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

Respostas morfofisiológicas de genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas intensidades de desfolhação e modelagem da produção de forragem em função das variações estacionais da temperatura e fotoperíodo: adaptação do modelo CROPGRO

Márcio André Stefanelli Lara

**Tese apresentada para obtenção do Título de
Doutor em Ciências. Área de Concentração:
Ciência Animal e Pastagens**

**Piracicaba
2011**

Márcio André Stefanelli Lara
Engenheiro Agrônomo

Respostas morfofisiológicas de genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas intensidades de desfolhação e modelagem da produção de forragem em função das variações estacionais da temperatura e fotoperíodo: adaptação do modelo CROPGRO

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

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

**Piracicaba
2011**

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

Lara, Márcio André Stefanelli

Respostas morfofisiológicas de genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas intensidades de desfolhação e modelagem da produção de forragem em função das variações estacionais da temperatura e fotoperíodo: adaptação do modelo CROPGRO / Márcio André Stefanelli
Lara. - Piracicaba, 2011.

212 p. : il.

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

1. Brachiaria - Manejo - Modelagem 2. Desfolha 3. Fotoperiodismo 4. Fotossíntese 5. Genótipos 6. Luz 7. Mudança climática I. Título

CDD 633.2
L318r

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

DEDICO

Aos meus tutores, professores do Departamento de Zootecnia da ESALQ – USP, que contribuíram para minha formação profissional e foram os alicerces para a construção de meu caráter científico e pessoal. São exemplos que em muito tento me espelhar.

Ofereço

Ao meu orientador, professor Carlos Guilherme Silveira Pedreira, que há cinco anos, mesmo sem me conhecer, acreditou nas recomendações, no meu potencial e me concedeu a oportunidade de estar em seu grupo de pesquisa. Por ser sempre solícito e profissional, mas acima de tudo companheiro. Mais uma figura paterna em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Há alguns dias em meu apartamento, durante uma pausa para o café, olhei pela janela da cozinha, o céu estava nublado e os tons de cinza prediziam chuvas fortes, as nuvens tinham formas contorcidas, mas não agressivas formando linhas suaves sobre a cidade. O vento as traziam do oeste, eu poderia até dizer que era um presente divino num verão cálido, o mesmo vento frio e forte deformava o meu rosto enquanto o café quente descia pela minha garganta. A sensação, apesar de estranha foi agradável. Puxa vida... há quanto tempo não fazia aquilo! Olhar para o céu e apreciar as formas das nuvens, impossível nesses dias tão conturbados. Eu simplesmente fiquei ali, por um tempo olhando para o nada e então minha cabeça foi tomada por ondas de pensamentos que me fizeram viajar para longe, para casa, para a família, para os amigos, para o passado e para o futuro. O que me aguarda no dia de amanhã? E por isso decidi escrever esta pequena passagem em meus agradecimentos, pois talvez esta seja uma das poucas oportunidades que terei para expressar um pouco do que sinto sem restrições. Antes de começar a escrever esses agradecimentos, peguei minha velha dissertação e percebi o quanto fui frio, eu segui os padrões da maioria das teses e fiz simplesmente o mesmo. Mas dessa vez eu não quis ser análogo, e aqui, pelo menos aqui, eu quis ser eu mesmo e não seguir aqueles padrões usuais do tipo: “Agradeço a tais pessoas, a tais lugares, a tais...”. Creio que as pessoas que me acompanharam nessa jornada sabem que sempre fui grato pelo companheirismo e por isso não listarei aqui uma série de nomes e sobrenomes, pois eles seriam muitos, mas essas pessoas saberão que estou me referindo a elas quando lerem esta passagem. Se você, leitor, é uma dessas pessoas, essas palavras são para você, obrigado! Mesmo assim, apenas isso não basta para eu expressar minha felicidade nesse momento, então decidi citar algumas pessoas de forma especial e trechos da minha vida que julguei importante nesse percurso, pessoas que me influenciaram positivamente, profissionalmente e pessoalmente. Professor Pedreira, já o mencionei anteriormente, saiba que está aqui também. À Flávia Tonani por me inserir no meio científico em 2002 e Lourival Vilela por acreditar no meu potencial em 2004, espero que se orgulhem de mim. Não posso deixar de agradecer a FAPESP pelo apoio financeiro, tanto durante o mestrado quanto em meu doutoramento, nem ao professor Antônio Bianchi “o motivador” pelas atitudes sempre positivas e grande amizade cultivada. Devo um profundo obrigado a Carolina Delfini, que apesar

de me achar lacônico e evasivo sempre esteve do meu lado. À pequena Julie, o pedaço de carne mais caro que já comprei em minha vida, mas que me faz rir todos os dias quando chego em casa no fim do dia. A minha família, pai, mãe e irmãos que mesmo longe sempre se lembraram de ligar no meu aniversário, minha família é meu porto seguro para onde posso retornar quando as luzes do caminho se apagar. Também não posso deixar de agradecer a alguns momentos como minha admissão na pós-graduação no departamento de zootecnia da ESALQ, os telefonemas para minha mãe aos domingos, o tempo que passei no exterior e as lições que aprendi lá, K. J. Boote obrigado. Agradeço a Deus pelos momentos difíceis e a superação deles, pois com eles fiquei mais forte, mas também agradeço aos momentos descontraídos e de serenidade, pois também fiquei mais forte com eles. Aos seriados de TV e aos muitos filmes que assisti nos momentos livres, as bandas 30 Seconds to Mars, Placebo, Kansas e muitas outras, que apesar de serem de outras gerações, inspiraram meus pensamentos. Esses momentos foram essenciais para que eu mantivesse a saúde mental e física, pequenos detalhes sempre fizeram a diferença para mim. Por fim, agradeço ao leitor pelo tempo que vai se dedicar em apreciar este trabalho, pela oportunidade dada a mim de conferir os resultados da pesquisa, espero que possa usá-los em seus estudos. Muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 O gênero <i>Brachiaria</i>	19
2.2 Determinantes ambientais da produção de forragem	21
2.2.1 Temperatura	22
2.2.2 Luz	23
2.2.3 Água	24
2.3 A altura de colheita e seu impacto sobre a pastagem	25
2.4 Morfogênese e características estruturais da comunidade de plantas forrageiras	28
2.5 O perfilhamento em plantas forrageiras	29
2.6 Avanços tecnológicos na melhoria da atividade pecuária	30
2.6.1 Conceitos básicos de modelagem	31
2.6.2 Modelagem em agricultura	32
2.6.3 O modelo CROPGRO como ferramenta de estudo da produção de forragem	34
Referências	37
3 ACÚMULO DE FORRAGEM E COMPOSIÇÃO MORFOLÓGICA DE CINCO GENÓTIPOS DE <i>Brachiaria</i> COLHIDOS MECANICAMENTE A 15 E 7,5 CM	45
Resumo	45
Abstract	46
3.1 Introdução	47
3.2 Material e métodos	48
3.2.1 Local do experimento	48
3.2.2 Delineamento experimental e manejo da colheita	50
3.2.3 Acúmulo de forragem e composição morfológica e IAF	52
3.2.4 Análise dos dados	54
3.3 Resultados	55
3.3.1 Produção de forragem	55
3.3.2 Massa de forragem e composição morfológica do resíduo	61
3.3.3 Densidade volumétrica e eficiência de colheita	66
3.3.4 Porcentagem de massa seca e estacionalidade de produção de forragem	68
3.4 Discussão	69
3.5 Conclusões	77
Referências	78
4 RESPOSTAS MORFOGÊNICAS E ESTRUTURAIS DE CINCO GENÓTIPOS DE <i>Brachiaria</i> spp., COLHIDOS MECANICAMENTE A 15 E 7,5 CM NO VERÃO E INVERNO AGROSTOLÓGICOS	81
Resumo	81
Abstract	82
4.1 Introdução	83
4.2 Material e métodos	84
4.2.1 Local do experimento	84
4.2.2 Delineamento experimental e manejo da colheita	86

4.2.3 Seleção dos perfilhos e avaliação da morfogênese	87
4.2.4 Análise dos dados.....	89
4.5 Resultados	91
4.5.1 Características morfológicas	91
4.5.2 Características estruturais	95
4.5.3 População e peso dos perfilhos	100
4.6 Discussão	103
4.7 Conclusões	108
Referências	109
5 RELAÇÕES LUMINOSAS, FOTOSSÍNTESE FOLIAR E POTENCIAL ASSIMILATÓRIO DE DOSSÉIS DE CINCO GENÓTIPOS DE <i>Brachiaria</i> spp. COLHIDOS MECANICAMENTE A 15 E 7,5 CM NO VERÃO E INVERNO AGROSTOLÓGICOS	112
Resumo.....	112
Abstract	113
5.1 Introdução	114
5.2 Material e métodos.....	115
5.2.1 Local do experimento.....	115
5.2.2 Delineamento experimental e manejo da colheita	116
5.2.3 Fotossíntese de folhas individuais.....	118
5.2.4 Índice de área foliar, interceptação luminosa e ângulos foliares	119
5.2.5 Modelagem de fotossíntese de dossel	120
5.2.6 Medições de altura	121
5.2.7 Análise dos dados.....	121
5.3 Resultados	122
5.3.1 Fotossíntese de folhas individuais.....	122
5.3.2 Fotossíntese de dossel	126
5.3.3 Relações Luminosas.....	126
5.4 Discussão	129
5.5 Conclusões	134
Referências	135
6 MODELOS DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE CINCO GENÓTIPOS DE <i>Brachiaria</i> spp. BASEADOS EM VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	139
Resumo.....	139
Abstract	140
6.1 Introdução	141
6.2.1 Local do experimento.....	142
6.2.2 Delineamento experimental e manejo da colheita	144
6.2.3 Coleta de amostras no campo.....	145
6.2.4 Cálculo de unidades fototérmicas (UF) e graus-dia (GD)	146
6.2.5 Análise dos dados.....	148
6.3 Resultados	151
6.3.1 Correlações entre acúmulo de forragem (AF) e variáveis climáticas	151
6.3.2 Temperatura base (T _{Bi})	153
6.3.3 Modelos de acúmulo de forragem no verão e inverno agrostológicos	154
6.3.4 Modelos de produção anual de forragem em função de graus-dia (GD).....	159
6.3.5 Modelos de produção de forragem em função da unidade fototérmica (UF) modificada	160

6.4 Discussão	161
6.5 Conclusões	166
Referencias	168
7 ADAPTAÇÃO DO MODELO CROPGRO PARA PREVISÃO DE CRESCIMENTO DE BRACHIARIA	171
Resumo	171
Abstract	172
7.1 Introdução	173
7.2 Material e Métodos	175
7.2.1 Coleta de dados e análise de crescimento de <i>Brachiaria brizantha</i>	175
7.2.2 Adaptação do Modelo	177
7.2.3 Avaliação estatística do desempenho dos modelos	179
7.3 Resultados e discussão	180
7.3.1 Adaptação do modelo com base no conjunto de dados de <i>Brachiaria</i>	180
7.3.2 Parâmetros de senescência	182
7.3.3 Partição biomassa de folhas, caule e raízes	183
7.3.4 Previsão de área foliar específica e índice de área foliar	185
7.3.5 Acúmulo de biomassa	192
7.3.6 Análise de Sensibilidade: temperatura, radiação, fotoperíodo e chuvas	194
7.3.7 Processo de Adaptação: Vantagens e dificuldades	195
7.4 Conclusões	196
Referências	198
Apêndice A	204
Apêndice B	207
Apêndice C	210
Apêndice D	212

RESUMO

Respostas morfofisiológicas de genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas intensidades de desfolhação e modelagem da produção de forragem em função das variações estacionais da temperatura e fotoperíodo: adaptação do modelo CROPGRO

Para poder compreender e descrever o crescimento das plantas forrageiras é necessário ter conhecimento acerca de seus aspectos agrônômicos e morfofisiológicos e suas respostas aos fatores edafoclimáticos. O desenvolvimento de ferramentas que viabilizem a racionalização dessas inter-relações é de grande importância para a comunidade científica, ao facilitar a explicação da dinâmica do crescimento, e para o pecuarista dando opções de planejamento e auxílio à tomada de decisão na propriedade pecuária. O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas agrônômicas e morfofisiológicas de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. e gerar modelos de crescimento baseados em soma térmica e fotoperíodo além de adaptar o modelo CROPGRO-Forragem, visando explorar esses recursos computacionais para estabelecer uma base racional de manejo desses capins. Foram estudados quatro genótipos de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf (Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã) e uma de *B. decumbens* Stapf (cv. Basilisk) colhidos a 15 e 7,5 cm durante onze ciclos distribuídos em um ano. As unidades experimentais (parcelas de 9 x 4 m) foram irrigadas e adubadas com o equivalente a 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O. O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições. Foi calculada a produção total e estacional de forragem. Foram monitoradas uma rebrotação de verão e de inverno, descrevendo-se a massa do resíduo, o fluxo de tecidos, padrão de acúmulo de forragem e as taxas de fotossíntese foliar dos capins, que foram utilizadas para a simulação da taxa de fotossíntese do dossel. Os capins Capiporã e Xaraés foram mais produtivos durante o verão. No inverno não houve diferença na produção dos genótipos. A altura de corte de 7,5 cm proporcionou maior acúmulo de forragem acima do resíduo para todos os genótipos, sendo que nesse regime de corte as plantas apresentaram as maiores taxas de crescimento em nível de perfilho, expressas pela maior taxa de alongamento e aparecimento de folhas. Além disso, houve maior renovação de perfilhos sob essas condições. Apesar dos capins terem produções diferentes, suas taxas de fotossíntese de dossel, foram semelhantes nas duas alturas de corte dentro de cada estação, sugerindo um mecanismo de compensação entre a área foliar e fotossíntese de folhas individuais. Os modelos de acúmulo de forragem baseados em graus dia (GD) e unidades fototérmicas (UF) se ajustaram bem à produção. O uso da UF mostrou-se efetivo na predição de características produtivas dos capins estudados. O resultado da adaptação do modelo CROPGRO-Forragem sugere que essa é uma ferramenta eficiente para integrar aspectos fisiológicos de *B. brizantha* e pode ser usado para simular o crescimento com boa exatidão.

Palavras-chave: Forragem; Simulação; Fotossíntese; Manejo da desfolhação; Estacionalidade de produção

ABSTRACT

Morphological and physiological responses of *Brachiaria* spp. grasses under two defoliation intensities and modeling forage yield as a function of seasonal variations of temperature and daylength: adaptation of the CROPGRO model

In order to understand and describe forage growth knowledge is needed on their agronomical and physiological aspects as well as their responses to soil and climate. Developing tools that enable the rationalization of these relationships is important both under an academic (e.g., in studies of growth dynamics) and a practical (management and decision making in productions systems) standpoints. The objective of this study was to evaluate the agronomic, morphological and physiological responses of five genotypes of *Brachiaria* spp. and to develop growth models based on thermal sum (growing degree-days, GDD) and daylength (photothermal unit, PU) as well as to adapt the CROPGRO-Forage model, aiming at evaluating the potential of this resources in forage research and production. Four genotypes of *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf (Marandu, Xaraés, Arapoty, and Capiporã) and one of *B. decumbens* Stapf (Basilisk) were harvested at 15 and 7.5 cm over 11 cycles in one year. The experimental units (9 x 4 m plots) were irrigated and fertilized with the equivalent to 220 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of N and K₂O. The experimental design was a randomized complete block in split-plot with four replications. Total annual and seasonal forage yields were calculated. One mid-summer and one mid-winter regrowths were monitored weekly to describe stubble mass, tissue flow, forage accumulation rate and the rates of leaf photosynthesis, which were used to simulate canopy photosynthesis. Capiporã and Xaraés were more productive during the summer, but in winter there was no difference among genotypes in yield. Clipping at 7.5 cm yielded more forage for all genotypes and under this management, plants showed the highest growth rates at the tiller level, expressed as higher leaf appearance and elongation rates. There was also higher tiller turnover under these conditions. Despite the differences in forage yield among grasses rates of canopy photosynthesis were similar within the two clipping heights within each season, suggesting the operational of a compensatory mechanism between leaf area and photosynthesis per unit of leaf area. The accumulation models based on GDD and PU showed good fit to observed forage production. The PU model was effective in predicting the productivity of *Brachiaria* grasses. The adaptation of the CROPGRO-Forage model suggests it is an efficient tool to integrate physiological aspects of *B. brizantha* and can be used to simulate yield with good accuracy.

Keywords: Forage; Simulation; Photosynthesis; Management defoliation; Seasonal production

1 INTRODUÇÃO

A demanda crescente pelo desenvolvimento de tecnologias voltadas para a exploração pecuária no Brasil é um dos reflexos do processo de globalização e da competição entre os produtos agropecuários. Essa preocupação toma proporções maiores quando o assunto engloba aspectos relacionados aos impactos das atividades agropecuárias sobre o meio ambiente e quanto à qualidade e segurança alimentar do que é ofertado ao mercado consumidor (SORENSEN; JAKOBSEN, 2005).

Novas exigências impostas pelo mercado doméstico e internacional têm mudado os rumos da economia e conseqüentemente requerido que os pecuaristas assumam uma nova postura empresarial (PRADO, 2001). Nessa busca pela melhor eficiência econômica dos sistemas produtivos, identificar técnicas de manejo do pastejo e da pastagem adequadas ao planejamento administrativo permite a tomada de decisões direcionadas ao melhor rendimento global de cada sistema. Porém esse processo de identificação há muito tempo é considerado um dos obstáculos encontrados por produtores e técnicos, já que o objetivo é encontrar o ponto ótimo entre a necessidade da planta forrageira de conservar sua área foliar e a prerrogativa fundamental de que esse tecido seja utilizado para a produção animal (PARSONS, 1988).

Nesse sentido, segundo Nabinger e Pontes (2001) tornaram-se relevantes os estudos de dinâmica da produção primária das gramíneas forrageiras, realizados por meio de avaliações das características produtivas, morfogênicas e estruturais das mesmas. Respostas pontuais auxiliam no entendimento da interface solo, planta, animal, e é inevitável o uso de ferramentas que auxiliem os pesquisadores na interpretação do dinamismo do sistema quando fatores climáticos são adicionados ao processo. Dentre essas ferramentas destaca-se o uso de modelos de simulação de produção, que permitem descrever o funcionamento de um sistema produtivo e inter-relacionar seus componentes. Na pesquisa o modelo pode ser usado para identificação de lacunas de conhecimento e fornecer subsídio teórico para estudos mais amplos e mais complexos. No campo, pode ser usado para estimar a produção de forragem permitindo 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).

Objetivou-se com este trabalho gerar informações sobre características morfológicas, fisiológicas, estruturais e produtivas de cinco genótipos de capins do gênero *Brachiaria* sendo quatro genótipos de *Brachiaria brizantha* (cv. Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã) e um genótipo de *Brachiaria decumbens* (cv. Basilisk) sob duas intensidades de desfolhação em condições controladas de manejo, além de gerar modelos de predição da produção de forragem baseados em fatores climáticos e parametrizar o modelo CROPGRO-Forragem com um banco de dados de *Brachiaria*.

Referencias

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.

NABINGER, C.; PONTES, L.S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 755-771.

PARSONS, A.J. The effects of season and management on the growth of grass swards. In: JONES, M.B.; LAZEMBY A. (Ed.) **The grass crop: the physiological basis of production**. London: Chapman & Hall, 1988. p. 129-177.

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.

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

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O gênero *Brachiaria*

Renvoize et al. (1996) descreveram o gênero *Brachiaria* com cerca de 97 espécies, 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 estas são as mais conhecidas e importantes para a pecuária tropical. Embora, muitas vezes, sejam classificadas como plantas daninhas agressivas e de controle custoso em áreas agrícolas, o interesse agrônomo pelo gênero teve origem no seu potencial de uso como planta forrageira em pastagens (VALLE et al., 2000), sendo sete espécies do gênero as mais comumente usadas para tal finalidade principalmente na América tropical, *B. arrecta*, *B. dictyoneura*, *B. brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *B. mutica* e *B. ruziziensis* (KELLER-GREIN et al., 1996).

Em todo território nacional, existem aproximadamente 180 milhões de hectares de pastagem cultivada e nativa. Entre as opções de gramíneas cultivadas, os genótipos de *Brachiaria* ocupam mais de 70% dessas áreas, podendo ser considerados um dos principais grupos de plantas forrageiras na pecuária nacional (VALLE et al., 2001). Segundo Macedo (1995) e Sano et al. (1999), dados não oficiais mostram que as espécies do gênero *Brachiaria* 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 % formadas com outras espécies forrageiras.

A substituição das espécies forrageiras nativas, de baixa produtividade, por gramíneas cultivadas permitiu o desenvolvimento do setor pecuário no Brasil e ajudou a levar o país ao patamar de maior exportador mundial de carne, detentor do maior rebanho bovino comercial do mundo (CNA, 2010). Essas espécies de interesse comercial tiveram suas introduções registradas a partir década de 50 como a *B. decumbens*, sendo mais tarde introduzidas outras espécies como a *B. ruziziensis* em 1960 e *B. brizantha* em 1965 (IBPGR, 1984). O gênero *Brachiaria*, originário principalmente da região leste do continente africano, inclui cerca de 100 espécies que são consideradas tipicamente de savanas, mas que podem se desenvolver em uma grande variedade

de habitats desérticos, alagados, abertos a plena luz, ou sombreados (DIAS FILHO, 2002) o que as tornaram opções viáveis de uso na grande diversidade de ambientes encontrados no Brasil.

O gênero *Brachiaria* foi responsável por mudanças no desenvolvimento do setor pecuário, cumprindo papel importante na expansão da fronteira agrícola, viabilizando a incorporação de áreas de solos ácidos e baixa fertilidade ao processo produtivo, mérito este conquistado principalmente com o uso da pioneira *B. decumbens* Stapf cv. Basilisk (ANDRADE, 1994; VALLE et al., 2001). Porém, com o tempo essa espécie foi perdendo sua preferência para outros genótipos mais produtivos e com o surgimento das cigarrinhas das pastagens (*Zulia entreciana* Berg., *Deois flavopicta* Stal. e *Deois schach* Fab.) e problemas com fotossensibilização. Como possível e promissora alternativa, a EMBRAPA lançou em 1984 a *B. brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu (NUNES et al., 1984), que em pouco tempo substituiu os demais ecótipos como genótipo pioneiro para áreas recém abertas.

Apesar desses avanços, o aumento da competitividade entre os segmentos da agricultura e a evolução tecnológica da produção animal em pastagens levou o produtor a buscar espécies forrageiras mais produtivas e de melhor qualidade. Tal fato significou demanda por novas opções de plantas forrageiras e novos desafios para melhoristas (PEREIRA, 2002). Nesse sentido, com o objetivo de avaliar aspectos agronômicos, fisiológicos e qualitativos, experimentos com diferentes gêneros, espécies 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, universidades e parcerias, buscando identificar características e estratégias de manejo apropriadas para cada material em cada ambiente.

O Brasil compreende áreas de exploração pecuária distribuídas em diferentes ecossistemas, onde é possível identificar variações ambientais que geram a necessidade de selecionar genótipos forrageiros com ampla capacidade de adaptação edafoclimática. Desses esforços, importantes lançamentos como os capins *Andropogon gayanus* Kunth cv. Planaltina, a própria *B. brizantha* cv. Marandu e o *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia contribuíram positivamente para o crescimento da pecuária brasileira. 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. Muitos desses materiais estão em fase de avaliação, dentro de várias linhas de trabalho visando identificar os acessos superiores e aqueles com atributos desejáveis.

Dessa variabilidade poderá surgir novos cultivares que possibilitarão maior diversificação das opções para a formação de pastagens (VALLE & MILES, 1994) e considerando o aumento na conscientização do pecuarista perante as grandes diferenças edafoclimáticas encontradas nos ecossistemas brasileiros e os diferentes níveis tecnológicos exigidos para cada espécie, espera-se que seja feito o uso racional dessas plantas forrageiras, minimizando os riscos de insucesso de muitos sistemas pecuários em operação no país.

2.2 Determinantes ambientais da produção de forragem

O gerenciamento 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 são responsáveis pela distribuição territorial das diferentes espécies forrageiras e influenciam de maneira direta a produtividade das pastagens.

Dentre os fatores determinantes da produção de forragem, a temperatura do ar, radiação solar, fotoperíodo e umidade do solo são consideradas as principais. Mudanças sensíveis nesses fatores desencadeiam uma série de alterações em processos fisiológicos que influenciam o crescimento e senescência dos tecidos vegetais, alterando a velocidade das reações químicas, a taxa de aparecimentos de folhas, o perfilhamento, o florescimento, o alongamento foliar e, conseqüentemente, alteram as exigências de manejo adequado da planta forrageira (NABINGER; PONTES, 2001).

2.2.1 Temperatura

Um dos principais agentes causadores da estacionalidade de produção vegetal é a temperatura do ar. Ela varia com a estação do ano, latitude, 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). Muitos processos metabólicos são controlados por enzimas que tem sua ativação ou ação mediada pelas variações na temperatura. Para todos os processos fisiológicos vegetais há uma faixa ótima de temperatura na qual o metabolismo é mais intenso, sendo retardado ou até mesmo interrompido quando a temperatura ultrapassa um determinado valor máximo ou cai abaixo de certo valor mínimo.

Plantas tropicais apresentam redução acentuada na sua taxa fotossintética e conseqüentemente na produção, 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. Para as espécies tropicais, a faixa ótima de temperatura cujo crescimento é maximizado está entre 25 e 35 °C. As temperaturas mínimas e máximas que limitam o crescimento das plantas recebem a denominação de temperatura base inferior (T_{Bi}) e temperatura base superior (T_{Bs}), respectivamente, sendo que a temperatura base (TB) foi definida por McWilliam (1978) como a temperatura que limita o acúmulo de fitomassa de uma espécie de forma que este se torne nulo ou “desprezível”. 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). Seu conhecimento permite zonear áreas de produção efetiva para as espécies cultivadas, determinando a eficiência do emprego de tecnologias como a irrigação.

