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

**Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de *Brachiaria* spp. às variações
estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo**

Márcio André Stefanelli Lara

**Dissertação apresentada para obtenção do Título de
Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Ciência
Animal e Pastagens**

Piracicaba

2007

Márcio André Stefanelli Lara
Engenheiro Agrônomo

**Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de *Brachiaria* spp. às variações estacionais
da temperatura do ar e do fotoperíodo**

Orientador: Prof. Dr.
CARLOS GUILHERME SILVEIRA PEDREIRA

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre
em Agronomia. Área de Concentração: Ciência Animal e
Pastagens

Piracicaba
2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Lara, Márcio André Sefanelli

Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de *Brachiaria* spp. às variações estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo / Márcio André Sefanelli Lara. - - Piracicaba, 2007.

91 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Brachiaria 2. Fisiologia vegetal 3. Fotossíntese 4. Modelagem de dados
5. Morfologia vegetal 6. Simulação (Estatística) I. Título

CDD 633.2

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

Aos meus pais
JAYME LEITE LARA e IVETE STEFANELLI LARA,
aos meus irmãos
MARCO ANTÔNIO e MARCEL AUGUSTO,
que mesmo longe me apóiam e compreendem, mantendo a união da família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira, pelo exemplo, amizade, orientação e confiança, atributos fundamentais para consolidação de uma parceria forte e realização de um bom trabalho.

Aos Pesquisadores, Dr. Gustavo José Braga SAA-SP (APTA) e à Dra. Patrícia Menezes Santos (Embrapa), membros do Comitê de Pesquisa, pela colaboração e pelas sugestões.

Aos colegas, verdadeiros parceiros de empreita e convivência, Bruno Pedreira (a quem em muito me espelho), Renata Nave (pela irmandade e compreensão), Felipe Tonato (pela experiência), Felipe Curcelli (pela tranquilidade), Vitor Guarda (pela descontração e amizade), aos graduandos Cacília Leonelli (pela força da mulher) e Daniel Collucci (pela garra e curiosidade).

Aos amigos e demais colegas do Laboratório de Plantas Forrageiras, Adenilson, Alessandra, Cauê, Daniel, Fábio, Júlio, Lílían, Priscila e Salim, pelo apoio. Um agradecimento especial a Leonardo Moreno, pelas dicas de condução e análise dos dados do experimento e a Sergio André, pelo companheirismo e amizade.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens, “guerreiros” dedicados à pesquisa, pela convivência. Aos estagiários, Eduardo, Maria Eugênia, Natália, Letícia e DK, pelo auxílio imprescindível e pela competência na coleta de dados.

Ao Professor Nilson Augusto Villa Nova pelas teorias e debates fundados nos dados do experimento, ao professor Marcos Bernardes e ao professor José Luiz Stape e sua orientada Ana Heloisa, pelo empréstimo do medidor portátil de fotossíntese (LI-6400), quando o nosso apresentou defeitos.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia sempre prestativos, principalmente Jucelino, Emerson, Benedito e Laureano.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP pela excelente qualidade de ensino e reconhecimento. Ao conjunto de seus professores que enriqueceram meus conhecimentos com sua sabedoria, auxiliando na formação de novos conceitos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo e suporte financeiro para a execução do trabalho.

A Deus e ao apoio da família.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 O gênero <i>Brachiaria</i>	11
2.1.1 Distribuição geográfica e características agronômicas	11
2.1.2 Desenvolvimento de novos cultivares	12
2.2 Determinantes ambientais da produção de forragem	14
2.2.1 Temperatura	15
2.2.2 Luz	17
2.2.3 Água	18
2.3 Modelagem da produção em resposta aos fatores climáticos	19
2.4 Características estruturais do dossel no aproveitamento da radiação incidente	20
2.4.1 Índice de área foliar (IAF)	20
2.4.2 Ângulos foliares	21
2.4.3 Altura do dossel	22
2.5 A fotossíntese foliar e do dossel na produção de forragem	23
2.6 O uso da modelagem como ferramenta no planejamento da produção	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Local do experimento, delineamento experimental e tratamentos	27
3.2 Genótipos estudados no experimento	29
3.2.1 <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk	29
3.2.2 <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	30
3.2.3 <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Xaraés	31
3.2.4 <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Arapoty	32
3.2.5 <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Capiporã	33
3.3 Manejo de cortes, da adubação e da irrigação	35
3.4 Medições realizadas no experimento	37
3.4.1 Medições realizadas durante os ciclos de produção	38

3.4.1.1 Massa e acúmulo de forragem	38
3.4.1.2 Índice de área foliar, interceptação luminosa e ângulos foliares	38
3.4.1.3 Medição de altura do dossel	39
3.4.2 Medições realizadas durante os ciclos de acompanhamento	40
3.4.2.1 Composição da curva de acúmulo de forragem e relação folha: colmo: material morto .	40
3.4.2.2 Fotossíntese de Folhas individuais	41
3.5 Cálculo das unidades fototérmicas acumuladas nos períodos acompanhados	43
3.6 Modelagem de fotossíntese do dossel	44
3.7 Análise estatística	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Produção de forragem	47
4.1.1 Acúmulo total de forragem e composição morfológica	47
4.1.2 Resíduo e sua composição morfológica	51
4.1.3 Estacionalidade de produção	54
4.2 Efeito dos fatores climáticos sobre as respostas produtivas	55
4.2.1 Temperatura base inferior (T _{Bi})	55
4.2.2 Correlações entre temperatura, fotoperíodo e produção de forragem	58
4.2.3 Ajuste dos modelos de produção baseados na unidade fototérmica (UF)	59
4.3 Características morfofisiológicas e sua resposta a fatores climáticos	62
4.3.1 Componentes do acúmulo de forragem	62
4.3.2 Fotossíntese, IAF e interceptação luminosa	65
4.3.3 Altura do dossel	73
4.4 Relações entre interceptação luminosa e altura	74
5 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	81

RESUMO

Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de *Brachiaria* spp. às variações estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo

A pecuária brasileira é baseada no uso de pastagens. Entretanto, o padrão estacional do clima determina a maior concentração da produção de forragem nos períodos de primavera e verão. O conhecimento das respostas produtivas e morfofisiológicas das principais espécies e cultivares forrageiros à temperatura e ao fotoperíodo, na ausência de déficit hídrico, permitem o desenvolvimento de modelos preditores de produção para o planejamento da atividade pecuária ao longo do ano. O presente estudo foi conduzido no Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP em Piracicaba, SP, de outubro de 2005 a outubro de 2006, com o objetivo de gerar um banco de dados sobre as características produtivas e morfofisiológicas de capins do gênero *Brachiaria* e desenvolver modelos que descrevessem o acúmulo de forragem e as características do dossel em função de uma variável que combina os efeitos de temperatura e fotoperíodo (a Unidade Fototérmica – UF). Foram utilizados cinco cultivares de *Brachiaria* spp. (Basilisk, Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã) cortados a cada 28 dias durante o verão e 42 dias durante o inverno, deixando-se um resíduo de 15 cm para todos os capins. As unidades experimentais (parcelas de 9 x 4 m) eram irrigadas para garantir ausência de déficit hídrico e adubadas com o equivalente a 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O. O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados com quatro repetições. Em cada corte foi medido o acúmulo de forragem e, a partir daí, foram calculadas a produção anual de forragem, a produção de verão e a produção de inverno. Acompanharam-se semanalmente uma rebrotação de verão e a cada 10 dias uma rebrotação de inverno, quando foram avaliados a massa do resíduo, o acúmulo de forragem, a altura, o índice de área foliar (IAF), os ângulos foliares e a interceptação luminosa (IL) do dossel e as taxas de fotossíntese foliar dos capins, que foram utilizadas para a simulação da taxa de fotossíntese do dossel. O capim Capiporã produziu 18 Mg MS ha⁻¹ ano⁻¹, seguido dos capins Xaraés e Basilisk que acumularam 14,8 Mg MS ha⁻¹ ano⁻¹ e Arapoty e Marandu com 13,1 Mg MS ha⁻¹ ano⁻¹. Durante o verão o capim Capiporã foi o mais produtivo com acúmulo de 15,4 Mg MS ha⁻¹. Durante o inverno o Arapoty foi o mais produtivo e acumulou 3,4 Mg MS ha⁻¹, o que resultou na menor estacionalidade de produção do Arapoty, com 74% da produção concentrada no verão. Apesar dos capins terem produções diferentes, suas taxas de fotossíntese de dossel foram iguais (34,41 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). O IAF médio dos cultivares foi de 2,53. A massa residual média passou de 4,48 Mg MS ha⁻¹ no verão, para 5,71 Mg MS ha⁻¹ no inverno. Os modelos de acúmulo de forragem, acúmulo de folhas, IAF, IL e altura do dossel foram sempre diferentes entre cultivares e estações. Os modelos para acúmulo de forragem forneceram produções previstas próximas àquelas observadas, embora durante o inverno e início do verão tenham havido sub e super-estimativas, para todos os capins. O uso da UF mostrou-se efetivo na predição de características produtivas e no estudo de alguns atributos morfofisiológicos de gramíneas do gênero *Brachiaria*. Para que os modelos possam se tornar ferramentas práticas de planejamento de sistemas de produção, há, no entanto, a necessidade de que estudos complementares sejam realizados, aumentando o banco de dados disponível e a amplitude de condições de ambiente e manejo contempladas.

Palavras chave: Modelagem; Fotossíntese; Estacionalidade de produção; Cultivares

ABSTRACT

Morphological and physiological responses of five *Brachiaria* spp. cultivars to seasonal variations to air temperature and daylength

The Brazilian livestock industry is based on the use of pastures. However, the seasonal pattern of climatic variations, concentrates most of the annual forage accumulation during the spring and summer. Thus, information on the yield potential, as well as on morphological and physiological responses of forages to temperature and daylength, in the absence of moisture constraints, may allow for the development of prediction models, which can be useful in planning forage-livestock systems. This study was carried out at the Departamento de Zootecnia of ESALQ-USP in Piracicaba, SP, from October 2005 through October 2006, with the purpose of generating a comprehensive dataset on the productive, morphological and physiological characteristics of *Brachiaria* spp. grasses, as well as to develop and evaluate models that describe and predict forage accumulation and sward characteristics as related to photothermal units (a climatic variable which integrates the effects of temperature and daylength). Five cultivars of *Brachiaria* spp. were used in the study: (Basilisk, Marandu, Xaraés Arapoty and Capiporã), harvested either every 28 days during the ‘summer’ and every 42 days during the ‘winter’, leaving a stubble of 15 cm. Plots (9 x 4 m) were irrigated to avoid water deficit and fertilized with 120 kg N and K₂O ha⁻¹ year⁻¹. The experimental design was a randomized complete block with four replications. On each harvest, forage accumulation was measured in every plot and, from these data, annual and seasonal production for ‘summer’ and ‘winter’ were calculated. Additionally, one ‘summer’ regrowth and one ‘winter’ regrowth, were characterized weekly and every 10 days, respectively, where measurements were taken on stubble mass, forage accumulation, sward height, leaf area index (LAI), mean foliage angle, light interception (LI) and leaf photosynthesis, from which canopy photosynthesis was calculated. Capiporã was the most productive grass, with 18 Mg DM ha⁻¹, followed by Xaraés and Basilisk, which yielded 14,8 Mg DM ha⁻¹ year⁻¹ on average, and Arapoty and Marandu with annual yield of 13,1 Mg DM ha⁻¹. During the ‘summer’ Capiporã yielded 15,4 Mg DM ha⁻¹. During the ‘winter’ Arapoty was the highest yielding (3,5 Mg DM ha⁻¹), resulting in a less pronounced seasonal growth pattern (74% of total annual yield) than the other genotypes. Despite the contrasting yield potential, canopy photosynthesis did not differ (34,4 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) across genotypes. The mean LAI of all swards was 2,53. Mean stubble mass increased from 4,48 Mg MS ha⁻¹ in the ‘summer’ to 5,71 Mg MS ha⁻¹ in the ‘winter’. Models of the evolution of forage mass and leaf mass above the stubble, as well as LAI, LI and sward height differed among genotypes and between seasons. The forage accumulation models gave yield predictions that were consistent with observed values, although under- and overestimations occurred for the all grasses, especially during the ‘winter’ and early ‘summer’. The use of models based on the photothermal unit proved effective for the prediction of yield and yield-related responses of *Brachiaria* grasses. In order for these models to become useful tools for systems planning and management, further study is needed in addition to richer, more comprehensive data libraries and a wider range of environments and management practices.

Keywords: Modeling; Photosynthesis; Seasonal growth; Cultivars

1 INTRODUÇÃO

O setor pecuário brasileiro está passando por um momento de grandes oportunidades principalmente no mercado internacional de carne. Apesar do interesse pela produção de animais em pastagens ter crescido bastante nos últimos anos, para se tornar viável, um sistema de produção tem que ser competitivo e rentável. No Brasil, existe uma demanda crescente pelo desenvolvimento de tecnologia na exploração pecuária, reflexo do crescimento demográfico, do processo de globalização e da competição entre os produtos agropecuários. Atualmente a demanda de mercado por fontes renováveis de combustível vem contribuindo para esse cenário. De acordo com uma pesquisa, realizada em novembro de 2006, a área de cana plantada no Brasil aumentou 5,5 %, passando de 5,8 milhões de hectares, em 2005, para 6,2 milhões de hectares em 2006, resultado da ocupação de áreas antes usadas pelo plantio de grãos e principalmente pela pecuária (PÓLO NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS, 2006). Essa preocupação com o setor, vem tomando proporções ainda maiores quando o assunto engloba principalmente ressalvas à qualidade, segurança alimentar, valor nutritivo do que é consumido, e aspectos relacionados ao impacto das atividades agropecuárias sobre o meio ambiente (SORENSEN & JAKOBSEN, 2005).

A produção animal baseada no uso de pastagens é a de mais baixo custo que se conhece, sendo uma opção interessante para o empresário rural quando o objetivo é se manter competitivo no mercado. A busca pela melhor eficiência econômica do sistema deve aliar técnicas de manejo adequadas ao planejamento administrativo, permitindo a tomada de decisões direcionadas ao maior rendimento, uma das principais dificuldades encontradas, atualmente, por produtores e técnicos.

O processo de globalização da economia exige que os pecuaristas tenham uma mentalidade essencialmente empresarial, assumindo uma nova postura, que impõe a necessidade de uma gama de conhecimentos gerais ampla, e o domínio da excelência na condução dos negócios (PRADO, 2001). O lançamento de novos cultivares de plantas forrageiras na intenção de aperfeiçoar a produtividade tem incentivado os pesquisadores na procura da determinação do manejo adequado dessas pastagens quando submetidas a diferentes condições edafoclimáticas. No Brasil esse tipo de informação é escassa, e a construção de bancos de dados consistentes e abrangentes, que ampliem os conhecimentos sobre as forrageiras tropicais e subsidiem as

tomadas de decisão, é imprescindível para que a pecuária nacional possa acompanhar a demanda do mercado. Para tanto, ferramentas que auxiliem nesse gerenciamento, poderão ser de grande valia, favorecendo (quantitativa e qualitativamente) a produção de forragem, visando o incremento na produção animal e na eficiência global do sistema produtivo (ROLIM, 1980). Dentre essas ferramentas destaca-se o uso de modelos de simulação de produção, que permitam descrever o funcionamento de um sistema produtivo e inter-relacionar seus componentes. O uso de modelos matemáticos para estimar a produção de forragem das pastagens pode permitir maior controle sobre a oferta e demanda de alimentos na propriedade, fornecendo informações importantes ao produtor para a realização do planejamento de sua atividade (BARIONI et al., 2003).

O objetivo desse trabalho foi gerar informações sobre produção de forragem e características morfológicas, fisiológicas, estruturais e produtivas de cinco cultivares de capins do gênero *Brachiaria* sendo quatro genótipos de *Brachiaria brizantha* (cultivares Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã) e um genótipo de *Brachiaria decumbens* (cultivar Basilisk) e parametrizar modelos simples de predição da produção de forragem para esses cultivares.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Gênero *Brachiaria*

Renvoize et al. (1996) apontaram que o gênero *Brachiaria* contém cerca de 97 espécies, com limites taxonômicos ainda mal definidos, distribuídas por toda a zona tropical do planeta. São encontradas espécies nativas no continente Americano (14), na Austrália (10) e no sudeste Asiático (6), o restante é encontrado no continente Africano, e são as mais conhecidas e importantes para a pecuária tropical. Essas espécies crescem dentro de uma grande faixa de variação de habitats sendo encontradas tipicamente nas savanas, mas também crescendo em regiões alagadas ou desérticas, em plena luz ou sombreadas (BUXTON & FALES, 1994). O gênero é constituído por plantas herbáceas, eretas ou prostradas, anuais ou perenes, rizomatosas ou não, comumente emitindo raízes adventícias nos nós em contato com o solo. A bainha foliar é glabra ou pilosa, normalmente excedendo as dimensões dos internódios. A lígula é branca e hialina, formada por um curto anel membranáceo, a lâmina foliar desenvolvida é lanceolada, de ápice acuminado, glabra ou pilosa (LEITÃO FILHO, 1977).

Embora sejam descritas como plantas daninhas agressivas e de controle custoso em áreas agrícolas, o interesse agrônomo do gênero está relacionado ao seu uso como plantas forrageiras em pastagens (VALLE et al., 2000), sendo usadas para tal finalidade principalmente na América tropical, a *B. dictyoneura*, *B. brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *B. mutica* e *B. ruziziensis* (BUXTON & FALES, 1994).

2.1.1 Distribuição geográfica e características agronômicas

Em todo território nacional, existem aproximadamente 180 milhões de hectares de pastagem cultivadas e nativas. Da área cultivada, 70 a 80 % são formados por espécies do gênero *Brachiaria*. Segundo Macedo (1995) e Sano et al. (1999), dados não oficiais mostram que as braquiárias ocupam cerca de 85 % das pastagens na região dos Cerrados (42,5 milhões de hectares dos 55 milhões de hectares de pastagens cultivadas nessa região e que os Estados do Centro-Oeste possuem aproximadamente 73 milhões de hectares de pastagens, dos quais 51 % são formadas por *Brachiaria*, 41 - 42 % formadas por espécies nativas e apenas 7 – 8 % formada com outras espécies forrageiras.

O gênero *Brachiaria* permitiu o aumento do rebanho nacional em número e a melhoria de seus índices zootécnicos. O número de cabeças passou de aproximadamente 158 milhões de cabeças em 1996 para cerca de 207 milhões de cabeças em 2005 (IBGE, 2007). Pesquisadores ressaltam o aumento da taxa de lotação das pastagens, proveniente do uso maior de tecnologia e recentemente da integração lavoura-pecuária (ANDRADE, 1994; VALE & MILES, 1994; VALLE et al., 2001) e estão sendo considerados ideais para os avanços tanto da pecuária quanto das lavouras nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Entre as espécies de *Brachiaria*, destacam-se vantagens como a elevada produção de forragem, tolerância a pragas em especial às cigarrinhas das pastagens [*Zulia entreriana* (Berg), *Deois flavopicta* (Stal) e *Deois schach* (Fab)], alta resposta à aplicação de fertilizantes, boa qualidade de forragem e alta produção de raízes e sementes, tornando o gênero, o campeão de vendas de sementes no país (SOARES FILHO, 1994).

A substituição das espécies nativas, de baixa produtividade, por gramíneas cultivadas permitiu o desenvolvimento do setor e ajudou a levar o país ao patamar de maior exportador mundial de carne, detentor do maior rebanho bovino comercial do mundo. De acordo com o último censo agropecuário realizado em 1995/1996, do mapa de utilização de terras no Brasil, ocorreu a diminuição das pastagens nativas, de aproximadamente 100 milhões de ha em 1970, para 75 milhões em 1996. Em contrapartida houve um aumento significativo na área de pastagens plantadas que passou de 27 milhões de ha em 1970, para 90 milhões em 1996 (IBGE, 2007).

Atualmente são poucas as opções de espécies forrageiras para a exploração pecuária em terras de baixa e média fertilidade, que não tenham resistência à cigarrinha das pastagens, ou cultivares que tenham maior produção na época crítica do ano (inverno), sendo necessário o desenvolvimento de novos cultivares que promovam a minimização desses problemas, com o objetivo de diminuir o risco de insucesso de muitos sistemas pecuários em operação no país.

