. J.; HUANG, J. Z.; SHRESTHA, A.; TOLLENAAR, M.; DEEN, W.; RAHIMIAN, H. Effects of temperature and photoperiod on the phenological development of Barnyardgrass. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, p.1125-1134, 2000.

TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; SAINZ, R.D.; BARIONI, L.G.; MEDEIROS, S.R.; BOIN, C. Mathematical models in ruminant nutrition. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.1, p.76-91, 2005.

THOMSEN, E. **OLAP – Construindo Sistemas de Informações multidimensionais.** 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2002. 708p.

THORNLEY, J.H.M. **Grassland dynamics:** An ecosystem simulation model. Wallingford: CAB International, 1998. 256p.

THORNLEY, J.H.M.; JOHNSON, I. R. **Plant and crop modeling.** Oxford: Oxford University Press, 1990. 669p.

THORNLEY, J.H.M. Modeling grassland ecosystems. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19.,2001. Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba:FEALQ, 2001. p.1029-1036.

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

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B.; HUNTER, R.B. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. **Crop Science**, Madison, v.19, p. 363-366, 1979.

TONATO, F. **Determinação de parâmetros produtivos e qualitativos de *Cynodon spp*, em função de variáveis climáticas**. 2003. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TURBAN, E. **Decision support systems: managerial perspectives**. New York: Macmillan Publishing, 1988. 116p.

TURBAN, E. **Decision support and expert system: management support systems**. New York: MacMillan, 1993. 833p.

TURBAN, E. **Decision support and expert systems**. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 889p.

UNRUH, J.B.; GAUSSOIN, R.E.; WIEST, S.C. Basal growth temperatures and growth rate constants of warm season turfgrass species. **Crop Science**, Madison, v.36, p.997-999, 1996.

USBERTI FILHO, J.A. **O Agrônomo**, Campinas, v.34, p.7, 1982. (Edição especial),

VALADARES FILHO, S.C.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA Jr., V.R.; CAPPELLE, E.R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. 2ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/Suprema Gráfica, 2006a. 329p.

VALADARES FILHO, S.C. PAULINO, P.V.R.; MAGALHÃES, K.A. **Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos - BR-CORTE**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica, 2006b. 142 p.

VALLE, C.B.; MILES, J.W. Melhoramento de gramíneas do gênero *Brachiaria*. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. de, (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 11.,1994. Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: FEALQ, 1994. p.1-24.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P. B.; MACEDO, M. C.M. Características de plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: PEIXOTO, A.M.; PEDREIRA, C.G.S.; MOURA, J. C.; FARIA, V.P. de (Ed.). SIMPOSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM - A Planta Forrageira no Sistema de Produção, 17.,2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p.133-176.

VAN KEULEN, H.; PENNING DE VRIES, F.W.T.; DRESS, E.M. A summary model for crop growth. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; VAN LAAR, H.H. (Ed.). **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: Pudoc, 1982. p.87-97.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell, 1994. 476p.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: MA-INMET, 2001. 531p.

VEIGA, J.B. da; TOURRAND, J.F.; PIKETTY, M.G.; POCCARD-CHAPUIS, R.; ALVES, A.M.; THALES, M.C. **Expansão e Trajetórias da Pecuária na Amazônia**. Brasília: UNB, 2004. 162p.

VELOSO, R.F.; BARIONI, L.G.; MARTHA JUNIOR, G B. **Emprego de modelos matemáticos para pesquisa e gerenciamento de sistemas integrados de lavoura e pecuária**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2003. 24p. (EMBRAPA Cerrados. Documentos, 96).

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991. 449p.

VILLASCHI FILHO, A.C.; COSTA, L.C.; FREITAS, P.M.; GOMES, E.R.; TEIXEIRA, A.F. Sistema integrado de modelos de produtividade – SIMPRO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, Londrina. **Anais...** Londrina: SBI-AGRO, 2005.

VOLENEC, J.J.; NELSON, C.J. Environmental and physiological aspects of forage management. In: BARNES, R. F.; NELSON, C. J.; COLLINS, M.; MOORE, K. J. (Ed.). **Forages: An introduction to grasslands agriculture**. Ames: Iowa State University Press, 2003. p.99-124.

WANG, J.Y. A critique of heat approach to plant response studies. **Ecology**, Brooklyn, v.41, n.4, p.785-790, 1960.

WARINGTON, I. J.; KANEMASU, E.T. Corn growth response to temperature and photoperiod, 1, seedling emergence, tassel initiation and anthesis. **Agronomy Journal**, Madison, n.75, p.154-180, 1983.

WOLFINGER, R.; OCONNELL, M. Generalized linear mixed models - a pseudo-likelihood approach. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, London, v.48, n.3/4, p.233-243, 1993.

WOODWARD, S.J.R. Dynamical systems models and their application to optimizing grazing management. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p.419-473.

YAN, W.K.; Wallace, D. H. Simulation and prediction of plant phenology for five crops based on photoperiod by temperature interaction. **Annals of Botany**, Oxford, v.81, p.705-716, 1998.

YAN, W.; HUNT, L.A. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. **Annals of Botany**, Oxford, v.84, p.607-614, 1999.

YIN, X.; KROPFF, M.J.; MCLAREN, G.; VISPERAS, R.M. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.77, p.1-16, 1995.

ZIMMER, A.H.; CORRÊA, E.S.A pecuária nacional: uma pecuária a pasto? In: PAULINO, V.T.todos et al. (Ed.). ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS, 1993, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1993. p.1-25.