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

2.2.2 Luz

A capacidade das plantas superiores em transformar energia luminosa em química os categoriza como fontes importantes de energia renovável. A luz possui papel fundamental nesse processo, pois é responsável pelo desencadeamento de várias atividades metabólicas responsáveis principalmente pela assimilação de carbono e produção de energia para a manutenção dos tecidos existentes. No entanto, a comunidade científica vem mostrando interesse na dinâmica da luz dentro do dossel de forma que práticas de manejo que visam o melhor arranjo estrutural possam ser usadas como metas de colheita.

A estrutura e a arquitetura do dossel desempenham papel fundamental nos padrões de interceptação luminosa, produtividade e evapotranspiração, e são importantes para a descrição da interação entre a vegetação e o meio em que se encontra (WELLES; NORMAN, 1991). 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 resulta na fotossíntese líquida. Quanto maior a fotossíntese líquida, maior a fixação de carbono e consequentemente a produção de fitomassa (HODGSON, 1990). Portanto, a arquitetura do dossel vegetativo é determinante dos padrões de interceptação luminosa pelas plantas.

Uma das características mais importantes que definem a habilidade competitiva pela luz dentro do dossel 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; WILLIAMS, 1969). Partindo dessas definições, a produtividade do dossel é limitada então, pelo índice de área foliar (IAF). Lemaire (2001) relatou que a redução de área foliar causa redução intensa na fotossíntese do dossel. 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 quantidade de luz também tem papel na indução do estágio reprodutivo em algumas espécies de plantas forrageiras, influenciando o metabolismo dessas plantas, alterando as taxas de expansão foliar, produção de massa seca e duração da fase reprodutiva (HAY, 1990). Dessa forma, um regime de radiação favorável ao crescimento das plantas associado aos céus limpos e dias longos, são as razões de elevadas produções de massa seca ano a ano nas regiões áridas, comparados a outras regiões, desde que sejam providos de nutrientes e água (DOVRAT, 1993).

2.2.3 Água

De grande importância para a vida das plantas, a água constitui a matriz e o meio onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos essenciais à vida, compreendendo cerca de 80 a 95 % da massa dos tecidos vegetais em crescimento. Atua também em processos físicos como no transporte de solutos, na turgescência celular, na definição de forma e estrutura de órgãos, na abertura e fechamento de estômatos, na penetração do sistema radicular no solo, no crescimento e expansão celular além de outras Funções (TAIZ; ZAIGER, 2004).

A quantidade de água que é absorvida e transpirada pelas plantas é função da quantidade de energia solar incidente. Assim como para os nutrientes minerais, a competição por água dentro de uma população de plantas é influenciada pela competição por luz (Da SIVA et al., 2008). Porém, a água não é o único fator limitante ao crescimento, razão pela qual nem sempre a irrigação atende as expectativas de produção no meio agrícola. As primeiras pesquisas de irrigação em pastagens no Brasil datam dos anos de 1960, na região centro-sul do Brasil, e tinham por objetivo minimizar a estacionalidade da produção das plantas forrageiras tropicais.

Ladeiras et al. (1966) obtiveram um incremento médio de 84% na produção de capim-pangola (*Digitaria decumbens* Stent.), capim-sempre verde (*Panicum maximum* Jacq.) e capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) irrigados e adubados no período seco do ano, porém, pouco efeito foi observado com relação à redução da estacionalidade da produção, alterando de 17% para 23% de forragem do período seco e frio do ano. Já Rassini (2004) trabalhando com *Pennisetum purpureum* Taiwan (capim-elefante), *Panicum maximum* Tanzânia (capim-tanzânia), *Brachiaria decumbens* Basilisk (capim-braquiária), *Brachiaria bryzantha* Marandu (capim-marandu), *Paspalum atratum* Pojuca (capim-pojuca) e *Cynodon dactylon* Coastcross (capim-coastcross) em São Carlos SP, observou incrementos na produção de forragem com a irrigação, entretanto, não verificou alteração da estacionalidade de produção de forrageiras tropicais, demonstrando a existência de outros fatores, além da deficiência hídrica, que limitam a produção de forragem, como à temperatura e o fotoperíodo durante o inverno.

Ghelfi Filho (1972) e Botrel et al. (1991) trabalhando com capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) irrigado no inverno, também não encontraram variações significativas na distribuição estacional da produção de forragem, embora a produção de forragem nesse período tenha sido aumentada 30 %. Portela et al. (2008), trabalhando com espécies forrageiras de clima temperado, azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia (*Avena sativa* L.) em Piracicaba,

concluíram que o uso da irrigação auxilia as condições de produção podendo dobrar a massa de forragem colhida entre dosséis irrigados e não irrigados. Apesar de serem espécies com metabolismos de carbono diferentes, C₄ e C₃, esses trabalhos mostram a importância da água no contexto produtivo.

Embora as vantagens da utilização da irrigação em pastos tropicais sejam pequenas no que diz respeito à estacionalidade de produção em latitudes mais altas, o incremento na produção de matéria seca no inverno, aliado a melhor eficiência das plantas na utilização dos fertilizantes, pode compensar o uso dependendo da viabilidade econômica. Entretanto, em pastagens situadas em latitudes mais baixas, a quantidade de energia proveniente do sol e as temperaturas altas e relativamente constantes ao longo do ano, promovem reduções na estacionalidade de produção forrageira.

Oliverira Filho (2007) trabalhando com *Brachiaria brizantha* Xaraés e *Panicum maximum* Tanzânia no estado do Tocantins constatou que a distribuição estacional de forragem pode ser de 53% no verão e 47% no inverno, desde que o suprimento de nutrientes e água seja disponibilizado para essas plantas. Nesse sentido, a irrigação tem proporcionado maior incremento de produção de forragem no período das águas quando as condições de temperatura e fotoperíodo não são limitantes e ocorrem veranicos.

2.3 A altura de colheita e seu impacto sobre a pastagem

Rodrigues e Rodrigues (1987) postularam que o manejo das pastagens deveria ser baseado na reposição de folhas, enfatizando a importância da restauração do IAF na rebrotação. Esse conceito, apesar de abrangente, parece não ser suficiente para orientar a determinação do melhor manejo, pois o ecossistema de pastagem é complexo e envolve inter-relações entre clima, planta, solo, animal e o próprio manejo aplicado. Recentemente na pesquisa tem-se testado o uso de variáveis guia, para apresentar propostas de manejo embasadas no conhecimento de respostas das gramíneas forrageiras, sendo preferivelmente de fácil adoção pelos pecuaristas no campo. Para tanto, o conhecimento de características estruturais e arquitetônicas do dossel, passam ser elementos chave na determinação de práticas manejo (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993).

A altura do dossel é uma potencial ferramenta na orientação do manejo do pastejo. Segundo Hodgson (1990), a altura do dossel está entre as características que mais afetam o desempenho dos animais em pastejo (devido a influencia da altura do pasto sobre a profundidade

do bocado e suas conseqüências nos demais componentes da dinâmica do pastejo, como a seletividade e velocidade com que os animais mudam de estação alimentar). A altura também afeta o acúmulo de forragem, devido sua ligação com o IAF e a distribuição da massa no dossel.

Pearce et al. (1967) observaram que a altura afeta também a distribuição da luz dentro do dossel. 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).

Atualmente, a determinação desses pontos ótimos de colheita de forragem tem sido amplamente discutida e o uso da interceptação luminosa (IL) vem assumindo um papel de crescente importância no manejo das plantas forrageiras tropicais, pois leva em consideração parâmetros ligados à morfofisiologia das plantas. O trabalho de Korte et al. (1982), pode ser considerado como um dos primeiros exemplos de aplicação da IL no manejo de plantas forrageiras. Esses autores estudaram azevém perene (*Lolium perenne* L.) consorciado com trevo branco (*Trifolium repens* L.) sob estratégias de desfolhação (quatro intensidades e duas frequências de pastejo), onde as frequências foram baseadas na interceptação luminosa do dossel, iniciando a desfolhação com 95% de IL ou duas semanas após este nível e as intensidades baseadas no IAF residual. Nos casos onde o pastejo foi feito a 95% de IL, o acúmulo de forragem foi maior para as maiores intensidades, em contraste, o tratamento de menor frequência teve o acúmulo total de forragem menor para a mesma intensidade durante o verão, onde, os autores relataram que o desenvolvimento reprodutivo de azevém perene foi marcadamente afetado pela intensidade de pastejo, resultando em pastos com diferentes quantidades de forragem residual e material morto. Assim os autores concluíram que na fase vegetativa a observância dos 95 % de IL é a mais indicada para maximização da produção.

Para gramíneas de clima tropical de diferentes gêneros, outros trabalhos têm sido realizados ao longo da última década, incluindo capins das espécies *P. maximum* Jacq. (CARNEVALLI, 2003) e *B. brizantha* Stapf (SOUZA JUNIOR, 2007; PEDREIRA et al., 2007; LIMÃO, 2010) e todos relatam um padrão dinâmico de acúmulo de forragem, regido basicamente por disponibilidade de luz e tamanho do aparato fotossintético, assim como descrito previamente por Brougham (1956) para azevém perene. No geral, durante o período de rebrotação, o acúmulo de forragem dessas plantas foi caracterizado pelo incremento em folhas (semelhante a espécies de

clima temperado) até que o dossel atingisse 95% de IL. A partir daí, ocorre uma diminuição no acúmulo de folhas e um aumento acentuado no acúmulo de colmos e material senescente, indesejáveis para o consumo dos animais.

O trabalho de Pinto (2000), reforçado posteriormente pelo trabalho de Sbrissia (2004) estabeleceram que ocorre grande flexibilidade de manejo para as plantas forrageiras, uma vez que a amplitude de condições do dossel para que os equilíbrios fossem mantidos correspondeu a um universo grande de possibilidades de regimes de desfolhação no campo. Segundo Da Silva e Corsi (2003), as forrageiras de clima tropical e subtropical apresentam padrões de respostas análogos aos das espécies de clima temperado, que são condicionados e determinados por variações em estrutura do dossel, as quais se apresentam em amplitudes passíveis de serem mantidas na prática por meio de estratégias de pastejo, sem prejudicar a produção de forragem.

Na prática, períodos fixos de rebrotação sempre foram utilizados para determinação da entrada dos animais nos piquetes em sistemas onde a colheita da forragem é intermitente, ou mesmo em campos de produção de forragem colhidos mecanicamente. Pedreira (2006) e Pedreira (2009), trabalhando com capim Xaraés com intervalos de colheita pré-determinados por dias fixos de rebrotação e pela IL do dossel demonstraram que intervalos fixos de descanso ora se assemelham a condição de 95 % de IL, ora se assemelham a condição de 100 % de IL, porém a diferença entre os intervalos de descanso no início e no final do verão foram relativamente pequenos para as estratégias baseadas em luz comparadas ao tempo fixo. Tais resultados mostram que mesmo pequenas diferenças de tempo são responsáveis por grandes mudanças na estrutura do dossel, mas que ambas as estratégias de desfolhação (com dias fixos ou com o uso da IL como parâmetro guia) podem ser exploradas sem afetar a produtividade das pastagens.

Independente da estratégia utilizada para a colheita da forragem, para aumentar a produtividade das plantas forrageiras, duas características serão sempre abordadas e discutidas, a intensidade e a frequência de colheita e suas combinações. O uso desses manejos e suas possíveis interações têm por objetivo reduzir ao mínimo o tempo que o dossel leva para atingir o IAF crítico, que ocorre quando 95% da luz incidente são interceptadas pelo dossel (RHODES, 1973). Essa combinação entre frequência e intensidade deve ser encontrada para o manejo de cada espécie, respeitando a sua fenologia e fisiologia (MARSHALL, 1987) dentro de cada ambiente. Estudos que determinem essas combinações de intensidade e frequência em plantas tropicais são ainda escassos para muitas regiões do Brasil e para muitas espécies de plantas forrageiras. As

espécies forrageiras tropicais apresentam grande potencial de produção, porém, em geral, não há uma estratégia única de desfolhação que permita a expressão desse potencial, uma vez que os pastos usualmente passam por um processo de redução gradativa de produtividade e em muitos casos, caminham para a degradação em curto período de tempo em função do manejo utilizado e do esgotamento da fertilidade do solo.

2.4 Morfogênese e características estruturais da comunidade de plantas forrageiras

Uma das formas de se estudar detalhadamente os efeitos do manejo e/ou ambiente sobre a produção de forragem é por meio da descrição morfogênese das plantas forrageiras. Segundo Lemaire e Chapman (1996), a morfogênese pode ser definida como a dinâmica da geração e expansão da forma da planta no espaço, em termos individuais ou de unidades autotróficas de crescimento, os perfilhos. Ela inclui a taxa de aparecimento de novos órgãos, bem como a taxa de expansão, de senescência e de decomposição destes órgãos. As plantas, entretanto, crescem como membros de populações ou comunidades competitivas, e não individualmente. Portanto devem ser apreciadas sob a ótica das interações de competição e de resposta à remoção de tecidos.

No período vegetativo das gramíneas, três características descrevem a morfogênese da parte aérea das plantas: taxa de alongamento de folhas (TALF), taxa de aparecimento de folhas (TAPF) e duração de vida dessas folhas (DVF). Apesar de tais características serem determinadas pela genética da planta, elas são também influenciadas por variáveis climáticas (temperatura e disponibilidade de água) e de solo (fertilidade), e definem as três principais características estruturais: tamanho final de folhas (TFF), densidade populacional de perfilhos (DPP) e número de folhas verdes por perfilho (NFP). Por fim, o produto das três características estruturais é que irá determinar o IAF do dossel (SBRISSIA; DA SILVA, 2001).

Em termos de plantas forrageiras de clima tropical, outra característica pode ser abordada nesse conjunto. A taxa de alongamento de colmos (TALC) assume importância relativamente grande como uma característica morfogênica, afetando a estrutura do dossel e consequentemente o equilíbrio dos processos de competição por luz, além de gerar um novo componente estrutural, a relação folha:colmo (SBRISSIA; DA SILVA, 2001).

A interação entre os componentes morfogênicos é responsável pelas características estruturais do dossel. O ritmo morfogênico determina a velocidade de recuperação da área foliar após desfolhação ou sua capacidade de manter-se em equilíbrio no caso de pastos manejados sob

lotação intermitente ou contínua, respectivamente. Assim, os avanços na pesquisa com plantas forrageiras têm ressaltado a necessidade do estudo da morfogênese para compreensão das variações estacionais na estrutura do dossel e adoção de estratégias de manejo eficientes para a construção de sistemas produtivos mais sustentáveis.

2.5 O perfilhamento em plantas forrageiras

A capacidade das plantas forrageiras de perfilhar também é afetada por variações climáticas estacionais e pelo manejo da desfolhação. Assim como as respostas morfogênicas, o perfilhamento impacta, positivamente ou negativamente, as características globais dos sistemas de produção animal baseados em pastagens. Pastos de gramíneas forrageiras são considerados populações de perfilhos (KORTE, 1986) e, portanto, aumentos na produção podem ser obtidos por meio do aumento da densidade populacional de perfilhos e/ou em massa por perfilho. (BIRCHAM; HODGSON, 1983).

Segundo Stebbins (1972), o perfilhamento é uma forma de perenização que as gramíneas desenvolveram em seu processo evolutivo como mecanismo de produção e sobrevivência clonal. Isso demonstra o alto grau de especialização dessas plantas. Em pastagens estabelecidas, existe um mecanismo de renovação, por meio do qual os perfilhos mais velhos morrem à medida que novos perfilhos vão sendo produzidos. Nessa situação, as populações de perfilhos oscilam ao redor de um determinado valor-base. Existe, portanto, um mecanismo de auto-restrição proporcional à densidade de perfilhos (PEDREIRA et al., 2001).

O equilíbrio entre o aparecimento e a morte de perfilhos está ligado ao regime de desfolhação adotado, determinando a evolução do IAF que é fator chave no controle dessa dinâmica. (VALENTINE; MATTHEW, 1999). Sob lotação intermitente, a densidade populacional de perfilhos aumenta após a desfolhação até um determinado IAF característico do genótipo, ponto a partir do qual começa a diminuir (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993). Em manejo caracterizado por lotação contínua, a densidade populacional de perfilhos é determinada principalmente pelo IAF no qual o dossel é mantido, sendo que as pastagens que sofrem desfolhações severas são mais populosas que pastagens cuja desfolhação é mais leniente (GRANT et al., 1983).

2.6 Avanços tecnológicos na melhoria da atividade pecuária

Estimativas da FAO mostram o crescente aumento do rebanho bovino brasileiro estimado em 204,5 milhões de cabeças (FAO, 2010). Por outro lado, o censo agropecuário que contabilizou 179 milhões de hectares de pastagens em 1985, registrou 172 milhões no levantamento de 2006. Nesse mesmo período, a área agrícola aumentou de 52 para 77 milhões de hectares (IBGE, 2008). Isso mostra que existe pressão econômica sobre a atividade pecuária no sentido de perdas de áreas de pastagem para outras atividades.

Embora estes números sejam indicadores da evolução da atividade, os índices zootécnicos da pecuária brasileira ainda podem ser substancialmente melhorados. A produção animal baseada no uso de pastagens é a de mais baixo custo que se conhece, sendo sempre uma opção interessante para o empresário rural quando o objetivo é se manter competitivo no mercado. No entanto, a busca por essa melhor eficiência produtiva do sistema deve aliar técnicas de manejo adequadas ao planejamento administrativo, permitindo a tomada de decisões direcionadas ao maior rendimento.

O uso de ferramentas que auxiliem em tomadas de decisão e gerenciamento da propriedade, permite melhorias na colheita da forragem e no manejo dos animais, aumentando a eficiência do processo produtivo. Além disso, entender os efeitos da estacionalidade de produção, desenvolver ferramentas para poder prever a produção de forragem e com isso ser capaz de planejar a estratégia alimentar do rebanho, possibilita maior confiabilidade e segurança ao produtor no que diz respeito às decisões e aos riscos inerentes a atividade.

Nesse contexto, o uso de modelos de simulação tem se tornado objeto de estudo de várias instituições de pesquisa principalmente no desenvolvimento de estratégias de utilização das culturas e testes de novos genótipos, pois podem predizer, dentro de certos limites, respostas produtivas e/ou fisiológicas com rapidez e custo baixo. Segundo Boote et al. (1996), quando processos fisiológicos são bem entendidos e suas respostas são associados a fatores do ambiente, modelos podem se tornar ferramentas importantes em vários segmentos da agricultura e pecuária obtendo respostas satisfatórias.

2.6.1 Conceitos básicos de modelagem

Bernardes (2000) escreveu 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). No entanto, desenvolver modelos não é uma tarefa fácil, pois engloba uma série de fatores que exige grande conhecimento multidisciplinar.

O desenvolvimento de um modelo passa por várias fases que devem seguir uma seqüência organizada e lógica (RAGSDALE, 1997). Todo o processo pode ser resumido em cinco etapas. (1) Inicia-se com a identificação do problema. (2) Segue-se então para a formulação dos objetivos, isto é, quais são as respostas esperadas que o modelo forneça. Em seguida vem a fase (3) determinação dos limites, variáveis e processos que farão parte do modelo, sua hierarquização e níveis de agregação. Posteriormente vem a fase (4) que é a fase de parametrização do modelo, com análise bibliográfica ou uso de bancos de dados experimentais e por fim, a fase (5) que consiste na validação do modelo, que se resume num “teste”, checando se o modelo reproduz de maneira coerente as situações que tenta representar, sendo que idealmente isso deve ser feito por meio de análises estatísticas (NELSON, 1995; TONATO 2009).

Segundo Thornley (2001) os modelos matemáticos podem ser classificados em:

Dinâmicos ou *estáticos* - que levam em consideração a forma como tratam as mudanças no tempo físico. Dinâmicos são aqueles que incluem o tempo físico como uma de suas variáveis, descrevendo a mudanças ocorridas e as respostas obtidas em função do tempo. Estáticos são aqueles que quando o tempo não é uma variável que os compõem, gerando uma resposta para um instante fixo.

Empíricos ou *mecanicistas* - que levam em consideração a forma como contemplam os dados. Empíricos são aqueles se baseiam em dados simplesmente observados. Mecanicistas são os que se baseiam em leis da física, química e biologia envolvida no processo.

Deterministas ou estocásticos – Quando se leva em consideração a forma como geram as respostas. Deterministas são aqueles que sempre obtêm a mesma solução para um determinado conjunto de variáveis de entrada. Estocásticos são aqueles em que o processo é descrito por meio das leis das probabilidades, gerando uma distribuição de respostas para certos conjuntos de variáveis de entrada.

O uso da modelagem em agricultura possui duas vertentes bem definidas e que nem sempre são aplicadas de forma conjunta. A primeira está voltada para a aplicação científica. Nesse caso, a modelagem diminui a distância existente entre a pesquisa e a prática, possibilitando que hipóteses teóricas sejam artificialmente testadas antes de serem efetivamente aplicadas no campo, auxiliando na identificação de lacunas do conhecimento, embasando decisões práticas e direcionando novas pesquisas. Em função de seu caráter integrador e multidisciplinar, os modelos de simulação tem se tornado ferramenta eficiente sendo sua aplicabilidade ampliada gradativamente na pesquisa experimental (BOOTE et al., 1996).

A segunda vertente está voltada para a aplicação prática dos modelos pelos usuários com o objetivo de auxiliar um determinado usuário na interpretação dos resultados e na tomada de decisão. Apoiar a decisão significa auxiliar na escolha do caminho a ser tomado, onde os modelos geram essas alternativas e estimam sua evolução e seu possível resultado final (TONATO, 2009). O propósito das ferramentas de apoio à tomada de decisão é exatamente fornecer o maior número possível de informações, aumentando a capacidade de avaliação dos resultados, diminuindo o risco e aumentando a eficiência e confiabilidade na decisão (ANDERSON et al., 1977; TURBAN, 1988).

2.6.2 Modelagem em agricultura

O uso de modelos e simulação pode ser considerado relativamente recente nas ciências agrárias, mas vem ganhando força com a diversidade de possibilidades de uso. As aplicações de modelos na agropecuária são múltiplas, permitindo desde o simples entendimento dos fatores envolvidos na produção de uma cultura ou animal numa localidade, até o desenvolvimento de sistemas complexos de apoio à tomada de decisão no âmbito regional ou nacional (COSTA; BARROS, 2001).

Pesquisadores de diversas partes do mundo vêm usando vários modelos de estimativa de rendimento de culturas, testando a habilidade na simulação de eventos fenológicos, produção de

fitomassa e rendimento de grãos (DOURADO NETO, 1999). 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), que consideram o efeito cumulativo da temperatura, acima de um determinado limiar; (2) modelos de unidades fototérmicas (VILLA NOVA et al., 1983), que consideram o efeito combinado da temperatura e do fotoperíodo, e (3) modelos de radiação solar (VIÉGAS et al., 2002), que consideram a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa como variável independente.

Aparentemente, a capacidade de predição 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 térmica) 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 existe outro fator ambiental influenciando a resposta produtiva, o fotoperíodo, sugerindo que modelos baseados unicamente em soma térmica provavelmente não são os mais eficientes na estimativa 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.

Processos fisiológicos também têm sido modelados. Boote & Jones (1987), por meio 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, foram capazes de estimar a fotossíntese do dossel e sua resposta a radiação. Outros modelos são específicos para determinadas culturas e trabalham com sub-rotinas que descrevem todos os processos ligados à 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, de bancos de dados abrangentes e coletados sob condições controladas. 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 em pastagens ou interpretar as respostas dessas plantas às variações nos fatores de crescimento.

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). Além disso, a existência de um grande número de modelos já bem desenvolvidos em outros países tem feito com que a adaptação dos mesmos venha sendo a alternativa preferida no meio científico brasileiro (TONATO, 2009). Modelos como o GRAZPLAN e o CROPGRO já estão sendo parametrizados com dados de plantas forrageiras de clima tropical e os resultados têm sido bastante promissores (PEDREIRA, 2009; CRUZ, 2010).

2.6.3 O modelo CROPGRO como ferramenta de estudo da produção de forragem

O modelo CROPGRO é um modelo orientado por processos que usa dados diários de clima e manejo para prever mudanças diárias na composição e crescimento da cultura (BOOTE; JONES; HOOGENDOORN, 1998). Foi desenvolvido no início da década de 1990, como um modelo autônomo, mas pode também ser trabalhado dentro do Sistema de Decisão e Suporte a

Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) (ICASA, 1998), o que permitiu a interface com programas de gráficos e automatizou a apresentação dos resultados.

O CROPGRO é um modelo mecanicista que prediz produção e composição de culturas baseado nas informações de planta, clima, manejo e solo. Além disso, tem a habilidade de simular balanço hídrico e de nitrogênio, matéria orgânica e dinâmica de resíduos no solo, e danos por pragas e/ou doenças, aspectos que aumentam a sua utilidade (RYMPH, 2004). O modelo usa o código FORTRAN como base de sua programação e é considerado um modelo genérico, podendo ser usado para modelagem de produção de várias culturas. Essa generalidade só é possível, pois o modelo trabalha usando arquivos de entrada que definem características da espécie e atributos dos cultivares.

Um dos objetivos no desenvolvimento do CROPGRO era ter um modelo que pudesse ser facilmente adaptado para simular o crescimento de diferentes espécies vegetais. O CROPGRO foi criado como uma maneira de consolidar os modelos existentes SOYGRO, PNUTGRO, e BEANGRO em um único programa (BOOTE; JONES; HOOGENBOOM, 1998). Os três programas compartilhavam boa parte de seu código, o que possibilitou a fusão dos modelos primeiramente envolvidos, movendo os parâmetros que descrevem espécies e cultivares no código atual. Esta estrutura permite que uma nova espécie seja modelada criando apenas novos arquivos de parâmetros.

Na década 1990, o modelo CROPGRO-Forragem foi adaptado para simular a cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) na Florida, EUA (KELLY, 1995), e como a gramínea *Paspalum notatum* (Alain ex. Flügge) era usada na rotação de culturas, também passou a fazer parte do programa. Os resultados dessas simulações foram inseridos num modelo econômico para prever a sustentabilidade e a viabilidade da cultura do amendoim. Os arquivos de espécie, cultivar e ecótipos foram liberados mais tarde como um modelo de “pastagens” no DSSAT, versão 3.5 (ICASA, 1998).