2.1.2 Desenvolvimento de novos cultivares

Com o objetivo de avaliar aspectos agrônômicos, fisiológicos e qualitativos, experimentos com diferentes gêneros, espécies, variedades e cultivares de plantas forrageiras têm sido conduzidos em diversas regiões e condições no Brasil (MACEDO, 1995). Como exemplo, temos os estudos realizados pela Embrapa Gado de Corte e Embrapa Cerrados, e os experimentos em rede, onde novos genótipos (híbridos e introduções) são avaliados de maneira semelhante em

diferentes locais do país por instituições de pesquisa, faculdades e parcerias, buscando identificar características e estratégias de manejo apropriadas para cada material em cada ambiente. Por ser um país com dimensões continentais, o Brasil compreende áreas de exploração pecuária distribuídas em diferentes ecossistemas. Em cada região é possível identificar uma infinidade de variações ambientais, o que gera a necessidade de selecionar genótipos forrageiros com ampla capacidade de adaptação edafoclimática. Desses esforços, importantes lançamentos como os capins *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Tanzânia contribuíram positivamente para o crescimento da pecuária brasileira.

Estima-se que anualmente no Brasil sejam plantados 4 milhões de hectares de pastagens, e renovados outros 10 milhões. Essa expansão da área de pastagens gera forte demanda por material propagativo (sementes, colmos, mudas) das espécies forrageiras mais importantes, e por novos cultivares, destinada a adaptação em diferentes ecossistemas, reduzindo os riscos inerentes ao monocultivo (PEREIRA, 2002).

De acordo com Valle & Miles (1994), a coleta e a introdução de germoplasmas foram e continuam sendo importantes em gramíneas do gênero *Brachiaria*. Antes de 1984, a pequena coleção mundial de *Brachiaria* era constituída de cerca de 70 acessos. Entre 1984 e 1985, uma extensa coleta em países do leste africano foi realizada pelo CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), reunindo cerca de 700 acessos de 24 espécies, sendo parte dessa coleção importada pela Embrapa. Muitos desses materiais encontram-se em avaliação, principalmente na Embrapa Gado de Corte e Embrapa Cerrados, dentro de várias linhas de trabalho visando identificar os acessos superiores e aqueles com atributos desejáveis. As avaliações feitas pela Embrapa (Gado de Corte e Cerrados) sobre a variabilidade natural em *Brachiaria*, identificaram 200 variedades em oito espécies. Com o processo de avaliação, esse número caiu para 21 variedades em três espécies. Dessa variabilidade poderão surgir novos cultivares que possibilitarão maior diversificação das opções para a formação de pastagens (VALLE & MILES, 1994).

O aumento da competitividade entre os segmentos da agricultura e os avanços na tecnologia da produção animal em pastagens levou o produtor a buscar espécies forrageiras mais produtivas e de melhor qualidade. Isso significa demanda por novas opções de plantas forrageiras, e novos desafios para melhoristas (PEREIRA, 2002). Considerando o aumento na conscientização do pecuarista perante as grandes diferenças edafoclimáticas entre os

ecossistemas brasileiros e os diferentes níveis tecnológicos existentes e exigidos para cada espécie, espera-se uma maior diversificação das gramíneas utilizadas. Essa diversificação, aliada ao desenvolvimento de novas técnicas de manejo, poderá contribuir para a melhor utilização dos recursos genéticos das plantas forrageiras tropicais.

2.2 Determinantes ambientais da produção de forragem

O planejamento da produção de forragem é considerado um dos fatores mais limitantes para a pecuária extensiva, isso se dá pela dificuldade de projetar decisões em virtude de um fenômeno chamado “estacionalidade de produção” apresentado pelas gramíneas forrageiras perenes. Segundo Pedreira et al. (1998), as respostas biológicas que influenciam a adaptação, sobrevivência e crescimento de animais e plantas são funções diretas dos efeitos das variáveis físicas do ambiente (e.g., temperatura, luminosidade, disponibilidade de água e nutrientes etc.). Essas variáveis de ambiente são responsáveis pela distribuição territorial das diferentes espécies forrageiras e influenciam de maneira direta a produtividade das pastagens. Enquanto no verão as temperaturas e índices pluviométricos são elevados, favorecendo a produção, no inverno o fotoperíodo mais curto, as baixas temperaturas noturnas e a baixa umidade relativa do ar, consequência da menor pluviosidade, podem limitar o crescimento das gramíneas tropicais, gerando assim um padrão estacional de produção que será mais ou menos acentuado de acordo com o genótipo (VALLE et al., 2001). Dentre os fatores determinantes da produção de forragem, a temperatura do ar, radiação solar, fotoperíodo e umidade do solo são consideradas as principais. O efeito do ambiente sobre as plantas é refletido nas taxas de crescimento, no desenvolvimento, na produção e na qualidade da forragem por meio de alterações em processos fisiológicos. Porém, durante o crescimento, quando o suprimento de água e nutrientes normalmente é suficiente, temperatura e luminosidade exercem a maior influência (BUXTON & FALES, 1994).

Diversos trabalhos mostraram que as produções de plantas forrageiras na região centro sul brasileira concentram-se no verão (de outubro a março) correspondendo a cerca de 70 a 90 % da produção total, enquanto no inverno (de abril a setembro) ocorre uma produção da ordem de 10 a 30 % da produção total anual (PEDREIRA, 1972; GHELFI FILHO, 1972; CORSI, 1972; ROLIM, 1980; PEDREIRA & MATTOS, 1981; MÜLLER, 2000; TONATO, 2003 e MORENO, 2004).

Pedreira & Mattos (1981), estudando a estacionalidade de 25 capins no Estado de São Paulo, encontraram concentrações da produção no verão (% da produção anual) de 94 % para a espécie mais estacional (*Digitaria valida* Stent – cv. Valida) e 77 % para as menos estacionais (*Andropogon gayanus* – var. *squamulatus* – Gamba e *Cynodon dactylon* L. Pers – cv. Coastcross 1), indicando serem estas variáveis do ambiente extremamente importantes para os processos de crescimento e senescência dos tecidos vegetais, alterando a velocidade das reações, a taxa de aparecimentos de folhas, perfilhamento, florescimento, alongamento foliar e, conseqüentemente, o manejo da planta forrageira (NABINGER & PONTES, 2001).

2.2.1 Temperatura

A temperatura do ar é um dos principais agentes causadores da estacionalidade de crescimento de plantas forrageiras tropicais. Ela varia com a estação do ano, altitude, face de exposição do terreno e declividade, afetando o crescimento das plantas e sua distribuição, direta ou indiretamente, por interferir na fisiologia e nos processos de absorção e translocação de nutrientes (DA SILVA, 1995). Segundo Cooper & Wilson (1970) entre 0 e 30° de latitude encontram-se as regiões do globo onde ocorre o maior aporte anual de energia solar, portanto com maior potencial produtivo, mas para todas as plantas existe uma temperatura ótima sob a qual a planta cresce com maior rapidez. O crescimento da planta é interrompido quando a temperatura ultrapassa um determinado valor máximo ou cai abaixo de certo valor mínimo. Para as espécies tropicais, a faixa ótima de temperatura cujo crescimento é maximizado está entre 25 e 35 °C. Por serem de fisiologia C₄, as plantas tropicais apresentam redução acentuada na sua taxa fotossintética quando expostas a temperaturas inferiores a 15°C (ROLIM, 1980), embora Cooper & Tainton (1968) e Rodrigues et al. (1993), tenham afirmado que apenas em temperaturas próximas dos 10 °C é que o crescimento é minimizado ou interrompido.

Geralmente a temperatura é o fator que exerce maior influência sobre o valor nutritivo das plantas, alterando a produção e distribuição de fotoassimilados entre raiz e parte aérea. Cooper & Tainton (1968) reportaram que o crescimento da raiz aumenta com a diminuição da temperatura e o crescimento da parte aérea é favorecido sob temperaturas mais elevadas. Sob altas temperaturas ocorre intensa conversão de fotoassimilados em compostos estruturais, influenciando a proporção relativa de folhas e colmos, e a morfologia da planta. Temperaturas desfavoráveis (muito altas ou

muito baixas) alteram o plastocrono promovendo mudanças na morfologia das folhas relacionadas com o tamanho e número de células. Segundo Murtagh et al. (1987), a elevação da temperatura de 25 para 30°C, provocou o alongamento e espessamento dos entre-nós em capim-quicuiu (*Pennisetum clandestinum* Chiov.) aumentando a produção de colmos. O crescimento desse componente implica no aumento do teor de componentes da parede celular, principalmente lignina, aumentando a participação desses elementos na Matéria Seca total. Segundo Wilson (1982), esses efeitos são negativamente correlacionados com a digestibilidade da matéria seca, diminuindo o desempenho animal. Altas temperaturas também promovem a maturação de tecidos e, portanto, as folhas e colmos têm maior digestibilidade quando crescem em temperaturas mais amenas. Baixas temperaturas por períodos prolongados, afetam a pressão de turgescência, o alongamento e a divisão celular (POLLOCK, 1990), reduzindo o declínio na digestibilidade da matéria seca da forragem com o desenvolvimento da planta durante os meses mais frios do ano (WILSON, 1982).

A temperatura mínima e máxima que limitam o crescimento das plantas recebem a denominação de temperatura base inferior e temperatura base superior, respectivamente, sendo que a temperatura base (TB) é definida por McWilliam (1978) como a temperatura que limita o acúmulo de massa de uma espécie de forma que este se torne nulo ou “desprezível”. Poucas são as referências para temperaturas base superiores para gramíneas tropicais. O limite inferior pode ser atingível nas áreas tropicais, principalmente em áreas de maior altitude e nas regiões de maior latitude durante períodos específicos do ano (inverno agrostológico – maio a setembro). Seu conhecimento permite zonear áreas de produção efetiva para as espécies cultivadas, determinando a eficiência do emprego de tecnologias como a irrigação. Tonato (2003) encontrou variações de 5 a 13% nas TBi para capins do gênero *Cynodon*. Rodrigues (2004), trabalhando com capins do gênero *Brachiaria* encontrou variação de 3 a 10%, o que caracteriza a individualidade entre cultivares de mesma espécie.

Interpretar resultados experimentais no campo isolando a temperatura dos efeitos da luz (fotoperíodo e intensidade de luz) é sempre complicado quando se trata de organismos que respondem simultaneamente a estes dois fatores (ROLIM, 1980). Apesar do efeito da temperatura ser aparentemente mais relevante (CORSI, 1976 e BAUER et al., 1984), cada fator tem sua parcela de importância, e deve ser cuidadosamente estudado.

2.2.2 Luz

A disponibilidade de luz para as plantas está relacionada diretamente com a distribuição estacional da energia solar e é um fator básico limitante na produção, pois interfere em primeira instância no processo fotossintético (BERNARDES, 1987). A utilização dessa energia pode ser restringida por outros fatores climáticos como baixas temperaturas, deficiência hídrica e baixa fertilidade do solo (COOPER & TAINTON, 1968).

Na região central brasileira, a radiação recebida entre os meses de maio e agosto perfaz apenas 66 % daquela recebida de novembro a fevereiro. Aliado a esse decréscimo, as massas de ar frio vindas da região Antártica e a diminuição do fotoperíodo, acentuam a variação estacional de produção das gramíneas forrageiras. Permanecendo os demais fatores de produção favoráveis, a produção de forragem será obtida com a maior eficiência de utilização da energia luminosa pelas folhas (ROCHA, 1991).

Segundo Hodgson (1990) e Welles & Norman (1991), a estrutura e a morfologia do dossel desempenham papel fundamental nos mecanismos de interceptação luminosa, produtividade e evapotranspiração e são importantes para a descrição da interação entre a vegetação e o meio em que se encontra. O aumento da interceptação luminosa em decorrência do aumento de área foliar resulta em aumento da taxa de fotossíntese bruta da comunidade vegetal, a qual é acompanhada por um aumento correspondente na taxa respiratória do dossel. O balanço entre essas taxas consiste na fotossíntese líquida. Quanto maior a fotossíntese líquida, maior a fixação de carbono e consequentemente a produção de fitomassa (Hodgson, 1990).

O índice de área foliar (IAF) é importante na determinação dos limites de produtividade do dossel. Lemaire (2001) relatou que a redução de área foliar e da interceptação de luz pelo dossel, reduz de forma intensa a fotossíntese. IAFs baixos são ineficientes na captação da energia disponível, enquanto que IAFs altos demais prejudicam o crescimento pelo sombreamento das folhas inferiores (ROCHA, 1991). A capacidade fotossintética das folhas residuais (que sobram após a desfolhação) reflete o ambiente luminoso no qual ela se desenvolve. Desta forma, as folhas das camadas inferiores do dossel, após a eliminação da camada superior por pastejo ou corte, são pouco eficientes fotossinteticamente por crescerem em um ambiente de pouca luz (RODRIGUES et al., 1993).

De acordo com Hay (1990), o fotoperíodo também tem importante papel na indução do estágio reprodutivo em algumas espécies de plantas forrageiras, influenciando no metabolismo das plantas alterando as taxas de expansão foliar, produção de massa seca e duração da fase reprodutiva. Para a maioria das espécies de plantas forrageiras corresponde a um sinal para o início da fase reprodutiva. Segundo Whatley (1982), em muitas espécies nenhum florescimento é iniciado sem que ocorra algum estímulo ambiental (na maioria das vezes mais de um). Os estímulos mais comuns são mudanças no fotoperíodo e temperatura. Muitas espécies tropicais, porém, florescem em resposta a uma breve queda de temperatura, outras espécies respondem ao fotoperíodo apesar da pequena variação anual que há nele. Dessa forma, um regime de radiação favorável ao crescimento das plantas associado aos céus limpos e dias longos nas regiões áridas, comparados a outras regiões, é a maior razão do grande potencial para suportar elevadas produções de massa seca ano a ano, desde que sejam providos água e nutrientes às plantas (DOVRAT, 1993).

2.2.3 Água

A água compreende a maioria da massa de células vegetais. Tipicamente constitui de 80 a 95 % da massa dos tecidos vegetais em crescimento e possui funções vitais como o transporte de solutos, atuando como reagente no metabolismo básico – fotossíntese e respiração, na turgescência celular, na definição de forma e estrutura de órgãos, na abertura e fechamento de estômatos, na penetração do sistema radicular no solo, crescimento e expansão celular além de outras (TAIZ & ZAIGER, 2004).

Para cada grama de matéria seca produzida, cerca de 500g de água são absorvidos pelas raízes, transportada pelo corpo da planta e perdida para a atmosfera. Um pequeno desequilíbrio nesse fluxo pode causar déficits hídricos e mau funcionamento de inúmeros processos no nível celular. A expansão foliar pode ser reduzida mesmo em condições leves de estresse hídrico pois a turgência é mantida por regulação osmótica e para tanto existe um custo metabólico que é prioritário em relação ao crescimento (TAIZ & ZAIGER, 2004).

Apesar de afetar diretamente o desenvolvimento das plantas, a água não é o único fator limitante ao crescimento, razão pela qual nem sempre o uso da irrigação atende as expectativas de produção. Botrel et al. (1991) e Ghelfi Filho (1972) trabalhando com *Pennisetum purpureum*,

não encontraram variações significativas na distribuição estacional da produção de forragem, mais constataram um aumento de até 30 % na produção de matéria seca no tratamento irrigado comparado ao não irrigado durante o inverno. Embora as vantagens da utilização da irrigação sejam poucas no que diz respeito à estacionalidade de produção, o incremento na produção de matéria seca no inverno, aliado a melhor eficiência das plantas na utilização dos fertilizantes, podem compensar dependendo da viabilidade econômica do projeto de um sistema pecuário baseado em pastagens.

2.3 Modelagem da produção em resposta aos fatores climáticos

Embora a produção de forragem seja frequentemente expressa em função do tempo (intervalos entre cortes ou pastejos sucessivos) essa variável “tempo” não pode ser considerada um bom parâmetro na estimativa de produção das culturas forrageiras, uma vez que essas espécies não respondem da mesma maneira a um mesmo intervalo de tempo nas diferentes estações e localidades. Assim, equações que estimam a produção (ou outra resposta agrônômica) em função de idade da planta em dias, semanas ou meses, são válidas exclusivamente para aquela situação e época do ano específica em que foram determinadas (GONÇALVES et al., 2001).

Existem evidências que o maior aporte de produção não acontece nos meses mais quentes do ano (PEDREIRA & MATTOS, 1981), mesmo sob irrigação (GHELFI FILHO, 1972), sugerindo que outros fatores também atuam na produção além da temperatura. Por isso, modelos de produção baseados unicamente em soma térmica são provavelmente inadequados para a estimativa da produção forrageira, já que as variações estacionais da produção são muito maiores que as variações de soma térmica (MORENO, 2004).

Modelos podem ser ferramentas úteis para integrar os fatores climáticos envolvidos na produção. Em detrimento dos impasses estabelecidos sobre modelos baseados em tempo e soma térmica, foi proposta a unidade fototérmica (UF), com o objetivo de integrar os efeitos da temperatura do ar e do fotoperíodo num mesmo modelo (VILLA NOVA et al., 1983). Em 1999, Villa Nova e colaboradores relacionaram a produção de matéria seca e unidades fototérmicas com os dados obtidos por Ghelfi Filho (1972) estudando o capim napier (*Pennisetum purpureum* Schum.), e obtiveram a explicação na variação dos dados de até ($R^2 = 0,97$). Posteriormente outros trabalhos semelhantes obtiveram resultados satisfatórios como o de Moreno et al. (2000), utilizando dados de grama estrela cv. Florico (*Cynodon nlemfuënsis* Vanderyst var. *nlemfuënsis*)

em Piracicaba, e por Medeiros et al. (2001) para capins do gênero *Cynodon* em Jaboticabal e Piracicaba.

Eliminar a estacionalidade de produção é provavelmente impossível, pois ela é determinada por variáveis de controle difícil ou impossível como fotoperíodo e temperatura do ar. A utilização da irrigação estaria fundamentada na possibilidade de eliminar uma das variáveis causadoras da estacionalidade no período seco e maximizar o aproveitamento das condições ótimas do período quente e chuvoso, evitando os veranicos e prolongando a estação de crescimento. Dando condições para que as rebrotações iniciem mais cedo na primavera e/ou encerrem mais tarde no outono, tornando as variações estacionais mais regulares e menos problemáticas ao longo dos anos.

2.4 Características estruturais do dossel no aproveitamento da radiação incidente

Variações na arquitetura alteram a distribuição de luz no dossel, a circulação de ar, a transferência de CO₂ e os processos de fotossíntese e evapotranspiração, todos dependentes do microclima gerado no dossel (LOOMIS & WILLIAMS, 1969). Além disso, a interação entre fatores da planta (idade, tipo e tamanho das folhas) e do ambiente (saturação luminosa, quantidade e intensidade de luz) define a eficiência da funcionalidade de cada estrutura (BERNARDES, 1987).

2.4.1 Índice de área foliar (IAF)

Watson (1947) definiu o IAF como sendo a razão entre a área de folhas e a área de solo ocupada pela cultura. Ele integra aspectos físicos e fisiológicos da comunidade vegetal e é o principal determinante da interceptação luminosa (BROWN & BLASER, 1968). O IAF “crítico” ocorre quando 95% da luz incidente é interceptada pelo dossel (RHODES, 1973). O IAF “ótimo” ocorre quando os acúmulos líquidos de fitomassa por unidade de área e unidade de tempo são máximos (MURTAGH & GROSS, 1966; DA SILVA & PEDREIRA, 1997). O IAF “teto” é aquele em que a taxa de produção de novas folhas (unidades de massa) se iguala à morte de folhas basais ou inferiores, atingindo-se o máximo valor de IAF para uma determinada cultura sob uma determinada condição de manejo e ambiente (GOMIDE, 1994).

Brown & Blaser (1968) alertaram que como os objetivos do manejo são permitir elevadas produções ao longo do ano e manter a perenidade do sistema, pode ser necessário postergar a desfolha, após a condição de IAF ótimo, com o intuito de permitir à planta maior acúmulo de reservas, posteriormente utilizadas na rebrotação seguinte. Entretanto, dosséis em crescimento livre acima do IAF ótimo são caracterizados por serem heterogêneos, aumentando a competição entre as plantas (MURTAGH & GROSS, 1966).