A partir de 2000, essa versão do modelo foi usada para simular a produção de feno de *P. notatum*, mas revelaram uma consistente superestimativa da produção de matéria seca, particularmente nos meses mais frios. Assim, com o aumento na procura da aplicação do modelo foi requerida melhores estimativas na produção e representação mais realística dos padrões sazonais e de velocidade de rebrotação para *P. notatum*. Para tanto, foram incluídos órgãos de armazenamento de reservas no modelo (RYMPH, 2004). Por estas razões, a parametrização e

testes mais rígidos foram feitos no modelo CROPGRO versão 4.0, conferindo a ele a habilidade de estimar o crescimento e a composição nitrogenada nos tecidos de *P. notatum* em resposta às variações diárias no clima, adubação e manejo de colheita. Além de estimar a produção de *P. notatum*, a versão 4.5 do software foi lançada incluindo o modelo CROPGRO-Forragem adaptado para *B. decumbens* (GIRALDO et al., 2001), utilizando dados da Rede Internacional de Avaliação de Pastos Tropicais, CIAT, Colômbia.

Atualmente outros grupos de pesquisadores no Brasil estão engajados na parametrização do modelo CROPGRO-Forragem para gramíneas forrageiras de clima tropical (PEDREIRA, 2009; CRUZ, 2010) na tentativa de fazer desta, uma ferramenta usual no estudo das variações estacionais de produção.

Portanto, para que haja avanços na produção animal em pastagem, faz-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, de suas respostas à aplicação de fertilizantes, a irrigação, ao estresse, entre outros, 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 de se conhecer e racionalizar cada um os fatores envolvidos no processo produtivo, entre eles luz e temperatura. A finalidade dessa pesquisa é estabelecer um processo padronizado de sistematização de informações sobre respostas agronômicas de cinco genótipos de *Brachiaria*, na forma de geração de bancos de dados coletados em condições controladas, que permita alimentar e avaliar modelos simples e mais complexos de previsão de produção de forragem e de outros parâmetros ligados ao seu desenvolvimento.

Referências

- ANDERSON; J. R.; DILLAN, J. L.; HARDAKER, R. **Agricultural Decision Analysis**. Ames: Iowa Sate University Press, 1977. 344p.
- ANDRADE, R.P. Tecnologia de produção de sementes do gênero *Brachiaria*. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.) In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM – MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.49-71.
- BARIONI, L.G.; MARTHA JUNIOR, G.B.; RAMOS, A.K.B.; VELOSO, R.F.; RODRIGUES, D.C.; VILELA, L. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; Da SILVA, S.C.; FARIA, V.P. (Ed.) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2003. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p.105-153.
- 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.
- BIRCHAM, J.S.; HODGSON, J. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed sward under continuous stocking management. **Grass and Forage Science**, v.38, n.4, p.323-331, 1983.
- 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.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop model. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p.704-716, 1996.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 651-692.
- BOTREL, M.A.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. Efeito da irrigação sobre algumas características agrônômicas de cultivares de capim-elefante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.10, p.1731-1736. 1991.
- BROUGHAM, R.W. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 7, p. 377-387, 1956.
- CHAPMAN, D.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993. Palmerston North. **Proceedings...** Palmerston North, 1993. p. 95-104.
- CHECKLAND, P. **Systems thinking, systems practice**. Chinchester: John Wiley, 1989. 330 p.

CNA. **Confederação Nacional da Agricultura**. Disponível em: <<http://www.cna.org.br/>>. Acesso em: 20 dez 2010.

COOPER, J.P.; TANTON, N.M. Light and temperature requirements 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. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1976. p.5-36.

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

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

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.; CORSI, M. Manejo do pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM – PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTAGENS, 20., 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 155-186.

DA SILVA, S.C.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; EUCLIDES, V.B.P. **Pastagens**: conceitos básicos, produção e manejo. Viçosa: Suprema, 2008. 115p.

DIAS-FILHO, M.B. Photosynthetic light response of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.65-68, 2002.

DOURADO NETO, D. Modelos fitotécnicos referentes à cultura do milho. Piracicaba, 1999. 229p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba,1999.

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

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Modelagem matemática aplicada à agricultura. BERNARDES, M.S. In: Argos. Agrianual 2000: anuário da agricultura brasileira. 2000.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations Disponível em: <<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>>. Acessado em : 10 nov 2010.

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.

GIRALDO, L.M.; LIZCANO, L.J.; GIJSMAN, A.J.; RIVERA, B.; FRANCO, L.H. Adapting the CROPGRO Model of DSSAT to Simulate the Growth of *Brachiaria decumbens*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEMS APPROACHES FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT, 3. 2001. Lima, Peru, 2001. **Anais...** Lima, Peru: International Potato Center (CIP), 2001. p. 14-18.

GRANT, S.A.; BARTHRAM, G.T.; TORVELL, L.; KING, J.; SMITH, H.K. Sward management, lamina turnover and tiller population density in continuously stocked *Lolium perenne*-dominated swards. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 38, n. 4, p. 333-344, 1983.

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, New Zealand. 1990. 203 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Brazilian Institute of Geography and Statistics 2008.

ICASA. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Honolulu: ICASA: DSSAT, 1998.

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

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

KELLY, T.C. **A bioeconomic system approach to sustainability analysis at the farm level**. 1995. 114 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - University of Florida, Gainesville, 1995.

KORTE, C.J.; WATKIN, B.R.; HARRIS, W. Use of residual leaf area index and light interception as criteria for spring grazing management of ryegrass-dominant pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 25, p. 309-311, 1982.

KORTE, C.J. Tillering in "Grassland Nui" perennial ryegrass swards. 2. Seasonal pattern of tillering and age of flowering tillers with two mowing frequencies. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.29, p. 629-638, 1986.

LADEIRAS, N.P.; SYKES, D.J.; DAKER, A.; GOMIDE, J.A. estudos sobre a produção e irrigação dos capins pangola, sempre-verde e gordura durante o ano de 1965. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 13, n. 74, p. 105-116, 1966.

LEMAIRE, G. Ecophysiology of grasslands: dynamics aspects of forage plant populations in grazed swards. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001. São Pedro, **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.

LIMÃO, V.A. **Padrões de crescimento de pastos de capim-mulato submetidos a estratégias de pastejo rotativo**. 2010. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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.

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

MARCELINO, K.R.A.; LEITE, G.G.; VILELA, L. Efeito da adubação nitrogenada e da irrigação sobre a produtividade e índice de área foliar de duas gramíneas cultivadas no cerrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, SP: SBZ, 2001. p. 230-231.

MARSHALL, C. Physiological aspects of pasture growth. In: SNAYDON, R.W. **Managed grasslands analytical studies**. New York: Elsevier, 1987.p. 29-46.

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.

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

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

OLIVEIRA FILHO, J.C. **Produção de duas gramíneas tropicais submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio e potássio no estado do Tocantins**. 2007. 120p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

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

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.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; DA SILVA, S.C. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.281-287, 2007.

PEDREIRA, B.C. **Capim Xaraés sob pastejo**: respostas agronômicas e morfofisiológicas e adaptação do modelo CROPGRO para predição de crescimento. 2009. 111p. Tese (Doutorado em Ciência animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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 em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L. de; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: MATTOS, W. R. S. (Org.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: SBZ, 2001. p.772-807.

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.

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.

PINTO, L.F.M. **Dinâmica de acúmulo de matéria seca em pastagens de *Cynodon* spp. submetidos a pastejo**. 2000. 124p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

PORTELA, J.N.; TONATO, F.; PEDREIRA, B.C.; LARA, M.A.S.; PEQUENO, D.N.L.; CURCELLI, F.; PEDREIRA, C.G.S.; **Produtividade e composição morfológica de aveia preta, aveia amarela e dois ecótipos de azevém anual intensivamente adubados em resposta à irrigação no Estado de São Paulo**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008. Lavras, MG. **Anais...** Lavras, MG.2008. 1CD ROM.

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

RASSINI, J.B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 821-825. 2004.

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.

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

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 Fosfato, 1987. p.203-230.

RODRIGUES, T.J.D.; RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A. Adaptação de plantas forrageiras as condições adversas. In: SIMPÓSIO SOBRE O ECOSISTEMA DE PASTAGENS, 2., 1993. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 1993. p. 17 – 61.

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

RYMPH, S.J. **Modeling growth and composition of perennial tropical forage grasses**. 2004. 316 p. Dissertation (Doctor of Philosophy) - University of Florida, Gainesville, 2004.

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).

SBRISSIA, A.F. ;DA SILVA, S.C.O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001. Piracicaba, SP. **Anais...** SBZ: Piracicaba, 2001. p. 731-754.

SBRISSIA, A.F. **Morfogênese, dinâmica do perfilhamento e do acúmulo de forragem em pastos de capim-marandú sob lotação contínua**. 2004. 171 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SOUSA JUNIOR, S.J. **Estrutura do dossel, interceptação de luz e acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu submetidos a estratégia de pastejo rotativo por bovinos de corte.** 2007. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

STEBBINS, L.G. The evolution of the grass family. In: YONGNER, V.B.; McKELL, C.M. (Ed.). **The biology and utilization of grasses.** New York: Academic Press, 1972. p.1-14.

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

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

TONATO, F. **Desenvolvimento e avaliação de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais para apoio à tomada de decisão.** 2009. 110p. Tese (Doutorado em Ciência animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

VALENTINE, I.; MATTHEW, C. Plant growth, development and yield. In: WHITE, J.; HODGSON, J. (Ed.). **New Zealand – Pasture and Crop Science.** Oxford: Cambridge University Press, 1999. p. 11-27.

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. 1 CD-ROM

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.

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.; 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.

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, 1983, p.31-48.

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.

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

3 ACÚMULO DE FORRAGEM E COMPOSIÇÃO MORFOLÓGICA DE CINCO GENÓTIPOS DE *Brachiaria* COLHIDOS MECANICAMENTE A 15 E 7,5 CM

Resumo

Para melhorar a eficiência do manejo da desfolhação e conseqüentemente a produção de forragem é necessário conhecer as variações na estrutura do dossel causadas por diferentes intensidades de desfolhação. O conhecimento dessas respostas é importante para determinar as possíveis faixas de utilização da forragem, auxiliando o pecuarista na tomada de decisão de qual manejo adotar. Para tanto um experimento foi conduzido no departamento de Zootecnia da USP-ESALQ em Piracicaba-SP. O objetivo deste trabalho foi estudar as respostas morfológicas e produtivas de cinco genótipos de *Brachiaria* (Arapoty, Basilisk, Capiporã, Marandu e Xaraés) cortados mecanicamente a 15 e 7,5 cm de altura durante um ano. As unidades experimentais (parcelas de 9 x 4 m) foram irrigadas e adubadas com o equivalente a 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O. O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados, com quatro repetições num esquema de parcelas subdivididas. As principais características agrônômicas avaliadas foram: Acúmulo de forragem (AF) e massa de forragem no resíduo e suas composições morfológicas. As variações nas condições climáticas promoveram acúmulos de forragem maiores na primavera e no verão sendo os genótipos Capiporã e Xaraés os mais produtivos, mas também os mais estacionais. O corte a 7,5 cm resultou em maiores acúmulos de forragem durante o ano, refletindo na melhor eficiência de colheita da forragem produzida sob esse manejo. A massa de forragem no resíduo variou entre o verão e o inverno para os genótipos e para as alturas de corte, sendo que a forragem das parcelas cortadas a 7,5 cm apresentou maior proporção de folhas no resíduo. Apesar da variação de 50% na altura dos resíduos, a massa de forragem no resíduo de 7,5 cm correspondeu a 68 % da massa do resíduo de 15 cm sendo então mais densa. A densidade volumétrica da forragem entre as alturas de corte foram diferentes entre resíduos e estratos, mas ambos os manejos apresentaram massa total de forragem semelhante por metro cúbico. A altura de corte mais baixa exerceu maior impacto sobre a dinâmica de crescimento das plantas sendo recomendada quando se faz o uso da irrigação e adubação no sistema de produção.

Palavras-chave: Produção de forragem; Composição morfológica; Índice de área foliar; Resíduo; Manejo da desfolhação

Abstract

To improve the management efficiency of defoliation and consequently the forage production is necessary to know the variations in canopy structure caused by different defoliation intensities. Knowledge of these responses is important to determine the possible ranges of forage utilization, helping the farmers to making decisions about the management adopt. An experiment was conducted in the Departamento de Zootecnia at USP-ESALQ in Piracicaba, state of São Paulo, Brazil. The objective was to describe the structural and morphogenetic responses of five genotypes of *Brachiaria* clipped to 15 and 7.5 cm high during one year. The experimental units (9 x 4 m plots) were irrigated and fertilized with the equivalent of 220 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of N and K₂O. Were used the randomized complete block design with four replications in split-plot. The main characteristics evaluated were: Forage accumulation (FA), the stubble forage mass and their morphological compositions. Variations in weather conditions promoted higher forage accumulation in spring and summer and the genotypes Capiporã and Xaraés were the most productive, but also more seasonal. The cutting height of 7.5 cm showed higher accumulation of forage in four seasons, reflecting the better use of forage produced. Forage residue (stubble) varied between summer and winter for the genotypes and the cutting heights. Forage from plots were harvested at 7.5 cm had a higher proportion of leaves. Despite the 50 % variation in the stubble height, the herbage mass in 7.5 cm stubble height corresponded to 68 % by weight of the 15 cm stubble, so it is denser. The bulk densities between clipping heights were different in stubble mass and strata, but both treatments showed similar bulk density. A lower cutting height exerted a greater impact on the dynamics of plant growth and is recommended when making the use of irrigation and fertilization on the production system.

Keywords: Forage production; Morphological composition; Leaf area index; Stubble height; Defoliation management

3.1 Introdução

A captura da energia solar possui grande importância para os vegetais, pois deve ser interceptada e utilizada nos processos fotossintéticos, condicionando o crescimento das plantas (NABINGER; PONTES, 2001). O tamanho da superfície responsável pela interceptação luminosa é representado pela superfície das folhas, cujo tamanho, dinâmica de crescimento e atividade fotossintética pode ser influenciada por fatores do meio. Assim, o IAF (área de folhas por unidade de área de solo) é um dos grandes determinantes da estrutura do dossel (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993). O ambiente pode interferir grandemente no crescimento da forragem nas pastagens de forma que o estudo das características morfofisiológicas e estruturais se faz necessário para o entendimento da dinâmica de produção de forragem e suas inter relações com solo, água, clima e animal, dentro de sistemas de produção de forragem.

Diferentes formas de colher a forragem afetam as características das plantas forrageiras. Intensidades de desfolhação contrastantes fazem com que a forragem colhida (por corte ou pastejo) apresente composições morfológicas, estruturais e nutricionais diferentes, devido a mudanças na população de perfilhos, no metabolismo, no consumo de água e nutrientes, acarretando em mudanças nos padrões de crescimento e arquitetura mesmo em condições experimentais semelhantes. Contrastar intensidades de colheita no mesmo tempo cronológico pode evidenciar as variações estruturais e produtivas desses manejos e suas implicações no gerenciamento da propriedade, fornecendo ao pecuarista critérios mais adequados para maximizar o desempenho dos capins de sua propriedade, além de determinar limites ecofisiológicos dos manejos no que diz respeito aos potenciais produtivos e de utilização.

Apesar da crescente oferta de pesquisas que utilizem a interceptação de luz do dossel como premissa básica de colheita da forragem, para fins de modelagem e/ou potencial de crescimento, os métodos tradicionais de colheita baseadas em períodos fixos de rebrotação são valiosos na construção dos bancos de dados onde o efeito do ambiente é o mesmo sobre o objeto de estudo, atribuindo as variações nos resultados aos tratamentos aplicados. Além disso, é possível verificar a dinâmica da composição morfológica principalmente no resíduo, responsável por grandes variações nas relações luminosas dentro do dossel, algo que nem sempre é descrito adequadamente.

O objetivo deste estudo foi descrever características agronômicas e morfológicas da forragem no estrato colhível e no resíduo, de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. submetidos a duas intensidades de desfolhação por corte com a finalidade de conhecer as características estruturais dessas plantas em diferentes condições de manejo nas quatro estações do ano, e assim, definir a estratégia de manejo mais adequada para a colheita da forragem.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Local do experimento

O estudo foi conduzido 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, 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 de coleta de dados foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ, distante cerca de 1 km da área experimental.

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. O manejo da irrigação foi baseado no monitoramento das condições hídricas do solo por meio de quatro tensiômetros instalados na área experimental a 30 cm de profundidade. Sempre que os tensiômetros registravam valores médios de potencial hídrico no solo entre -0,30 e -0,40 kPa procedia-se a irrigação. O tempo de irrigação foi controlado com a finalidade de que lâmina de água aplicada não ultrapassasse a velocidade de infiltração básica do solo, evitando escoamento superficial. A irrigação também foi realizada após cada adubação (6 mm de lâmina de água, sempre após os cortes), com o intuito de maximizar a eficiência do adubo aplicado.

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). As adubações foram realizadas manualmente logo após os cortes, aplicando no ano um total de 20 kg ha⁻¹ de N e K₂O, utilizando como adubo, sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄ (22 % de N e 18 % de S) e cloreto de potássio, KCl (65 % K₂O). Foram realizados 11 ciclos de rebrotação totalizando a aplicação de 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O.

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 -----						
5,9	42	20	4,0	54	16	28	74	102	73

*P Resina. SB=soma de bases. T=CTC total. V%=saturação por bases.

Os dados climatológicos foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ (Figura 1). O Balanço hídrico foi calculado com base nos dados coletados na estação experimental e dados da lâmina de água aplicada no campo (Figura 2).

Figura 1 - Médias mensais de temperaturas máximas, médias e mínimas durante o período experimental comparados com dados médios coletados na estação meteorológica da USP-ESALQ de 1917

Figura 2 - Balanço hídrico (outubro de 2007 a outubro de 2008), sem irrigação e com irrigação

3.2.2 Delineamento experimental e manejo da colheita

Foram estudados cinco genótipos de *Brachiaria* spp., sendo quatro de *B. brizantha* (Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã) e um de *B. decumbens* (Basilisk) (Figura 3), estabelecidas no verão de 2004-2005.

Figura 3 - Aspecto das parcelas dos cinco genótipos de *Brachiaria* sob as duas alturas de corte

O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os cinco genótipos foram alocados à área, totalizando 20 parcelas, cada uma medindo 36m^2 ($4\text{m} \times 9\text{m}$). Estas foram subdivididas longitudinalmente e por sorteio e cada metade foi submetida a uma altura de corte, 15 ou 7,5 cm (Figuras 4 A e B).

Figura 4 - Aspecto da área experimental no momento do estabelecimento das alturas de corte em maio de 2007 (A). Parcelas prontas para coleta de dados em outubro de 2007 (B)

Figura 5 - Vista da área experimental

Durante o período experimental, a forragem das parcelas foi cortada de acordo com o cronograma de colheita e a altura de cada subparcela. A medição da massa de forragem no resíduo e sua composição morfológica foram realizadas em dois ciclos representativos do verão e do inverno agrostológico, sendo esses ciclos intitulados detalhamento de verão e inverno (Figura 6).

Figura 6 - Cronograma de colheita de forragem e seleção dos ciclos detalhados do experimento

3.2.3 Acúmulo de forragem e composição morfológica e IAF

Em cada ciclo de rebrotação, amostras foram retiradas para quantificação do acúmulo de forragem (AF), cortando-se, em cada subparcela, a forragem contida no interior de duas molduras metálicas retangulares medindo 0,5 x 1,0 m, a 15 e 7,5cm do nível do solo. Para tanto as molduras de amostragem foram confeccionados com “pés” que proporcionaram o corte da forragem na altura determinada. O corte foi realizado com o auxílio de um aparador de cerca viva, em pontos da parcela onde a condição de vegetação era representativa da média da subparcela (Figura 7).

As amostras de forragem verde foram pesadas no campo e de cada uma, foram tomadas duas subamostras de aproximadamente 600 g. A primeira foi acondicionada em saco de pano, novamente pesada verde e levada para estufa de circulação forçada a 60°C para secagem até peso constante. Esses dados foram utilizados para determinação da massa de forragem acumulada em termos de matéria seca (MS). A segunda subamostra foi acondicionada em saco plástico e congelada a -5°C, e posteriormente separadas nos seus componentes morfológicos folha:colmo e material morto, e quando presentes em inflorescências.

Figura 7 - Retirada de amostras de acúmulo de forragem acima de 15 e 7,5cm (A). Uso de retângulos de amostragem com “pés” para determinar a altura do estrato (B). Amostragem do resíduo no início e final dos ciclos detalhados (C). Corte de igualação das subparcelas com auxílio de motosssegadora de barra no final de cada rebrotação (D)

O acúmulo de forragem (AF) foi calculado com a média da massa de forragem acima do resíduo de corte dos dois retângulos de amostragem em cada subparcela. A taxa média diária de acúmulo de forragem ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foi calculada dividindo o valor de AF encontrado no final de cada ciclo pelo número de dias de rebrotação do mesmo. O AF foi agrupado por estação (primavera, 23 de setembro a 21 de dezembro; verão, de 21 de dezembro a 21 de março; outono, de 21 de março a 21 de junho e inverno, de 21 de junho a 23 de setembro), somando as taxas médias diárias de acúmulo dentro do período correspondente a cada estação. Amostras do resíduo foram retiradas apenas no início e final dos ciclos detalhados (Figura 6), nas quais foram aplicados os mesmos procedimentos de separação morfológica das amostras de AF.

Para as medições de índice de área foliar (IAF) 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, por meio 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 oito pontos representativos da média do dossel em cada subparcela, na proporção de uma medida acima para quatro 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. Essas avaliações foram repetidas semanalmente durante todo o período experimental.

3.2.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados utilizando o método de modelos mistos por meio do procedimento MIXED do software SAS (LITTELL et al., 2006). Na escolha da matriz de covariância utilizou-se o critério de informação de Akaike (WOLFINGER; OCONNELL, 1993). Os efeitos de genótipo, altura de corte, época do ano e suas interações foram consideradas como efeitos fixos (LITTELL et al., 2006). As médias dos tratamentos foram estimadas por meio do “LSMEANS” e a comparação entre elas foi realizada por meio da probabilidade da diferença (“PDIF”) ajustada para o teste de “Tukey” e um nível de 5% probabilidade.

O seguinte modelo foi utilizado para análise dos dados:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + G_j + \gamma_{ij} + A_k + (GA)_{jk} + \delta_{ijk} + E_l + (GE)_{jl} + (AE)_{kl} + (GAE)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

Y_{ijkl} = valor observado no i -ésimo bloco do j -ésimo genótipo da k -ésima altura de corte do l -ésima estação do ano;

μ = média geral;

B_i = efeito aleatório associado ao i -ésimo bloco, $i = 1, \dots, 4$;

G_j = efeito fixo associado ao j -ésimo genótipo, $j = 1, \dots, 5$;

γ_{ij} = efeito aleatório associado ao i -ésimo bloco do j -ésimo genótipo, assumindo $\gamma_{ij} \sim N(0, I\sigma_\gamma^2)$, sendo que $I\sigma_\gamma^2$ é a matriz identidade de variância e covariância, pois se assume independência dos resíduos;

A_k = efeito fixo associado a k -ésima altura de corte, $k = 1, 2$;

$(GA)_{jk}$ = efeito da interação do j -ésimo genótipo com a k -ésima altura de corte;

δ_{ijk} = efeito aleatório associado ao i -ésimo bloco do j -ésimo genótipo na k -ésima altura de corte, assumindo $\gamma_{ij} \sim N(0, I\sigma_\gamma^2)$, sendo que $I\sigma_\gamma^2$ é a matriz identidade de variância e covariância, pois se assume independência dos resíduos;

El = efeito fixo associado a l -ésima estação do ano, $l = 1, 2$;

$(GE)_{jl}$ = efeito da interação do j -ésimo genótipo com a l -ésima estação do ano;

$(AE)_{kl}$ = efeito da interação da k -ésima altura de corte com a l -ésima estação do ano;

$(GAE)_{jkl}$ = efeito da interação do j -ésimo genótipo com a k -ésima altura de corte na l -ésima estação do ano;

ε_{ijkl} = erro aleatório associado ao i -ésimo bloco no j -ésimo genótipo na k -ésima altura de corte na l -ésima estação do ano, assumindo que $\varepsilon_{ijkl} \sim N(0, I\sigma_\varepsilon^2)$, sendo que $I\sigma_\varepsilon^2$ é a matriz de variância e covariância, pois se assume dependência dos erros;

3.3 Resultados

3.3.1 Produção de forragem

Acumulo total de forragem

O acúmulo de forragem sofreu efeito da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$) e altura de corte x estação do ano ($P = 0,0009$). Os genótipos Capiporã e Xaraés apresentaram os maiores acúmulos de forragem na primavera e no verão sendo os mais produtivos. Durante o outono e inverno o AF não variou entre os genótipos, sendo os capins Arapoty, Basilisk e Marandu, menos estacionais que os capins Capiporã e Xaraés (Tabela 2). As subparcelas cortadas a 7,5 cm de altura apresentaram maior AF nas quatro estações do ano (tabela 3).

Tabela 2 - Acúmulo de forragem (AF) de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- kg MS ha ⁻¹ -----					
Primavera	3838 Ba (197,93)	3381 Ba (197,93)	4775 Aa (197,93)	3186 Ba (197,93)	4989 Aa (197,93)	4034 (88,51)
Verão	3923 Ba (218,98)	3944 Ba (218,98)	5464 Aa (218,98)	3520 Ba (218,98)	5348 Aa (218,98)	4440 (97,93)
Outono	1915 Ab (156,22)	1964 Ab (156,22)	2450 Ab (156,22)	2113 Ab (156,22)	2518 Ab (156,22)	2192 (69,86)
Inverno	920 Ac (102,98)	1026 Ac (102,98)	893 Ac (102,98)	770 Ac (102,98)	1180 Ac (102,98)	958 (46,05)
Média	2649 (120,77)	2579 (120,77)	3396 (120,77)	2398 (120,77)	3509 (120,77)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 3 - Acúmulo de forragem (AF) em pastos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano sob duas alturas de corte

Altura de corte	Estação				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
	----- kg Ms ha ⁻¹ -----				
15cm	3405 Bb (120,15)	4101 Ab (133,96)	1900 Cb (92,34)	707 Db (54,83)	2529 (67,81)
7,5cm	4663 Aa (120,15)	4779 Aa (133,96)	2484 Ba (92,34)	1208 Ca (54,83)	3284 (67,81)
Média	4034 (88,51)	4440 (97,93)	2192 (69,86)	958 (46,05)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte na mesma estação ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

Proporção de folhas na forragem acumulada

A porcentagem de folhas sofreu efeito da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$) e altura de corte x estação do ano ($P < 0,0001$). A proporção de folhas foi alta nas quatro estações do ano, sendo na primavera e no inverno maior que 90% (Tabela 4). A forragem acumulada nas subparcelas cortadas a 7,5 cm apresentaram menores proporções de folhas na primavera e no verão. No outono e inverno, independente do regime de corte não houve mudança na proporção de folhas da forragem acumulada (Tabela 5).

Tabela 4 - Porcentagem de folhas de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- % -----					
Primavera	83,9 Bb (0,71)	85,8 Ba (0,71)	95,4 Aa (0,71)	93,5 Aa (0,71)	94,1 Aa (0,71)	90,5 (0,31)
Verão	83,9 Cb (0,71)	80,3 Db (0,71)	93,9 Aab (0,71)	88,4 Bb (0,71)	92,1 Aa (0,71)	87,7 (0,31)
Outono	91,1 Ba (0,71)	86,7 Ca (0,71)	96,3 Aa (0,71)	81,7 Dc (0,71)	93,6 ABa (0,71)	89,9 (0,31)
Inverno	92,3 ABa (0,71)	89,2 BCa (0,71)	91,5 ABb (0,71)	86,3 Cb (0,71)	94,0 Aa (0,71)	90,7 (0,31)
Média	87,8 (0,36)	85,5 (0,36)	94,3 (0,36)	87,5 (0,36)	93,4 (0,36)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 5 - Porcentagem de folhas em pastos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano sob duas alturas de corte

Altura de corte	Estação				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
	----- % -----				
15cm	92,6 Aa (0,44)	88,7 Ba (0,44)	90,2 Ba (0,44)	90,4 Ba (0,44)	90,5 (0,22)
7,5cm	88,4 BCb (0,44)	86,8 Cb (0,44)	89,6 ABa (0,44)	90,9 Aa (0,44)	88,9 (0,22)
Média	90,5 (0,31)	87,7 (0,31)	89,9 (0,31)	90,7 (0,31)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte na mesma estação ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

Proporção de colmos na forragem acumulada

A porcentagem de colmos sofreu efeito da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$) e altura de corte x estação do ano ($P = 0,0004$). A proporção de colmos na forragem acumulada foi maior no verão para todos os genótipos, sendo que os capins Arapoty e Basilisk apresentaram a maior proporção de colmos (Tabela 6). A forragem das subparcelas cortadas a 7,5 cm apresentou maior proporção de colmos na primavera e no verão. No outono e inverno, independente do regime de corte, não houve mudança na proporção de colmos na forragem acumulada (Tabela 7).

Tabela 6 - Porcentagem de colmos de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- % -----					
Primavera	10,6 Ab (0,53)	10,2 Ab (0,53)	1,4 Bb (0,53)	2,6 Bd (0,53)	3,5 Bb (0,53)	5,7 (0,23)
Verão	12,5 Ba (0,53)	16,3 Aa (0,53)	2,5 Da (0,53)	7,5 Cb (0,53)	5,3 CDa (0,53)	8,8 (0,23)
Outono	7,7 Bc (0,53)	11,5 Ab (0,53)	1,7 Cb (0,53)	14,6 ACa (0,53)	4,8 Ba (0,53)	8,0 (0,23)
Inverno	4,3 Bd (0,53)	6,0 Ac (0,53)	0,9 Dc (0,53)	5,2 ABc (0,53)	2,0 Cc (0,53)	3,7 (0,23)
Média	8,8 (0,26)	11,0 (0,26)	1,6 (0,26)	7,5 (0,26)	3,9 (0,26)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 7 - Porcentagem de colmos em pastos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano sob duas alturas de corte

Altura de corte	Estação				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
	----- % -----				
15cm	4,2 BCb (0,33)	8,4 Ab (0,33)	8,2 Ba (0,33)	4,2 Ca (0,33)	6,2 (0,16)
7,5cm	7,2 ABa (0,33)	9,3 Aa (0,33)	7,9 Ba (0,33)	3,3 Ca (0,33)	6,9 (0,16)
Média	5,7 (0,23)	8,8 (0,23)	8,0 (0,23)	3,7 (0,23)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte na mesma estação ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

Proporção de material morto na forragem acumulada

A porcentagem de material morto sofreu efeito da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$) e altura de corte x genótipo ($P = 0,0412$). A proporção de material morto na forragem acumulada foi maior no inverno, chegando a 5,5% da massa colhida nesta estação (Tabela 8). O capim Marandu foi o que apresentou maior proporção de material morto na forragem acumulada sendo que sob o regime de corte de 7,5 cm de altura, a proporção de material morto foi 40% maior que no regime de corte de 15 cm (Tabela 9).

Tabela 8 - Porcentagem de material morto de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- % -----					
Primavera	5,3 Aa (0,76)	3,9 Aa (0,23)	3,0 ABb (0,54)	3,8 Ab (0,53)	2,3 Ba (0,25)	3,7 (0,22)
Verão	3,5 ABa (0,30)	3,3 ABa (0,22)	3,4 ABb (0,33)	4,0 Ab (0,17)	2,48 Ba (0,12)	3,3 (0,11)
Outono	1,1 Bb (0,04)	1,7 ABb (0,17)	1,9 ABb (0,26)	3,5 Ab (0,54)	1,5 ABa (0,19)	1,9 (0,13)
Inverno	3,2 Ca (0,31)	4,6 BCa (0,64)	7,4 ABa (0,83)	8,3 Aa (0,75)	3,9 BCa (0,72)	5,5 (0,30)
Média	3,3 (0,26)	3,4 (0,20)	3,9 (0,31)	4,9 (0,37)	2,5 (0,22)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 9 - Porcentagem de material morto de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Altura de Corte	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- % -----					
15cm	2,7 Ab (0,36)	3,4 Aa (0,29)	4,0 Aa (0,44)	3,6 Ab (0,52)	2,1 Aa (0,31)	3,2 (0,17)
7,5cm	3,9 ABa (0,36)	3,3 Ba (0,29)	3,9 ABa (0,44)	6,2 Aa (0,52)	2,9 Ba (0,31)	4,1 (0,17)
Média	3,3 (0,26)	3,4 (0,20)	3,9 (0,31)	4,9 (0,37)	2,5 (0,22)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Proporção de inflorescências na forragem acumulada

A porcentagem de inflorescências sofreu efeito da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$) e altura de corte x estação do ano ($P = 0,0005$). O florescimento dos perfilhos ocorreu em diferentes estações para cada capim estudado. O capim Arapoty teve seu florescimento concentrado no verão. O capim Basilisk teve seu florescimento distribuído entre o verão e o outono. O capim Marandu floresceu no outono, sendo os ramos florescidos responsáveis por até 9,4% da forragem acumulada nessa estação. Para os genótipos Capiporã e Xaraés, a participação dos colmos florescidos na forragem colhida não chegou a 1% (Tabela 10).

A altura de corte de 7,5 cm proporcionou melhor controle dos ramos florescidos no outono e no inverno (Tabela 11).

Tabela 10 - Porcentagem de inflorescências de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- % -----					
Primavera	0,8 Ab (0,22)	0,2 Bb (0,29)	0,0 Ba (0,09)	0,0 Bc (0,40)	0,0 Bb (0,08)	0,2 (0,11)
Verão	3,8 Aa (0,22)	2,8 Ba (0,29)	0,0 Da (0,09)	1,8 Cbc (0,40)	0,0 Db (0,08)	1,5 (0,11)
Outono	0,3 Cb (0,22)	2,8 Ba (0,29)	0,0 Ca (0,09)	9,4 Aa (0,40)	0,4 Ca (0,08)	2,6 (0,11)
Inverno	0,0 Bb (0,22)	0,6 Bb (0,29)	0,3 Ba (0,09)	2,4 Ab (0,40)	0,2 Ba (0,08)	0,7 (0,11)
Média	1,0 (0,16)	1,6 (0,13)	0,1 (0,05)	3,4 (0,21)	0,2 (0,05)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P<0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P<0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 11 - Porcentagem de inflorescências em pastos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano sob duas alturas de corte

Altura de corte	Estação				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
	----- % -----				
15cm	0,1 Ca (0,15)	1,7 Ba (0,15)	3,2 Aa (0,15)	1,1 Ba (0,15)	1,5 (0,08)
7,5cm	0,2 Ba (0,15)	1,4 Aa (0,15)	2,1 Ab (0,15)	0,3 Bb (0,15)	1,0 (0,08)
Média	0,2 (0,11)	1,5 (0,11)	2,6 (0,11)	0,7 (0,11)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte na mesma estação ($P<0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P<0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Índice de área foliar do dossel

O índice de área foliar (IAF) do dossel sofreu efeito da interação entre genótipo x estação do ano ($P<0,0001$) e altura de corte x estação do ano ($P<0,0003$). Os capins Basilisk, Capiporã e Xaraés apresentaram os maiores IAFs durante a primavera e o verão (Tabela 12). O IAF do dossel cortado a 7,5 cm foi, em média, 11% menor que o IAF do dossel cortado a 15 cm (Tabela 13).

Tabela 12 - Índice de área foliar (IAF) nos dosséis de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano

Quatro estações do ano						
Estação	Arapoty	Basilisk	Genótipo Capiporã	Marandu	Xaraés	Média
----- IAF -----						
Primavera	3,2 Bb (0,05)	3,6 Aa (0,05)	3,5 Aa (0,05)	3,3 Ba (0,05)	3,4 ABb (0,05)	3,4 (0,01)
Verão	3,4 Ba (0,05)	3,7 Aa (0,05)	3,6 Aa (0,05)	3,3 Ba (0,05)	3,6 Aa (0,05)	3,5 (0,01)
Outono	3,1 Bb (0,05)	3,5 Ab (0,05)	3,2 ABb (0,05)	3,1 Bb (0,05)	3,4 Ab (0,05)	3,3 (0,01)
Inverno	2,9 Bc (0,05)	3,2 Ac (0,05)	3,1 Ac (0,05)	3,0 Bb (0,05)	2,9 Bc (0,05)	3,0 (0,01)
Média	3,1 (0,03)	3,5 (0,03)	3,4 (0,03)	3,1 (0,03)	3,3 (0,03)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 13 - Índice de área foliar (IAF) em pastos de *Brachiaria* spp. nas quatro estações do ano sob duas alturas de corte

Altura de corte	Estação				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
	----- IAF -----				
15cm	3,6 Aa	3,7 Aa	3,4 ABa	3,2 Ba	3,5
	(0,04)	(0,04)	(0,04)	(0,04)	(0,01)
7,5cm	3,2 Ab	3,3Ab	3,1 Ab	2,8 Bb	3,1
	(0,04)	(0,04)	(0,04)	(0,04)	(0,01)
Média	0,2	1,5	2,6	0,7	
	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte na mesma estação ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

3.3.2 Massa de forragem e composição morfológica do resíduo

Massa de forragem no resíduo

A massa seca de forragem no resíduo sofreu efeito da interação entre altura de corte x genótipo ($P = 0,0181$) e altura de corte x estação do ano ($P = 0,0107$). Independente da altura de corte, os capins Capiporã e Marandu tiveram as maiores massas de forragem residual, chegando a mais de 6000 kg de MS ha⁻¹ quando cortados a 15 cm de altura (Tabela 14). Apesar da altura de corte de 7,5 cm ser exatamente 50% da altura de corte de 15 cm, sua massa residual foi maior,

chegando a acumular o equivalente a 70% da massa do resíduo das subparcelas cortadas a 15 cm sendo, portanto, mais denso (Tabela 15).

Tabela 14 - Massa seca total no resíduo de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Altura de Corte	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- kg MS ha ⁻¹ -----					
15cm	4491 Ca (146,11)	5072 BCa (154,37)	6445 ABa (137,62)	6627 Aa (171,54)	5348 BCa (176,42)	5596 (70,61)
7,5cm	3106 Bb (146,11)	3165 Bb (154,37)	4237 Ab (137,62)	4998 Ab (171,54)	3498 Bb (176,42)	3801 (70,61)
Média	3799 (123,05)	4119 (127,99)	5341 (118,06)	5812 (138,51)	4423 (141,52)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 15 - Massa seca total no resíduo de pastos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos sob duas alturas de corte

Altura de Corte	Estação		Média
	Verão	Inverno	
	--- kg MS ha ⁻¹ ---		
15cm	5270 Ba (90,48)	5925 Aa (90,48)	5596 (70,61)
7,5cm	3687 Bb (90,48)	3915 Ab (90,48)	3801 (70,61)
Média	4478 (70,61)	4920 (70,61)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte para a mesma estação ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Proporção de folhas no resíduo

A porcentagem de folhas no resíduo sofreu efeito da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$) e altura de corte x estação do ano ($P = 0,001$). No inverno agrostológico, a proporção de folhas verdes no resíduo foi maior que a do verão agrostológico em todos os genótipos, com exceção do capim Marandu que teve redução de 12 % do verão para o inverno (Tabela 16). O regime de corte de 7,5 cm teve maior proporção do componente folha no resíduo em ambas as estações (Tabela 17).

Tabela 16 - Porcentagem de folhas no resíduo de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- % -----					
Verão	12,9 Bb (0,76)	14,6 Bb (0,76)	15,4 Bb (0,76)	22,6 Aa (0,76)	12,8 Bb (0,76)	16,7 (0,34)
Inverno	21,5 Aa (0,76)	22,2 Aa (0,76)	19,6 Ab (0,76)	19,8 ABb (0,76)	22,8 Aa (0,76)	20,0 (0,34)
Média	17,2 (0,55)	18,4 (0,55)	17,5 (0,55)	21,2 (0,55)	17,8 (0,55)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 17 - Porcentagem de folhas no resíduo de pastos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Altura de Corte	Estação		Média
	Verão	Inverno	
	--- % ---		
15cm	14,8 Bb (0,47)	18,7 Ab (0,47)	16,7 (0,34)
7,5cm	16,5 Ba (0,47)	23,7 Aa (0,47)	20,0 (0,34)
Média	15,6 (0,34)	21,2 (0,34)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte para a mesma estação ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Proporção de colmos no resíduo

A porcentagem de colmos no resíduo sofreu efeito da altura de corte ($P=0,0312$) e da interação entre genótipo x estação do ano ($P=0,0077$). Nas subparcelas sob regime de corte de 15 cm, a fração colmo correspondeu a 18,7% do resíduo. Nas subparcelas sob regime de corte de 7,5 cm houve maior proporção da fração colmo no resíduo, correspondendo a 20,4%. A maior porcentagem de colmos no resíduo foi encontrada no capim Marandu. Entre o verão e o inverno agrostológico, cada genótipo teve proporções de colmos similares no resíduo, no entanto o genótipo Capiporã teve a fração colmo reduzida do verão para o inverno agrostológico (Tabela 18).

Tabela 18 - Porcentagem de colmos no resíduo de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- % -----					
Verão	18,2 Ba (0,82)	20,0 ABa (0,82)	19,3 Ba (0,89)	24,0 Aa (0,85)	19,3 Ba (0,84)	20,1 (0,38)
Inverno	19,8 ABa (0,82)	20,4 ABa (0,82)	14,6 Cb (0,89)	22,0 Aa (0,85)	17,4 BCa (0,84)	18,8 (0,38)
Média	19,0 (0,66)	20,2 (0,66)	16,9 (0,70)	23,0 (0,68)	18,3 (0,67)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Proporção de material morto no resíduo

A porcentagem de material morto no resíduo sofreu efeito da altura de corte ($P = < 0,0001$) e da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$). Nas subparcelas sob regime de corte de 7,5 cm, a fração material morto correspondeu a 59,8% do resíduo. Nas subparcelas sob regime de corte de 15 cm houve maior proporção da fração material morto no resíduo, correspondendo a 64,2%. A fração material morto do resíduo correspondeu a mais de 60% da massa total do resíduo na maioria dos genótipos estudados, sendo que a maior proporção de folhas no resíduo do capim Marandu no verão agrostológico, contribuiu para o incremento da fração material morto desse capim no inverno agrostológico (Tabela 19).

Tabela 19 - Porcentagem de material morto no resíduo de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológico

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- % -----					
Verão	68,7 Aa (0,97)	65,3 Aa (0,97)	65,3 Aa (0,97)	53,4 Bb (0,97)	67,8 Aa (0,97)	64,2 (0,43)
Inverno	58,6 Bb (0,97)	57,4 Bb (0,97)	65,7 Aa (0,97)	58,1 Ba (0,97)	59,7 Bb (0,97)	59,8 (0,43)
Média	63,7 (0,83)	61,3 (0,83)	65,5 (0,83)	55,7 (0,83)	63,7 (0,83)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Índice de área foliar no resíduo

O índice de área foliar (IAF) sofreu efeito do genótipo ($P<0,0001$; Figura 8) e da interação entre altura de corte x estação do ano ($P=0,0101$). Nas subparcelas cortadas a 7,5 cm o IAF foi menor quando comparado ao IAF das subparcelas sob regime de corte de 15 cm, no entanto, não houve variação no IAF do resíduo entre o verão e o inverno agrostológico quando a forragem foi cortada a 15 cm (Tabela 20).

Figura 8 - IAF no resíduo de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. Letras maiúsculas comparam médias entre genótipos ($P<0,05$). Barras de erro correspondem ao erro padrão da média

Tabela 20 - IAF no resíduo de pastos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológico

Altura de Corte	Estação		Média
	Verão	Inverno	
	- - - IAF - - -		
15cm	2,7 Aa (0,02)	2,7 Aa (0,02)	2,7 (0,01)
7,5cm	2,4 Ab (0,02)	2,3 Bb (0,02)	2,4 (0,01)
Média	2,6 (0,01)	2,5 (0,01)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte para a mesma estação ($P<0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P<0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

3.3.3 Densidade volumétrica e eficiência de colheita

Com os resultados obtidos foi possível calcular a densidade volumétrica de cada genótipo no verão e inverno agrostológico, dividindo a massa de forragem pelo volume que ela ocupou em cada subparcela. A eficiência da colheita da forragem foi calculada por meio da relação entre a fração colhida e massa total de forragem contida nas subparcelas.

A densidade volumétrica de forragem no estrato e no resíduo sofreu efeito da altura de corte ($P < 0,0001$; Tabela 22). As parcelas cortadas a 7,5 cm de altura apresentaram maior densidade volumétrica tanto no resíduo como no estrato, no entanto, quando a densidade volumétrica é calculada em função da massa total de forragem, não houve diferença entre as alturas de corte ($P = 0,1224$). A variação percentual entre as densidades volumétricas das subparcelas cortadas a 7,5 cm de altura em comparação às subparcelas cortadas a 15 cm de altura podem ser vistas na tabela 23.

A eficiência de colheita foi maior nas subparcelas cortadas a 7,5 cm de altura no verão quanto, inverno e na média geral do ano ($P < 0,0001$; Tabela 24). No verão a eficiência de colheita ficou próxima de 37% enquanto no inverno essa proporção subiu para quase 60% (Tabela 25). De forma geral, pastos cortados mais baixos tiveram maior eficiência de colheita, o que possibilitou a melhor utilização da forragem existente nessas condições em até 42% (Tabela 26).

Tabela 21 - Volume do pasto ocupado pela forragem em cinco genótipos de *Brachiaria* spp. cortados a 15 e 7,5 cm de altura, em diferentes estratos do dossel

Estrato	†Período	Genótipo									
		Arapoty		Basilisk		Capiporã		Marandu		Xaraés	
		15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm
----- m ³ ha ⁻¹ -----											
Resíduo	Verão	1500	750	1500	750	1500	750	1500	750	1500	750
	Inverno	1500	750	1500	750	1500	750	1500	750	1500	750
	Ano	1500	750	1500	750	1500	750	1500	750	1500	750
Acumulado	Verão	1755	1816	1555	1685	2353	2136	1263	1352	2063	2024
	Inverno	1047	1222	966	1181	1282	1345	858	1051	1142	1263
	Ano	1483	1588	1329	1491	1941	1832	1107	1236	1709	1732
Massa Total	Verão	3255	2566	3055	2435	3853	2886	2763	2102	3563	2774
	Inverno	2547	1972	2466	1931	2782	2095	2358	1801	2642	2015
	Ano	2983	2338	2829	2241	3441	2582	2607	1986	3209	2482

†Ano = média dos 11 ciclos de rebrotação. Verão = média dos ciclos 1 a 7. Inverno = média dos ciclos 8 a 11. Resíduo (de 0 a 15 ou 7,5cm de altura). Estrato = (de 15 ou 7,5cm de altura até a altura média máxima do dossel). Massa Total = (Resíduo + Estrato).

Tabela 22 - Densidade volumétrica de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. cortados a 15 e 7,5 cm de altura, em diferentes estratos do dossel

Estrato	†Período	Genótipo									
		Arapoty		Basilisk		Capiporã		Marandu		Xaraés	
		15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm
		----- kg MS m ⁻³ -----									
Resíduo	Verão	2,94b	4,03a	3,29b	4,16a	4,23b	5,65a	4,26b	6,57a	3,55b	4,66a
	Inverno	3,08b	4,35a	3,54b	4,33a	4,42b	5,64a	4,70b	6,82a	3,59b	4,67a
	Ano	3,00b	4,15a	3,39b	4,22a	4,30b	5,65a	4,43b	6,67a	3,57b	4,67a
Acumulado	Verão	0,61b	0,75a	0,62b	0,82a	0,66b	0,81a	0,82b	0,97a	0,77b	0,87a
	Inverno	0,27b	0,47a	0,32b	0,50a	0,25b	0,44a	0,30b	0,51a	0,40b	0,47a
	Ano	0,48b	0,64a	0,51b	0,70a	0,50b	0,67a	0,56b	0,79a	0,63b	0,72a
Massa Total ^{ns}	Verão	1,70	1,72	1,95	1,86	2,05	2,07	2,85	2,98	1,94	1,90
	Inverno	1,93	1,95	2,29	2,00	2,52	2,32	3,11	3,15	2,22	2,04
	Ano	1,79	1,81	2,08	1,91	2,23	2,17	2,83	3,04	2,05	1,96

†Ano = média dos 11 ciclos de rebrotação. Verão = média dos ciclos 1 a 7. Inverno = média dos ciclos 8 a 11. Resíduo (de 0 a 15 ou 7,5cm de altura). Estrato = (de 15 ou 7,5cm de altura até a altura média máxima do dossel). Massa Total = (Resíduo + Estrato). Letras minúsculas nas colunas comparam médias entre alturas de corte para cada genótipo em cada período dentro de cada estrato ($P < 0,05$). ns = não significativo.

Tabela 23 - Relação percentual entre a densidade volumétrica de parcelas cortada a 7,5 cm comparadas às parcelas cortadas a 15 cm de altura, para cinco genótipos de *Brachiaria* spp.

Estrato	†Período	Genótipo					
		Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	Média
		----- % -----					
Resíduo	Verão	\$26,9	20,8	25,2	35,2	23,9	26,4
	Inverno	29,1	18,3	21,7	31,2	23,0	25,7
	Ano	27,8	19,8	23,9	33,6	23,5	26,7
Acumulado	Verão	18,9	23,7	18,4	25,8	11,8	19,7
	Inverno	42,9	35,5	42,9	40,0	14,6	35,2
	Ano	25,7	27,0	24,6	29,3	12,5	23,8
Massa Total	Verão	1,2	-4,9	0,9	11,1	-2,3	1,2
	Inverno	1,1	-14,6	-8,2	1,2	-8,7	-5,8
	Ano	1,2	-8,8	-2,9	7,1	-4,8	-1,6

\$Valores positivos indicam maior densidade volumétrica em pastos cortados a 7,5cm em relação aos pastos cortados a 15 cm de altura. †Ano = média dos 11 ciclos de rebrotação. Verão = média dos ciclos 1 a 7. Inverno = média dos ciclos 8 a 11. Massa Total = (Resíduo + Estrato).

Tabela 24 - Porcentagem da massa de forragem colhida em relação à remanescente de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. cortados a 15 e 7,5cm de altura

†Período do ano		Genótipo									
		Arapoty		Basilisk		Capiporã		Marandu		Xaraés	
		15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm	15 cm	7,5cm
		----- % -----									
Estrato colhido	Verão	19,4b	30,7a	16,3b	30,3a	19,7b	28,9a	12,5b	20,8a	22,8b	33,2a
	Inverno	5,8b	15,0a	5,7b	15,3a	4,8b	12,4a	3,6b	9,4a	7,9b	14,6a
	Ano	14,2b	24,6a	12,2b	24,5a	13,9b	22,6a	9,1b	16,4a	17,1b	26,0a

† Ano = média dos 11 ciclos de rebrotação. Verão = média dos ciclos 1 a 7. Inverno = média dos ciclos 8 a 11. Resíduo (de 0 a 15 ou 7,5cm de altura). Estrato = (de 15 ou 7,5cm de altura até a altura média máxima do dossel). Massa Total = (Resíduo + Estrato). Letras minúsculas nas colunas comparam médias entre alturas de corte para cada genótipo em cada período do ano ($P < 0,05$).

Tabela 25 - Relação percentual entre a forragem colhida e a massa de forragem remanescente em pastos de *Brachiaria* spp. cortados a 7,5cm de altura comparados aos mesmos genótipos cortados a 15 cm de altura

†Período do ano		Genótipos					Média
		Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
		----- % -----					
Estrato colhido	Verão	§36,7	46,2	32,0	40,2	31,2	37,3
	Inverno	61,1	63,0	61,4	61,5	45,5	58,5
	Ano	42,4	50,2	38,2	44,9	34,3	42,0

§ Valores positivos indicam maior densidade volumétrica em pastos cortados a 7,5cm que em pastos cortados a 15 cm de altura. † Ano = média dos 11 ciclos de rebrotação. Verão = média dos ciclos 1 a 7. Inverno = média dos ciclos 8 a 11.