Em intervalos curtos de desfolhação, plantas com maior proporção do IAF na parte inferior do dossel apresentam maior IAF residual. Isso assegura uma rebrotação rápida após o corte ou pastejo devido à maior interceptação luminosa por folhas fotossinteticamente mais ativas. Entretanto, se o período de rebrotação é longo, as plantas com hábito de crescimento ereto, têm tempo para acumular um grande IAF e utilizam melhor a radiação incidente, sendo mais produtivas (RHODES, 1973). Portanto, aspectos de manejo devem idealmente levar o IAF em consideração, juntamente com a interceptação luminosa do dossel (BROWN & BLASER, 1968; KORTE et al., 1981), principalmente pela boa correlação entre IAF e altura do dossel, (uma variável de medida fácil no campo). Dessa forma, condições de meio e, eventualmente de manejo, causam variações na velocidade de crescimento da planta, atuando de maneira análoga sobre IAF e, conseqüentemente, sobre interceptação luminosa e altura do dossel.

2.4.2 Ângulos foliares

O ângulo foliar é uma característica da morfologia e da arquitetura do dossel e afeta a iluminação relativa de uma folha totalmente exposta ao sol e o fluxo de radiação disponível às folhas inferiores (LOOMIS & WILLIAMS, 1969). Existem dois pontos em que a distribuição da luz é mais uniforme e melhor aproveitada pelo dossel. Rhodes (1973) apontou vantagens de plantas eretas na maximização da produção devido à distribuição uniforme da luz pelo perfil do dossel. Essa maximização também ocorre quando a radiação é difusa, o que aumenta a eficiência de seu uso pela comunidade de plantas (NORMAN & ARKEBAUER, 1991).

É difícil separar o efeito de ângulos foliares e de IAF sobre a eficiência fotossintética (LOOMIS & WILLIAMS, 1969; DUNCAN, 1971). A equação $I = I_0 e^{-k \text{ IAF}}$ descreve o efeito conjugado do IAF e dos ângulos foliares sobre a interceptação luminosa, sendo I a radiação em um ponto qualquer dentro do dossel, I_0 a radiação incidente no topo do dossel e k o coeficiente de

extinção luminosa, cujas variações estão associadas principalmente às variações dos ângulos foliares (HAY & WALKER, 1989). Menores valores de k indicam um arranjo de folhas mais ereto ao passo que arranjos planófilos resultam em maiores valores de k (WARREN WILSON, 1960).

Enquanto que os ângulos formados pelas folhas têm importância relativa no processo produtivo, diferenças na latitude promovem mudanças na eficiência fotossintética quando a intensidade luminosa é maior (PEARCE et al., 1967), ou seja, ângulos foliares que maximizam a taxa de fotossíntese são mais importantes nos trópicos devido à menor energia recebida por estes ao longo do ano (DUNCAN, 1971).

2.4.3 Altura

Uma das principais ferramentas potenciais no manejo do pastejo é o controle da altura do dossel. Segundo Hodgson (1990), a altura do dossel está entre as características que mais afetam o desempenho dos animais em pastejo, isso devido ao seu efeito sobre a profundidade do bocado e suas conseqüências nos demais componentes da dinâmica do pastejo. A altura também afeta a produção da pastagem, devido sua ligação com o IAF e a massa do dossel. Warren Wilson (1960) postulou que se uma considerável área de folhas encontra-se distribuído num estrato muito pequeno do dossel, ocorre sua superposição devido a proximidade destas, resultando no auto-sombreamento. Se a distribuição dessa mesma área foliar ocorrer numa altura maior, ou entre folhas menores, a produção aumenta (LOOMIS & WILLIAMS, 1969).

Pearce et al. (1967) observaram que a altura afeta a distribuição da luz dentro do dossel, mas ressaltaram que esse efeito não pode ser isolado devido à mudança dos ângulos foliares, e sugeriram que a importância da altura está na interceptação da luz, que dependendo da comunidade vegetal pode ser uma vantagem ou desvantagem. Plantas mais altas num estande misto podem interceptar uma proporção maior de luz disponível, limitando o crescimento das plantas mais baixas. Já numa comunidade de plantas homogêneas, plantas altas possuem uma menor proporção de órgãos assimilatórios em relação aos de sustentação, o que pode ser uma desvantagem (WARREN WILSON, 1961).

2.5 A fotossíntese foliar e do dossel na produção de forragem

Segundo Bernardes (1987) o processo fotossintético é um dos principais determinantes na produtividade agrícola. Apesar de ser um processo ineficiente, em que no máximo 5 % da energia luminosa captada é convertida em energia química, cerca de 95 % da forragem colhida é composta por carbono proveniente da fixação por esse processo (NELSON et al., 1975).

Cooper & Wilson (1970) postularam que a eficiência na conversão da energia luminosa em fitomassa numa comunidade de plantas, depende das taxas de fotossíntese de folhas individuais, da interceptação de luz e da distribuição da matéria seca na planta ao longo do perfil do dossel. Essa utilização pode ser limitada por fatores como temperatura inadequada, umidade do solo e/ou disponibilidade de nutrientes (DA SILVA & PEDREIRA, 1997).

A capacidade fotossintética de folhas individuais apresenta grande variação que pode ser causada por vários fatores como quantidade de radiação incidente e a qualidade desta determinada pela elevação solar, nebulosidade, temperatura ambiente e da própria folha, pelo suprimento de água e principalmente pelo estágio de desenvolvimento da mesma (ZELITCH, 1982; PEDREIRA et al., 2001). As taxas de fotossíntese de folhas individuais, não representam as taxas de fotossíntese do dossel como descrito por Nelson et al. (1975), que não encontraram relação entre taxa de fotossíntese foliar e produção de forragem em *Festuca arundinacea* (L.). Taxas fotossintéticas foliares medidas em curtos períodos de tempo dificilmente explicam as variações em produção, pois não exprimem a total assimilação de CO₂ pela comunidade de plantas seja ao longo de um dia ou de uma estação (ZELITCH, 1982).

Além de diferenças na idade fisiológica das folhas, ao longo do perfil do dossel, existem também diferenças nas condições de temperatura e luminosidade, o que resulta, portanto, em diferentes taxas no potencial fotossintético. Braga et al. (2002) encontraram diferentes taxas de fotossíntese para folhas em diferentes níveis de inserção em perfilhos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, sendo a folha mais jovem completamente expandida a que apresentou maiores taxas fotossintéticas. No mesmo trabalho os autores registraram redução no ponto de compensação luminosa que passou de 36 para 10 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ nas folhas mais jovens em expansão, e de 3 para 1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, nas folhas mais velhas. Constataram, também, a diminuição na condutância estomática e na respiração das folhas localizadas mais próximas do solo assim como descrito por Norman & Arkebauer (1991) e Acock (1991). Devido ao sombreamento, senescência

ou estresses causados por pragas, doenças e deficiência hídrica ou nutricional, são consideradas relevantes quando se leva em conta o aumento do IAF, autosombreado o dossel e causando prejuízos muito maiores às taxas de fotossíntese foliar do que o envelhecimento das folhas (ACOCK, 1991).

2.6 O uso da modelagem como ferramenta no planejamento da produção

Bernardes (2000) reportou que *“a modelagem matemática constitui-se numa descrição simplificada de sistemas reais a partir da integração de conhecimentos de diferentes disciplinas com o intuito de sintetizar, apresentar e analisar diversos aspectos da produção agrícola, incluindo a produção e os diversos tipos de interações entre as culturas e o meio ambiente e permitindo a previsão do comportamento da comunidade de plantas”*. Enquanto um sistema é caracterizado por sua "complexidade organizada", um modelo se caracteriza pela sua representação em forma simplificada com o objetivo de extrair as características relevantes para a compreensão de seu comportamento ou para estabelecer soluções de problemas que envolvem tal sistema (CHECKLAND, 1989). Modelos matemáticos também podem representar os processos internos de um sistema. Esses modelos são chamados de mecanicistas, e permitem estimar e explicar as mudanças ocorridas no sistema em resposta a alterações nas variáveis, nas equações e nas relações de troca entre os componentes do modelo.

A descrição de sistemas pode incluir ou ignorar detalhes de forma a atingir um nível adequado de agregação os propósitos inicialmente definidos. Assim, a complexidade de um modelo está relacionada com os componentes e processos considerados. À medida que são adicionadas novas entidades e processos, pode-se aumentar a amplitude de sensibilidade de resposta do modelo (THORNLEY & JOHNSON, 1990), embora isso não implique necessariamente em aumento de sua capacidade preditiva (PASSIOURA, 1996). Modelos matemáticos apresentam duas fontes básicas de erros (PASSIOURA, 1996). Existem os erros de estrutura, os quais estão associados à especificação dos processos que estão sendo representados, e que são menores quanto maior a complexidade do modelo, devido ao maior realismo no detalhamento dos componentes e processos do sistema. Por outro lado, os erros de parametrização aumentam rapidamente com o aumento do número de parâmetros a serem estimados. Idealmente, portanto, um modelo deve ser tão simples quanto possível e tão complexo

quanto necessário para uma dada aplicação (THORNLEY, 1996) para que ocorra um balanço ótimo entre os erros da estrutura e dos parâmetros modelados.

No Brasil tem havido progressos significativos na capacidade de prever a produtividade potencial das plantas forrageiras. Barioni et al. (2003) identificaram três tipos de modelos, quanto às variáveis ambientais consideradas para estimar a produtividade das pastagens: (1) Modelos de soma térmica (SANDERSON & MOORE, 1999) consideram o efeito cumulativo da temperatura, acima de um determinado limiar; (2) modelos de unidades fototérmicas (VILLA NOVA et al., 1983) consideram o efeito combinado da temperatura e do fotoperíodo, e (3) modelos de radiação solar (VIÉGAS et al., 2002) consideram a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa como variável independente. Aparentemente, a precisão não varia de maneira significativa entre esses três tipos de modelos, mas existe a restrição relativa ao fato de que esses são modelos aplicáveis apenas em condições nas quais não há limitação de água ou nutrientes para a produção, como por exemplo em situações de pastagens irrigadas em solos de alta fertilidade e/ou com adubação.

O modelo de graus-dia (GD) baseia-se numa quantificação simplificada da energia (soma calórica) que está à disposição da planta a cada dia, e representa um acúmulo diário de energia acima de uma condição mínima exigida e abaixo da máxima suportada pela planta (temperaturas base inferior e superior, respectivamente) (OMETTO, 1981). Villa Nova et al. (1999) citaram que em estudos de estacionalidade de produção de gramíneas tropicais a máxima produção de matéria seca não ocorre nos meses de temperatura do ar mais elevadas, mas sim no início do verão, mesmo quando irrigadas, e que as magnitudes das variações estacionais de energia demonstradas pelo conceito de GD e de produção de forragem, não correspondem às das variações na produção. Para esses autores, isso indica que deve existir outro fator ambiental influenciando a resposta produtiva, provavelmente o fotoperíodo, sugerindo que modelos baseados unicamente em soma térmica provavelmente não são os mais eficientes para a previsão da produção.

Em função disso, um modelo baseado em uma unidade de grandeza denominada unidade fototérmica (UF), que possibilita prever a produtividade das culturas em resposta às oscilações estacionais do ambiente, combinando o efeito da temperatura do ar e do fotoperíodo sobre a resposta da planta foi proposto por Villa Nova et al. (1983). Villa Nova et al. (1999) estudaram a eficiência da UF como preditor de produção de forragem em capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier), e constataram que o modelo foi capaz de explicar grande parte da

variação estacional nas taxas de acúmulo de forragem, além de demonstrar boa capacidade para estimar a produção anual.

O modelo de Boote & Jones (1987), através da integração de alguns dos fatores determinantes da assimilação de carbono pelas plantas tais como IAF, coeficiente de extinção luminosa, densidade de fluxo da radiação e máxima taxa de fotossíntese foliar, é capaz de estimar a fotossíntese do dossel e sua resposta à radiação. Outros modelos são específicos para determinadas culturas e trabalham com sub-rotinas que descrevem todos os processos ligados a produção potencial, desde a absorção de água do solo até a ação de reguladores de crescimento, simulando diversos cenários que auxiliam na tomada de decisões de manejo (HODGES et al., 1998).

A complexidade das interações envolvidas no processo produtivo torna a elaboração de modelos um processo lento, dependente de equipes multidisciplinares e de bancos de dados abrangentes. Modelar a produção de forragem baseado em variáveis climáticas é apenas um passo nos estudos necessários para auxiliar a tomada de decisão num sistema de produção animal sobre pastagens. No entanto, as bases de dados necessárias ao desenvolvimento de tais modelos para espécies forrageiras tropicais ainda são restritas, o que faz com que o seu desenvolvimento ainda seja incipiente nas nossas condições (BARIONI et al., 2003).

Para que se consigam novos avanços na produção animal em pastagem, torna-se necessário o uso de técnicas e ferramentas que permitam explorar a grande variabilidade de ecossistemas existentes no Brasil. A introdução de novas plantas forrageiras, o conhecimento do seu potencial produtivo, resposta à aplicação de fertilizantes, a irrigação, ao estresse, devem ser estudadas em diferentes condições ambientais e de manejo. O efeito marcante do ambiente na produtividade e qualidade das plantas forrageiras gera a necessidade do conhecimento e racionalização dos fatores produtivos envolvidos, entre eles luz e temperatura. A finalidade dessa pesquisa é estabelecer um processo padronizado de sistematização de informações sobre respostas agronômicas de cinco cultivares de *Brachiaria*, na forma de geração de bancos de dados coletados em condições controladas, que permitam alimentar e avaliar modelos simples de previsão de produção de forragem e de outros parâmetros ligados ao seu desenvolvimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, delineamento experimental e tratamentos

O estudo foi desenvolvido numa área experimental do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP (22°42’30” S e 47°30’ W) com altitude 580m. O clima é classificado (Sistema Köppen) como Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco), onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e do mês mais frio é inferior a 18°C. Os dados climáticos referentes ao período experimental (Figura 1) foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ, distante cerca de 1 km da área experimental.

Figura 1 - Médias mensais de temperaturas máximas, médias e mínimas ocorridas durante todo o período experimental, comparadas com dados médios de 1917 a 2006

Foram estudados cinco cultivares do gênero *Brachiaria*, sendo quatro de *B. brizantha*: Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã, e *B. decumbens* cv. Basilisk, em um delineamento experimental de blocos completos casualizados com cinco tratamentos correspondendo aos cinco

cultivares com quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais (parcelas), cada uma medindo 36m^2 ($4\text{m} \times 9\text{m}$), separadas por corredores de aproximadamente $0,8\text{m}$ de largura (Figura 2). As parcelas foram estabelecidas no verão 2004/2005 com sementes fornecidas pela Embrapa Gado de Corte.

Figura 2 - Vista geral da área experimental

O período experimental teve duração de 370 dias, iniciando em 12/05/2005, sendo finalizado em 17/10/2006. O solo da área experimental é classificado como Nitossolo vermelho eutroférico com horizonte (A) moderado e de textura argilosa/muito argilosa (EMBRAPA, 1999), de alta fertilidade (Tabela 1). Para os capins do experimento não foi necessário fazer correções.

Tabela 1 - Análise de terra da área experimental

pH	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V%
CaCl ₂									
	g/dm ³	mg/dm ³			mmol _c dm ³				
5,2	30	17	3,9	43	19	31	65,9	96,9	68

SB=soma de bases, CTC=capacidade de troca catiônica, V=saturação por bases

3.2 Genótipos estudados no experimento

3.2.1 *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk

A *B. decumbens* foi introduzida no país na década de 1950 e teve sua expansão alavancada entre as décadas de 1970 e 1980. Milhões de hectares foram formados no Brasil inicialmente com sementes importadas da Austrália produzidas na região chamada Basilisk – daí o nome do cultivar, também conhecido como “australiana”. É uma espécie perene, com 60 a 100 cm de altura, sub-ereta, robusta, geniculada em alguns dos nós inferiores. Os rizomas apresentam-se em forma de nódulos pequenos e emitem grande quantidade de estolões, os quais enraizam com facilidade. As folhas são rígidas e esparsamente pilosas (SEIFFERT, 1980 citado por SOARES FILHO, 1994).

Apresenta ampla adaptação climática até 1750 m acima do nível do mar. A temperatura ótima para o seu crescimento é de 30 a 35°C. Cresce bem no verão, mas tem sua produção afetada por baixas temperatura e geadas. Adaptam-se a muitos tipos de solos, mas requer boa drenagem e condições de boa fertilidade embora tolere condições de acidez.

Um dos principais problemas tem sido o constatado efeito de fotossensibilização em animais com idade de oito a 16 meses de idade e não ser consumida por eqüinos. O agente causador da fotossensibilização hepatógena é o fungo *Phitomyces chartarum*, presente na pastagem. Outro grande problema é a sua susceptibilidade ao ataque de cigarrinha das pastagens [*Zulia entreriana* (Berg), *Deois flavopicta* (Stal) e *Deois schach* (Fab)], que causa danos severos a estrutura das pastagens. O sucesso de adaptação do cultivar Basilisk e, ao mesmo tempo, o problema com as cigarrinhas estimulou a busca por outras braquiárias. (SOARES FILHO, 1994).

3.2.2 *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

A espécie *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf, é originária da África tropical (NUNES et al., 1985), embora se encontre difundida em Madagascar, Sri Lanka, Austrália, Suriname e Brasil. O capim-Marandu é um ecótipo de *B. brizantha* e dentre elas, é o mais encontrado no país, tendo sido trazido pela primeira vez da *Zimbabwe Grasslands Research Station*, localizada em Marandellas, Zimbábue, em 1967 (NUNES et al., 1985; KELLER-GREIN et al., 1996). Esse material foi fornecido à EMBRAPA Gado de Corte, em Campo Grande, tendo sido incluída no processo de avaliação de plantas forrageiras da unidade. Em 1979 foi enviada para a EMBRAPA Cerrados, localizada em Planaltina, no Distrito Federal, com o intuito de ser avaliada sob as condições do Brasil Central. Em 1984 a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu foi lançada pela EMBRAPA, sendo que o nome Marandu, dado ao cultivar, significa “novidade” no idioma Guarani, visto que se tratava de uma nova alternativa de forragem para a região dos Cerrados (NUNES et al., 1985).

De acordo com Nunes et al. (1985), é uma planta cespitosa, muito robusta, podendo chegar a 1,5 m de altura em crescimento livre, com colmos iniciais prostrados, mas produzindo perfilhos predominantemente eretos. Os rizomas são muito curtos e encurvados. Os colmos são floríferos, eretos, freqüentemente com perfilhamento nos nós superiores, o que leva à proliferação de inflorescências, especialmente sob regimes de corte ou pastejo. As bainhas são pilosas com cílios nas margens, geralmente mais longas que os entre-nós, escondendo-os nos nós, o que confere a impressão de haver densa pilosidade nos colmos vegetativos. As lâminas foliares são linear-lanceoladas, esparsamente pilosas na face ventral e glabras na face dorsal. As plantas apresenta inflorescências de até 40 cm de comprimento, geralmente com 4 a 6 ráculos, eqüidistantes ao longo do eixo, medindo de 7 a 10 cm de comprimento, mas podendo alcançar 20 cm nas plantas muito vigorosas. A ráquis da inflorescência é estreita e tem forma de meia-lua. As espiguetas são unisseriadas ao longo da ráquis, oblongas a elíptico-oblongas, com 5 a 5,5 mm de comprimento por 2 a 2,5 mm de largura, esparsamente pilosas no ápice. A atual preferência pelo uso da *B. brizantha* (SANTOS FILHO, 1996) em comparação à *B. decumbens* é motivada basicamente pela susceptibilidade à cigarrinha-das-pastagens e pela ocorrência de fotossensibilização hepatógena atribuídos a esta última e que não foram até o momento detectados em *B. brizantha* (VALLE et al., 2000). Com a substituição das pastagens nativas por

pastagens cultivadas e o aparecimento da cigarrinha das pastagens, o cv. Marandu tornou-se a forrageira considerada ideal para a exploração pecuária, principalmente nos Cerrados. Apesar de, na região amazônica, ter sua resistência à cigarrinha das pastagens quebrada [as infestações são principalmente das espécies *Zulia entreriana* (Berg), *Mahanarva entreriana* (Berg) e *Deois flavopicta* (Stal)] (VALLE, 2002), ainda se configura como um dos cultivares mais importantes para a pecuária tropical.

3.2.3 *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés

O germoplasma introduzido da África (origem: Cibitoke, sub-origem: Burundi), por intermédio do Centro de Agricultura Tropical (CIAT) foi recebido sob número CIAT 26110. Durante a quarentena na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e recebeu o código BRA 004308. O cv. Xaraés reproduz-se predominantemente por apomixia. É uma planta pentaplóide com $2n = 5x = 45$ cromossomos, (PENTEADO et al., 2000; RISSO-PASCOTTO et al., 2003). Foi selecionada por seleção massal com base na produtividade, vigor, produção de sementes, resistência a insetos e doenças em avaliações realizadas em parcelas, depois em ensaios regionais e finalmente capacidade de suporte e consumo animal em piquetes sob pastejo, tendo por testemunha a *B. brizantha* cv. Marandu. A planta é cespitosa, com altura média de 1,5 m em crescimento livre, colmos verdes de seis mm de diâmetro e pouco ramificados. Apesar do porte ereto (crescimento em touceiras), apresenta colmos finos com nós que podem enraizar em contato com o solo, gerando novas plantas. A bainha apresenta pêlos claros, rijos, ralos, mas densos apenas nos bordos; lâmina foliar de coloração verde escura, com até 64 cm de comprimento e três cm de largura, com pilosidade curta na face superior, e bordos ásperos e cortantes. A inflorescência é racemosa, com 40 ou 50 cm de comprimento, tem eixo de 14 cm de comprimento, com sete ramos (ráceros) quase horizontais, com pêlos junto às ramificações. O ramo basal mede, em média, 12 cm de comprimento. As espiguetas são uniseriadas, em número médio de 44, com pêlos longos, claros, translúcidos na parte apical e arroxeadas no ápice. O cultivar Xaraés foi avaliado, em várias ocasiões, quanto à resistência às cigarrinhas-das-pastagens *Notozulia entreriana* e *Deois flavopicta*. O teste de maior importância, no entanto, é aquele no qual se verifica a adequabilidade da planta hospedeira com base na sobrevivência de ninfas e duração do período ninfal. Nestes testes, verificaram-se, consistentemente, altos níveis de

sobrevivência e curtos períodos ninfais para o capim-Xaraés, caracterizando-o como adequado ao desenvolvimento do inseto. O porcentual médio de sobrevivência no cv. Xaraés foi de 68 %, superior aquele constatado para o cultivar Marandu (45 %), porém, inferior aos 76 %, para o cultivar Basilisk. Até o momento, relatos de grandes prejuízos causados por insetos e doenças são raros.

3.2.4 *Brachiaria brizantha* cv. Arapoty

O germoplasma foi introduzido da África (origem: Quênia, sub-origem: Nakuru), por intermédio do Centro de Agricultura Tropical (CIAT) foi recebido sob número CIAT 16488. Durante a quarentena na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, recebeu o código BRA 004391 e códigos de campo GC824/87 – B291 (Embrapa Gado de Corte) e CPAC 3464 (Embrapa Cerrados). O cultivar é resultado de seleção massal em população apomítica e tetraplóide, com base na produtividade, vigor, produção de sementes, resistência a insetos e doenças em avaliações realizadas em parcelas, depois em ensaios regionais e finalmente capacidade de suporte e consumo animal em piquetes sob pastejo desde 1988, tendo por testemunha a *B. brizantha* cv. Marandu. O capim-Arapoty é uma planta cespitoso-estolonífera, apresenta colmos verdes ou arroxeados, com 2 a 3 mm de diâmetro, ramificados. As bainhas são glabras, as lâminas têm até 32 cm de comprimento e 1,7 cm de largura (média) glabras em ambas as faces, possui bordos hialinos ou arroxeados, ásperos (cortantes). As plantas apresentam inflorescência com 3 a 6 ráculos, com pêlos claros translúcidos. Possui em média 18 espiguetas com pelos claros translúcidos no terço superior e arroxeadas no ápice. O material não mostra resistência a *Notozulia entreciana* e *Deois flavopicta* por apresentar sobrevivência ninfal relativamente maior e período ninfal relativamente menor que outros acessos do gênero *Brachiaria* em condições controladas, apresentando níveis populacionais altos em condições de campo. (VALLE, informação pessoal)¹

¹ VALLE, C. B. Mensagem recebida por <maslara@esalq.usp.br> em 23 mar.2006.

3.2.5 *Brachiaria brizantha* cv. Capiporã

Esse material foi importado do CIAT (Cali, Colômbia) sob número 16315. O germoplasma Africano (Origem: Etiópia; sub-origem: Welega), ficou em quarentena na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia onde recebeu o código BRA003441 e códigos de campo B72 e B7 (Embrapa Gado de Corte) e CPAC 3409 (Embrapa Cerrados). O cultivar é resultado de seleção massal em populações apomíticas e tetraplóides com base na produtividade, vigor, capacidade de adaptação ao solo e clima produção de sementes, resistência a insetos e doenças em avaliações realizadas em parcelas, seguido de ensaios regionais e finalmente capacidade de suporte e consumo animal em piquetes sob pastejo desde 1988, tendo por testemunha a *B. brizantha* cv. Marandu. O capim-Capiporã é uma planta cespitosa que apresenta colmos verdes com 4 a 5 mm de diâmetro, pouco ramificados. Suas brácteas são arroxeadas na brotação basal. As bainhas apresentam pêlos claros, rijos, densos, com lígula muito pilosa. As lâminas foliares podem chegar a 65 cm de comprimento e 1,5 cm de largura, são ásperas, com pêlos sedosos curtos na face superior e pilosa na inferior. A nervura central é de coloração clara. Inflorescência com contem 4 a 10 ráculos oblíquos, com poucos pêlos claros translúcidos. Possui um número médio de 45 espiguetas, quase sem pêlos e arroxeadas no ápice. Uma das vantagens da utilização do material é sua resistência às cigarrinhas-das-pastagens por apresentar, em condições controladas, baixos níveis de sobrevivência ninfal, assim como baixos níveis de infestação e danos leves no campo. (VALLE, informação pessoal)². O aspecto morfológico dos cinco cultivares estudados no experimento pode ser visto na Figura 3.

² VALLE, C. B. Mensagem recebida por <maslara@esalq.usp.br> em 23 mar.2006.

Figura 3 – Aspecto morfológico dos cultivares do experimento, Basilisk (A), Marandu (B), Xaraés (C), Capiporã (D) e Arapoty (E)

3.3 Manejo dos cortes, adubação e irrigação

O solo da área experimental foi preparado no dia 26/11/2004, com uma gradagem pesada e destorroado com enxada rotativa. A semeadura ocorreu em 27/11/2004, e para o melhor estabelecimento das plantas as parcelas foram irrigadas e adubadas. Em agosto de 2005 as parcelas, que estavam em crescimento livre, passaram a ser cortadas periodicamente para garantir que estivessem num ritmo intermitente de utilização e rebrotação até o início do experimento. Com o início do experimento a forragem das parcelas passou a ser cortada periodicamente com o auxílio de uma moto-segadeira a cada 28 dias no verão e 42 dias no inverno, totalizando 11 ciclos de rebrotação durante o ano. A altura residual pré-determinada foi de 15 cm para todos os cultivares.

Foram aplicados $220 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de N e K_2O . As adubações foram realizadas manualmente e imediatamente após cada corte com 20 kg/ha de N e K_2O utilizando como adubo, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (22 % de N e 18 % de S) e KCl (65 % K_2O) durante todo o experimento (verão e inverno agrostológico), com o intuito de evitar que houvesse limitação ao crescimento das plantas devido à falta desses nutrientes (Figura 4 B). Para que a água não fosse fator limitante ao crescimento e dessa forma as plantas pudessem expressar seu potencial produtivo, a área dispunha de equipamento de irrigação (Figura 4 A).

Figura 4 - Área sob irrigação (A), e adubação manual das parcelas (B)

O manejo da irrigação foi baseado no monitoramento das condições hídricas do solo através de dois tensiômetros instalados em duas parcelas a 20 cm de profundidade. Sempre que os tensiômetros registravam valores de potencial hídrico no solo entre 0,30 e 0,40 kPa procedia-se a irrigação. A irrigação também era realizada após cada adubação (sempre após os cortes), com o intuito de maximizar a eficiência do adubo aplicado.

O balanço hídrico mensal do período do experimento confirma a ausência de déficit hídrico (Figuras 5 e 6). Fazendo com que as respostas dos cultivares fossem determinadas apenas pelas variáveis climáticas, permitindo a modelagem mais precisa de tais respostas.

Figura 5 – Balanço hídrico descendente (THORNTHWAITE & MATHER, 1955) no decorrer do período experimental, outubro de 2005 a outubro de 2006 (dados referentes à irrigação não inclusos)

Figura 6 – Balanço hídrico descendial (THORNTHWAITE & MATHER, 1955) no decorrer do período experimental, outubro de 2005 a outubro de 2006 (dados referentes à irrigação inclusos)

3.4 Medições realizadas no experimento

Os ciclos de rebrotação, ou de produção, foram caracterizados por medições de acúmulo de forragem e na determinação de suas características morfológicas, características importantes na comparação e diferenciação dos materiais em estudo. Para a parametrização de modelos de acúmulo de forragem baseados em fatores climáticos, dois ciclos de rebrotação foram escolhidos para serem acompanhados semanalmente por uma série de medições. As datas dos períodos de acompanhamento de verão e de inverno foram selecionadas tomando como referência os dias mais longos e os dias mais curtos do ano, sendo estes os dias 21/12 (solstício de verão) e 21/06 (solstício de inverno) para o hemisfério Sul. Tomando por base que estas datas deveriam estar no meio de tais ciclos (próximo do 14º dia no verão e do 21º dia no inverno), os ciclos restantes foram redistribuídos ao longo do ano. Para o verão foram programados sete ciclos de 28 dias cada, e para o inverno quatro ciclos, de 42 dias cada (Figura 7).

Figura 7 – Programação dos cortes e ciclos de acompanhamento do experimento

3.4.1 Medições realizadas durante os ciclos de produção

3.4.1.1 Massa e acúmulo de forragem

Ao final de cada ciclo de rebrotação foram feitas amostragens para quantificação do acúmulo de fitomassa, retirando de cada parcela a forragem contida no interior de três molduras metálicas retangulares (área de 0,5 x 2 m) cortando a forragem a 15 cm do nível do solo, com a utilização de um aparador de cerca - viva. Essas amostras foram retiradas de pontos da parcela onde o acúmulo representava visualmente a média de produção desta. As amostras, frescas, foram pesadas no campo e a partir destas, foram tomadas duas sub-amostras da massa homogeneizada. A primeira fração era destinada à determinação do teor de Matéria Seca (MS). Para tanto, aproximadamente 600g de massa verde era acondicionada em sacos de pano e levadas à estufa de circulação forçada a 65 °C para secagem até peso constante. A segunda sub-amostra era acondicionada em saco plástico e congelada para posterior separação morfológica no laboratório. O acúmulo de forragem (AF) de cada parcela foi calculado pela média dos três retângulos de amostragem. A taxa média de acúmulo de forragem ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foi calculada dividindo o valor de AF, pelo número de dias de cada ciclo.

3.4.1.2 Índice de área foliar, interceptação luminosa e ângulos foliares

As medições de interceptação luminosa (IL), índice de área foliar (IAF) e ângulos foliares foram realizadas semanalmente durante todos os ciclos de rebrotação, iniciando imediatamente após o corte, (dia zero) em cada ciclo. Essas medições foram repetidas a cada sete dias e

imediatamente antes do corte subsequente no verão, e a cada dez dias no inverno, totalizando cinco medições por ciclo de produção, com o objetivo de caracterizar as variações estruturais da comunidade vegetal de cada cultivar.

Para estas medições foi utilizado um analisador de dossel modelo LAI 2000 (LI-COR, Lincoln Nebraska, EUA), descrito por Welles & Norman (1991), que permite amostragens rápidas e não destrutivas. O aparelho é constituído de uma unidade de controle e de um sensor acoplado numa barra articulada. O sensor consiste em um conjunto de lentes tipo ‘olho de peixe’, que projeta uma imagem hemisférica de baixo para cima do dossel, através de detetores de sílica. A técnica combina medidas tomadas com o sensor acima do dossel (I_o) com medidas tomadas sob o dossel próximas ao nível do solo (I). A partir dessas medidas, a inversão de um modelo de transferência de luz permite o cálculo do IAF (WELLES & NORMAN, 1991). Foram amostrados 10 pontos representativos da média do dossel em cada parcela, na proporção de uma medida acima para cinco medidas abaixo do dossel, sempre utilizando um padrão visual que englobasse estações de leitura entre touceiras que estivessem dentro de um mesmo padrão de altura e densidade de folhas.

3.4.1.3 Medições de altura do dossel

As medições de altura foram realizadas nos mesmos dias em que foram feitas as medições de IL, IAF e ângulos foliares, ou seja, em cinco dias por ciclo (dias 0, 7, 14, 21 e 28 no verão e nos dias 0, 10, 21, 31 e 42 no inverno). Para tanto foi usado o método em que se emprega o uso de régua e transparência de acetato (Figura 8).

Figura 8 - Medição de altura

3.4.2 Medições realizadas durante os ciclos de acompanhamento

Além das avaliações realizadas nos ciclos de produção, nos dois ciclos acompanhados, foram realizadas outras medições para levantamento dos dados usados para compor o modelo de produção de forragem baseado em unidades fototérmicas (UF).

3.4.2.1 Composição curva de acúmulo de forragem e relação folha: colmo: material morto

Para compor a curva de acúmulo de forragem nos acompanhamentos, foram feitas amostragens para quantificação e caracterização da massa de forragem, nos mesmos dias que foram realizadas as medições de fotossíntese, retirando amostras de estrato (MF acumulada acima do resíduo até aquele momento) e resíduo (MF do solo até 15 cm). Estas amostras foram retiradas das parcelas em duplicata, cortando o material contido dentro de duas molduras retangulares metálicas de $0,5\text{m}^2$ ($0,5 \times 1\text{m}$). Os estratos foram retirados nas datas correspondentes aos dias 7, 14, 21 e 28, no verão e no 10º, 21º, 31º e 42º dia de rebrotação, no inverno. Os resíduos foram retirados no início, meio e final dos ciclos.

Todas as amostras (resíduos e estratos) foram acondicionadas em sacos plásticos e congeladas para posterior determinação da composição morfológica (folha, colmo e material morto). Depois de uma sub-amostragem do total da amostra congelada, foram realizadas as

separações morfológicas, desta fração, as folhas foram passada no integrador de área foliar LI-3100 (LI-COR, Lincoln Nebraska, EUA). Todas as frações (folha, colmo, material morto, e integra) foram então levadas à estufa de circulação forçada a 65 °C até atingirem peso seco constante (Figura 9).

Figura 9 - Amostra de resíduo congelada (A), amostra homogeneizada (B), sub-amostra para separação morfológica (C), e sub-amostra separada nas frações: folha, colmo e material morto (D)

3.4.2.2 Fotossíntese de folhas individuais

A fotossíntese líquida de folhas individuais foi medida nos ciclos de acompanhamento de verão e inverno. No verão, correspondendo ao 3º ciclo de rebrotação, com início em 07/12/2005 e término em 09/01/2006, e no inverno correspondendo ao 9º ciclo de rebrotação, com início em 07/06/2006 e término em 19/07/2006, as medições foram realizadas semanalmente durante todo o

ciclo totalizando cinco leituras, assim como as leituras de altura, IL, IAF e ângulos foliares. Para isso foi usado um sistema portátil medidor de fotossíntese, modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln Nebraska, EUA). Foram medidas as taxas de fotossíntese de quatro folhas mais jovens completamente expandidas em cada parcela, seguindo um critério de avaliação visual de modo a selecionar as melhores folhas presentes, com um mínimo de limbo, verdes e limpas (Figura 10).

Figura 10 - Câmara de CO₂ do aparelho LAI-6400 (A) e vista lateral do posicionamento da folha na câmara (B)

As leituras foram realizadas entre 8:00 e 11:00 da manhã, período em que as plantas apresentam seu máximo potencial fotossintético. As folhas utilizadas eram provenientes de perfilhos escolhidos em touceiras de plantas diferentes e que representavam à média do dossel na unidade experimental. A intensidade de luz usada dentro da câmara foi de $2000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a concentração de CO₂ de $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar, como referência na programação do aparelho, cuja fonte vinha de cilindros de CO₂ do kit LI-COR. M\u00e9dias de fotoss\u00edntese foliar foram calculadas para cada parcela.

As medi\u00e7\u00f5es de fotoss\u00edntese foliar realizadas no in\u00edcio dos ciclos de acompanhamento, nem sempre foram realizadas nas folhas mais jovens completamente expandidas, devido a altura do corte, cuja intensidade retirava grande parte das folhas inteiras e jovens. As duas primeiras aferi\u00e7\u00f5es (dia zero e dia 7 no ver\u00e3o e dia zero e dia 10 no inverno) foram feitas em folhas provenientes do res\u00edduo. A primeira, em ambos os acompanhamentos, foi feita somente quatro dias ap\u00f3s o nivelamento das parcelas, em folhas que couberam dentro da câmara (3 x 2 cm). No

14º dia (meio do ciclo de verão) e no 21º (meio do ciclo de inverno), já foi possível medir a fotossíntese das folhas mais jovens completamente expandidas.

3.5 Cálculo das unidades fototérmicas acumuladas nos períodos acompanhados

Villa Nova et al. (1983) definiram a unidade fototérmica pela equação:

$$UF = \frac{\left(\frac{n}{2} \overline{GD}\right)^{\frac{Nf}{Ni}+1}}{\frac{Nf}{Ni} + 1} \quad (1)$$

Em que, UF é o número de unidades fototérmicas acumuladas no período de n dias de desenvolvimento após a desfolha; $\overline{GD}$ os graus-dia médio do período do período de n dias; Nf o valor do fotoperíodo (horas e décimos) no final do período de crescimento e Ni o valor do fotoperíodo no início do período de crescimento.

O valor de $\overline{GD}$ é expresso pelas equações:

$$\overline{GD} = (\overline{T} - T_{Bi}) - C \quad (2) \text{ (usada quando } \overline{Tm} \text{ for maior que a } T_{Bi} \text{ °C)}$$

$$\overline{GD} = \frac{(\overline{T_x} - T_{Bi})^2}{2(\overline{T_x} - \overline{Tm})} - C \quad (3) \text{ (usada quando } \overline{Tm} \text{ for menor que a } T_{Bi} \text{ °C)}$$

sendo $\overline{GD}$ o grau-dia médio do período de n dias; $\overline{T_x}$ a média das temperaturas máximas do ar do período; $\overline{Tm}$ a média das temperaturas mínimas do ar do período; $\overline{T}$ a temperatura média do ar do período, calculada pela média de $\overline{T_x}$ e $\overline{Tm}$, T_{Bi} é a temperatura base inferior e C a correção de temperatura base superior (usada somente se $\overline{T}$ for maior que 30 °C), dada por:

$$C = \frac{(\overline{T_x} - 30)^2}{2(\overline{T_x} - \overline{Tm})} \quad (4)$$

Os valores de N (Nf ou Ni) para qualquer dia do ano podem ser obtidos pelas equações:

$$N = 0,1333 \arccos(-tg \delta \cdot tg \phi) \quad (5)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (DJ - 81) \right] \quad (6)$$

sendo N o fotoperíodo (horas e décimos); ϕ = latitude do local (graus e décimos; negativa Sul, positiva Norte); δ a declinação solar (graus e décimos) e DJ o dia Juliano (nº de ordem a partir de 01 de Janeiro).

As TBi foram obtidas através de regressão linear simples, relacionando a taxa média de acúmulo de cada rebrotação e a temperatura média do respectivo período. Resolvendo-se a equação $y = ax + b$ para $y = 0$, tem-se a temperatura média em que a taxa média de acúmulo é nula e, assumindo-se esta como a temperatura base inferior (PEDRO Jr. et al., 1990). A quantidade de unidades fototérmicas acumuladas ao longo das rebrotações acompanhadas e durante o ano, foi utilizada para substituir “dias” nos modelos não lineares para produção de forragem e respostas morfofisiológicas.