3.3.4 Porcentagem de massa seca e estacionalidade de produção de forragem

A porcentagem de massa seca (MS) média da forragem acumulada durante o ano sofreu efeito apenas da interação genótipo x altura de corte ($P = 0,0429$). A porcentagem de MS foi maior na forragem acumulada quando cortada a 15 cm de altura (Tabela 26), apenas o genótipo Basilisk apresentou a mesma porcentagem de MS entre as alturas de corte. Genótipos como Capiporã e Marandu tiveram os maiores teores de MS na forragem acumulada chegando a 23%. Apesar da altura de corte de 7,5 cm favorecer a presença da fração colmo no material colhido, o teor de MS na forragem colhida sob essa condição de manejo foi menor, o que caracteriza um dossel jovem e de alta produção de massa verde.

Tabela 26 - Porcentagem de massa seca (MS) média na forragem acumulada de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. ao longo do período experimental

Altura de corte	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- % de MS -----					
15 cm	22,1 Ca (0,44)	22,1 Ca (0,44)	24,7 Aa (0,44)	24,1 Aa (0,44)	23,0 Ba (0,44)	23,2 (0,16)
7,5 cm	21,4 Bb (0,44)	21,7 B a (0,44)	22,9 Ab (0,44)	23,1 Ab (0,44)	22,0 Bb (0,44)	22,2 (0,16)
Média	21,8 (0,34)	21,9 (0,34)	23,8 (0,34)	23,6 (0,34)	22,5 (0,34)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Figura 9 - Distribuição estacional da produção anual de forragem de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. e das alturas de corte

3.4 Discussão

Os capins Capiporã e Xaraés apresentaram os maiores acúmulos de forragem durante a primavera e o verão (Tabela 2). No outono e inverno, mesmo com a adubação e irrigação não foi possível manter as altas produtividades alcançadas no verão, as condições climáticas (luz e temperatura) afetaram substancialmente a produção de forragem. Durante o outono e o inverno as variações entre os genótipos foram minimizadas de forma que todos apresentaram produções semelhantes e estáveis. Entre as alturas de corte houve grandes diferenças de acúmulo nas

estações, sendo a altura de 7,5 cm responsável pela produção de aproximadamente 3 Mg MS ha⁻¹ anuais a mais comparadas aos 15 cm (Tabela 3). Apenas na primavera a produção de forragem foi 40 % dessa diferença de 3 Mg MS ha⁻¹, sendo os outros 60 % distribuídos uniformemente entre as demais estações.

Essa resposta sugere a necessidade da adoção de estratégias de manejo variáveis ao longo do ano, para otimizar o aproveitamento da forragem produzida. Santos (2009), trabalhando com *B. decumbens* cv. Basilisk constatou que o manejo do pastejo concebido de forma sazonal, por meio do rebaixamento do pasto no início do inverno de 25 cm para 15 cm e seu posterior aumento para os mesmos 25 cm no início da primavera é vantajoso, quando comparado a manutenção desses pastos com o resíduo fixo em 25 cm ao longo de todo o ano. Como resultado, o acúmulo de forragem no manejo alternado foi cerca de 14% maior quando comparado ao resíduo estável.

Provavelmente, a remoção de maior quantidade de massa do resíduo no inverno promove, no início da primavera, melhores condições de circulação de ar e iluminação da base do dossel, estimulando o perfilhamento e a rápida recuperação da estrutura do dossel. Lara (2007) encontrou ganhos elevados na produção de forragem do início da primavera para cinco genótipos de *Brachiaria* apenas com o atraso de duas semanas na colheita da forragem. Esses resultados mostram que flutuações na estrutura da forragem conseguidas por meio de mudanças na intensidade de desfolhação entre as estações, podem ser usadas como estratégias para melhorar a eficiência de colheita da forragem produzida. Bircham e Hodgson (1983) afirmaram que mudanças nas alturas das pastagens podem ser vantajosas por explorar o potencial de crescimento dos perfilhos individuais, por meio dos mecanismos de compensação tamanho/densidade populacional. No entanto, mais estudos são necessários nessa linha para averiguar suas vantagens econômicas e os limites de uso dessa técnica para não comprometer a sustentabilidade do sistema.

Os capins Xaraés e Capiorã foram mais estacionais que os demais capins (Figura 9 e Tabela 2). Os genótipos tiveram suas produções concentradas principalmente na primavera e verão na ordem de 73% do total produzido no ano. Trabalhando com capins do gênero *Panicum* Moreno (2004) e Uebele (2002) observaram sob diferentes condições de produção e disponibilidade de água, valores de até 70 % de acúmulo de forragem no verão e 30 % no inverno. 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, obtendo valores que variaram de 8,5 a 42,5% da produção anual de forragem.

A estacionalidade do crescimento das plantas está relacionada à variação na temperatura. 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 frequente 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.

Variações na produção também se dão por mudanças na incidência luminosa, podendo ser causadas por fatores qualitativos como o comprimento de onda e quantitativos como a duração da radiação (fotoperíodo). Em pastagens localizadas em baixas latitudes, a quantidade de energia proveniente do sol, aliado a altas temperaturas uniformes ao longo de todo ano promovem reduções na estacionalidade de produção forrageira, que podem chegar a uma distribuição anual de 53% no verão e 47% no inverno (OLIVEIRA FILHO, 2007), lembrando que o suprimento de água se torna imprescindível para a obtenção de altas produções nessas situações. Para regiões próximas dos trópicos, embora as vantagens da utilização da irrigação sejam poucas no que diz respeito à estacionalidade de produção, o incremento na produção de forragem no inverno, aliado a melhor eficiência das plantas na utilização dos fertilizantes, pode compensar o uso, dependendo da viabilidade econômica do projeto.

No presente estudo, 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 genótipos 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 genótipos 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 fora todos altamente correlacionadas com a redução na produção de forragem.

Na região de Piracicaba - SP, tanto a intensidade luminosa como o fotoperíodo diminuem a partir 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).

Segundo Ghisi & Pedreira (1986), a *B. brizantha* pode alcançar produções superiores a 30 Mg MS ha⁻¹ ano⁻¹, dependendo das condições climáticas e de manejo adotado. No presente experimento, mesmo com as adubações nitrogenadas, os acúmulos totais medidos foram inferiores àqueles relatados na literatura para a espécie, provavelmente devido à estacionalidade de produção e a forma de colheita da forragem que proporcionou grandes quantidades de massa no resíduo de ambos os manejos (Tabela 14). Para o capim 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 MS 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 possui papel fundamental na utilização da forragem e que, principalmente para a condição de corte, pode ser responsáveis por grandes perdas de forragem por senescência.

As produções medidas neste estudo são coerentes com os resultados encontrados por Rodrigues (2004) que trabalhou com os mesmos cinco genótipos em Brasília, DF. Porém, considerando as diferenças, nos períodos de avaliação e na altura de corte utilizada naquele trabalho (20 cm), algumas respostas foram similares em ambos os trabalhos, Como exemplo a menor estacionalidade dos capins Basilisk e Arapoty. No entanto, o capim Arapoty foi o mais produtivo, provavelmente pelo maior acúmulo de colmos no estrato colhido enquanto o Capiporã foi o menos produtivo, o que não ocorreu no presente trabalho.

A composição da massa de forragem colhida de cada genótipo (folhas, colmos e material morto) variou principalmente entre estações e alturas de corte. O estrato colhido em todos os

genótipos era composto principalmente por folhas, independente da estação, representando cerca de 90 % da forragem colhida (Tabela 4). No entanto, a porcentagem de folhas no verão foi menor (Tabela 5) em função do maior acúmulo de colmos acima das alturas de corte nesse período (Tabelas 6 e 7). No inverno, as proporções de folhas e material morto foram superiores às do verão, pois mesmo com um intervalo de rebrotação maior, o acúmulo de forragem acima da altura de corte foi baixo e composto basicamente por folhas (Tabela 8).

Como o intervalo entre cortes foi fixo, foi possível traçar o perfil de acúmulo de forragem em função das variáveis climáticas. No verão, a temperatura e o fotoperíodo favoráveis ao crescimento vegetativo além do aporte de água e nutrientes, tornaram o período de descanso de 28 dias extenso. O crescimento acelerado e o possível aumento da competição por luz proporcionaram maior acúmulo da fração colmo no estrato colhível. No inverno, apesar do período de rebrotação ser maior (42 dias), os ajustes fisiológicos em situações de baixa temperatura modifica o crescimento das plantas diminuindo a velocidade de rebrotação. Além disso, 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 partição de assimilados entre a raiz e parte aérea. Porém, no período de transição entre inverno e primavera, a retomada das altas temperaturas e do maior comprimento dos dias, aliado ao período de rebrotação de 42 dias, levaram todos os genótipos a acumularem uma grande quantidade de forragem, chegando próximo aos níveis alcançados no verão.

A participação de perfilhos reprodutivos na massa total de forragem foi menor que 4% para a maioria dos genótipos (Tabela 10). No entanto, a redução da altura de corte foi vantajosa no que diz respeito ao controle dos perfilhos reprodutivos, principalmente durante o outono e o inverno, sendo a presença dos perfilhos florescidos reduzida em cerca de 40 % nessas estações (Tabela 11).

O IAF não destrutivo seguiu o mesmo padrão estacional da proporção de folhas, sendo que os capins Basilisk, Capiporã e Xaraés apresentaram os maiores IAFs durante o verão agrostológico (Tabela 12). Entre as alturas o IAF das subparcelas cortadas a 7,5 cm foram menores em todas as estações (Tabela 13). Essa variação, parece beneficiar pastos mantidos mais altos, embora a eficiência de colheita das folhas produzidas seja maior em pastos mantidos mais baixos, reduzindo as perdas dessas folhas por senescência.

Dessa forma, as diferenças no desempenho dos genótipos podem estar associadas ao manejo utilizado. A massa de forragem residual aumentou do verão para o inverno para todos os genótipos independente da altura de corte (Tabela 15), sendo que a massa de forragem no resíduo dos capins Basilisk e Arapoty foram menores enquanto a massa do resíduo do capim Marandu sempre foi maior. Carnevalli (2003) reportou pequena variação anual na massa do resíduo do capim Mombaça (em média 3500 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 desfolhação 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 Mg MS ha⁻¹ sob pastejo. Trindade (2007) trabalhando com capim Marandu, encontrou massa pós pastejo, que passou de 5,3 Mg MS ha⁻¹ na primavera para 6,2 Mg MS ha⁻¹ no verão. O aumento da massa residual ao longo dos anos 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.

Essas respostas comprovam que o material remanescente nos pastos após os eventos de desfolhação é muito dinâmico, e que o efeito do pastejo ou do corte, geram oscilações estacionais na composição e morfológica do resíduo, acarretando numa série de eventos que afetam as relações luminosas, taxas fotossintéticas no perfilhamento entre outros, refletindo em mudanças nos mecanismos de crescimento e estruturação dos dosséis.

As proporções dos componentes morfológicos, principalmente as folhas do resíduo nos ciclos detalhados, foram diferentes entre os genótipos no verão, mas semelhantes no inverno (Tabela 16). Para todos os genótipos a proporção de folhas no resíduo aumentou substancialmente do verão para o inverno. Conforme mencionado anteriormente, no verão a taxa de crescimento é maior e por isso a proporção de colmos aumenta e aparece em estratos mais altos no dossel. Dessa forma, a proporção de folhas remanescentes no resíduo é menor no verão em ambas as alturas de corte.

A diferença entre a proporção de folhas existentes nos resíduos cortados a 7,5 cm comparados aos resíduos de 15 cm no inverno foi cerca de 20% maior. Isso mostra que apesar de estar sendo colhida de forma mais eficiente, as plantas das subparcelas cortadas a 7,5 cm de

altura se ajustaram ao manejo, mantendo grandes proporções de folhas no resíduo mesmo sendo colhidos de forma mais intensa. (Figura 10). Apesar da proporção de colmos no resíduo de pastos cortados mais baixos serem cerca de 8% maior, esses colmos são pequenos e possuem grande quantidade de água por serem regularmente renovados após os cortes. Na forragem acumulada, a proporção de MS das parcelas cortadas a 7,5 cm, foi sempre menor, mostrando que apesar da maior proporção de colmos colhidos no nesse estrato, a forragem eram constituídos por materiais jovens e menos fibrosos (Tabela 26).

Figura 10 - Área foliar remanescente ao corte da forragem em uma parcela de *B. decumbens* cv. Basilisk colhida a 15 e 7,5cm do nível do solo (A e B respectivamente)

Aproveitando melhor a forragem produzida, reduz-se também a fração morta do resíduo, a variação entre as alturas de corte chegou a 7% na fração morta. A maior proporção de material morto no resíduo mais alto se deu principalmente pela presença de perfilhos velhos e muitas vezes mortos e que influenciaram fortemente a fração morta. Essa “palhada”, composta por colmos mortos, 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. Como no inverno o ritmo de crescimento é reduzido e as condições ambientais não são favoráveis a degradação desse material, a retomada do crescimento da forragem no início da primavera poderia ser comprometida, mais uma vez apoiando as vantagens da variação no manejo ao longo das estações.

Embora o resíduo de 7,5 cm seja exatamente 50 % do resíduo de 15 cm, a massa de forragem nos resíduos mais baixos correspondeu a aproximadamente 68 % da massa dos pastos mais altos sendo, portanto, mais densos. O IAF residual apresentou a mesma tendência, sendo que parcelas cortadas a 7,5 cm tinham em média, IAF correspondente a mais de 80 % do IAF do resíduo de 15 cm (Tabela 20). Apesar de ter menos massa de forragem, o resíduo mais baixo apresentou melhor distribuição dos componentes morfológicos, tendo maior proporção de folhas, conferindo a esse manejo, melhores condições de crescimento, desde que seja suprido com água e nutrientes.

Com base nesses resultados, pode-se afirmar que as alturas de corte proporcionaram variações na estrutura do dossel sendo expressas por mudanças na morfologia da forragem em cada manejo. Calculando a densidade volumétrica da forragem nas subparcelas foi possível verificar que massas semelhantes ocupam volumes diferentes do dossel, podendo modificar as relações luminosas e consequentemente as respostas dessas plantas nos mecanismos de rebrotação e composição morfológica (Tabelas 21 e 22).

A disposição da massa de forragem acumulada no resíduo e no estrato colhível são maiores para os pastos cortados a 7,5 cm (Tabela 21 e 22). No entanto, quando se combina o resíduo e o estrato colhível, a densidade volumétrica se torna muito parecida em ambos os manejos (Tabela 23), de forma que a densidade volumétrica total dos pastos variou apenas 1,6 % para todos os genótipos. Em resumo, pastos cortados a 15 ou 7,5 cm de altura possuem a mesma densidade volumétrica, o que muda é a distribuição da massa nos estratos do dossel e a eficiência de colheita. A colheita das parcelas a 7,5 cm remove do dossel 37 % mais forragem que pastos colhidos a 15 cm no verão, 58 % no inverno e em média 42 % no ano todo (Tabela 25).

Com relação a eficiência de colheita, pode-se dizer que as reduções nas alturas de corte promoveram mudanças estruturais e arquitetônicas no dossel de forma que mesmo sob alto nível de desfolhação, a comunidade de plantas pôde se adaptar ao ponto de manter a sua produtividade ao longo das estações do ano (Tabela 5). Essa plasticidade coloca as duas alturas de resíduo dentro de uma faixa de manejo no qual todos os genótipos podem ser trabalhados, desde que sejam respeitados os limites ecofisiológicos das plantas. Dessa forma, os pecuaristas possuem em mãos, alternativas de uso das forrageiras onde variando apenas a eficiência de colheita ele pode manter a sustentabilidade do sistema, ou mesmo tirar melhor proveito dos mecanismos de

regulação e compensação da forragem nas pastagens, gerenciando melhor as ineficiências dos processos de crescimento da forragem.

3.5 Conclusões

Os capins Xaraés e Capiporã são mais produtivos e estacionais, sendo recomendados para uso intensivo no verão agrostológico.

Para a otimização do uso dos cinco genótipos desse estudo, é recomendada a altura de corte de 7,5 cm. No entanto, esses pastos estão mais próximos dos limites ecofisiológicos de exploração, ou seja, manejar pastos nessa condição é trabalhar próximo do limiar de degradação, portanto se fazem necessários o planejamento técnico adequado e o suporte nutricional e hídrico para que estes pastos mantenham suas condições produtivas. Qualquer erro que desrespeite o tempo de reestruturação desses dosséis pode gerar efeitos irreversíveis na sustentabilidade do pasto.

Apesar dos acúmulos de forragem ter sido diferentes entre os manejos de altura, a densidade volumétrica do dossel foi semelhante entre eles no final de cada ciclo de rebrotação, de forma que a adoção da estratégia de desfolhação dependerá dos níveis de utilização que o sistema suporta.

As mudanças na composição da forragem no resíduo precisam receber maior atenção, pois variações estacionais no clima e na altura dos pastos promovem mudanças na estrutura da forragem e consequentemente na produtividade. Como as características morfológicas do resíduo mudam ao longo das estações e com os manejos de altura, para que o manejo da desfolhação seja feito de com base nos processos fisiológicos das plantas, variar a altura do resíduo entre as estações pode ser uma alternativa viável, explorando melhor os mecanismos de compensação existentes nas pastagens.

Referências

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.

BIRCHAM, J.S.; HODGSON, J. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed sward under continuous stocking management. **Grass and Forage Science**, v.38, n.4, p.323-331, 1983.

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.

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.

CHAPMAN, D.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings...** Palmerston. 1993. p. 95-104.

COOPER, J.P.; TAINTON, N.M. Light and temperature requirements for growth of tropical and temperate grasses. review article. **Herbage Abstracts**, Surfers Paradise, v.38, p.167-176, 1968.

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

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.

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.

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

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

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

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.

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.

NABINGER, C.; PONTES, L.S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38. 2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ:, 2001. p. 755-771.

OLIVEIRA FILHO, J.C. **Produção de duas gramíneas tropicais submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio e potássio no estado do Tocantins** 2007. 120p. Tese (Doutorado na área de Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007.

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 em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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

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.

SANTOS, M.E.R. **Variabilidade especial e dinâmica do acúmulo de forragem em pastos de capim-braquiária sob lotação contínua.** 2009. 144p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

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

TONATO, F. **Desenvolvimento e avaliação de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais para apoio à tomada de decisão.** 2009. 110p. Tese (Doutorado em Ciência animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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.; 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. 1CD ROM.

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

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

4 RESPOSTAS MORFOGÊNICAS E ESTRUTURAIS DE CINCO GENÓTIPOS DE *Brachiaria* spp., COLHIDOS MECANICAMENTE A 15 E 7,5 CM NO VERÃO E INVERNO AGROSTOLÓGICOS

Resumo

Para melhorar a eficiência do manejo da produção de forragem é necessário conhecer as inter-relações estruturais e morfogênicas da população de perfilhos na pastagem. Variações na estrutura do dossel causadas por diferentes intensidades de desfolhação e épocas do ano promovem mudanças no ritmo morfogênico, refletindo em mudanças nas respostas das plantas quanto à dinâmica de crescimento e senescência. Para caracterizar esses processos um experimento foi conduzido no Departamento de Zootecnia da USP-ESALQ em Piracicaba-SP. O objetivo do trabalho foi comparar as respostas morfogênicas e estruturais de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. (Arapoty, Basilisk, Capiporã, Marandu e Xaraés) cortados mecanicamente a 15 e 7,5 cm de altura no verão e inverno agrostológicos. As unidades experimentais (parcelas de 9 x 4 m) foram irrigadas e adubadas com o equivalente a 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O. O delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições num esquema de parcelas subdivididas. As principais características morfogênicas avaliadas foram: taxa de aparecimento de folhas (TAPF), filocrono (FILO), duração de vida das folhas (DVF), taxa de alongamento de folhas (TALF) e colmos (TALC), senescência (SEN). As características estruturais avaliadas foram: número de folhas vivas por perfilho (NFviv) e sua categorização em expansão, senescentes e maduras, o comprimento final das folhas expandidas (CFF) e colmos (CC), a relação senescência/crescimento (S/C), o peso e a densidade populacional de perfilhos. As variações nas condições climáticas entre as estações promoveram aumentos nas taxas de aparecimento e alongamento de folhas, com diminuição do intervalo de aparecimento de folhas sucessivas, no filocrono, e duração de vida das folhas. As características estruturais mais responsivas aos contrastes gerados pelas alturas de corte foram o comprimento final de folhas expandidas e a densidade populacional de perfilhos. A altura de corte não afetou o número de folhas vivas e em expansão, mas afetou o número de folhas senescentes e maduras por perfilho, estando suas variações também ligadas a flutuações estacionais na disponibilidade de outros fatores de crescimento. A altura de corte mais baixa exerceu influência positiva no crescimento em relação à senescência em perfilhos individuais.

Palavras-chave: Manejo da desfolhação; Senescência; Crescimento; Fluxo de tecidos; Morfogênese

Abstract

To improve the efficiency of forage production it is necessary understand the structural and morphogenetic interrelationships among grass tillers in the sward. Variations in canopy structure caused by different grazing intensities and seasons promote changes on morphogenetic rhythms, reflecting in changes on dynamics of growth and senescence. An experiment was conducted in the Departamento de Zootecnia at USP-ESALQ in Piracicaba, São Paulo, Brazil. The objective was to compare the structural and morphogenetic responses of five genotypes of *Brachiaria* spp. (Arapoty, Basilisk, Capiporã, Marandu e Xaraés) mechanically harvested to 15 and 7.5 cm during the peak of summer and winter. The experimental units (9 x 4 m plots) were irrigated and fertilized with the equivalent of 220 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of N and K₂O, and arranged in a randomized complete block design with four replications in a split-plot layout. The main morphogenetic responses studied were leaf appearance rate (LAR), phyllochron, leaf life span (LLS), leaf and stem elongation rate (LER and SER), and senescence (SEN). The structural characteristics evaluated were the number of leaves per tiller (NLT) and their categorization as expanding, mature or senescent; the final leaf length of fully expanded leaves (FLL), stem length (CC), the relationship between senescence/growth (S/G), and tiller weight and density. Variations in climatic conditions of each season promoted increases in rates leaf appearance and elongation, and decreased the interval appearance of successive leaves, the phyllochron, and leaf life span. The structural features most responsive to the contrasts generated by clipping heights were the final leaf length of expanded leaves and tiller density. Clipping height did not affect the number of growing and green leaves, but affected the number of mature and senescent leaves per tiller. These variations were also associated with to seasonal fluctuations in the availability of other growth factors. The lower clipping height had positive influence on growth dynamics in relation to senescence in individual tillers.

Keywords: Management defoliation; Senescence; Growing, Tissue flows; Morphogenesis;

4.1 Introdução

À medida que as plantas crescem, os processos ligados ao seu desenvolvimento vegetativo ganham ou perdem velocidade. Em gramíneas, conforme o desenvolvimento avança, a taxa de aparecimento de folhas (TAPF) diminui, ao passo que o tempo de alongamento foliar e o comprimento da lâmina foliar aumentam, sendo essas mudanças concomitantes com o alongamento da bainha foliar. Essas modificações na morfologia do perfilho também ocorrem em taxas variáveis de acordo com a época do ano, com a disponibilidade de fatores de crescimento, principalmente temperatura e nitrogênio, além das próprias características de desenvolvimento da espécie forrageira considerada (DURU; DUCROCQ, 2000). Mudanças no manejo das plantas influenciam o número de células em divisão (zona de divisão celular) e a velocidade do alongamento celular (zona de alongamento), o que acelera ou retarda a taxa de alongamento foliar (TALF) e aumenta ou diminui o comprimento final das folhas (CFF), alterando o ritmo morfogênico das plantas.

Duru e Ducrocq (2000) escreveram que variações na TAPF estão relacionadas com o comprimento do pseudocolmo, ou seja, a plasticidade da planta em promover variações no alongamento das bainhas foliares. Essa relação pode ser o fator-chave nas respostas em TAPF ao suprimento de N por exemplo, ou ainda, atuar da mesma forma quando são impostas às pastagens, intensidades contrastantes de desfolhação. As respostas desencadeadas pelas plantas pastejadas variam em função do regime de desfolhação (intensidade e frequência), época do ano e estágio fenológico da planta no momento da desfolhação. A compreensão dos efeitos do pastejo sobre as plantas forrageiras requer o conhecimento e análise das alterações morfológicas e fisiológicas, condição em que a morfogênese assume papel importante como forma de elucidar os mecanismos adaptativos desenvolvidos em resposta à desfolhação e suas consequências sobre a morfologia e estrutura de perfilhos (DA SILVA; NASCIMENTO JÚNIOR, 2007).

Assim, a utilização de intensidades maiores de desfolhação como estratégia para aumentar a utilização das pastagens deve ser cautelosa. Diversos autores alertam para a necessidade fundamental do conhecimento das respostas morfofisiológicas da espécie forrageira à aceleração no ritmo morfogênico para que os ganhos em produtividade sejam duradouros e efetivos (SUPLICK et al., 2002; SCHNYDER et al., 2000; LEMAIRE; AGNUSDEI, 2000). A utilização dessa estratégia de forma equivocada pode causar prejuízos à estrutura do dossel, elevadas perdas

por senescência, e efeitos negativos sobre o desempenho animal e a perenidade das pastagens. O objetivo deste trabalho foi descrever as respostas morfogênicas e estruturais de cinco genótipos de *Brachiaria* spp., colhidos intermitentemente a 15 e 7,5cm de altura.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Local do experimento

O estudo foi conduzido 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, 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 de coleta de dados foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ, distante cerca de 1 km da área experimental.

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. O manejo da irrigação foi baseado no monitoramento das condições hídricas do solo por meio de quatro tensiômetros instalados na área experimental a 30 cm de profundidade. Sempre que os tensiômetros registravam valores médios de potencial hídrico no solo entre -0,30 e -0,40 kPa procedia-se a irrigação. O tempo de irrigação foi controlado com a finalidade de que lâmina de água aplicada não ultrapassasse a velocidade de infiltração básica do solo, evitando escoamento superficial. A irrigação também foi realizada após cada adubação (6 mm de lâmina de água, sempre após os cortes), com o intuito de maximizar a eficiência do adubo aplicado.

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). As adubações foram realizadas manualmente logo após os cortes, aplicando no ano um total de 20 kg ha⁻¹ de N e K₂O, utilizando como adubo, sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄ (22 % de N e 18 % de S) e cloreto de potássio, KCl (65 % K₂O). Foram realizados 11 ciclos de rebrotação totalizando a aplicação de 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O.

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/dm ³						
5,9	42	20	4,0	54	16	28	74	102	73

*P Resina. SB=soma de bases. T=CTC total. V%=saturação por bases.

Os dados climatológicos foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ (Figura 1). O Balanço hídrico foi calculado com base nos dados coletados na estação experimental e dados da lâmina de água aplicada no campo (Figura 2).

Figura 1 - Médias mensais de temperaturas máximas, médias e mínimas durante o período experimental comparados com dados médios coletados na estação meteorológica da USP-ESALQ de 1917

Figura 2 - Balanço hídrico (outubro de 2007 a outubro de 2008), sem irrigação e com irrigação

4.2.2 Delineamento experimental e manejo da colheita

Foram estudados cinco genótipos de *Brachiaria* spp., sendo quatro de *B. brizantha* (Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã) e um de *B. decumbens* (Basilisk), estabelecidas no verão de 2004-2005. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os cinco genótipos foram alocados à área, totalizando 20 parcelas, cada uma medindo 36m² (4m x 9m). Estas foram subdivididas longitudinalmente e por sorteio e cada metade foi submetida a uma altura de corte, 15 ou 7,5 cm (Figuras 3 A e B).

Figura 3 - Aspecto da área experimental no momento do estabelecimento das alturas de corte em maio de 2007 (A). Parcelas prontas para coleta de dados em outubro de 2007 (B)

Figura 4 - Vista da área experimental

Durante o período experimental, a forragem das parcelas foi cortada de acordo com o cronograma de colheita e a altura de cada subparcela. As avaliações de morfogênese foram realizadas em dois ciclos representativos do verão e do inverno agrostológico, sendo esses ciclos intitulados detalhamento de verão e inverno (Figura 5).

Figura 5 - Cronograma de colheita de forragem e seleção dos ciclos detalhados do experimento

4.2.3 Seleção dos perfilhos e avaliação da morfogênese

Para avaliação das características morfológicas e estruturais dos dosséis, foi escolhida uma porção da subparcela onde a condição de vegetação era representativa da média. Nesses locais, com o auxílio de uma régua graduada foram marcados em uma linha, cinco perfilhos aleatórios distanciados 20 cm cada. Os perfilhos foram identificados com abraçadeiras de plástico e numerados. (Figura 6).

Em função da acelerada renovação de tecidos na época de maior crescimento da forragem (verão), os perfilhos foram monitorados duas vezes por semana durante o período de rebrotação. No inverno os perfilhos foram monitorados semanalmente. No procedimento de avaliação as folhas foram numeradas e classificadas como: folhas expandidas (apresentavam lígula visível) sendo estas classificadas como intactas ou desfolhadas; folhas em expansão (sem lígula visível), também classificadas como intactas ou desfolhadas; folhas senescentes (quando a extremidade da lâmina foliar apresentava algum indício de senescência). Folhas em que mais de 50 % do comprimento da lâmina foliar estivesse comprometido pela senescência foram consideradas mortas.

Figura 6 - Seleção dos perfilhos no campo (A). Perfilho vegetativo (B). Detalhe de uma folha madura desfolhada (C) e detalhe de uma folha senescente (D)

O comprimento da lâmina foliar foi medido de acordo com o estágio de desenvolvimento das folhas. Para folhas expandidas foi considerado o comprimento da ponta da folha até a lígula. Para folhas em expansão, o procedimento foi semelhante, apenas o referencial de medida passou a ser a lígula da folha mais jovem completamente expandida (DURU; DUCROCQ, 2000). Para folhas que estavam sob processo de senescência foi considerado o comprimento da lâmina foliar verde a partir da lígula até o ponto onde o tecido senescente havia avançado. O comprimento do colmo (colmo + bainhas) foi medido como sendo a distância entre o nível do solo (perfilhos basais) ou de inserção do perfilho (perfilhos aéreos) até a lígula da folha mais jovem completamente expandida.

A densidade populacional de perfilhos (DPP) foi medida em três momentos dentro de cada período de rebrotação (início, meio e final), contando-se o número total de perfilhos contidos no interior de dois retângulos de 0,20 x 0,5 m por unidade experimental. Os perfilhos foram classificados em basais ou aéreos, e contabilizou-se separadamente os perfilhos reprodutivos (que apresentavam a inflorescência visível). O peso médio do perfilho por perfilho foi obtido a partir com a amostragem de 50 perfilhos colhidos aleatoriamente no final dos ciclos detalhados de verão e inverno em cada unidade experimental. Após colheita, os perfilhos foram secos em estufa a 60°C por 48 horas para a obtenção do peso seco médio dos perfilhos.

A partir dessas informações foram calculadas as seguintes variáveis morfogênicas e estruturais:

- **taxa de aparecimento de folhas** – TAPF (folhas perfilho⁻¹ dia⁻¹): divisão do número médio de folhas surgidas por perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliação;
- **filocrono** – Filo (dias folha⁻¹ perfilho⁻¹): inverso da taxa de aparecimento de folhas;
- **taxa de alongamento de folhas** – TALF (cm perfilho⁻¹ dia⁻¹): divisão da variação média do comprimento das lâminas foliares em expansão por perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliação;
- **comprimento final das folhas expandidas** – CFF (cm): comprimento final das lâminas foliares, sendo consideradas apenas aquelas não desfolhadas;
- **taxa de alongamento de colmos** – TALC (cm perfilho⁻¹ dia⁻¹): divisão da variação média em comprimento de colmo por perfilho pelo número de dias do período de avaliação;
- **comprimento médio de colmo (colmo + pseudocolmo)** (cm) – CC: distância entre a lígula da última folha expandida em relação ao solo ou à inserção no perfilho de origem, no caso de perfilhos basais ou aéreos, respectivamente;
- **duração de vida das folhas** – DVF (dias): intervalo, em dias, do aparecimento da folha até sua total senescência, estimada pela equação proposta por Lemaire e Chapman (1996), em que $DVF = NFV \times Filo$.
- **taxa de senescência de folhas** – TSF (cm perfilho⁻¹ dia⁻¹): divisão da variação média em comprimento da porção senescente da lâmina foliar por perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliações;
- **número de folhas vivas por perfilho** – NFV: obtido a partir do número médio de folhas em expansão, expandidas e em senescência por perfilho. Foram excluídas as folhas que apresentassem mais de 50% do limbo foliar em processo de senescência;
- **Densidade populacional de perfilhos** – DPP (perfilhos m²): número de perfilhos por unidade de área.

4.2.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados utilizando o método de modelos mistos por meio do procedimento MIXED do software SAS (LITTELL et al., 2006). Na escolha da matriz de covariância utilizou-se o critério de informação de Akaike (WOLFINGER; OCONNELL, 1993).

Os efeitos de genótipo, altura de corte, época do ano e suas interações foram considerados como efeitos fixos (LITTELL et al., 2006). As médias dos tratamentos foram estimadas através do “LSMEANS” e a comparação entre elas foi realizada por meio da probabilidade da diferença (“PDIFF”) ajustada para o teste de “Tukey” e um nível de 5% probabilidade.

O seguinte modelo foi utilizado para análise dos dados:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + G_j + \gamma_{ij} + A_k + (GA)_{jk} + \delta_{ijk} + E_l + (GE)_{jl} + (AE)_{kl} + (GAE)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

Y_{ijkl} = valor observado no i -ésimo bloco do j -ésimo genótipo da k -ésima altura de corte do l -ésima estação do ano;

μ = média geral;

B_i = efeito aleatório associado ao i -ésimo bloco, $i = 1, \dots, 4$;

G_j = efeito fixo associado ao j -ésimo genótipo, $j = 1, \dots, 5$;

γ_{ij} = efeito aleatório associado ao i -ésimo bloco do j -ésimo genótipo, assumindo $\gamma_{ij} \sim N(0, I\sigma_\gamma^2)$, sendo que $I\sigma_\gamma^2$ é a matriz identidade de variância e covariância, pois se assume independência dos resíduos;

A_k = efeito fixo associado a k -ésima altura de corte, $k = 1, 2$;

$(GA)_{jk}$ = efeito da interação do j -ésimo genótipo com a k -ésima altura de corte;

δ_{ijk} = efeito aleatório associado ao i -ésimo bloco do j -ésimo genótipo na k -ésima altura de corte, assumindo $\gamma_{ij} \sim N(0, I\sigma_\gamma^2)$, sendo que $I\sigma_\gamma^2$ é a matriz identidade de variância e covariância, pois se assume independência dos resíduos;

E_l = efeito fixo associado a l -ésima estação do ano, $l = 1, 2$;

$(GE)_{jl}$ = efeito da interação do j -ésimo genótipo com a l -ésima estação do ano;

$(AE)_{kl}$ = efeito da interação da k -ésima altura de corte com a l -ésima estação do ano;

$(GAE)_{jkl}$ = efeito da interação do j -ésimo genótipo com a k -ésima altura de corte na l -ésima estação do ano;

ε_{ijkl} = erro aleatório associado ao i -ésimo bloco no j -ésimo genótipo na k -ésima altura de corte na l -ésima estação do ano, assumindo que $\varepsilon_{ijkl} \sim N(0, I\sigma_\varepsilon^2)$, sendo que $I\sigma_\varepsilon^2$ é a matriz de variância e covariância, pois se assume dependência dos erros.

4.5 Resultados

4.5.1 Características morfogênicas

Taxa de aparecimento de folhas (TAPF)

A taxa de aparecimento de folhas sofreu efeito apenas da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$). A TAPF foi maior no verão agrostológico para todos os genótipos estudados, sendo a TAPF do inverno 50% da encontrada TAPF do verão (Tabela 2). Os capins Arapoty, Basilisk e Capiporã tiveram as maiores TAPF no verão agrostológico. No inverno as variações na TAPF foram menores entre os genótipos.

Tabela 2 - Taxa de aparecimento de folhas de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- folhas perfilho ⁻¹ dia ⁻¹ -----					
Verão	0,108 Aa (0,0029)	0,103 ABa (0,0018)	0,091 ABa (0,0059)	0,086 BCa (0,0052)	0,066 Ca (0,0034)	0,091 (0,0018)
Inverno	0,058 Ab (0,0029)	0,041 Bb (0,0018)	0,050 ABb (0,0059)	0,042 ABb (0,0052)	0,038 Bb (0,0034)	0,046 (0,0018)
Média	0,083 (0,0021)	0,072 (0,0013)	0,070 (0,0042)	0,064 (0,0037)	0,052 (0,0024)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Filocrono (Filo)

O filocrono sofreu efeito da altura de corte ($P = 0,0093$) e da interação entre genótipo x estação do ano ($P = 0,0045$). Nas subparcelas cortadas a 15 cm de altura, o filocrono correspondeu a 18,0 dias folha⁻¹ perfilho⁻¹. Nas subparcelas cortadas a 7,5cm o filocrono foi menor, correspondendo a 16,2 dias folha⁻¹ perfilho⁻¹. No inverno agrostológico os genótipos apresentaram maior Filo, em média 22,4 dias folha⁻¹ perfilho⁻¹, o que correspondeu ao dobro do período necessário para o surgimento entre duas folhas consecutivas no verão (Tabela 3).

Tabela 3 - Filocrono de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológico

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- dias folha ⁻¹ perfilho ⁻¹ -----					
Verão	9,2 Bb	10,0 Bb	11,5 ABb	12,0 ABb	15,3 Ab	11,6
	(0,84)	(0,84)	(0,84)	(0,84)	(0,84)	(0,38)
Inverno	17,4 Ca	24,1 ABa	20,2 BCa	23,7 ABa	26,8 Aa	22,4
	(0,84)	(0,84)	(0,84)	(0,84)	(0,84)	(0,38)
Média	13,3	17,0	15,8	17,8	21,1	
	(0,63)	(0,63)	(0,63)	(0,63)	(0,63)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Duração de vida das folhas (DVF)

A duração de vida das folhas sofreu efeito da altura de corte ($P=0,0156$) e do genótipo ($P=0,0093$). Nas subparcelas cortadas a 15 cm, a DVF correspondeu a 90,9 dias folha⁻¹. Nas subparcelas cortadas a 7,5cm a DVF foi menor, correspondendo a 82,9 dias folha⁻¹. No verão agrostológico a DVF foi de 56,8 dias folha⁻¹ em média para os cinco genótipos, já no inverno a DVF superou os 100 dias (Tabela 4), o que comprova a capacidade dessas gramíneas forrageiras de preservar as folhas durante o período de menor crescimento vegetativo.

Tabela 4 - Duração de vida das folhas de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- dias folha ⁻¹ -----					
Verão	46 Bb	50 ABb	56 ABb	66 Ab	64 Ab	56,8
	(4,36)	(4,36)	(4,36)	(4,36)	(4,36)	(1,98)
Inverno	104 Ba	128 Aa	102 Ba	123 Aa	125 Aa	117
	(4,36)	(4,36)	(4,36)	(4,36)	(4,36)	(1,98)
Média	75,5	89,4	79,8	94,9	95,1	
	(3,37)	(3,37)	(3,37)	(3,37)	(3,37)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Taxa de alongamento de folhas (TALF)

A taxa de alongamento de folhas sofreu efeito da altura de corte ($P=0,0039$), do genótipo ($P=0,0004$; Figura 7) e da estação do ano ($P < 0,0001$). Nas subparcelas cortadas a 15 cm, a TALF foi de 1,09 cm perfilho⁻¹ dia⁻¹. Nas subparcelas cortadas a 7,5cm a TALF foi maior,

correspondendo a $1,28 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Já entre estações, no verão agrostológico houve maior TALF com $1,39 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, enquanto no inverno a TALF correspondeu apenas a $0,99 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

Figura 7 - Taxa de alongamento de folhas de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. Letras comparam médias entre genótipos ($P < 0,05$). Barras de erro correspondem ao erro padrão da média

Taxa de alongamento de colmos (TALC)

A taxa de alongamento de colmos sofreu efeito da altura de corte ($P=0,0236$) e da interação entre genótipo x estação do ano ($P=0,0032$). Nas subparcelas cortadas a 15 cm, a TALC foi de $0,0086 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Nas subparcelas cortadas a 7,5cm a TALC foi menor, correspondendo a $0,0045 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Apesar de serem valores diários muito baixos, a TALC na altura de corte de 7,5 cm foi 50% menor que a TALC nas subparcelas cortadas a 15 cm. Os capins Arapoty e Basilisk tiveram as maiores TALC no verão agrostológico, chegando a ser 85 % maior que a TALC dos capins Capiporã, Marandu e Xaraés na mesma estação (Tabela 5). No inverno agrostológico a TALC média dos genótipos foi de $0,0031 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, no entanto, não houve diferença entre os genótipos nessa estação.

Tabela 5 - Taxa de alongamento de colmos de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- cm perfilho ⁻¹ dia ⁻¹ -----					
Verão	0,0181 Aa (0,0037)	0,0226 Aa (0,0026)	0,0023 Ba (0,0003)	0,0027 Ba (0,0007)	0,0041 Ba (0,0039)	0,0100 (0,0012)
Inverno	0,0054 Ab (0,0037)	0,0035 Ab (0,0026)	0,0005 Ab (0,0003)	0,0013 Aa (0,0007)	0,0055 Aa (0,0039)	0,0031 (0,0012)
Média	0,0117 (0,0026)	0,0130 (0,0018)	0,0011 (0,0002)	0,0020 (0,0005)	0,0048 (0,0027)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Taxa de senescência foliar (TSF)

A Taxa de senescência sofreu efeito das interações entre altura de corte x estação do ano ($P=0,0226$) e genótipo x estação do ano ($P=0,0006$). A TSF foi maior no verão agrostológico em relação ao inverno. Com relação as alturas de corte, nas subparcelas cortadas a 7,5 cm houve menor TSF durante o verão, sendo 30% menor que nas subparcelas cortadas a 15 cm (Tabela 6). No inverno agrostológico não houve diferença na TSF entre as alturas de corte. Houve maior variação na TSF entre os genótipos durante o verão (Tabela 7). No inverno também não houve efeito da TSF entre os genótipos.

Tabela 6 - Taxa de senescência foliar em pastos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte no verão e inverno agrostológicos

Altura de Corte	Estação		Média
	Verão	Inverno	
	- - cm perfilho ⁻¹ dia ⁻¹ - -		
15cm	0,108 Aa (0,010)	0,036 Ba (0,006)	0,072 (0,006)
7,5cm	0,074 Ab (0,010)	0,038 Ba (0,005)	0,056 (0,007)
Média	0,091 (0,007)	0,037 (0,004)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte para a mesma estação ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 7 - Taxa de senescência foliar de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- cm perfilho ⁻¹ dia ⁻¹ -----					
Verão	0,17 Aa (0,028)	0,10 ABa (0,013)	0,03 Ca (0,007)	0,08 ABCa (0,014)	0,05 BCa (0,015)	0,09 (0,007)
Inverno	0,03 Ab (0,013)	0,04 Ab (0,004)	0,02 Aa (0,006)	0,06 Aa (0,012)	0,02 Ab (0,066)	0,03 (0,004)
Média	0,10 (0,020)	0,07 (0,007)	0,02 (0,0003)	0,07 (0,0008)	0,04 (0,010)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

4.5.2 Características estruturais

Número de folhas vivas (NFV)

O número de folhas vivas por perfilho sofreu efeito da interação entre altura de corte x genótipo ($P = 0,0391$) e genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$). Apenas os capins Basilisk e Marandu tiveram NFV diferentes entre as alturas de corte, sendo que nas subparcelas cortadas a 15 cm de altura haviam menos folhas vivas por perfilho (Tabela 8). Dosséis cortados mais rentes ao solo tiveram maior NFV em relação aos dosséis colhidos mais altos. As estações não afetaram fortemente o NFV dos genótipos estudados, o que indica que independente da estação do ano, os perfilhos mantiveram estáveis o NFV por perfilho (tabela 9).

Tabela 8 - Número de folhas vivas por perfilho de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- número de folhas -----					
15 cm	5,1 ABa (0,11)	4,4 Cb (0,11)	4,5 BCa (0,11)	5,1 ABb (0,11)	5,4 Aa (0,11)	4,9 (0,05)
7,5 cm	5,2 ABCa (0,11)	5,1 Bca (0,11)	4,8 Ca (0,11)	5,7 Aa (0,11)	5,4 ABa (0,11)	5,3 (0,05)
Média	5,2 (0,08)	4,7 (0,08)	4,7 (0,08)	5,4 (0,08)	5,4 (0,08)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre alturas de corte para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 9 - Número de folhas vivas por perfilho de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- número de folhas -----					
Verão	5,4 Aa (0,13)	5,0 ABa (0,13)	4,4 Bb (0,13)	5,2 Ab (0,13)	5,4 Aa (0,13)	5,0 (0,04)
Inverno	5,0 Bb (0,09)	4,5 Cb (0,09)	5,0 Ba (0,09)	5,6 Aa (0,09)	5,4 ABa (0,09)	5,1 (0,06)
Média	5,2 (0,08)	4,7 (0,08)	4,7 (0,08)	5,4 (0,08)	5,4 (0,08)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Número de folhas em expansão (NFE)

O número de folhas em expansão por perfilho sofreu efeito da altura de corte ($P=0,0262$) e da interação entre genótipo x estação do ano ($P=0,0166$). Nas subparcelas cortadas a 15 cm, o NFE foi de 1,14 folhas perfilho⁻¹. Nas subparcelas cortadas a 7,5cm o NFE foi maior, correspondendo a 1,20 folhas perfilho⁻¹. As estações não afetaram fortemente o NFE dos genótipos estudados, o que indica que independente da estação do ano, os perfilhos mantiveram estáveis o NFE por perfilho (Tabela 10).

Tabela 10 - Número de folhas em expansão por perfilho de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- número de folhas -----					
Verão	1,21 Ab (0,031)	1,02 Bb (0,031)	1,18 Aa (0,031)	1,07 ABa (0,031)	1,17 Aa (0,031)	1,13 (0,014)
Inverno	1,36 Aa (0,043)	1,18 Ba (0,043)	1,27 ABa (0,043)	1,12 Ba (0,043)	1,08 Ba (0,043)	1,20 (0,019)
Média	1,28 (0,026)	1,10 (0,026)	1,23 (0,026)	1,09 (0,026)	1,13 (0,026)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Número de folhas senescentes (NFS)

O número de folhas senescentes por perfilho sofreu efeito da altura de corte ($P=0,0016$) e dos genótipos ($P < 0,0001$). Nas subparcelas cortadas a 15 cm o NFS foi de 0,55 folhas perfilho⁻¹.

Nas subparcelas cortadas a 7,5cm o NFS foi menor, correspondendo a 0,25 folhas perfilho⁻¹. Os capins Marandu e Xaraés tiveram a maior proporção de folhas senescentes por perfilho. As folhas do capim Capiporã foram as que menos senesceram, apenas 0,2 folhas perfilho⁻¹ (Figura 8).

Figura 8 - Número de folhas senescentes por perfilho de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológico. Letras comparam médias entre genótipos ($P < 0,05$). Barras de erro correspondem ao erro padrão da média

Número de folhas maduras (NFM)

O número de folhas maduras por perfilho sofreu efeito da interação entre altura de corte x genótipo ($P = 0,0426$) e genótipo x estação do ano ($P = 0,0005$). Todos os genótipos tiveram NFM diferentes entre as alturas de corte, sendo que nas subparcelas cortadas a 15 cm havia menos folhas maduras por perfilho (Tabela 11). As estações não afetaram fortemente o NFM dos genótipos estudados, o que indica que independente da estação do ano, os perfilhos mantiveram o NFM estável por perfilho (Tabela 12).

Tabela 11 - Número de folhas maduras por perfilho de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- número de folhas -----					
15 cm	3,3 ABb (0,13)	2,8 Bb (0,13)	3,1 Bb (0,13)	3,3 ABb (0,13)	3,5 Ab (0,13)	3,1 (0,05)
7,5 cm	3,7 ABa (0,13)	3,8 ABa (0,13)	3,6 Ba (0,13)	4,3 Aa (0,13)	4,0 ABa (0,13)	3,8 (0,05)
Média	3,5 (0,09)	3,3 (0,09)	3,3 (0,09)	3,8 (0,09)	3,7 (0,09)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre alturas de corte para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 12 - Número de folhas maduras por perfilho de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológicos

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- número de folhas -----					
Verão	3,7 Aa (0,15)	3,5 Aa (0,15)	2,9 Bb (0,15)	3,7 Aa (0,15)	3,7 Aa (0,15)	3,5 (0,06)
Inverno	3,3 BCb (0,09)	3,1 Cb (0,09)	3,6 ABa (0,09)	3,9 Aa (0,09)	3,8 Aa (0,09)	3,5 (0,04)
Média	3,5 (0,09)	3,3 (0,09)	3,3 (0,09)	3,8 (0,09)	3,7 (0,09)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Comprimento final do colmo (CC)

O comprimento dos colmos sofreu efeito da altura de corte ($P=0,0001$) e da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$). Nas subparcelas cortadas a 15 cm, o CC foi de 10,1 cm. Nas subparcelas cortadas a 7,5cm o CC foi menor, correspondendo a 8,6 cm. Com relação às estações, no verão agrostológico as condições favoráveis de crescimento proporcionaram o maior crescimento dos colmos em relação ao inverno, em média, no verão o CC foi de 11,2 cm, no inverno o CC foi menor, apenas 7,5 cm. Os capins Marandu e Xaraés tiveram os maiores colmos tanto no verão quanto no inverno (Tabela 13).

Tabela 13 - Comprimento de colmos de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológico

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- cm -----					
Verão	10,4 Ba (0,47)	11,2 ABa (0,47)	10,7Ba (0,47)	12,5 Aa (0,47)	11,6 Aa (0,47)	11,2 (0,22)
Inverno	7,2 Bb (0,47)	7,1 Bb (0,47)	6,5 Bb (0,47)	8,4 Ab (0,47)	8,1 Ab (0,47)	7,4 (0,22)
Média	8,8 (0,35)	9,2 (0,35)	8,6 (0,35)	10,5 (0,35)	9,8 (0,35)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Comprimento final de folhas expandidas (CFF)

O comprimento final de folhas expandidas sofreu efeito da altura de corte ($P = 0,0004$) e da interação entre genótipo x estação do ano ($P < 0,0001$). Nas subparcelas cortadas a 15 cm, o CFF foi de 16,2 cm. Nas subparcelas cortadas a 7,5cm o CFF foi menor, correspondendo a 14,1 cm. No verão agrostológico o CFF foi sempre maior para todos os genótipos quando comparados ao inverno. O capim Capiporã destacou-se por ter as folhas expandidas mais longas, superando os 25 cm de comprimento no verão (Tabela 14).

Tabela 14 - Comprimento final de folhas expandidas de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológico

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- cm -----					
Verão	20,3 Ba (0,84)	18,9 Ba (0,84)	25,3 Aa (0,84)	12,4 Da (0,84)	16,4 Ca (0,84)	14,9 (0,37)
Inverno	11,8 Bb (0,84)	11,4 Bb (0,84)	15,3 Ab (0,84)	9,5 Cb (0,84)	10,2 BCb (0,84)	15,4 (0,37)
Média	16,0 (0,59)	15,1 (0,59)	20,3 (0,59)	10,9 (0,59)	13,3 (0,59)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Relação Senescência/Crescimento (S/C)

A relação senescência/crescimento sofreu efeito somente da interação entre altura de corte x genótipo ($P=0,0212$). Quando cortados a 15 cm de altura, os capins Basilisk, Marandu e Xaraés tiveram os maiores valores de relação S/C (Tabela 15). Já os capins Arapoty e Capiporã, independente da altura de corte, tiveram menores valores de relação S/C.