3.6. Modelagem de fotossíntese de dossel

Para estimativa da taxa de fotossíntese do dossel, foi utilizado o modelo de assimilação de CO_2 em folhas “de sol” e folhas “de sombra” desenvolvido por BOOTE & JONES (1987), que leva em consideração o coeficiente de extinção luminosa (k) e também a reflexão e a transmissão de luz pelo dossel. Assim, um IAF de sol é calculado analiticamente através do IAF total e do k (equação 7) e um IAF de sombra é calculado subtraindo-se do IAF total (equação 8).

$$\text{IAF}_{\text{sol}} = (1/k)[1 - \exp(-k \cdot \text{IAF}_{\text{total}})] \quad (7)$$

$$\text{IAF}_{\text{somb}} = \text{IAF}_{\text{total}} - \text{IAF}_{\text{sol}} \quad (8)$$

A assimilação de CO_2 pelas folhas de sol é calculada por uma curva de resposta exponencial negativa, onde a assíntota é dada pela fotossíntese máxima de folhas, a inclinação inicial pela eficiência de utilização de luz e a variável de entrada é a irradiância fotossinteticamente ativa absorvida ($k(1 - \sigma)\text{PAR}$), de acordo com a equação 9:

$$F_{\text{sol}} = F_{\text{max}} \{1 - \exp[-Q_e \cdot k(1 - \sigma)\text{PAR}/F_{\text{max}}]\} \quad (9)$$

onde: F_{max} = fotossíntese de folhas individuais ($\mu\text{g de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); Q_e = eficiência de utilização de luz ($\mu\text{g de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); PAR = radiação fotossinteticamente ativa ($\text{J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); σ = coeficiente de reflexão e transmissão. A PAR incidente para a fotossíntese de folhas sombreadas, considerando o mesmo k e a mesma eficiência no uso da luz refletida e transmitida por todas as folhas sombreadas, é dada pela equação 10:

$$PAR_{somb} = \sigma * PAR [1 - \exp(-k * IAF_{somb})] / IAF_{somb} \quad (10)$$

onde: PAR_{somb} = radiação fotossinteticamente ativa para folhas de sombra. Deste modo, a assimilação por folhas de sombra é calculada de maneira análoga à de folhas de sol:

$$F_{somb} = F_{max} [1 - \exp(-Q_e * PAR_{somb} / F_{max})] \quad (11)$$

onde: F_{somb} = assimilação de CO_2 por folhas de sombra. Por fim, a assimilação total do dossel é a soma de ambas as categorias de folhas (equação 12):

$$F_{dos} = F_{sol} * IAF_{sol} + F_{somb} * IAF_{somb} \quad (12)$$

onde: F_{dos} = assimilação total CO_2 pelo dossel.

As taxas de fotossíntese do dossel foram utilizadas na tentativa de explicar as variações nas taxas de crescimento da forragem ao longo das rebrotações e entre as rebrotações de verão e inverno.

Abaixo, os valores adotados para algumas constantes:

$PAR = 2000 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (PEDREIRA, 2006).

$k = -[\ln(I/I_0)]/IAF$ (BROWN & BLASER, 1968), onde I/I_0 é a transmissão de luz no dossel e IAF o índice de área foliar medidos através do avaliador de dossel LAI-2000 (LI-COR).

$Q_e = 0,07 \text{ mol } CO_2 \text{ mol } \text{fótons}^{-1}$ (HAY & WALKER, 1989; BOOTE & LOOMIS, 1991 e BRAGA et al., 2003).

$\sigma = 0,20$ (BOOTE & LOOMIS, 1991).

3.7 Análise estatística

Dados de produção (AF), temperatura base (T_{Bi}) bem como parâmetros referentes à morfo-fisiologia foram submetidos à análise de variância utilizando-se o pacote estatístico SAS. Foi utilizado o procedimento MIXED do SAS, sendo tratamentos e estações os efeitos fixos e bloco efeito aleatório (LITTELL et al., 1996). As características morfofisiológicas, como foram medidas ao longo do tempo, foram comparadas utilizando-se um modelo de medidas repetidas no tempo, modelando-se a variação na mesma unidade experimental (ao longo do tempo) a partir de uma matriz de covariância (LITTELL et al., 1996). As médias foram comparadas usando-se o comando 'PDIF' do 'LSMEANS', adotando-se um nível de significância de 5 %. Foram realizadas análises de correlação entre variáveis climáticas e produtivas e entre variáveis

morfofisiológicas e produtivas por meio do procedimento estatístico CORR, do "software" estatístico SAS (SAS Institute, 1989). Essas análises foram feitas com o objetivo de avaliar a associação entre acúmulo de forragem e variáveis climáticas e variáveis morfofisiológicas. Os dados referentes aos crescimentos acompanhados (verão e inverno agrostológicos) foram utilizados para modelar as variações temporais dos parâmetros estudados ao longo da rebrotação em cada uma das estações, de acordo com os modelos de UF. Os ajustes dos modelos não lineares foram feitos inicialmente usando-se o procedimento NLIN do SAS (SAS Institute, 1989), utilizado para a estimativa dos parâmetros iniciais do modelo. Esses valores foram adicionados à programação do procedimento NLMIXED do SAS para a determinação dos modelos definitivos. Esse procedimento ajusta a interdependência dos erros por meio de uma estrutura de variância e covariância, já que os dados foram coletados em medidas repetidas no tempo e, além disso, contempla o efeito aleatório de blocos, inserido na assíntota do modelo, pois é esse o parâmetro sujeito à maior variabilidade individual (LINDSTROM & BATES, 1990). O valor inicial utilizado para a variável que calcula o efeito aleatório de 'indivíduos' foi a variância entre blocos.

Como a estimativa dos parâmetros pelo NLMIXED é realizada através da maximização da verossimilhança, não é possível o cálculo da soma de quadrados e a realização do teste F para a determinação do nível de significância dos modelos. Por se tratarem de modelos não lineares, o R^2 não tem significado (RATKOWSKY, 1990) e, portanto não são apresentados nas tabelas com os parâmetros dos modelos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de forragem

4.1.1 Acúmulo total de forragem e composição morfológica

Houve diferença ($P < 0,0001$) na produção de forragem entre os cultivares ao longo do ano e nas estações, sendo o cultivar Capiporã o mais produtivo no verão e acumulando maior quantidade de massa seca durante o ano. O cultivar Arapoty se destacou por sua maior produção no inverno (Tabela 2).

Tabela 2 - Acúmulo anual de forragem, e ao longo de verão e inverno agrostológicos

Cultivar	Acúmulo Total	Acúmulo “Verão”	Acúmulo “Inverno”
	Mg MS ha ⁻¹ ano ⁻¹	Mg MS ha ⁻¹	Mg MS ha ⁻¹
Capiporã	18,6 (1,04) a	15,4 (0,86) a	3,2 (0,22) ab
Xaraés	16,0 (1,04) b	13,2 (0,86) b	2,8 (0,22) bc
Basilisk	13,7 (1,04) bc	11,1 (0,86) bc	2,6 (0,22) c
Arapoty	13,3 (1,04) c	9,9 (0,86) c	3,4 (0,22) a
Marandu	12,5 (1,04) c	10,0 (0,86) c	2,5 (0,22) c
Média	14,8	11,90	2,90
CV%	19,9	22,2	20,0

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não se diferem entre si ($P \geq 0,05$)
Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

Segundo Ghisi & Pedreira (1984), a *B. Brizantha* pode alcançar produções superiores a 30 Mg de massa seca (MS) ha⁻¹ ano⁻¹, dependendo das condições climáticas e de manejo adotado. No experimento, mesmo com as adubações nitrogenadas, os acúmulos totais medidos foram inferiores àqueles relatados na literatura para a espécie, chegando apenas à aproximadamente 40 % dessa produção potencial. Para o cultivar Xaraés, durante o verão, Pedreira (2006) obteve cerca de 18 Mg ha⁻¹ de forragem acumulada, com mesmo intervalo de rebrotação, sob pastejo e sem irrigação. Valle et al. (2001) relataram produções de capim Marandu entre 2,0 e 8,6 Mg MS ha⁻¹ em 84 dias de crescimento livre. Mari (2003), trabalhando com intervalos entre cortes que

variavam de 15 a 90 dias, obteve amplitude de produção de massa seca entre 20,2 e 28,2 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, na forragem acumulada acima de 10 cm. Esses dados mostram que diferentes manejos são capazes de respostas produtivas variadas e que a altura do resíduo adotada (15 cm), foi possivelmente alta demais para a condição de corte, que aliada aos rápidos ciclos de rebrotação, promovem o maior acúmulo de folhas no estrato colhido.

A produção do Xaraés não diferiu da Basilisk, que por sua vez foi semelhante à do Marandu e Arapoty. Esses dados não são coerentes com os resultados encontrados por Rodrigues, (2004) que trabalhou com os mesmos cultivares na Embrapa Cerrados em Brasília. Porém, considerando as diferenças, nos períodos de avaliação e na altura de corte utilizada naquele trabalho (20 cm), algumas respostas são similares em ambos os trabalhos. Como exemplo a maior produção do cultivar Arapoty durante o inverno, que demonstrou ser menos estacional em ambos os trabalhos. No trabalho de Rodrigues (2004), o Arapoty foi o mais produtivo, provavelmente pelo maior acúmulo de colmos no estrato retirado nas amostragens. O cultivar Capiporã, em seu trabalho, foi o menos produtivo.

Mesmo sob irrigação, a produção de forragem ao longo do ano foi influenciada negativamente por fatores não controláveis do meio. As diferenças entre as produções anuais dos cultivares não se mantiveram dentro das estações e, apesar das restrições de luz e temperatura no inverno, o acúmulo de forragem nesse período foi capaz de atenuar ou acentuar algumas das diferenças observadas no verão, de modo análogo ao que foi observado por Tonato (2003) trabalhando com capins do gênero *Cynodon*. Burton et al. (1988) encontraram coeficiente de correlação de 0,95 entre produção de forragem de cultivares de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. e o comprimento do dia, e relatou que a redução do comprimento do dia, da radiação solar e da temperatura foram todas altamente correlacionadas com a redução na produção de forragem.

As proporções (porcentagem de folha, colmo e material morto) e quantidades (Kg MS ha⁻¹ de folha, colmo e material morto) dos capins durante o período experimental podem ser vistos nas Figuras 11 e 12. No verão (ciclos de 1 a 7) a proporção de folhas foi menor que no inverno (ciclos de 8 a 11) para todos os cultivares, devido ao maior acúmulo de colmos acima da camada colhível. No inverno, a proporção de folhas e material morto foram superiores à do verão, pois mesmo com um intervalo de rebrotação maior, o acúmulo de fitomassa acima da altura de corte foi baixo.

Figura 11 – Proporção dos componentes morfológicos dos cinco cultivares de *Brachiaria* durante o experimento (verão dos ciclos 1 a 7 e inverno dos ciclos 8 a 11)

Figura 12 – Acúmulo dos componentes morfológicos dos cinco cultivares de *Brachiaria* durante o experimento (verão dos ciclos 1 a 7 e inverno dos ciclos 8 a 11)

Hodgson (1990) e Lemaire & Chapman (1996), relatam que o aumento na taxa de senescência ao longo da rebrotação leva à redução na taxa de acúmulo líquido, até o ponto em que a produção de novos tecidos é totalmente compensada pela senescência. Com o aumento da área foliar, ocorre a sobreposição das folhas, o que induz a morte dos tecidos mais velhos, aumentando a senescência.

Com o intervalo entre cortes fixo, é possível traçar o perfil de acúmulo de forragem que é dependente das variáveis climáticas. No verão houve acúmulo máximo de todos os componentes. Dos ciclos 3 a 5, (dezembro a fevereiro) a temperatura e o fotoperíodo favorável além do aporte de água e nutrientes, tornou o período de descanso extenso em função do metabolismo de crescimento das plantas. A competição, principalmente por luz, induziu as gramíneas a ocuparem estratos mais altos, acumulando maior quantidade de colmos. No inverno, apesar do período de rebrotação ser maior (42 dias), os ajustes fisiológicos em situações de baixa temperatura alteram o crescimento das plantas diminuindo o tamanho dos internódios e reduzindo a velocidade de rebrotação. Estudos de metabolismo mostram que os compostos sintetizados em situações de baixa temperatura são alocados principalmente para os órgãos de reserva. Cooper & Tainton (1968) ressaltaram que a temperatura influencia a distribuição de assimilados entre a raiz e parte aérea. Porém, no período de transição entre inverno e primavera (ciclo 11, que abrangeu o mês de setembro), a retomada das altas temperaturas e do maior comprimento dos dias, aliado ao período de rebrotação de 42 dias, levaram todos os cultivares a acumularem uma grande quantidade de forragem, chegando próximo aos níveis alcançados no verão.

4.1.2 Resíduo e sua composição morfológica

As diferenças no desempenho dos capins podem estar associadas ao manejo utilizado. Apesar da mesma altura residual adotada e mantida para todos os cultivares, houve diferença ($P < 0,0001$) entre cultivares e entre estações, mas não houve interação cultivar x estação ($P = 0,7691$). A massa residual aumentou do verão para o inverno para todos os cultivares sendo que a massa do resíduo do cultivar Basilisk foi sempre menor ($P < 0,0001$) enquanto a do Marandu sempre foi a maior ($P < 0,0001$) em ambas as estações (Tabela 3).

Carnevali (2003) reportou pequena variação anual na massa do resíduo do capim Mombaça (em média $3500 \text{ kg MS ha}^{-1}$), trabalhando com resíduos de 30 e 50 cm e desfolhas aos 95 e 100% de IL. No entanto, nos tratamentos em que a desfolha foi postergada até que quase toda a radiação fosse interceptada, a altura residual aumentou ao longo do experimento, passando de 33 a 50 cm e de 50 a 60 cm para os resíduos estabelecidos de 30 e 50 cm respectivamente. Pedreira (2006) reportou o aumento do acúmulo de massa residual para o capim Xaraés entre primavera e verão, passando de 3,6 para $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ sob pastejo. Trindade (2007) trabalhando

com capim Marandu, encontrou massa pós pastejo, que passou de 5,3 para 6,2 Mg MS ha⁻¹, para primavera e verão respectivamente. O aumento da massa residual ao longo do período experimental também foi reportado por Moreno (2004) que mediu variação na massa de forragem residual de capins do gênero *Panicum* sob corte, na ordem de 4,7 para 9,0 Mg MS ha⁻¹ entre dois verões.

Tabela 3 - Massa do resíduo nas rebrotações acompanhadas ao longo do período experimental

Cultivar	Acompanhamento de Verão	Acompanhamento de Inverno
	kg MS ha ⁻¹	kg MS ha ⁻¹
Marandu	5605,4 (164,8) a	6953,0 (220,7) a
Capiporã	4869,5 (164,8) b	5746,8 (191,1)b
Xaraés	4399,0 (164,8) b	5700,9 (191,1) b
Arapoty	3899,0 (164,8) c	5042,5 (191,1) c
Basilisk	3794,1 (164,8) c	5007,8 (191,1) c
Média	4489,4 B	5710,3 A

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não se diferem entre si (P ≥ 0,05)

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

As proporções dos componentes morfológicos dos acompanhamentos de verão e inverno (Tabela 4) foram diferentes entre os cultivares (P= 0,0002 e P=0,0396 para folhas no verão e inverno respectivamente; P<0,0001 para colmos no verão e inverno e P<0,0001 e P=0,0360 para material morto no verão e inverno respectivamente). Houve diferença entre os componentes morfológicos dos cultivares entre as estações (P<0,0001 para os componentes folha e colmos e P=0,0136 para a fração material morto). Houve interação entre cultivar x estação para os componentes folha e material morto (P<0,0001 e P=0,0034 respectivamente), mas não houve interação para o componente colmo (P=0,094).

Entre as estações houve o aumento da massa residual que se deu pelo acúmulo de folhas. Em média, para todos os cultivares, 640 kg MS ha⁻¹. Esse acúmulo demonstra que a altura do resíduo foi alta para todos os cultivares a ponto das plantas produzirem folhas abaixo da linha de corte. No verão, com a maximização do crescimento da forragem, estratos mais altos do dossel foram explorados pelas folhas, reduzindo o seu aparecimento na camada residual.

Tabela 4 – Composição morfológica do resíduo nos acompanhamentos de verão e inverno

Cultivar	Acompanhamento de Verão			Acompanhamento de Inverno		
	Folha	Colmo	Mat. morto	Folha	Colmo	Mat. morto
	----- % -----					
Marandu	26,5 a	32,3 ab	41,2 c	22,4 b	25,1 a	52,5 bc
Capiporã	12,8 c	25,7 c	61,5 a	24,8 ab	17,3 b	57,9 a
Xaraés	15,3 bc	31,1 b	53,6 b	26,2 a	18,6 b	55,2 abc
Arapoty	17,6 b	30,5 b	51,9 b	26,8 a	17,7 b	55,5 ab
Basilisk	15,5 bc	34,3 a	50,2 b	24,8 ab	22,8 a	52,4 bc
Média	17,6	30,7	51,7	25,0	20,3	54,7

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não se diferem entre si ($P \geq 0,05$)

Outro componente que foi acumulado no resíduo foi a fração morta, que passou de 2321, para cerca de 3123 kg MS ha⁻¹, um incremento de mais de 800 kg MS ha⁻¹ entre as estações, mais um motivo que vai contra a altura do resíduo, sub-utilizando a forragem produzida. A fração colmo, teve a massa reduzida entre as estações, passando de 1378 para 1159 kg MS ha⁻¹, uma redução de aproximadamente 200 kg MS ha⁻¹. Essa redução pode ter ocorrido pela mortalidade dos perfilhos existentes, incorporando-os à fração morta, que por sua vez poderia limitar o desenvolvimento de novos perfilhos, impedindo a entrada da luz nas camadas inferiores do dossel, ou mesmo obstruindo fisicamente o desenvolvimento dos mesmos. Talvez pelo fato de ocupar estratos mais baixos no inverno, as plantas emitiram perfilhos menores e mais leves (menos fibrosos), reduzindo a sua participação na fitomassa residual. Carnevalli (2003), trabalhando com Mombaça sob duas altura de resíduo (30 e 50 cm), constatou que ocorre redução na densidade populacional de perfilhos do verão para o outono/inverno, consequência da mortalidade natural dos perfilhos nesse período.

Rodrigues (2004) também reportou o aumento na massa residual dos capins Xaraés, Arapoty, Capiporã e Marandu na ordem 1000 kg MS ha⁻¹ num período de quatro meses, porém as massas encontradas não passaram de 50 % dos valores encontrados no presente experimento.

4.1.3 Estacionalidade de produção

Os cultivares concentraram, aproximadamente, cerca de 80% da sua produção no verão e 20% no inverno (Figura 13). Moreno (2004) e Uebele (2002) observaram valores de 70 % de acúmulo de forragem no verão e 30 % no inverno, para capins do gênero *Panicum*.

Figura 13 - Distribuição estacional da produção anual de forragem de capins do gênero *Brachiaria* sob irrigação

Sob irrigação, Ghelfi Filho (1972) reportou 76 % da produção anual do capim Napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) durante o verão e 24 % durante o inverno. Alvim et al. (1986) mediram produções de inverno de oito espécies de capins tropicais sob irrigação, correspondendo de 8,5 a 42,5 % da anual, embora apenas dois capins apresentaram produção no inverno menor que 20 % da total.

Os resultados do presente trabalho ilustram que as respostas dos capins do gênero *Brachiaria* são influenciadas pelas variações estacionais de temperatura e fotoperíodo, estando de acordo com o reportado por Tonato (2003) para capins do gênero *Cynodon*, e por Moreno (2004) para capins do gênero *Panicum*. O crescimento das plantas em resposta à luz solar pode ser devido a fatores qualitativos comprimento de ondas ou cor), densidade (intensidade) e duração da

radiação (fotoperíodo). Ao correlacionar a temperatura mínima média mensal com os dados de produção de massa seca de 32 espécies e cultivares forrageiros no estado de São Paulo, Pedro Jr. et al. (1990) concluíram que a produção de massa seca foi quase nula em temperaturas mínimas inferiores a 10 °C. Segundo Jones (1985), em geral, o estresse da planta devido a temperaturas baixas é mais freqüente em comparação com o causado por temperaturas altas, quando se trata de espécies forrageiras tropicais. Por serem de fisiologia C₄, as espécies tropicais apresentam redução da atividade fotossintética e metabólica sob baixas temperaturas, um dos principais agentes causadores da estacionalidade de produção.