Tabela 15 - Relação senescência/crescimento de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- relação S/C -----					
15 cm	0,033 ABa (0,008)	0,095 ABa (0,024)	0,020 Ba (0,004)	0,110 Aa (0,012)	0,121 Aa (0,020)	0,076 (0,007)
7,5 cm	0,038 Aa (0,008)	0,036 Aa (0,024)	0,023 Aa (0,004)	0,047 Ab (0,012)	0,056 Ab (0,020)	0,040 (0,007)
Média	0,036 (0,006)	0,065 (0,017)	0,021 (0,004)	0,079 (0,009)	0,088 (0,014)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre alturas de corte para o mesmo genótipo ($P<0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P<0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

4.5.3 População e peso dos perfilhos

Peso de perfilhos individuais

O peso dos perfilhos sofreu efeito da interação entre altura de corte x genótipo x estação ($P=0,0033$). Os capins Marandu e Xaraés tiveram os perfilhos mais pesados independente da estação do ano e do regime de corte. Durante o inverno agrostológico não houve variação no peso dos perfilhos entre as alturas de corte (Figura 9).

Figura 9 - Peso de perfilhos individuais de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte, no verão e inverno agrostológicos. Letras maiúsculas comparam médias entre alturas de corte para o mesmo genótipo ($P < 0,05$). Letras minúsculas comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P < 0,05$). Barras de erro correspondem ao erro padrão da média

Densidade populacional de perfilhos (DPP)

A densidade populacional de perfilhos sofreu efeito da estação ($P = 0,0268$) e da interação entre altura de corte x genótipo ($P = 0,0027$; Tabela 16). Entre estações, o verão agrostológico apresentou maior DPP com 1220 perfilhos m^{-2} , enquanto no inverno a DPP foi de 1130 perfilhos m^{-2} . A DPP foi maior nas subparcelas cortadas a 7,5 cm de altura, apenas no capim Arapoty a DPP foi maior nas subparcelas sob o regime de corte de 15 cm (Tabela 16). A maior DPP foi encontrada nas subparcelas de capim Capiporã, superando os 1600 perfilhos m^{-2} quando este foi colhido a 7,5 cm.

Tabela 16 - Densidade populacional de perfilhos de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- perfilhos m ⁻² -----					
15 cm	1334 Aa (45,6)	962 BCb (45,6)	1480 Ab (45,6)	1023 Bb (45,6)	795 Cb (45,6)	1123 (20,4)
7,5 cm	1195 Bb (45,6)	1126 Ba (45,6)	1620 Aa (45,6)	1190 Ba (45,6)	1005 Ba (45,6)	1227 (20,4)
Média	1264 (36,1)	1044 (36,1)	1560 (36,1)	1107 (36,1)	900 (36,1)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre alturas de corte para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Apesar de presentes nos dosséis, a densidade populacional de perfilhos aéreos (DPPa) representou menos de 3 % da população total, sendo mais presentes nos genótipos Arapoty, Capiporã e Xaraés quando cortados a 15 cm e mais presentes nas parcelas de Basilisk e Marandu na altura de 7,5 cm. Entre as estações do ano, no verão não houve diferença entre a DDPa dos cinco genótipos, no entanto, o genótipo Marandu aumentou aumento na população desses perfilhos na ordem de 40% do verão para o inverno. Mesmo assim, esse aumento foi de 30 para 52 perfilhos por m² aproximadamente, que no montante de mais de 1000 perfilhos basais encontrados nos dosséis desse genótipo, influencia de forma minimalista qualquer processo ligado ao acúmulo de forragem.

A variação do número de perfilhos vivos dentro de cada um dos ciclos de rebrotação detalhados foi calculada em função da população existente no início do período (Tabela 17) sendo que tanto no verão agrostológico quanto no inverno, o tempo de rebrotação de quatro e seis semanas foi suficiente para a restauração da população original no momento do corte.

Tabela 17 - Variação média na população de perfilhos durante o período de rebrotação comparados a população original (início da rebrotação) em pastos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Momento durante a rebrotação após o corte	Altura de corte	Variação na população de perfilhos †	§ Variação no número de perfilhos por m ²	Variação média no número de perfilhos por m ²
Intermediário	15 cm	-9 %	70 a 139	-104
	7,5 cm	-19 %	172 a 324	-228
Final	15 cm	-2 %	16 a 31	-23
	7,5 cm	+5 %	45 a 85	+60

† Valores negativos representam redução na população original (início da rebrotação), valores positivos representam aumento na população original (início da rebrotação).

§ Variação máxima e mínima obtida entre os cinco genótipos.

4.6 Discussão

Os processos que envolvem a síntese de tecidos em gramíneas foram descritos por Lemaire e Chapman (1996) por meio da do estudo da morfogênese. Das características morfogênicas, o aparecimento de folhas, seu alongamento das mesmas e sua longevidade são consideradas as mais importantes. Essas características estão fortemente associadas aos processos de crescimento e suas interações determinam as principais características estruturais dossel.

A disponibilidade de água e a temperatura influenciam a dinâmica dos processos fisiológicos, refletindo no balanço produtivo das pastagens por meio das variações em crescimento e senescência. A disponibilidade de nutrientes, principalmente o nitrogênio, também é importante para o crescimento das plantas, atuando concomitantemente aos demais fatores de crescimento. Mesmo sob condições semelhantes de clima e solo, as plantas podem apresentar ritmos de crescimentos diferentes. Raven et al., (2001) comentaram que plantas não desfolhadas dependem menos da absorção de N do solo, pois a mobilização a partir das folhas mais velhas supre em parte as necessidades para o crescimento. Somente quando o suprimento de N a partir de órgãos aéreos (órgãos acima do solo) for insuficiente, ocorre a remobilização de reservas orgânicas das raízes. Isso sugere que em pastos submetidos a maiores frequências ou intensidades de desfolhação o suprimento externo de N assume importância relativa maior para o crescimento do que a mobilização. Mantendo-se então, constantes o fornecimento de água e nutrientes para as

plantas, espera-se que frequência e intensidade de desfolhação, sejam responsáveis pelas variações nas respostas produtivas.

No presente estudo, esses fatores foram marcantes no verão sobre o aparecimento e alongamento de folhas (Tabela 2). As maiores variações na TAPF e a TALF do verão em relação às do inverno foram de 50 e 29%, respectivamente. Suplick et al. (2002) relataram que a temperatura é um fator ambiental controlador da taxa de aparecimento de folhas em gramíneas, descrevendo relações lineares entre o número de folhas e a temperatura acumulada. Já o alongamento foliar, é resultante da produção de células a partir da zona de crescimento das folhas (zonas de divisão, alongamento, e maturação celular), onde o suporte nutricional e hídrico atua fortemente. A dinâmica do aparecimento e alongamento foliar também foi influenciada pelos próprios genótipos usados (Figura 7).

Os capins Xaraés e Capiporã tiveram as maiores taxas de alongamento foliar, uma característica de genótipos produtivos sob diferentes condições de manejo. Apesar de não haver influência da altura de corte sobre a TAPF, a altura foi responsável pelo maior taxa de alongamento de folhas nos perfilhos cortados a 7,5 cm do solo, sendo a TALF cerca de 17% maior nesse regime de colheita. Essa dinâmica influenciou diretamente os valores de filocrono, gerando intervalos menores de aparecimento de folhas sucessivas com a redução da altura de corte. O filocrono pode ser definido como o intervalo de tempo existente entre a emergência de folhas sucessivas acima do pseudocolmo formado pelas bainhas das folhas que já existentes (FOURNIER et al., 2005), e reflete, portanto, a duração do alongamento foliar. Duru e Ducrocq (2000) escreveram que a taxa de aparecimento de folhas ou o filocrono dependem da distância que a lâmina foliar percorre desde sua emissão até sua visualização acima do cartucho de folhas mais velhas e, também, da taxa de alongamento foliar ao longo desse trajeto.

Em situações onde o comprimento do pseudocolmo mantém-se relativamente estável, como é o caso de dosséis colhidos mecanicamente, as variações em filocrono são basicamente função da taxa de alongamento de folhas dentro do cartucho formado pelas bainhas das folhas mais velhas, indicando que existe uma relação funcional entre a taxa de alongamento foliar e o filocrono. Tal relação é de natureza exponencial, sendo que para taxas de alongamento superiores a $1,3 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (até um limite genético estimado de $2,0 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) o filocrono tende a se estabilizar em torno de 10 a 12 dias folha⁻¹. Quando as condições de manejo e/ou

ambientais não favorecem a rebrotação, o filocrono pode se aproximar de 100 dias. (SBRISSIA, 2004).

A resposta de cada genótipo em cada condição de crescimento reflete uma programação genética para essas variações do alongamento foliar (maiores e menores valores de filocrono, respectivamente), e poderia consistir num mecanismo de conservação de recursos como forma de manter a persistência da planta em situações de baixa disponibilidade de fatores de crescimento e/ou evitarem perdas excessivas de nutrientes por senescência foliar. Supondo que durante o processo evolutivo essas plantas desenvolveram mecanismos de percepção ambiental de forma que tal estratégia esteja codificada em seu genoma, eventos ligados a senescência podem ser potencializados no intuito de manter estável o NFV. Nesse sentido, a longevidade das folhas poderia ser penalizada como forma de manter elevadas taxas de crescimento. Lemaire e Chapman (1996) postularam que a longevidade de folhas deriva diretamente do filocrono e do NFV. O NFV é uma característica determinada geneticamente, mas que, no presente estudo, manteve-se estável para todos os genótipos nas duas estações, ficando em torno de cinco folhas vivas por perfilho (Tabela 8). Mesmo sob duas alturas contrastantes de resíduo a variação entre o número de folhas médio por perfilho foi pequena, sendo apenas os genótipos Basilisk e Marandu mais folhosos na altura mais baixa.

Dessa maneira, a longevidade de folhas foi reduzida com a aceleração do crescimento das plantas cortadas a 7,5 cm do solo. Segundo Navas et al. (2003), a curta longevidade das folhas está associada a elevadas taxas de crescimento e fixação de carbono, enquanto folhas longevas contribuem para conservação de nutrientes na planta, sugerindo que em épocas de elevada disponibilidade de fatores de crescimento as plantas utilizariam estratégias relativas a absorção de nutrientes e em épocas de limitada disponibilidade de fatores de crescimento as estratégia utilizada seriam basicamente a de conservação dos nutrientes.

A longevidade das folhas é característica importante na determinação do fluxo de tecidos em nível de perfilhos individuais. Sob condições de crescimento livre, essa característica morfogênica atua de forma marcante sobre a senescência foliar. Com a maior TALF e menor longevidade dos perfilhos cortados a 7,5 cm de altura, esperava-se que as taxas de senescência fossem maiores em função das velocidades dos processos de crescimento. No entanto, a senescência desses perfilhos no verão foi menor que a senescência de pastos colhidos a 15 cm de

altura (Tabela 6). Essa resposta ilustra a importância da estrutura do resíduo deixado após a colheita e como as estratégias de desfolhação interferem na idade média dos perfilhos nos pastos.

Pastos colhidos mais rentes aos solo apresentam renovação maior de perfilhos (GIACOMINI 2007). Além disso, existe a remoção da maior parte das folhas, aumentando a utilização da forragem produzida. Pastos com resíduos altos apresentaram maiores taxas de senescência pela presença de folhas velhas na base desses dosséis que não foram colhidos pela máquina e que estavam presentes nas leituras do fluxo de tecidos. Ao contrário do relatado por PEREIRA (2009), o NFS por perfilho não foi influenciado pela época do ano, mas sim pelo manejo de colheita. Dessa forma, o número de folhas senescentes por perfilho variou com a altura de corte (Tabela 8), sendo quase 50% maior nos pastos cortados a 15 cm de altura. No inverno, as diferenças entre as taxas de senescência de folhas parecem estar ligadas mais à disponibilidade de luz e de temperatura que diretamente ao manejo (Tabela 6) ou ao material genético (Tabela 8).

Segundo Lemaire e Chapman (1996), as características morfogênicas determinam as características estruturais de perfilhos individuais: número de folhas vivas por perfilho, comprimento final da folha expandida e densidade populacional de perfilhos. Estas, por sua vez, afetam a estrutura do dossel forrageiro por causarem variações no tamanho e na disposição das folhas, sendo, portanto, a estrutura fator determinante das respostas tanto de plantas como de animais (HODGSON, 1985). Assim, o número máximo de folhas vivas por perfilho é função da taxa de aparecimento de folhas e da longevidade das folhas. O NFV por perfilho permanece constante após o dossel atingir uma condição de equilíbrio em que os processos de aparecimento e morte de folhas ocorrem nas mesmas taxas (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). A Tabela 10 ilustra a estabilidade no NFE por perfilho entre o verão e o inverno.

Em relação ao comprimento de folhas e colmos, dosséis colhidos a 15 cm de altura apresentaram folhas com maior comprimento final, cerca de 2 cm maiores que dosséis cortados a 7,5 cm. Os resultados deste experimento demonstram que as alturas de corte influenciaram o comprimento do pseudocolmo (CC). Dosséis colhidos a 15 cm de altura apresentaram CC menores que a linha de corte enquanto as subparcelas cortadas a 7,5 cm apresentaram CC que passaram a linha de corte e por isso estavam mais presentes na composição do estrato colhido (Capítulo 3). Esse CC foi reduzido do verão para o inverno em todos os genótipos (Tabela 13).

Esse padrão de resposta pode ser atribuído as condições ambientais favoráveis ao crescimento da forragem no verão.

Apesar das gramíneas deste estudo possuírem um NFV estável por perfilho, pequenas variações na estrutura dos perfilhos são respostas do manejo. Nesse caso a principal diferença entre as estruturas desses dosséis está no número de folhas maduras (Tabela 11), existindo uma compensação entre o número de folhas maduras e o comprimento final de folhas expendidas. Dosséis cortados a 15 cm de altura apresentaram menor número de folhas maduras, porém folhas 13% mais longas (Tabela 11).

Diferenças entre as alturas médias dos dosséis promovem variações significativas na DPP (BIRCHAM; HODGSON, 1983). A DPP é uma característica estrutural de grande importância para a persistência e produtividade de pastagens (LANGER, 1972). Como os perfilhos individuais têm duração de vida limitada e variável em função de fatores bióticos e abióticos, a população é mantida por uma contínua reposição dos perfilhos mortos (MATTHEW et al., 2000). O potencial de perfilhamento de uma determinada planta forrageira em condições ambientais não-limitantes é determinado pelo número e atividade dos pontos de crescimento existentes. Estes, por sua vez, correspondem às gemas localizadas nas axilas de cada folha, o que faz com que exista uma estreita relação entre aparecimento de folhas e perfilhamento (CRUZ; BOVAL, 2000; PEREIRA 2009).

O ambiente luminoso no qual os perfilhos se desenvolvem interfere grandemente no potencial de emissão de novos perfilhos a partir das gemas axilares. Segundo Nabinger (2002), o perfilhamento é máximo até que se atinja o IAF crítico dos pastos, ponto a partir do qual a quantidade e a qualidade de luz que penetra no dossel são reduzidas. Em pastos sob lotação intermitente, a intensidade de desfolhação é uma importante reguladora do ambiente luminoso das plantas. Dependendo da severidade da desfolhação, as gemas basais são estimuladas pela luz aumentando a população de perfilhos na pastagem. No presente estudo, a colheita da forragem a 7,5 cm resultou em maior DPP para a maioria dos genótipos. Apenas o capim Arapoty apresentou redução no perfilhamento, o que pode ser um sinal de que essa intensidade de corte pode estar fora dos limites desse capim.

O efeito da altura de corte sobre a população de perfilhos em diferentes períodos dentro de um ciclo de rebrotação mostra que pastos cortados a 7,5 cm sofreram perdas na ordem de 20 % de sua população original, enquanto pastos cortados a 15 cm perderam cerca de 10 % quando

ambos completam de 14 a 21 dias de rebrotação (Tabela 17). Porém, a dinâmica de renovação dos perfilhos em pastos baixos promoveu a reestruturação da população no final do ciclo de rebrotação, retornando a sua população original tanto no verão (28 dias) quanto no inverno (42 dias).

Aumentos na produção de forragem nem sempre refletem elevada eficiência de colheita do material produzido. Observa-se que, em nível de perfilhos individuais, embora a intensidade de desfolhação mais alta promova diminuição na duração de vida das folhas, seu efeito foi mais efetivo sobre os processos que envolvem o crescimento, expresso pelas maiores taxas de alongamento de folhas. A maior resposta em termos de crescimento em relação à senescência nesses perfilhos (Tabela 15) aponta para possíveis aumentos na eficiência de colheita, expressos pela menor relação senescência/crescimento (S/C) e maiores valores de DPP nos pastos que foram submetidos à desfolhação mais intensa.

4.7 Conclusões

A colheita da forragem na altura de 7,5 cm influenciou os padrões de crescimento de perfilhos individuais. Entretanto, as respostas parecem ser de natureza compensatória como forma de sustentar as características estruturais dos perfilhos e manter o dossel em um determinado nível de estabilidade. No presente experimento, dosséis cortados nas duas alturas estão dentro dos níveis de sustentabilidade do sistema, porém, as vantagens da utilização de resíduos mais baixos estão na maior utilização da forragem produzida.

A altura de corte de 7,5 cm é recomendada, pois possibilita o aumento dos ritmos de renovação de perfilhos e de crescimento em relação à senescência. Variações na altura de corte possibilitam aumentos na eficiência de colheita desde que seja feito o uso racional das práticas agronômicas.

Referências

BIRCHAM, J.S.; HODGSON, J. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 38, p. 323-331, 1983.

CRUZ, P.; BOVAL, M. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CABI Publ., 2000. p. 151-168.

DA SILVA, S.C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Ecofisiologia da produção animal em pastagens e suas implicações sobre o desempenho e a produtividade de sistemas pastoris. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 4., 2007, Viçosa. **Anais ...** Viçosa: Editora Suprema, 2007. p. 1-48.

DURU, M.; DUCROCQ, H. Growth and senescence of the successive leaves on a Cocksfoot tiller. Effect of nitrogen and cutting regime. **Annals of Botany**, Oxford, v. 85, p. 645-653, 2000.

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

FOURNIER, C.; DURAND, J. L.; LJUTOVAC, S.; SCHÄUFELE, R.; GASTAL, F.; ANDRIEU, B. A functional–structural model of elongation of the grass leaf and its relationships with the phyllochron. **New Phytologist**, Lancaster, v. 166, p. 881–894, 2005.

GIACOMINI, A.A. **Demografia do perfilhamento e produção de forragem em pastos de capim-marandu submetidos a regimes de desfolhação intermitente por bovinos de corte**. 2007. 175 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

HODGSON, J. The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 15., 1985. Kyoto. **Proceedings...** Kyoto, 1985. p.63-66.

LANGER, R.H.M. **How grass grow**. London: The Institute of Biology's Studies, 1972. 60 p. (Studies in Biology)

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.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A.; NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. F. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 265-288.

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

MATTHEW, C.; ASSUERO, S.G.; BLACK, C.K.; SACKVILLE HAMILTON, N.R. Tiller dynamics of grazed swards. In: LEMAIRE, G., HODGSON, J., MORAES, A.; NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. F. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 127-150.

NABINGER, C. Manejo da desfolha. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 14., 2002. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 133-158.

NAVAS, M.L.; DUCOUT, B.; ROURNET, C.; RICHARTE, J.; GARNIER, J. Leaf life span, dynamics and construction cost of species from Mediterranean old-fields differing in successional status. **New Phytologist**, Lancaster, v. 159, p. 213-228, 2003.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan, 2001, v. 6, 906p.

SCHNYDER, R.H.; SCHÄUFELE, R.; VISSER, R.; NELSON, J.C. An integrated view of C and N uses in leaf growth zones of defoliated grasses. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 41-60.

SUPLICK, M.R.; READ, J.C.; MATUSON, M.A.; JOHNSON, J.P. Switchgrass leaf appearance and lamina extension rates in response to fertilizer nitrogen. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 25, n. 10, p. 2115-2127, 2002.

SBRISSIA, A.F. **Morfogênese, dinâmica do perfilhamento e do acúmulo de forragem em pastos de capim-Marandu sob lotação contínua**. 2004. 171 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

PEREIRA, L.E.T. **Morfogênese e estrutura do dossel de pastos de capim-marandu submetidos a lotação contínua e ritmos morfogênicos contrastantes**. 2009. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

WOLFINGER, R.D. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics Simulation and Computation**, Philadelphia, v. 22, n. 4, p. 1079-1106, 1993.

5 RELAÇÕES LUMINOSAS, FOTOSSÍNTESE FOLIAR E POTENCIAL ASSIMILATÓRIO DE DOSSÉIS DE CINCO GENÓTIPOS DE *Brachiaria* spp. COLHIDOS MECANICAMENTE A 15 E 7,5 CM NO VERÃO E INVERNO AGROSTOLÓGICOS

Resumo

A utilização de modelos na estimativa da fotossíntese de dossel permite quantificar a assimilação de carbono em função da arquitetura do dossel e do ambiente luminoso modificada pelo manejo. As relações luminosas e estruturais do dossel também podem ser usadas como guia de manejo, respeitando os limites ecofisiológicos das plantas forrageiras. O objetivo deste estudo foi quantificar o efeito da altura de corte em regime intermitente de colheita sobre a assimilação de carbono em cinco genótipos *Brachiaria* cortados mecanicamente a 15 e 7,5 cm de altura durante o verão e inverno agrostológicos. As unidades experimentais (parcelas de 9 x 4 m) foram irrigadas e adubadas com o equivalente a 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O. O delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições num esquema de parcelas subdivididas. Foi avaliada a taxa de assimilação de carbono foliar e características estruturais do dossel como: índice de área foliar (IAF) e interceptação luminosa (IL). O regime de colheita alterou o padrão de assimilação de carbono pela folha mais jovem completamente expandida e pelo dossel forrageiro. A taxa fotossintética média da folha mais jovem completamente expandida foi menor quando o resíduo foi mantido a 15 cm. A fotossíntese foliar foi semelhante entre os genótipos tanto no verão quanto no inverno na mesma altura de corte, mas foi 30% menor no inverno. A taxa estimada de fotossíntese do dossel não diferiu entre genótipos e alturas de corte, com média de 48,9 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹ no verão e 36,9 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹ no inverno. Isso sugere a existência de um mecanismo de compensação entre área foliar e fotossíntese de folhas individuais entre as alturas de corte. Os padrões de IL foram afetados pelas alturas de corte, mudando a estrutura e arquitetura dos dosséis.

Palavras-chave: Assimilação de carbono; Altura de dossel; Índice de área foliar; Interceptação luminosa

Abstract

The use of models to estimate canopy photosynthesis allows for the prediction of carbon assimilation of forage grasses in response to canopy architecture and light environment imposed by defoliation management. The light relations and structural attributes of the canopy can also be used as a guide to management within the ecophysiological limits of forage plants. The objective of this study was to quantify the effect of canopy height on carbon assimilation by five genotypes of *Brachiaria* spp. mechanically harvested to 15 and 7.5 cm high during the summer and winter. The experimental units (9 x 4 m plots) were irrigated and fertilized with the equivalent of 220 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of N and K₂O. Were used the randomized complete block design with four replications in split-plot. Responses measured included the rate of leaf photosynthesis as well as sward structural characteristics such as leaf area index (LAI) and light interception (LI). Canopy height affected the pattern of carbon assimilation by the youngest fully expanded leaf and by the whole sward. The average leaf photosynthetic rate decreased when the stubble height was 15 cm compared with 7.5 cm. Leaf photosynthesis was similar between genotypes in both summer and winter at the same harvest height, but it was 30% lower in winter. The estimated rates of canopy photosynthesis did not differ across genotypes and harvest heights, averaging 48.9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in summer and 36.9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in the winter, suggesting the existence of a compensatory mechanism between leaf area index and photosynthesis of individual leaves between harvest heights. The patterns of LI were affected by cutting height, changing the structure and architecture of canopies.

Keywords: Carbon assimilation; Canopy height; Leaf area index; Light interception

5.1 Introdução

A eficiência do dossel na conversão da energia luminosa em matéria seca é dependente das taxas de fotossíntese de folhas individuais e dos padrões de interceptação luminosa, reflexo da distribuição da biomassa ao longo do perfil do dossel (COOPER; WILSON, 1970). Essa eficiência é condicionada por características como o índice de área foliar (IAF), ângulo foliar, propriedades de transmissão de luz entre as lâminas foliares, características da radiação solar como a razão de luz difusa/direta e o ângulo da radiação incidente (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996).

O acúmulo de matéria seca em plantas forrageiras não é, todavia, apenas resultado das taxas fotossintéticas, mas resulta de interações complexas entre atributos genéticos, do ambiente e seus efeitos sobre os processos fisiológicos e sobre as características morfológicas das plantas (DA SILVA; PEDREIRA, 1997). Conhecendo a arquitetura e a estrutura do dossel, e a partir de quantificações de fotossíntese das folhas, é possível estimar a fotossíntese da comunidade de plantas, associando respostas fisiológicas ao manejo aplicado e o ambiente que tal manejo fornece a essas plantas (JONHSON et al., 1989).

Modelos matemáticos são artifícios normalmente empregados no estudo e comparação das estratégias de manejo, auxiliando a pesquisa no entendimento da dinâmica dos processos envolvidos no sistema, podendo favorecer o desenvolvimento e melhoria das técnicas no manejo (RYMPH, 2004). Estratégias de colheita afetam as características estruturais e arquitetônicas do dossel e a capacidade das plantas em captar a luz. Assim, diferentes estratégias de desfolhação por pastejo ou corte geram mudanças estruturais e arquitetônicas no dossel, alterando o ambiente luminoso e resultando em dosséis com diferentes potenciais fotossintéticos.