Durante o período experimental, tanto a intensidade luminosa como o fotoperíodo diminuíram a partir do mês de fevereiro, o que ocasionou redução no crescimento das plantas. Segundo Hay (1990), o acúmulo de forragem das gramíneas geralmente aumenta com o aumento do comprimento do dia, independente do desenvolvimento reprodutivo. A produtividade das pastagens é baixa durante os meses de fotoperíodo curto, com consequências negativas significativas para a agricultura e para o seqüestro de carbono atmosférico (SINCLAIR et al., 2001).

4.2 Efeito dos fatores climáticos sobre as respostas produtivas

4.2.1 Temperatura base inferior (T_{Bi})

A literatura é rica em informações sobre valores de T_{Bi} entre 10 e 15 °C para plantas forrageiras tropicais (COOPER & TAINTON, 1968). Essas generalizações são geralmente aceitas em vários trabalhos devido à escassez de dados específicos para cada espécie. Em alguns casos valores pontuais para grupos de plantas, como 15 °C (MCWILLIAM, 1978), 16 °C (PEDRO Jr. et al., 1990) e 17 °C (COSTA, 1984) para gramíneas tropicais, são citados. Rodrigues (2004) encontrou para os cultivares Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã em Brasília, valores de T_{Bi} de 18,6; 19,5; 17,8 e 18,3 °C respectivamente, já no presente estudo, nas condições climáticas de Piracicaba, os valores foram menores (Tabela 5 e Figura 16). Isso ocorreu provavelmente devido o trabalho de Rodrigues (2004) apresentar ciclos de rebrotação onde não houve acúmulo de forragem para alguns cultivares, além de não ter os dados de produção dos meses de novembro e dezembro, ambos influenciam na inclinação da curva. Apesar da temperatura-base ser

determinada geneticamente, as condições experimentais (irrigação, eliminação de meristemas, período e/ou época de avaliação, estágio fisiológico das plantas, tipo de solo, dentre outros) interferem na resposta produtiva das plantas, não sendo possível determinar um valor exato de temperatura base em condição de campo.

Tabela 5 - Valores da Temperatura Base inferior (T_{Bi}), para os cinco cultivares de *Brachiaria*

Cultivar	T _{Bi}
	°C
Capiporã	17,10 (0,20) a
Basilisk	17,03 (0,20) a
Xaraés	16,90 (0,20) ab
Arapoty	16,32 (0,20) b
Marandu	16,31 (0,20) b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si ($P \geq 0,05$)

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

Tonato (2003), trabalhando com capins do gênero *Cynodon* encontrou diferenças na temperatura base inferior de até 13 % entre cultivares. Moreno (2004) trabalhando com cinco cultivares de *Panicum* também encontrou tais diferenças na ordem de 11 %. No presente trabalho as diferenças foram menos pronunciadas chegando a aproximadamente 5 %. A extrapolação dos valores medidos para outras espécies (ou até cultivares de um mesma espécie) pode, portanto, levar a erros, uma vez que tal característica tem mostrado individualidade, até mesmo dentro de um mesmo gênero.

Figura 14 – Regressões entre taxa média de acúmulo e temperatura média nos ciclos de rebrotação, para determinação da TBi em capins do gênero *Brachiaria*

As diferenças entre as TBis dos cultivares ajudam a explicar as diferenças encontradas na produção de forragem durante o inverno agrostológico (uma vez que a água não foi fator limitante da produção no presente estudo) e estão provavelmente associadas a diferenças nos ambientes de origem de cada material (ALCÂNTARA et al., 1989; RODRIGUES et al., 1989). As menores TBi encontradas foram dos capins Marandu, Xaraés e Arapoty, o que provavelmente explica sua maior produção no período de inverno. Apesar das TBis dos capins Capiporã e Basilisk serem maiores, a produção de forragem foi compensada no período quente do ano, sendo dois dos capins mais produtivos.

4.2.2 Correlações entre temperatura, fotoperíodo e produção de forragem

Foram determinados os coeficientes de correlação (r) entre as características acúmulo de forragem (AF) e taxa média de acúmulo (TMA) e as variáveis climáticas temperatura (máxima, média e mínima), fotoperíodo (N) médio do período de rebrotação, graus-dia (GD) e unidades fototérmicas (UF) acumulados em cada ciclo de crescimento (Tabela 6).

A ausência de correlação encontrada entre o acúmulo de folhas e UF acumuladas durante as rebrotações ao longo do ano foi provavelmente devida ao aumento no intervalo entre desfolhas durante o inverno, o que diminuiu a amplitude de valores para a quantidade de unidades fototérmicas acumuladas nas rebrotações ao longo do ano. O mesmo ocorreu com o acúmulo de graus-dia, resultando em baixos coeficientes de correlação. As correlações usando temperaturas máximas e mínimas confirmam a associação dessas variáveis com produção de forragem e, de um modo geral, as correlações com taxa média de acúmulo foram maiores que aquelas com acúmulo, pois a taxa média de acúmulo conseguiu diminuir o efeito de diferentes intervalos entre desfolhas utilizados no experimento, utilizando valores trazidos para um denominador comum ($\text{kg MS ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$). Apesar disso, ao longo das rebrotações acompanhadas semanalmente no verão e a cada 10 dias no inverno, o coeficiente de correlação (r) entre acúmulo de forragem e acúmulo unidades fototérmicas foi de 0,84 ($P < 0,0001$) enquanto que a correlação entre acúmulo de forragem e graus-dia foi de 0,80 ($P < 0,0001$).

Tabela 6 - Coeficientes de correlação (r) entre acúmulo de forragem (AF), taxa média e acúmulo (TMA) e variáveis climáticas nas rebrotações ao longo do período experimental

Cultivar	Resposta	UF	GD	Nméd ¹	Tmáx ²	Tmín ²	Tméd ²
Basilisk	AF	0,42	0,64	0,83	0,70	0,83	0,80
	TMA	ns [§]	0,57	0,81	0,73	0,87	0,83
Marandu	AF	0,34	0,52	0,76	0,60	0,82	0,75
	TMA	ns	0,43	0,73	0,63	0,85	0,78
Xaraés	AF	0,39	0,52	0,76	0,60	0,82	0,75
	TMA	ns	0,54	0,73	0,63	0,85	0,78
Arapoty	AF	0,57	0,63	0,57	0,50	0,61	0,58
	TMA	0,39	0,57	0,64	0,59	0,74	0,70
Capiporã	AF	0,40	0,60	0,82	0,75	0,84	0,82
	TMA	ns	0,54	0,79	0,76	0,86	0,83

§ ns – não-significativo a ($P \geq 0,05$); ¹ Fotoperíodo médio; ² Temperaturas máxima, mínima e média

A temperatura afeta diversos processos metabólicos nos vegetais, entre eles fotossíntese, respiração e taxa de expansão foliar, o que faz com que a temperatura esteja intimamente ligada ao processo de acúmulo de forragem (RODRIGUES & RODRIGUES, 1987) e seja um dos principais responsáveis pela estacionalidade de produção. Nos trabalhos de Ghelfi Filho (1972) e Pedreira & Mattos (1981) a taxa máxima de acúmulo não coincidiu com a máxima temperatura, sugerindo a existência de outros fatores influenciando na produção de forragem. Sinclair et al. (2001) e Sinclair et al. (2003), para o capim Pensacola (*Paspalum notatum* Flugge) e com capins do gênero *Cynodon* (Tifton-85, Florakirk e Florona), mediram produções cerca de duas vezes maiores quando o fotoperíodo foi artificialmente aumentado durante os meses de inverno, mostrando o marcante efeito desse fator na produção de forragem.

4.2.3 Ajuste dos modelos de produção baseados em unidades fototérmicas (UF)

Os modelos são do tipo logístico e tem a forma

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} \quad (13)$$

Os ajustes de modelos não-lineares foram feitos utilizando os dados coletados ao longo das rebrotações acompanhadas de verão (dezembro/janeiro), e inverno (junho a agosto) (Tabela 7).

Tabela 7 - Parâmetros dos modelos utilizados para descrever as variações do acúmulo de forragem em função de unidades fototérmicas em rebrotações de verão e inverno

Cultivar	Verão			Inverno		
	a	x ₀	b	a	x ₀	b
	kg MS ha ⁻¹			kg MS ha ⁻¹		
Basilisk	2485,9	1606,2	804,8	433,0	378,3	276,7
Marandu	2674,2	2925,5	1387,9	323,8	314,0	179,1
Xaraés	3574,8	3199,1	1641,8	378,0	189,5	92,5
Arapoty	2417,6	2661,8	1211,8	256,7	234,1	140,2
Capiporã	4999,1	4620,1	1437,7	379,9	176,2	85,0

Os parâmetros são ‘a’, a assíntota (valor máximo de y), ‘x₀’ o valor de x para y = a/2, que é o ponto de inflexão do modelo, que corresponde ao ponto de máximo da primeira derivada da função (dy/dx) (HUNT, 1982; SEBER & WILD, 1989) e ‘b’ o inverso da taxa de aceleração inicial do modelo (que corresponde ao inverso da máxima taxa de crescimento relativo quando o modelo parte da origem) (Birch, 1999). Segundo Parsons et al., (1988) a primeira derivada da função logística corresponde à taxa de acúmulo instantânea e seu ponto de máximo (máxima taxa de acúmulo instantânea) e ocorre um pouco antes da máxima taxa de acúmulo média [(y₁ - y₀)/x]. O valor de ‘y’ corresponde à quantidade de forragem acumulada em kg MS ha⁻¹ e ‘x’ à quantidade de unidades fototérmicas acumuladas no período.

Foram feitas regressões individuais para cada cultivar dentro de cada estação devido aos coeficientes serem diferentes entre estações e entre cultivares. A assíntota dos modelos de verão

foi maior que a dos modelos de inverno, indicando que, provavelmente, mesmo rebrotações muito longas durante o inverno não permitiriam produções da mesma ordem de grandeza daquelas ocorridas durante verão.

O ponto de máxima taxa de acúmulo instantânea (x_0) ocorreu mais cedo nas rebrotações de inverno e a aceleração inicial de crescimento também foi maior durante o inverno (menores valores de 'b'), indicando que as máximas taxas de acúmulo (média e instantânea) ocorreram com o acúmulo de uma menor quantidade de unidades fototérmicas nesse período. Entretanto, devido às menores temperaturas e ao menor fotoperíodo de inverno, o mesmo ponto da rebrotação (máximas taxas de acúmulo média e instantânea) foi atingido após um maior período de crescimento (em dias) no inverno, apesar da menor quantidade de unidades fototérmicas acumuladas. Embora os modelos logísticos e seus parâmetros tenham significado biológico, ao contrário do que acontece quando se usam equações polinomiais (HUNT, 1982), os parâmetros das regressões determinadas no presente estudo, com exceção da assíntota, não são comparáveis, pois a escala temporal à qual estão relacionados é diferente entre os cultivares. Isso se deve às diferentes TBis utilizadas para o cálculo do acúmulo de UFs para cada cultivar, que fez com que capins crescendo no mesmo período de tempo (sob as mesmas temperaturas e o mesmo fotoperíodo) acumulassem quantidades diferentes de UFs (Tabela 8).

O uso da equação logística na descrição de vários aspectos do crescimento vegetal vem de longa data. Hunt (1982) citou inúmeros trabalhos em que a função foi empregada. Ludlow & Charles-Edwards (1980), Parsons et al. (1988), Cacho (1993), Birch (1999) e Peek et al. (2002) também discutiram a não linearidade do crescimento vegetal e a função logística é apontada como uma boa aproximação na determinação de curvas de crescimento.

Tabela 8 - Unidades fototérmicas acumuladas ao longo das rebrotações de verão e inverno utilizadas para a composição dos modelos

Cultivar	Verão	Inverno
Basilisk	3328	1561
Marandu	4192	2126
Xaraés	3476	1322
Arapoty	4205	2135
Capiporã	3249	1513

O poder de predição dos modelos pode ser avaliado comparando-se a produção estimada com a produção total de forragem (Tabela 9). A ocorrência de super e subestimativas, ocorridas principalmente durante o inverno (época em que ocorre o florescimento dos capins) e início do verão, promoveram variações de mais de 50% (inverno) e 25% (verão) entre os valores preditos e observados. Essa amplitude que o modelo não engloba na primavera e outono, sugere a necessidade de se acompanhar um maior número de rebrotações para que a variabilidade nos valores das respostas dos capins às variáveis climáticas seja contemplada.

Tabela 9 - Valores de produção de forragem observada *versus* a estimada pelos modelos

Cultivar	Verão		Inverno		Total	
	Observada	Prevista	Observada	Prevista	Observada	Prevista
	----- kg MS ha ⁻¹ -----					
Basilisk	10127	13942	3602	2115	13729	16057
Marandu	8831	12296	3616	1618	12447	13914
Xaraés	12011	13045	3914	1890	15925	14935
Arapoty	8750	11833	4560	1283	13310	13116
Capiporã	14215	11494	4435	1899	18650	13393

4.3 Características morfofisiológicas e suas respostas a fatores climáticos

4.3.1 Componentes do acúmulo de forragem

O acúmulo de folhas também foi modelado em função do acúmulo de unidades fototérmicas utilizando-se a mesma função logística com três parâmetros utilizada para acúmulo de forragem (Tabela 10). As assíntotas calculadas para acúmulo de folhas foram menores que aquelas para acúmulo de massa total, o que indica que após o acúmulo máximo de folhas ser atingido, continua havendo acúmulo de forragem devido ao acúmulo das frações colmo e material morto. Essas frações não foram modeladas devido ao desvio da normalidade na distribuição dos erros, uma das condições básicas para a análise de regressão (RATKOWSKY, 1990).

Tabela 10 - Parâmetros dos modelos utilizados para descrever as variações do acúmulo de folhas em função de unidades fototérmicas em rebrotações de verão e inverno

Cultivar	Verão			Inverno		
	a	x ₀	b	a	x ₀	b
	kg MS ha ⁻¹			kg MS ha ⁻¹		
Basilisk	1523,7	1183,4	617,4	335,9	174,2	85,49
Marandu	2026,9	2345,5	1170,65	269,5	298,7	169,6
Xaraés	2704,2	2534,4	1211,2	370,5	204,6	98,1
Arapoty	1438,6	1478,6	741,4	244,6	230,7	137,0
Capiporã	2847,2	2718,6	1230,4	373,0	174,4	83,9

Houve, no entanto, o aumento no acúmulo da massa de colmos em função do acúmulo de UF (Figura 15). Durante a fase inicial da rebrotação o acúmulo desses componentes é praticamente nulo e, portanto, o acúmulo de forragem nessa fase é composto essencialmente por folhas. Cultivares como a Basilisk e Arapoty, que acumulam mais colmos acima da altura de corte apresentam acúmulo dessas frações já no início das rebrotações.

A altura do resíduo pode estar associada à altura da camada de folhas ou à camada formada pelos colmos, bainhas e material morto na parte basal da planta (LACA & UNGAR, 1992; MORENO, 2004; CARNEVALLI, 2003). Carnevalli (2003) encontrou dificuldade em controlar a altura do resíduo pós-pastejo do capim Mombaça quando a desfolha foi postergada até que quase toda luz fosse interceptada. O mesmo foi reportado por Gomes (2001), que impôs diferentes intensidades de desfolha (4, 8 e 12 % de oferta de forragem) a cada 35 dias no capim Mombaça. Trindade (2007) encontrou problemas parecidos no rebaixamento dos pastos de capim-Marandu a 10 cm, devido ao acúmulo de colmos que não eram consumidos pelos animais. Quando a interceptação de luz for quase total, acima de 95 %, os acúmulos de colmos e material morto aumentaram exponencialmente (Figura 16).

Figura 15 - Evolução do acúmulo de colmos em função da quantidade de UFs acumuladas ao longo das rebrotações (médias do verão e inverno) em capins do gênero *Brachiaria*

Figura 16 - Acúmulo de colmos e material morto de cinco capins do gênero *Brachiaria* em função da IL do dossel. Dados médios dos cinco cultivares

4.3.2 Fotossíntese, IAF e interceptação luminosa do dossel

As taxas de fotossíntese do dossel simuladas pelo modelo de Boote & Jones (1987) não diferiram entre cultivares (em média, $34,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $P=0,55$), mas foram distintas entre estações ($P=0,0037$), não houve interação Cultivar x Estação ($P=0,83$). O mesmo ocorreu com os IAFs e Fotossíntese de folhas individuais que não diferiram entre cultivares ($P=0,1421$ e $P=0,9501$ respectivamente), mas foram diferentes entre estações ($P<0,0001$ e $P=0,050$ respectivamente) (Tabela 11).

Tabela 11 – Médias das taxas de fotossíntese foliar (por área de folha) e fotossíntese de dossel (por área de solo) e do IAF medidos ao longo das rebrotações acompanhadas

Fotossíntese Foliar		Fotossíntese de Dossel		IAF	
Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
----- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -----					
⁽¹⁾ 21,7 (0,60) a	19,4 (0,60) b	36,7 (0,94) a	32,1 (0,82) b	2,9 (0,04) a	2,1 (0,04) b
⁽²⁾ 20,55 (1,09)		34,41 (1,29)		2,53 (0,049)	

⁽¹⁾ Médias de todos os cultivares dentro das estações; ⁽²⁾ Médias de todos os cultivares

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ($P \geq 0,05$)

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

Apesar de não haver diferenças entre as taxas fotossintéticas dos cultivares, houve diferença na produção de forragem, o que mostra a importância de outros processos fisiológicos como a partição dos fotoassimilados no processo de acúmulo de forragem. Zelitch (1982) salientou que a assimilação bruta de carbono não se transforma necessariamente em produção colhível, sendo que materiais que possuem maior taxa assimilatória podem sofrer grandes perdas respiratórias ou alocar o carbono assimilado a órgãos não colhíveis. Embora as taxas de fotossíntese de dossel sejam estimadas a partir de taxas de fotossíntese foliar líquida, grandes quantidades do carbono podem ser perdidas devido à respiração noturna, mesmo se a assimilação líquida de carbono durante o dia for elevada (ROBSON, 1982; ZELITCH, 1982).

Ao longo do desenvolvimento da comunidade de plantas, com o aumento da área foliar e consequentemente da interceptação da radiação pelo dossel, ocorre a sobreposição de folhas jovens às folhas velhas. A brusca redução na quantidade de radiação que incide sobre as folhas mais velhas causa grande redução na sua capacidade fotossintética, geralmente levando à senescência (ACOCK, 1991). Para que as folhas novas se sobreponham às folhas velhas e assim, não se desenvolvam em ambiente sombreado, a camada de folhas deve ser elevada no perfil do dossel através do alongamento das colmos (Figuras 13, 14 e 17). Levando em consideração que a taxa de fotossíntese foliar a pleno sol corresponde à máxima taxa fotossintética de cada cultivar, podemos relacionar esses valores com a taxa de fotossíntese de dossel, que engloba a fotossíntese de folhas na luz e na sombra, sendo possível prever quanto o dossel ganha em eficiência de fixação de carbono com o desenvolvimento e crescimento de novas folhas.

Estimado pelo modelo de Boote & Jones (1987), no verão, a fotossíntese de folhas à sombra é responsável por aproximadamente 53 % da fixação do carbono atmosférico no início da rebrotação. Essa proporção diminui com o incremento de folhas verdes fotossinteticamente ativas, passando a fotossíntese de sombra ser responsável por apenas 35 % da fixação do carbono, tendo maior participação na assimilação de carbono as folhas ensolaradas. O mesmo ocorre no inverno onde a participação da fotossíntese de folhas à sombra na fotossíntese total do dossel passa de 66 % (início da rebrotação) para 41 % (final da rebrotação).

Taxas de fotossíntese foliar e de dossel apresentaram baixa correlação com acúmulo de forragem ($P < 0,0001$) ($r = 0,27$ e $r = 0,47$ respectivamente). Essa correlação, embora significativa, mostra a baixa associação entre produção e fotossíntese de folhas individuais, já que uma única folha não consegue representar todas as categorias de folhas presentes e seus respectivos potenciais fotossintéticos, além de não considerar o tamanho do aparato fotossintético da planta (Zelitch, 1982). Características do dossel como interceptação de luz ($r = 0,77$; $P < 0,0001$), o IAF ($r = 0,73$; $P < 0,0001$) e a capacidade fotossintética das folhas ($r = 0,91$; $P < 0,0001$) apresentaram melhor associação com a taxa fotossintética do dossel.

A taxa média de fotossíntese de dossel do inverno ($32,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi menor cerca de 13 % da média de verão ($36,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), isso se deu devido o ciclo de acompanhamento de inverno, para as medições de fotossíntese, ter sido deslocado do 9º para o 10º, cujas temperaturas já estavam maiores, e a produção de forragem foi 70 % maior que a produção do anterior. O padrão observado da evolução das taxas de fotossíntese de dossel com o aumento do IAF (Figura 17) também foi reportado por Ludlow & Charles-Edward (1980) e Morgan & Brown (1983).

Figura 17 - Variação da fotossíntese de dossel de capins do gênero *Brachiaria* em função do IAF (média de cinco cultivares em rebrotações acompanhadas de verão e de inverno)

A taxa de fotossíntese do dossel foi maior no início da rebrotação de inverno, mesmo com o IAF mais baixo, isso ocorreu devido ao menor acúmulo de folhas na rebrotação anterior. Essa condição permitiu que as folhas próximas do resíduo fossem mais ensolaradas, adaptando seu aparato fotossintético à condição de maior iluminação, fotossintetizando mais que o resíduo no verão. Esse padrão se alterou com a rebrotação e após o surgimento de novas folhas, a fotossíntese de dossel no verão superou a de inverno. As taxas de fotossíntese foliar também apresentaram o mesmo padrão, porém as diferenças entre as estações foram mais acentuadas (Figura 18).

Figura 18 - Variação da taxa de fotossíntese foliar em função do IAF em capins do gênero *Brachiaria* ao longo de rebrotagens acompanhadas de verão de inverno

Com o aumento no IAF, a maior quantidade de folhas conseguiu compensar a queda na taxa de fotossíntese de folhas individuais, já que a taxa de fotossíntese de dossel continuou aumentando. As variações de IAF e IL foram bem descritas pela mesma função logística, com três parâmetros (Tabelas 12 e 13). As assíntotas para IAF no verão foram maiores, assim como a interceptação de luz.

Tabela 12 - Parâmetros dos modelos utilizados para descrever as variações do IAF em função de unidades fototérmicas em rebrotações de verão e inverno

Cultivar	Verão			Inverno		
	a	x ₀	b	a	x ₀	b
Basilisk	3,61	-58,5	569,1	2,52	-104,1	148,4
Marandu	3,90	-504,2	1125,5	2,39	-242,9	255,1
Xaraés	3,61	-63,7	653,9	2,48	-77,6	212,8
Arapoty	3,56	-104,6	632,7	2,55	-174,7	250,2
Capiporã	3,65	-198,5	967,9	2,68	-64,20	124,0

A assíntota (a) corresponde ao valor de IAF máximo

Tabela 13 - Parâmetros dos modelos utilizados para descrever as variações do IL em função de unidades fototérmicas em rebrotações de verão e inverno

Cultivar	Verão			Inverno		
	a	x ₀	b	a	x ₀	b
Basilisk	0,93	-227	166,1	0,85	-218,5	134,8
Marandu	0,96	-1609,4	780,7	0,83	-361,9	212,5
Xaraés	0,94	-582,0	392,5	0,85	-231,1	191,5
Arapoty	0,93	-410,8	284,8	0,85	-379,0	231,8
Capiporã	0,93	-815,1	506,6	0,85	-143,0	107,8

A assíntota (a) corresponde à fração de máxima radiação interceptada

Os ângulos foliares (Tabela 14) foram diferentes entre cultivares e estações ($P < 0,0001$). O coeficiente de extinção luminosa (Tabela 14) também foi significativo entre cultivares e estações ($P = 0,0002$ e $P < 0,0001$ respectivamente) não houve, porém, interação cultivar x estação ($P = 0,14$ e

$P=0,13$ respectivamente para ambas as variáveis). Fagundes et al. (2001) encontrou maiores coeficientes de extinção luminosa em pastos de *Cynodon* spp. mais altos, o que estaria associado a folhas maiores e ângulos foliares menores. Outra possibilidade seria a maior participação de outros componentes, como material morto, interferindo na interceptação de luz. Teixeira et al., (1999) e Pedreira & Rosseto (2002) encontraram aumento gradual na proporção de material morto com o avanço da estação seca. Bueno (2003) encontrou maior proporção de material morto durante o outono e inverno (inverno agrostológico).

Tabela 14 – Valores de ângulos foliares e coeficiente de extinção luminosa (k) para os cultivares de *Brachiaria* nos acompanhamentos de verão e inverno

Cultivar	Ângulos foliares	Coeficiente de extinção luminosa (k)
Capiporã	57,8 (0,45) a	0,7548 (0,0045) c
Arapoty	55,4 (0,45) b	0,7746 (0,0045) b
Basilisk	54,0 (0,45) c	0,7836 (0,0045) ab
Marandu	53,4 (0,45) cd	0,7903 (0,0045) a
Xaraés	52,1 (0,45) d	0,7938 (0,0045) a
Estação	Ângulos foliares	Coeficiente de extinção luminosa
Verão	48,9 (0,41) B	0,8124 (0,0028) A
Inverno	60,2 (0,41) A	0,7423 (0,0028) B

Médias seguidas de mesma letra minúscula e maiúscula na coluna não se diferem entre si ($P \geq 0,05$)

Os valores do IAF e da IL dos dosséis foram simulados para o ponto de máxima taxa média de acúmulo (Tabela 15). A IL apresentou alta correlação altura ($r=0,79$; $P<0,0001$) e com IAF ($r = 0,94$; $P<0,0001$) (Figura 19), como descrito por Carnevalli (2003) e Mello & Pedreira (2004) para os capins Mombaça e Tanzânia, respectivamente.

Tabela 15 - Valores de IAF e IL simulados através dos modelos em função do acúmulo de unidades fototérmicas

Cultivar	IAF		IL	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
			----- % -----	
Basilisk	3,61	2,52	93	85
Marandu	3,86	2,39	96	83
Xaraés	3,60	2,48	94	85
Arapoty	3,56	2,55	93	85
Capiporã	3,59	2,68	93	85
Médias	3,64	2,52	94	85

Figura 19 - Correlações entre IL e altura, e IL e IAF de cultivares de *Brachiaria* ao longo das rebrotações acompanhadas de verão e inverno

A correlação entre IL e altura foi menor devido à maior dispersão dos valores de altura. Houve grande variação na interceptação luminosa no primeiro dia após o corte, que correspondia

a altura de 15 cm (Figura 19). Essa variação incrementou em até 10 % a IL entre as rebrotações acompanhadas, proporcionada pelo aumento da massa residual (Tabela 3).

4.3.3 Altura do dossel

Foi modelada a altura do dossel para cada cultivar e para cada estação, baseada no acúmulo de unidades fototérmicas, utilizando a mesma função logística com três parâmetros. (Tabela 16).

Tabela 16 - Parâmetros dos modelos utilizados para descrever as variações do acúmulo da altura da forragem em função de unidades fototérmicas em rebrotações de verão e inverno

Cultivar	Verão			Inverno		
	a (cm)	x_0	b	a (cm)	x_0	b
Basilisk	43,97	442,2	1611,0	22,81	-81,5	110,2
Marandu	29,85	-290,2	841,5	19,94	-222,0	163,8
Xaraés	33,60	28,16	145,3	22,98	-78,73	116,1
Arapoty	43,06	534,2	2283,7	21,42	-86,32	95,54
Capiporã	43,99	79,4	459,6	26,60	-28,00	87,11

As médias das alturas obtidas no final de cada ciclo foram de 47,8 cm para Capiporã, 35 cm para Basilisk, 34 cm para Arapoty, 40 cm para Xaraés e 30 cm para Marandu, durante o verão. No inverno as alturas foram 31 cm para Capiporã, 26,3 para Basilisk, 27,2 cm para Arapoty, 28 cm para Xaraés e 23,5 cm para Marandu. Esses valores são diferentes dos valores das assintotas dos modelos, devido os modelos terem sido desenvolvidos com dados referentes ao ciclo que não se enquadrava no período de maior altura de cada cultivar. Para os modelos de inverno os valores foram semelhantes aos observados, mas também com restrições devido aos dados usados para a modelagem serem provenientes do ciclo onde houve menor altura dos cultivares. Os demais ciclos apresentarem grandes variações na altura. Kephart et al. (1992) observaram redução acentuada na produção de colmos em relação à produção de folhas com a redução da radiação incidente em ‘switchgrass’ (*Panicum virgatum* Michx. cv. Cave-in-Rock), o

que sugere que durante o inverno, menores alturas podem ser resultado de menor produção de colmos.

A altura do dossel apresentou correlações com características morfofisiológicas (IAF, $r = 0,83$; IL, $r = 0,79$ e taxas de fotossíntese de dossel, $r = 0,68$; todos com $P < 0,0001$) e produtivas (acúmulo de forragem, $r = 0,60$ e acúmulo de folhas, $r = 0,60$, ambos com $P < 0,0001$), o que sugere a possibilidade de utilizar-se essa característica como uma ferramenta de manejo, de acordo com o proposto por Hodgson (1990), porém com algumas ressalvas, que devem ser melhor estudadas como a influência do resíduo nas medições de altura e IL. Mello & Pedreira (2004) controlaram a massa do resíduo pós-pastejo do capim Tanzânia, porém constataram variações na altura. Assim, variações na densidade volumétrica da forragem podem levar à variações em outras características do dossel, que não são necessariamente consistentes por variações em altura.

4.4 Relações entre interceptação luminosa e altura

Quando nutrientes e água não são limitantes, a produção “teto” é determinada pela energia luminosa recebida. Essa produção máxima somente será obtida se uma área apropriada de folhas conseguir interceptar a luz incidente (Warren Wilson, 1961). A fixação de carbono pelo dossel, em determinado período depende da qualidade da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas folhas verdes (PARa). Essa qualidade é determinada pela radiação incidente (PARo) e pela eficiência de absorção do dossel forrageiro (E_a) ($PARa = E_a \times PARo$) (Lemaire & Chapman, 1996). Essa eficiência na absorção é alterada a cada segundo, pois é dependente da elevação do sol, da relação radiação difusa/direta e principalmente da estrutura do dossel.

As características do dossel forrageiro que mais afetam a proporção da radiação fotossinteticamente ativa que é absorvida são IAF, ângulo da folhagem e propriedades óticas dos tecidos das plantas como transmitância e reflectância do comprimento de onda do espectro visível, distribuição das lâminas foliares e outros componentes morfológicos (Lemaire & Chapman, 1996). Portanto, o arranjo espacial da folhagem é importante para determinar a eficiência de absorção de luz pelo dossel (Warren Wilson, 1961). Segundo Loomis e Williams (1969), a arquitetura do dossel interfere em fatores como a distribuição da luz dentro da população de plantas e na circulação do ar, o que afeta a transferência de CO_2 entre plantas e

ambiente e a evapotranspiração. Isso torna a arquitetura do dossel um elemento importante na determinação dos padrões de interceptação luminosa.

Atualmente relações entre IL e vários outros componente morfofisiológicos vem sendo testadas no intuito de se encontrar uma característica que seja de fácil adoção pelos pecuaristas. Uma das características mais importantes que determina a habilidade competitiva pela luz numa comunidade de plantas é a altura. Pequenas diferenças em altura podem ter grandes efeitos na competição por luz, pois uma diferença mínima é suficiente para uma folha sobrepor-se à outra (Loomis e Williams, 1969), mas a altura pode ser uma ferramenta útil, pela facilidade de uso.

Pedreira, (2006) encontrou uma boa correlação entre altura e IL para Xaraés durante o verão ($r = 0,79$), mas Braga et al. (2006), trabalhando com Marandu sob lotação contínua, sugeriram que as relações entre IL e altura podem mudar ao longo do tempo, e que ao menos em regimes de desfolhação intermitente essa associação deveria ser feita de maneira cautelosa, como mostraram Parsons et al. (1988) e Busque & Herrero (2000). No presente trabalho, a correlação entre IL e altura, foi da ordem de 0,79 (Figura 21). As medições feitas semanalmente durante os 370 dias do experimento para cada cultivar estão na Figura 20.

Figura 20 – Altura, interceptação luminosa e ângulos foliares dos cinco cultivares de *Brachiaria* durante o período experimental

Os incrementos em altura foram similares aos incrementos na IL. Estes mostraram uma simetria inversa aos valores dos ângulos foliares. O aumento na IL foi consistente com a diminuição dos ângulos foliares.

Isolando apenas os valores correspondentes ao último dia de cada ciclo tem-se uma melhor visão entre as relações de altura, IL e ângulos foliares (Figura 21). Para uma correlação perfeita entre altura e IL (Figura 21), seria necessário que a altura desenhasse o mesmo trajeto que a IL, dentro de um mesmo padrão de escala. O que se observa é que a partir do quinto ciclo de rebrotação, ocorre a diminuição dos valores de altura, mas a IL não decai na mesma proporção. Essa variação é responsável pela redução do coeficiente de correlação entre altura e IL. Essa rebrotação (ciclo 5) corresponde ao mesmo ciclo onde o acúmulo de colmos foi o maior durante o experimento (Figuras 11 e 12).

Apesar dos ângulos aumentarem e a altura diminuir com a chegada do inverno, os valores de IL, se mantiveram altos (em média 85 % no final de cada ciclo rebrotação de inverno). Isso se deu, provavelmente, aumento da massa do resíduo (Figura 19 e Tabela 3) que se tornou mais denso, mesmo com a altura mantida (15 cm), afetando as medições semanais seguintes. Se o período experimental for dividido em frações como verão (ciclos 11 ao 7) e inverno (ciclos 8 a 10), ocorre um aumento na correlação entre IL e altura para cada cultivar. Para o cultivar Basilisk o r passa de 0,80 (anual) para 0,84 (verão) e 0,88 (inverno); para o cultivar Marandu o r passa de 0,78 (anual) para 0,79 (verão) e 0,80 (inverno), para o cultivar Xaraés o r passa de 0,79 (anual) para 0,82 (verão) e 0,85 (inverno), para o cultivar Arapoty o r passa de 0,78 (anual) para 0,80 (verão) e 0,89 (inverno); e para o cultivar Capiporã o r passa de 0,77 (anual) para 0,81 (verão) e 0,90 (inverno).

Esses aumentos nos valores de r são reflexos das alterações observadas na densidade volumétrica do dossel, principalmente do resíduo, suportando assim a noção que para um mesmo valor de interceptação de luz, pode haver diferentes alturas e que essa correlação deve ser discutida com cautela.

Figura 21 - Altura, interceptação luminosa e ângulos foliares dos cinco cultivares de *Brachiaria* no último dia de cada período de rebrotação

5 CONCLUSÕES

O cultivar Capiporã foi o mais produtivo enquanto o cultivar Marandu acumulou menos forragem. O cultivar Arapoty foi o menos estacional. Entre todos os cultivares estudados houve grande variação na maioria dos parâmetros morfofisiológicos avaliados, contrastando-os mesmo sendo do mesmo gênero.

Apesar do potencial de produção apresentado por alguns dos cultivares de *Brachiaria* spp. não ser condizente com o reportado em vários trabalhos na literatura, são capins com alto potencial forrageiro, desde que o manejo adotado seja correto, principalmente com relação à altura do resíduo sob corte mecânico.

A altura do resíduo adotado no experimento foi responsável pelo menor acúmulo de MS e pelas variações em ângulos foliares, IL, e k, no decorrer das rebrotações. Para a colheita mecânica, provavelmente alturas residuais mais baixas possibilitariam melhor utilização da forragem produzida sem colocar em risco a sustentabilidade e a persistência das pastagens. Alturas de corte ao redor de 8-10 cm possivelmente trariam melhor resultado nesse sentido, embora isso ainda requeira verificação experimental.

Medições de densidade populacional de perfilhos, peso de perfilhos e o acompanhamento do fluxo de tecidos, principalmente da senescência, poderiam responder questões ligadas às respostas de cada cultivar ao manejo aplicado no presente estudo, com relação à intensidade (altura residual de 15 cm) e à frequência (períodos de rebrotação de 28 e 42 dias para verão e inverno respectivamente), além de poder integrar modelos mais completos, que levem em consideração o balanço entre crescimento e morte de tecidos.

O uso do modelo de unidades fototérmicas foi factível e eficiente como ferramenta de previsão de produção de forragem ao longo do ano, desde que não haja limitações de água e nutrientes. Além disso, o modelo se ajustou bem às respostas morfofisiológicas, permitindo buscar melhores estratégias de manejo. A predição poderia ser melhor se os modelos fossem gerados para diferentes épocas do ano, incluindo primavera e outono, além do verão e inverno.

Tanto temperatura como fotoperíodo atuam sobre a produção de capins do gênero *Brachiaria*, sendo responsáveis pela sua estacionalidade mesmo sob irrigação. Entretanto, tais fatores não atuam isoladamente e é difícil quantificar sua contribuição individual. A ação conjugada desses fatores sobre o acúmulo de forragem pôde ser descrita através da unidade

fototérmica, embora estudos que contemplem uma maior amplitude de respostas da planta, tanto a variáveis climáticas como a fatores de manejo, sejam necessários para que o uso desse modelo se consolide como uma ferramenta no planejamento de uma propriedade e no estudo de plantas forrageiras.

As taxas de fotossíntese de dossel não diferiram entre cultivares, mas variaram entre estações, mesmo assim, sua correlação com a produção de forragem foi baixa, o que indica que e outros parâmetros fisiológicos estão envolvidos no processo de acúmulo de forragem.

A altura do dossel correlacionou-se bem, tanto com características morfofisiológicas como produtivas, o que a torna uma ferramenta possível de ser empregada no manejo do pastejo. Entretanto, foram observados aumentos na massa do resíduo, sem aumentos correspondentes na altura. Por isso, um maior número de estudos, que amplie o banco de dados disponível é necessário. Bancos de dados mais abrangentes e mais ricos, contemplando a máxima variabilidade possível, em termos de estratégia de manejo, são necessários para que a modelagem não se restrinja às condições do lugar ou da época em que foram gerados.

REFERÊNCIAS

- ACOCK, B. Modeling canopy photosynthetic response to carbon dioxide, light interception, temperature, and leaf traits. In: BOOTE, K. J.; LOOMIS, R. S. (Ed.). **Modeling crop photosynthesis – from biochemistry to canopy**. Madison: CSSA; ASA, 1991. cap.3, p.41-55.
- ALCÂNTARA, P.B.; PEDRO, J.R.; DONZELLI, P.L. Zoneamento edafoclimático de plantas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 2., 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1989. p.1-16.
- ALVIM, M.J.; BOTREL, M.A.; NOVELLY, P.E. Produção de gramíneas tropicais e temperadas, irrigadas na época seca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.15, n.5, p.384–392, 1986.
- ANDRADE, R.P. Tecnologia de produção de sementes do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11.1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 49-71.
- BARIONI, L.G.; MARTHA JR., 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: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20.2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 105-153.
- BAUER, A.; FRANK, A.B.; BLACK, A.L. Estimation of spring wheat leaf growth rate and anthesis from air temperature. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p.829-835, 1984.
- BERNARDES, M.S. Fotossíntese no dossel de plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fosfato, 1987. p.13-48.
- BIRCH, C.P.D. A new generalized logistic sigmoid growth equation compared with the Richards growth equation. **Annals of Botany**, Oxford, v.83, p.713-723, 1999.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W. Equations to define canopy photosynthesis from quantum efficiency, maximum leaf rate, light extinction, leaf area index, and photon flux density. In: BIGGINS, J. (Ed.). **Progress in photosynthesis research**. The Hague: Martinus Nijhoff Publ., 1987. v.4, p.415-418.
- BOOTE, K.J.; LOOMIS, R.S. The prediction of canopy assimilation. In: BOOTE, K.J.; LOOMIS, R.S. (Ed.). **Modeling crop photosynthesis – from biochemistry to canopy**. Madison: CSSA; ASA, 1991. p.109-140.
- BOTREL, M.A.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. Efeito da irrigação sobre algumas características agrônomicas de cultivares de capim-elefante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.10, p.1731-1736. 1991.

BRAGA, G.J.; PEDREIRA, C.G.S.; HERLING, V.R.; LUZ, P.H.C. Atenuação da capacidade fotossintética no dossel de uma pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (cd rom). In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 39. 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002.

BROUGHAM, R.W. Effect of intensity of difoliation on regrowth of pasture. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 7, n. 2, p. 377-387, 1956.

BROWN, R. H.; BLASER, R. E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v. 38, p. 1-9, 1968.

BUENO, A.A.O. **Características estruturais do dossel forrageiro, valor nutritivo e produção de forragem nos pastos de capim-mombaça submetidos a regimes de lotação intermitente.** 2003. 124p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo.

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

BUSQUE, J.; HERRERO, M. Swarm structure and patterns of defoliation of signal grass (*Brachiaria decumbens*) pasture under different cattle grazing intensities. **Tropical grasslands**, Brisbane, v.35, n.4, p.193-204, 2000.

BUXTON, T.R.; FALES, S.L. Plant environment and quality. In: FAHEY JR.; G. C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization.** Madison: American Society. Agronomy, 1994. p155-199.

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

CARNEVALLI, R.A. **Dinâmica da rebrotação de pastos de capim-Mombaça submetidos a regimes de desfolhação intermitente.** 2003. 136p. Tese (Doutorado em Ciência animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CHECKLAND, P. **Systems thinking, systems practice.** Chinchester: John Wiley & Sons, 1989. 330 p.

COOPER, J.P.; WILSON, D. Variation in photossinthetic rate in *Lolium*. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11.1970, Surfers Paradise. **Proceedings...** Santa Lucia: University of Queensland Press, 1970. p.522-527.

COOPER, J.P.; TANTON, N.M. Light and temperature requeriments for growth of tropical and temperate grasses. review article. **Herbage Abstracts**, Surfers Paradise, v.38, p.167-176, 1968.
CORSI, M. Espécies forrageiras para pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM 3.1976. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1976. p.5-36.

CORSI, M. **Estudo da produtividade e do valor nutritivo do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) variedade napier submetido a diferentes freqüências e alturas de corte.** Piracicaba, 1972. 139p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

COSTA, N.M.S. Regionalização da produção de sementes de plantas forrageiras em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Viçosa, v.11, p.18-23, 1984.

DA SILVA, S.C. Condições edafo-climáticas para a produção de *Panicum* sp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12.1995, Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 129-146.

DA SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3.1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1997. p.1-62.

DOVRAT, A. **Irrigated forage production.** Amsterdam: Elsevier, 1993. 257p. (Developments in Crop Science, 24).

DUNCAN, W.G. Leaf angles, leaf area, and canopy photosynthesis. **Crop Science**, Madison, v.11, p.482-485, 1971.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: EMBRAPA Produção de Informação, 1999. 412p.

FAGUNDES, J.L. DA SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S.; SBRISSIA, A.F.; CARNEVALLI, R.A.; CARVALHO, C.A.B.; PINTO, L.F.M. Avaliação do índice de área foliar, coeficiente de extinção luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n. 1, p.187-195, 2001.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2000** anuário de agricultura brasileira. São Paulo, 2000. p. 80-81: Modelagem matemática aplicada a agricultura.

GHELFI FILHO, H. **Efeito da irrigação sobre a produtividade do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) variedade napier.** 1972. 77p. Tese (Doutorado em Ciência animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972

GOMES, M.A. **Efeitos de intensidades de pastejo e períodos de ocupação da pastagem na massa de forragem e nas perdas e valor nutritivo da matéria seca do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça).** 2001. 93 p. Dissertação (Mestrado em ciên) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2001.

GOMIDE, J.A. Formação e utilização de capineira de capim-elefante. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. (Ed.). **Capim elefante: produção e utilização.** Coronel Pacheco: EMBRAPA,CNPGL, 1994. p.81-115.

GONÇALVES, G.D.; SANTOS, G.T. dos; CECATO, U.; JOBIM, C.C.; DAMASCENO, J.C.; FARIA, K.P. Estimativas de produção e valor nutritivo de gramíneas do gênero *Cynodon* em diferentes idades ao corte colhidas no outono. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 38.2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p.61-62.

GHISI, O.M.A.A.; PEDREIRA, J.V.S. Características agronômicas das principais *Brachiarias* sp. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 1.1986, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. p.19-58.

HAY, R.K.M. The influence of photoperiod on the dry-matter production of grasses and cereals. **New Physiologist**, v.116, p.233-254, 1990.

HAY, R.K.M.; WALKER, A.J. **An introduction to the physiology of the crop yield**. New York: Longman Scientific & Technical, 1989. 292p.

HODGES, H.F.; WHISLER, F.D.; BRIDGES, S.M.; REDDY, K. R.; McKINION, J.M. Simulation in crop management. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.) **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 235-281.

HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. Massey University: Longman Scientific & Technical, 1990. 203 p.

HUNT, R. **Plant growth curves**. New York: Edward Arnold, 1982. 248 p.

INSTITUTO DE ZOOTECNIA **Capim Aruana (*Panicum maximum* cv. Aruana 12- 5). Pré-lançamento**. Nova Odessa, 1982. 1v. (Folheto).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. www.ibge.gov.br. (15 mar. 2007).

JONES, C.A. **C₄ Grasses and cereals: growth, development, and stress**. New York: John Wiley, 1985. 419 p.

KELLER-GREIN, G.; MAASS, B.L.; HANSON, J. Natural variation in *Brachiaria* and existing germoplasm collections. In: MILES, J.W.; MASS, B.L.; VALLE, C.B. (Ed.) **Brachiaria: biology, agronomy and improvement**. Cali: CIAT; Campo Grande: EMBRAPA CNPQC, 1996. cap.2 p. 16-42.

KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R.; TAYLOR, S.E. Growth of C₃ and C₄ perennial grasses under reduced irradiance. **Crop Science**, Madison, v.32, p.1033-1038, 1992.

KLEPPER, B.; RICKMAN, R.W.; PETERSON, C.M. Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.789- 792, 1982.

KORTE, C.J.; WATKIN, B.R. Use of residual leaf area index and light interception as criteria for spring-grazing management of a ryegrass-dominant pasture. **New Zeland Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.25, p.309-319, 1981.

LACA, E.A.; UNGAR, E.D. Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 47, p.91-100, 1992.

LEITÃO FILHO, H.F. **Espécies do gênero *Brachiaria* Griseb nativas e exóticas cultivadas no Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: CATI, 1977. 27p. (Boletim Técnico, 97).

LEMAIRE, G. Ecophysiology of grasslands: dynamics aspects of forage plant populations in grazed swards. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p.29-37.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue fluxes in grazing plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A. W. (Ed). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p. 3-36.

LITTELL, R.C.; MILIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D. **SAS® systems for mixed models**. Cary: SAS Institute, 1996. 633p.

LINDSTROM, M.J.; BATES, D.M. Nonlinear mixed effects models for repeated measurements data. **Biometrics**, v.46, p.673-687, 1990.

LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Productivity and the morphology of crop stands: patterns with leaves. In: EASTIN, J. D. **Physiological aspects of crop yield**. Madison: ASA; CSSA; SSA, 1969. p.27-47.

LUDLOW, M.M; CHARLES-EDWARD, D.A. Analysis of the regrowth of a tropical grass/legume sward subjected to different frequencies and intensities of defoliation. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.31, p.673-692, 1980.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. Brasília, 1995. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p. 28-62.

MARI, L.J. **Intervalo entre cortes em capim-marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochst.. ex A. Rich..) Stapf cv. Marandu): produção, valor nutritivo e perdas associadas à fermentação da silagem**. 2003. 159p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

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

MEDEIROS, H.R.; PEDREIRA, C.G.S.; VILLA NOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; MELLO, A.C.L. Prediction of herbage accumulation of *Cynodon* grasses by na empirical model based on temperature na daylength. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19.2001. São Pedro. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.263-265.

MEDEIROS, H.R.; 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. São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p.263-265.

MELLO, A.C.L.; PEDREIRA, C.G.S. Respostas morfológicas do Capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.2, p.282-289, 2004.

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.

MORENO, L.S.B.; MEDEIROS, H.R.; PEDREIRA, C.G.S. Estimativa de produção de forragem de grama estrela por um modelo matemático baseado na temperatura do ar e fotoperíodo (compact disc). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 8.2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, FEALQ, 2000. p.

MORGAN, J.A.; BROWN, R.H. Photosynthesis and growth of bermudagrass swards. I. Carbon dioxide exchange characteristics of swards mowed at weekly and monthly intervals. **Crop Science**, Madison, v.23, p.347-352, 1983.

MURTAGH, G.J.; GROSS, H.D. Interception of solar radiation and growth rate of a grass sward. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 10.1966, Helsinki. **Proceedings...** Helsinki: Valtioneuvostou Kirjapo, 1966. p.104-108.

MURTAGH, G.J.; HALIGAN, E.A.; GREER, D.H. Components of growth and dark respiration of kikuiu (*Pennisetum clandestinum* Chiov) at various temperatures. **Annals of Botany**. Oxford, v. 59, p. 149-157, 1987.

NABINGER, C.; PONTES, L.S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 38. 2001, Piracicaba. **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: SBZ, 2001. p.755-767.

NELSON, C.J.; ASAY, K.H.; HORST, G.L. Relationship of leaf photosynthesis to forage yield of tall fescue. **Crop Science**, Madison, v.15, p.476-478, 1975.

NORMAN, J.M.; ARKEBAUER, T.J. Predicting canopy photosynthesis and light-use efficiency from leaf traits. In: BOOTE, K.J.; LOOMIS, R.S. (Ed.). **Modeling crop photosynthesis – from biochemistry to canopy**. Madison: CSSA; ASA, 1991. p.75-94.

NUNES, S.F.; BOOK, A.; PENTEADO, M.I. **Brachiaria brizantha** cv. **Marandu**. Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1985. 31 p. (Documentos, 21).

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. Piracicaba:Ed. Ceres, São Paulo, 1981. 440p.

PARSONS, A.J.; JOHNSON, I.R.; HARVEY, A. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. **Grass and Forage Science**, Oxford, v.43, p.49-59, 1988.

PASSIOURA, J.B. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p. 690-694, 1996.

PEARCE, R.B.; BROWN, R.H.; BLASER, R.E. Photosynthesis in plant communities as influenced by leaf angle. **Crop Science**, Madison, v.7, p.321-324, 1967.

PEEK, M.S.; RUSSEK-COHEN, E.; WAIT, D.A.; et al. Physiological response curve analysis using nonlinear mixed models. **Oecologia**, v.132, p.175-180, 2002.

PEDREIRA, B.C. **Interceptação de luz, arquitetura e assimilação de carbono em dosséis de capim-xaraés [*Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf. cv. Xaraés] submetidos a estratégias de pastejo rotacionado**. 2006. 86p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

PEDREIRA, C.G.S.; ROSSETO, F.A.A. Forage yield and utilization efficiency of 'Tanzania' guineagrass and 'Guaçu' elephantgrass pastures under rotational stocking. In: ANNUAL MEETINGS ABSTRACTS, ASA – CSSA – SSSA ANNUAL MEETINGS, 2002, Indianapolis. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 2002. p.23-25.

PEDREIRA, C.G.S.; NUSSIO, L.G.; DA SILVA, S.C. Condições edafo-climáticas para a produção de *Cynodon* sp. In SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15.1998, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p 85-113.

PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L. de; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 38.2001, Piracicaba. **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: SBZ, 2001. p. 772-807.

PEDREIRA, J.V.S. **Crescimento estacional dos capins colômbio (*Panicum maximum* Jacq.), gordura (*Melinia minutiflora* Pal de Beauv), Jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf) e pangola de Taiwan (A-24 *Digitaria pentzii* Stent)**. 1972. 117 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

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

PEDRO Jr. ; M.J.; ALCANTARA, P.B.; ROCHA, G.L. **Aptidão climática pra plantas forrageiras no estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1990. 27 p. (Boletim técnico, 139).

PENTEADO, M. I. de O.; SANTOS, A. C. M. dos; RODRIGUES, I. F.; VALLE, C. B. DO; SEIXAS, M. A. C.; ESTEVES, A. Determinação de ploidia e quantidade de DNA em diferentes

espécies do gênero *Brachiaria*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. 32 p. (Boletim de Pesquisa, 11)

PEREIRA, A.V. Avanços no melhoramento genético de gramíneas forrageiras tropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA 39.2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. p. 19-42.

POLLOCK, C.J. The response of plant to temperature change. **Journal of Agricultural Science**, v. 115, p. 1-5, 1990.

PÓLO NACIONAL DE COMBUSTÍVEIS ESALQ-USP. Safra de cana terá aumento de 9,2% <http://www.polobio.esalq.usp.br/> Acesso em 09/12/2006 23:45hs.

PRADO, M. Gestão da empresa de pecuária moderna em um mundo globalizado. In: Terceiro Encontro Nacional do Boi Verde: O Brasil produzindo carne para o mundo naturalmente. 2001, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2001. p. 11 – 15.

RATKOWSKY, D.A. **Handbook of nonlinear regression models**. New York: Marcel Dekker, 1990. 241 p. (Statistics: Textbooks and Monographs, 107).

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

RHODES, I. Relationship between canopy structure and productivity in herbage grasses and its implications for plant breeding. **Herbage Abstracts**, Farm Royal, v.43, n.5, p.129-133, 1973.

RISSO-PASCOTTO, C.; PAGLIARINI, M. S.; VALLE, C. B. DO; MENDES-BONATO, A. B. Chromosome number and microsporogenesis in a pentaploid accession of *Brachiaria brizantha* (Gramineae). **Plant Breeding**, Berlin, v. 122, p. 136-140, 2003.

ROBSON, M.J. The growth and carbon economy of selection lines fo *Lolium perenne* cv. S23 with differing rates of dark respiration 1. Grown as simulated swards during a regrowth period. **Annals of Botany**, Oxford, v.49, p.321-329, 1982.

ROCHA, G.L. **Ecossistemas de pastagens**. Aspectos dinâmicos. Piracicaba: FEALQ, 1991. 391p.

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.

RODRIGUES, T.J.D.; RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A. Adaptação de plantas forrageiras as condições adversas. In: SIMPÓSIO SOBRE O ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2.1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 1993. p. 17 – 61.

RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira de Pesquisa de Potassa e do Fósforo, 1987. p.203-230.

ROLIM, F.A. Estacionalidade de produção de forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DAS PASTAGENS, 6. 1980. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1980. p. 39-81.

SANDERSON, M. A.; MOORE, K. J. Switchgrass morphological development predicted from day of the year or degree-day models. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, p.732-734, 1999.

SANO, E.E.; BARCELLOS, A.de O.; BEZERRA, H.S. **Área e distribuição espacial de pastagens cultivadas no Cerrado brasileiro**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. 21p. (EMBRAPA Cerrados. Boletim de Pesquisa, 3)

SANTOS FILHO, L.F. Seed production: perspective from the Brazilian private sector. In: MILES, J.W.; MASS, B.L.; VALLE, C.B. (Ed.). **Brachiaria: biology, agronomy and improvement**. Cali: CIAT; Campo Grande: EMBRAPA CNPQC, 1996. cap.9. p.141-146.

SAS Institute. **SAS/STAT user's guide: version 6**. 4 ed. Cary: SAS Institute, 1989. v2. 846p.

SEBER, G.A.F.; WILD, C.J. **Nonlinear regression**. New York: John Wiley, 1989. 768 p. (Wiley series in probability and mathematical statistics).

SEIFFERT, N. F. Gramíneas forrageiras do Gênero Brachiaria. Campo Grande. EMBRAPA-CNPQC, 1980,74p. (Circular Técnica 1).

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

SINCLAIR, T.R.; MISLEVY, P.; RAY, J.D. Short photoperiod inhibits winter growth of subtropical grasses. **Planta**, v.213, p.488-491, 2001.

SOARES FILHO, C.V. Recomendações das espécies e variedades de Brachiaria para diferentes condições. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM. 11.1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 25-47.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBZ, 1999. Forragicultura - FOR- Avaliação de Forrageiras. (cd rom)

SORENSEN, J.T., JAKOBSEN, K. Product quality and livestock systems. **Livestock Production Science**, Hamilton, v.94, p.1, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Water balance of plants. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 2002. Cap. 4. p. 47-65.

TEIXEIRA, E.I.; MATTOS, W.R.S.; CAMARGO, A.C. de. Avaliação de produção e utilização de uma pastagem de capim Tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) sob pastejo rotacionado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.2, p.349-355, 1999.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexe Institute of Technology, 1955. 104p. (Publications in Climatology).

THORNLEY, J.H.M.; JOHNSON, I.R. **Plant and crop modelling: A mathematical approach to plant and crop physiology**. Oxford: Clarendon Press, 1990.

THORNLEY, J.H.M. **Grassland dynamics: An ecosystems simulation model**. Wallingford: CAB International. 1996.

TONATO, F. **Determinação de parâmetros produtivos e qualitativos de *Cynodon spp.* em função de variáveis climáticas**. 2003. 82p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TRINDADE, J.K. **Modificações na estrutura do pasto e no comportamento ingestivo de bovinos durante o rebaixamento do capim-marandu submetido a estratégias de pastejo rotacionado**. 2007. 162p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007

UEBELE, M.C. **Padrões demográficos de perfilhamento e produção de forragem do capim Mombaça em pastos submetidos regimes de lotação intermitente**. 2002. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

VALLE, C.B. Recursos genéticos de forrageiras para tropicais. In: CONFERÊNCIA VIRTUAL GLOBAL SOBRE PRODUÇÃO ORGÂNICA DE BOVINOS DE CORTE, 1., 2002. <http://www.conferencia.uncnet.br> acesso em 02 de set. 2002.

VALLE, C.B.; MILES, J.W. Melhoramento de gramíneas do gênero *Brachiaria*. In: 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 das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 17.2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 65-108.

VALLE C.B.; EUCLIDES V.P.B.; MACEDO M.C.M. Selecting new *Brachiaria* for Brazilian pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19.2001, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. (cd rom)

VIÉGAS, J.; NABINGER, C.; SAIBRO, J.C.; MEDEIROS, R.B. Ajuste de um modelo de previsão do rendimento potencial de matéria seca de azevém anual. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO ANIMAL, 2002, Santa

Maria. **Modelos para tomada de decisão na produção de bovinos e ovinos: Anais...** Santa Maria, 2002, p. 83-86.

VILLA NOVA, N.A.; CARRETEIRO, M.V.; SCARDUA, E. Um modelo de avaliação de crescimento em cana-de-açúcar (*Sccharum* sp) em termos de ação combinada de fotoperíodo e temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2.1983, Campinas. **Anais...** Campinas: SBA. p.31-48.

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

WARREN WILSON, J. Inclined point quadrat. **New Phytology**, Oxford, v.58, p 92-101, 1960.

WARREN WILSON, J. Influence of spatial arrangement of foliage area on light interception and pasture growth. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 8.1960, Reading. **Proceedings...** Oxford: Alden Press, 1961. p.275- 279.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in Net assimilation rate and leaf area between years. **Annals of Botany**, Oxford, v. 11, n.41, p. 41-76, Jan. 1947.

WHATLEY, J.M., **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: EDUSP; EPU, 1982. 101 p.

WILSON, J.R. Enviromental and nutritional factors affecting herbage quality. In: HACKER, J.B. (Ed.). **Nutritional limits to animal production from pasture**. Commonwealth Agricultural Bureaux: Farnham Royal , 1982. p. 111-131.

WELLES, J. M.; NORMAN, J. M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n.5, p.818-825, 1991.

WILSON, J.R. Enviromental and nutritional factors affecting herbage quality. In: HACKER, J.B. (Ed.). **Nutritional limits to animal production from pasture**. Commonwealth Agricultural Bureaux: Farnham Royal , 1982. p. 111-131.

ZELITCH, I. The close relationship between net photosynthesis and crop yield. **BioScience**, Washington, v.32, n.10, p.796-802, 1982.