O objetivo deste trabalho foi quantificar a fotossíntese foliar e modelar a fotossíntese de dosséis vegetativos em função da arquitetura foliar e do ambiente luminoso, em cinco genótipos de *Brachiaria* spp. submetidas a duas intensidades de desfolhação por corte no verão e inverno agrostológicos, além de elucidar as relações luminosas dentro desses dosséis forrageiros como elemento norteador do manejo da colheita.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Local do experimento

O estudo foi conduzido 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, 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 de coleta de dados foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ, distante cerca de 1 km da área experimental.

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. O manejo da irrigação foi baseado no monitoramento das condições hídricas do solo por meio de quatro tensiômetros instalados na área experimental a 30 cm de profundidade. Sempre que os tensiômetros registravam valores médios de potencial hídrico no solo entre -0,30 e -0,40 kPa procedia-se a irrigação. O tempo de irrigação foi controlado com a finalidade de que lâmina de água aplicada não ultrapassasse a velocidade de infiltração básica do solo, evitando escoamento superficial. A irrigação também foi realizada após cada adubação (6 mm de lâmina de água, sempre após os cortes), com o intuito de maximizar a eficiência do adubo aplicado.

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). As adubações foram realizadas manualmente logo após os cortes, aplicando no ano um total de 20 kg ha⁻¹ de N e K₂O, utilizando como adubo, sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄ (22 % de N e 18 % de S) e cloreto de potássio, KCl (65 % K₂O). Foram realizados 11 ciclos de rebrotação totalizando a aplicação de 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O.

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	-----				
5,9	42	20	4,0	54	16	28	74	102	73

*P Resina. SB=soma de bases. T=CTC total. V%=saturação por bases.

Os dados climatológicos foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ (Figura 1). O Balanço hídrico foi calculado com base nos dados coletados na estação experimental e dados da lâmina de água aplicada no campo (Figura 2).

Figura 1 - Médias mensais de temperaturas máximas, médias e mínimas durante o período experimental comparados com dados médios coletados na estação meteorológica da USP-ESALQ de 1917

Figura 2 - Balanço hídrico (outubro de 2007 a outubro de 2008), sem irrigação e com irrigação

5.2.2 Delineamento experimental e manejo da colheita

Foram estudados cinco genótipos de *Brachiaria* spp., sendo quatro de *B. brizantha* (Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã) e um de *B. decumbens* (Basilisk), estabelecidas no verão de 2004-2005. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os cinco genótipos foram alocados à área, totalizando 20

parcelas, cada uma medindo 36m^2 ($4\text{m} \times 9\text{m}$). Estas foram subdivididas longitudinalmente e por sorteio e cada metade foi submetida a uma altura de corte, 15 ou 7,5 cm (Figuras 3 A e B).

Figura 3 - Aspecto da área experimental no momento do estabelecimento das alturas de corte em maio de 2007 (A). Parcelas prontas para coleta de dados em outubro de 2007 (B)

Figura 4 - Vista da área experimental

Durante o período experimental, a forragem das parcelas foi cortada de acordo com o cronograma de colheita e a altura de cada subparcela. As avaliações de fotossíntese foliar foram realizadas em dois ciclos representativos do verão e do inverno agrostológicos, sendo esses ciclos intitulados detalhamento de verão e inverno (Figura 5).

Figura 5 - Cronograma de colheita de forragem e seleção dos ciclos detalhados do experimento

5.2.3 Fotossíntese de folhas individuais

As taxas de fotossíntese líquida de folhas individuais foram medidas utilizando-se um medidor portátil de fotossíntese modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln Nebraska, EUA. Figura 6). As medições ocorreram no dia intermediário de cada ciclo de rebrotação detalhado (14º dia da rebrotação no verão e no 21º dia da rebrotação no inverno) quando já havia sido constatada no dossel a presença das primeiras folhas mais jovem completamente expandida após o corte. Nessas datas foi medida a taxa de fotossíntese da folha mais jovem completamente expandida de três perfilhos em cada subparcela, seguindo um critério de avaliação visual de modo a selecionar as melhores folhas presentes (com lâmina foliar verde e limpa). As folhas foram selecionadas em perfilhos de plantas diferentes que representavam o dossel na unidade experimental, tanto em altura quanto em estrutura.

Figura 6 - Câmara de CO₂ do aparelho LAI-6400 (A) e console de programação do aparelho LAI-6400 (LI-COR, Lincoln Nebraska, EUA) (B)

As medidas foram realizadas entre oito e onze horas da manhã em dias de céu aberto tanto no verão quanto no inverno. Médias fotossintéticas foram calculadas para cada subparcela. A intensidade de luz usada dentro da câmara foi de $2000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e uma concentração média de CO_2 de $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar como referência na programação do equipamento, cuja fonte foi proveniente de cilindros de CO_2 instalado no equipamento. Além das taxas de fotossíntese líquida, o equipamento também registra a concentração intercelular de carbono (C_i) a condutividade estomática e a taxa de transpiração das folhas. Esses dados acessórios foram usados para dar suporte aos resultados obtidos com a medição das taxas de fotossíntese líquida e registrar o efeito das alturas de corte sobre os processos fisiológicos dos genótipos estudados.

5.2.4 Índice de área foliar, interceptação luminosa e ângulos foliares

Foi utilizado um analisador de dossel modelo LAI 2000 (LI-COR, Lincoln Nebraska, EUA), descrito por Welles e 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, por meio de detectores de sílica. A técnica combina medidas tomadas com o sensor acima do dossel (I_0) 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 oito pontos representativos da média do dossel em cada subparcela, na proporção de uma medida acima para quatro 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.

O índice de área foliar (IAF), interceptação luminosa (IL) e os ângulos foliares (ANG), foram medidos nos 11 ciclos de rebrotação. Estas medições foram feitas em cinco momentos dentro de cada ciclo de rebrotação sendo caracterizados por avaliações pré e pós corte e três avaliações intermediárias. Essas medições tiveram dois objetivos. O primeiro foi de caracterizar as variações estruturais do dossel de cada genótipo no decorrer das rebrotações ao longo do ano e relacioná-los com a altura como guia prático de manejo. O segundo objetivo foi de encontrar o IAF do dossel no dia da avaliação da fotossíntese de folhas individuais e usá-lo na modelagem da fotossíntese de dossel.

5.2.5 Modelagem de fotossíntese de dossel

Taxas fotossintéticas dos dosséis foram estimadas usando-se o modelo de assimilação de CO₂ de folhas “de sol” e folhas “de sombra”, proposto por Boote e 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 usando IAF total e k (equação 1) e um IAF de sombra é calculado subtraindo-se do IAF total (equação 2).

$$IAF_{sol} = (1/k)[1 - \exp(-k \cdot IAF_{total})] \quad (eq.1)$$

$$IAF_{somb} = IAF_{total} - IAF_{sol} \quad (eq.2)$$

A assimilação de CO₂ pelas folhas de sol é calculada por uma curva de resposta exponencial negativa, onde a assíntota é dada pela fotossíntese máxima de folhas, o coeficiente angular pela eficiência de utilização de luz e a variável de entrada é a irradiância fotossinteticamente ativa absorvida $[k(1 - \sigma)PAR]$, conforme a equação 3:

$$F_{sol} = F_{max} \{1 - \exp[-Q_e \cdot k(1 - \sigma)PAR / F_{max}]\} \quad (eq.3)$$

onde: F_{max} = fotossíntese de folhas individuais (μg de CO₂ m⁻²s⁻¹); Q_e = eficiência de utilização de luz (μg de CO₂ m⁻² s⁻¹/J m⁻² s⁻¹); PAR = radiação fotossinteticamente ativa (J m⁻² 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 4:

$$PAR_{somb} = \sigma \cdot PAR [1 - \exp(-k \cdot IAF_{somb})] / IAF_{somb} \quad (eq.4)$$

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:

$$F_{somb} = F_{max} [1 - \exp(-Q_e \cdot PAR_{somb} / F_{max})] \quad (eq.5)$$

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 6):

$$F_{\text{dos}} = F_{\text{sol}} * \text{IAF}_{\text{sol}} + F_{\text{somb}} * \text{IAF}_{\text{somb}} \quad (\text{eq.6})$$

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

A partir dessas simulações, foram estimadas as taxas fotossintéticas dos dosséis. Assumiu-se que Q_e para espécies de metabolismo C_4 é de aproximadamente 0,07, independentemente da temperatura ambiente e do regime de luz em que as plantas se desenvolvem (HAY; WALKER, 1989; BOOTE; LOOMIS, 1991 e MORENO, 2004). Também foi assumido um valor de 20% para o coeficiente de reflexão e transmissão de luz no interior do dossel (BOOTE; LOOMIS, 1991). O coeficiente de extinção de luz (k) foi calculado pela fórmula $k = - [\log_e (I/I_0)]/\text{IAF}$, com I e I_0 correspondendo aos valores de irradiância abaixo e acima do dossel, respectivamente.

5.2.6 Medições de altura

As medições de altura foram realizadas nos mesmos dias em que foram feitas as medidas de IL, IAF e ANG, tomando-se 16 leituras de altura por subparcela usando régua e transparência. A média entre esses valores foi considerada a altura média de cada subparcela.

5.2.7 Análise dos dados

Os dados foram analisados utilizando o método de modelos mistos por meio do procedimento MIXED do software SAS (LITTELL et al., 2006). Na escolha da matriz de covariância utilizou-se o critério de informação de Akaike (WOLFINGER; OCONNELL, 1993). Os efeitos de genótipo, altura de corte, época do ano e suas interações foram consideradas como efeitos fixos (LITTELL et al., 2006). As médias dos tratamentos foram estimadas através do “LSMEANS” e a comparação entre elas foi realizada por meio da probabilidade da diferença (“PDIFF”) ajustada para o teste de “Tukey” e um nível de 5% probabilidade. Os ajustes dos modelos não lineares foram feitos usando o procedimento NLIN e correlações entre altura e IL foram feitas usando o procedimento CORR do software SAS.

O seguinte modelo foi utilizado para análise dos dados:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + G_j + \gamma_{ij} + A_k + (GA)_{jk} + \partial_{ijk} + E_l + (GE)_{jl} + (AE)_{kl} + (GAE)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

Y_{ijkl} = valor observado no i -ésimo bloco do j -ésimo genótipo da k -ésima altura de corte do l -ésima estação do ano;

μ = média geral;

B_i = efeito aleatório associado ao i -ésimo bloco, $i = 1, \dots, 4$;

G_j = efeito fixo associado ao j -ésimo genótipo, $j = 1, \dots, 5$;

γ_{ij} = efeito aleatório associado ao i -ésimo bloco do j -ésimo genótipo, assumindo $\gamma_{ij} \sim N(0, I\sigma_\gamma^2)$, sendo que $I\sigma_\gamma^2$ é a matriz identidade de variância e covariância, pois se assume independência dos resíduos;

A_k = efeito fixo associado a k -ésima altura de corte, $k = 1, 2$;

$(GA)_{jk}$ = efeito da interação do j -ésimo genótipo com a k -ésima altura de corte;

∂_{ijk} = efeito aleatório associado ao i -ésimo bloco do j -ésimo genótipo na k -ésima altura de corte, assumindo $\gamma_{ij} \sim N(0, I\sigma_\gamma^2)$, sendo que $I\sigma_\gamma^2$ é a matriz identidade de variância e covariância, pois se assume independência dos resíduos;

E_l = efeito fixo associado a l -ésima estação do ano, $l = 1, 2$;

$(GE)_{jl}$ = efeito da interação do j -ésimo genótipo com a l -ésima estação do ano;

$(AE)_{kl}$ = efeito da interação da k -ésima altura de corte com a l -ésima estação do ano;

$(GAE)_{jkl}$ = efeito da interação do j -ésimo genótipo com a k -ésima altura de corte na l -ésima estação do ano;

ε_{ijkl} = erro aleatório associado ao i -ésimo bloco no j -ésimo genótipo na k -ésima altura de corte na l -ésima estação do ano, assumindo que $\varepsilon_{ijkl} \sim N(0, I\sigma_\varepsilon^2)$, sendo que $I\sigma_\varepsilon^2$ é a matriz de variância e covariância, pois se assume dependência dos erros;

5.3 Resultados

5.3.1 Fotossíntese de folhas individuais

Fotossíntese foliar

A taxa de fotossíntese foliar sofreu efeito da interação entre altura de corte x genótipo ($P=0,0554$) e da altura de corte x estação do ano ($P=0,0264$). A taxa de fotossíntese foliar foi maior nas subparcelas cortadas a 7,5 cm de altura. Apenas o capim Xaraés apresentou as mesmas taxas de fotossíntese foliar nas duas alturas de corte. Não houve variação na taxa de fotossíntese foliar entre os genótipos nas mesmas alturas de corte (Tabela 2). No verão agrostológico as taxas de fotossíntese foliar foram 30% maiores que as do inverno nos dois regimes de corte. O regime de corte de 7,5 cm apresentou maior taxa de fotossíntese foliar, sendo 10% maior que no regime de corte de 15 cm de altura (Tabela 3).

Tabela 2 - Fotossíntese foliar de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Altura de corte	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -----					
15 cm	25,0 Ab (0,88)	24,4 Ab (0,87)	25,1 Ab (0,87)	25,4 Ab (0,87)	26,8 Aa (0,88)	25,3 (0,71)
7,5 cm	28,1 Aa (0,87)	28,2 Aa (0,87)	27,5 Aa (0,88)	27,7 Aa (0,88)	27,1 Aa (0,87)	27,7 (0,71)
Média	26,5 (0,79)	26,3 (0,78)	26,3 (0,78)	26,6 (0,79)	27,0 (0,79)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre alturas de corte para o mesmo genótipo ($P<0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P<0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 3 - Fotossíntese foliar em pastos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológico sob duas alturas de corte

Altura de Corte	Estação		Média
	Verão	Inverno	
	-- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ --		
15cm	30,1 Ab (0,87)	20,6 Bb (0,95)	25,3 (0,71)
7,5cm	33,2 Aa (0,89)	22,2 Ba (0,92)	27,7 (0,71)
Média	31,7 (0,87)	21,4 (0,89)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre altura de corte para a mesma estação ($P<0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre estações na mesma altura de corte ($P<0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Concentração intercelular de CO₂ (Ci)

A concentração intercelular de carbono (Ci) sofreu efeito apenas da estação do ano ($P < 0,0001$). Entre estações, o verão apresentou maior Ci, com $175,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, enquanto no inverno a Ci foi de $112,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, sendo essa redução de 30% na concentração intercelular de carbono equivalente a redução da fotossíntese foliar entre estações.

Condutividade estomática

A condutividade estomática sofreu efeito da interação entre altura de corte x genótipo ($P = 0,0304$) e genótipo x estação do ano ($P = 0,0512$). Apenas os capins Arapoty e Basilisk tiveram condutividade estomática maior quando cortadas a 7,5 cm de altura. Entre os capins, na mesma altura de corte, não houve variação na condutividade estomática (Tabela 4). Porém, houve diferença na condutividade estomática entre estações, sendo que no inverno agrostológico a condutividade foi 40% menor que no verão. No inverno, a condutividade estomática foi mais estável entre os genótipos enquanto no verão os capins Capiporã, Marandu e Xaraés apresentaram maior condutividade estomática (Tabela 5).

Tabela 4 - Condutividade estomática de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Altura de corte	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹ -----					
15 cm	0,22 Ab (0,03)	0,23 Ab (0,03)	0,27 Aa (0,03)	0,32 Aa (0,03)	0,29 Aa (0,03)	0,27 (0,01)
7,5 cm	0,34 Aa (0,03)	0,36 Aa (0,03)	0,28 Aa (0,03)	0,35 Aa (0,03)	0,30 Aa (0,03)	0,32 (0,01)
Média	0,28 (0,02)	0,29 (0,02)	0,27 (0,02)	0,33 (0,02)	0,30 (0,02)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre alturas de corte para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 5 - Condutividade estomática de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. no verão e inverno agrostológico

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹ -----					
Verão	0,36 Ba (0,04)	0,41 Ba (0,04)	0,44 ABa (0,04)	0,52 Aa (0,04)	0,42 ABa (0,04)	0,43 (0,02)
Inverno	0,20 Ab (0,04)	0,18 Ab (0,04)	0,11 Ab (0,04)	0,15 Ab (0,04)	0,17 Ab (0,04)	0,16 (0,02)
Média	0,28 (0,02)	0,29 (0,02)	0,27 (0,02)	0,33 (0,02)	0,30 (0,02)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Taxa de transpiração

A taxa de transpiração foliar sofreu efeito da interação entre altura de corte x genótipo ($P=0,0189$) e genótipo x estação do ano ($P=0,0533$; Tabela 7). Assim como a condutividade estomática, apenas os capins Arapoty e Basilisk tiveram condutividade estomática maior quando cortadas a 7,5 cm. Entre os capins, na mesma altura de corte, não houve variação na condutividade estomática (Tabela 6). Porém, houve diferença na condutividade estomática entre as estações, sendo que no inverno agrostológico a condutividade foi 44% menor que no verão. No inverno, a condutividade estomática foi mais estável entre os genótipos enquanto no verão os capins Basilisk, Capiporã e Marandu apresentaram maior condutividade estomática (Tabela 7).

Tabela 6 - Taxa de transpiração de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Altura de corte	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹ -----					
15 cm	4,6 Ab (0,44)	4,72 Ab (0,44)	5,47 Ab (0,44)	5,58 Aa (0,44)	4,98 Aa (0,44)	5,0 (0,40)
7,5 cm	5,9 Aa (0,44)	5,86 Aa (0,44)	6,02 Aa (0,44)	5,95 Aa (0,44)	5,23 Aa (0,44)	5,7 (0,40)
Média	5,2 (0,42)	5,2 (0,42)	5,7 (0,42)	5,7 (0,42)	5,1 (0,42)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre alturas de corte para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma altura de corte ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 7 - Taxa de transpiração de cinco genótipos de *Brachiaria* spp no verão e inverno agrostológico

Estação	Genótipo					Média
	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés	
	----- mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹ -----					
Verão	6,7 Ba (0,57)	7,2 ABa (0,57)	8,4 Aa (0,57)	8,2 Aa (0,57)	6,2 Ba (0,57)	7,5 (0,49)
Inverno	3,7 Ab (0,57)	3,3 Ab (0,57)	3,0 Ab (0,57)	3,3 Ab (0,57)	3,2 Ab (0,57)	3,3 (0,49)
Média	5,2 (0,42)	5,2 (0,42)	5,7 (0,42)	5,7 (0,42)	5,1 (0,42)	

Letras minúsculas na coluna comparam médias entre estações para o mesmo genótipo ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam médias entre genótipos na mesma estação ($P < 0,05$).

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Em função dos dados obtidos com as medições da taxa de fotossíntese foliar, foi possível gerar equações de regressão que permitem simular a fotossíntese foliar em função da temperatura do ar (Figura 7).

Figura 7 - Fotossíntese foliar média de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. em função da temperatura do ar, colhidas a 15 cm (A) e a 7,5 cm de altura (B)

5.3.2 Fotossíntese de dossel

A fotossíntese de dossel variou apenas em função da estação do ano ($P = 0,0002$). O verão apresentou maior fotossíntese de dossel com $48,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, enquanto no inverno a fotossíntese de dossel foi de $36,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$. Essa variação corresponde a uma redução de 25% na fotossíntese de dossel as entre estações, equivalente a redução média da fotossíntese foliar.

5.3.3 Relações Luminosas

As variações que ocorreram nas taxas fotossintéticas de folhas individuais são respostas diretas da quantidade e qualidade da luz que penetra no dossel. Partindo da premissa de que mudanças na intensidade de desfolhação resultam na reestruturação do dossel, é possível dizer que essa nova estrutura altera as relações luminosas dentro do dossel. Para tanto, foram feitas regressões entre a interceptação luminosa e a altura dos dosséis com o objetivo de encontrar um guia de manejo prático, baseado nos processos fisiológicos dessas plantas (Figura 8). As variações entre altura, interceptação luminosa e ângulos foliares, também foram ilustrados para os cinco genótipos dentro de cada altura de corte ao longo do período experimental (Figura 9).

Figura 8 - Variação na interceptação luminosa em função da altura do dossel para cinco genótipos de *Brachiaria* spp. cortados a 15 e 7,5 cm do nível do solo

Figura 9 - Variação na Altura, interceptação de luz e ângulos foliares de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. cortados a 15 e 7,5 cm de altura no último dia de cada ciclo de rebrotação do experimento

Tabela 8 - Altura do dossel de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. a 95% de IL

	Arapoty	Basilisk	Capiporã	Marandu	Xaraés
Altura pós desfolhação	----- cm -----				
15 cm	34,5	34,5	37,2	28,3	34,7
7,5 cm	28,8	28,8	29,4	22,1	26,9
Diferença (cm)	5,7	5,7	7,8	6,2	7,8

5.4 Discussão

A altura de colheita afetou o padrão de assimilação de carbono nas folhas individuais dos genótipos de *Brachiaria* (Tabela 2). Apenas o capim Xaraés manteve o mesmo padrão fotossintético sob as duas alturas de corte. A taxa fotossintética média da folha mais jovem completamente expandida foi cerca de 10% maior nas subparcelas cortadas a 7,5 cm, provavelmente, resultado de mudanças na estrutura do dossel, alterando a disponibilidade de luz e a dinâmica dos processos fotossintéticos.

Peng et al., (2007), trabalhando com quatro espécies forrageiras (*Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn, *Artemisia frigida* Willd. e *Potentilla acaulis*) em pastos sob lotação contínua, encontraram aumento na taxa fotossintética líquida da folha mais nova completamente expandida à medida que se aumentava a intensidade de desfolhação. Woledge (1978) reportou maiores valores de fotossíntese foliar em dosséis mais baixos, estudando o efeito do sombreamento causado pela própria comunidade de perfilhos sobre a assimilação de carbono. Nesse caso, as taxas de fotossíntese de sucessivas folhas mais jovens completamente expandidas decresciam com o tempo de rebrotação em dosséis com auto-sombreamento, enquanto que perfilhos não sombreados continuavam a produzir folhas com alta capacidade fotossintética. Moreno (2004); Lara (2007); Pedreira e Pedreira (2007); em experimentos com capins do gênero *Panicum* e *Brachiaria* corroboraram os dados de Woledge (1978), reportando padrão similar de resposta e constatando que a fotossíntese foliar no final dos períodos de rebrotação diminuía com o aumento da IL devido à baixa disponibilidade de radiação dentro do dossel.

A idade dos perfilhos tem grande influência sobre a capacidade fotossintética das folhas. Carvalho (2002) avaliou dois genótipos de *Panicum maximum* Jacq. (Tanzânia e Mombaça) submetidos a alturas de corte de 10, 20 e 40 cm em casa de vegetação e mediu a fotossíntese na folha mais jovem completamente expandida de perfilhos de diferentes idades. Maiores taxas

fotossintéticas foram medidas nos perfilhos “jovens” e “maduros” em relação à perfilhos “velhos” (15,8, 15,8 e 12,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente). Como os dosséis colhidos a 7,5 cm apresentaram maior renovação de perfilhos e rápida dinâmica de crescimento após os cortes (Capítulo 4), pode-se afirmar que, nessas condições, o dossel era efetivamente mais jovem.

Dentro das estações foi mantida a mesma diferença de 10% na taxa de fotossíntese foliar entre os regimes de corte, sendo que a forragem cortada a 7,5 cm sempre apresentou as maiores taxas. Porém, entre estações, a redução da fotossíntese foliar do verão para o inverno foi maior, cerca de 30% (Tabela 3). Apesar da diferença nas taxas fotossintéticas entre as estações ser de apenas 30% do verão para o inverno, a diferença no acúmulo de forragem foi muito maior entre essas estações (cerca de 70% - Capítulo 3) enfatizando 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 traduz 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. Bélanger et al., (1994) afirmaram que a eficiência do uso da radiação é maior no verão, e que diferenças na eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em assimilados auxiliam na explicação das variações sazonais de acúmulo de forragem. Assim o carbono assimilado no verão é fixado mais eficientemente que o carbono assimilado no inverno (PARSONS; ROBSON, 1982) e os mesmos agentes causadores de reduções na produção de forragem como os baixos índices de radiação, umidade e temperatura, afetam de forma similar as taxas de fotossíntese foliar.

Folhas individuais apresentam grande variação em sua capacidade fotossintética, a qual é determinada por vários fatores como quantidade de radiação solar incidente, temperatura, suprimento de água e, principalmente, o estágio de desenvolvimento da folha (ZELITCH, 1982; BRAGA et al., 2002) o que faz com que a variação de tais fatores dentro do dossel forrageiro resulte em taxas de fotossíntese foliar que não representam a assimilação da comunidade de plantas. Variações na morfologia e na disposição das folhas das plantas afetam outras características ligadas à produção, além da distribuição de luz no dossel e da fotossíntese. A circulação de ar afeta os processos de transferência de CO_2 e a evapotranspiração, que são fortemente dependentes do micro clima do dossel devido à sua arquitetura (LOOMIS; WILLIAMS, 1969).

Embora as taxas de fotossíntese de dossel possam ser estimadas a partir de taxas de fotossíntese foliar líquida, grandes quantidades do carbono podem ser perdidas devido à respiração noturna, mesmo quando a assimilação líquida de carbono durante o dia é elevada (ZELITCH, 1982). Parsons et al. (1983) registraram que dosséis mantidos com IAF mais alto sob pastejo apresentaram fotossíntese bruta mais alta acompanhada de taxa de respiração também mais alta, o que resultou em uma proporção significativa de fotoassimilados perdidos por respiração. Dessa forma, Parsons et al., (1983) registraram que a principal diferença existente entre dosséis pastejados em diferentes alturas está na eficiência de utilização da forragem, que é maior na condição de pastejo mais intenso. No pastejo mais leniente, proporções maiores de carbono assimilado são perdidas com a respiração e com a morte de tecidos devido à pequena proporção de folhas colhida.

No presente estudo, as taxas de fotossíntese do dossel simuladas pelo modelo de Boote e Jones (1987) não diferiram entre genótipos e alturas de corte, mas foram distintas entre estações. Segundo Tappeiner e Cernusca (1998), na ausência de condições ambientais limitantes (e.g. dias claros, ausência de estresses hídricos e nutrientes minerais) a fotossíntese líquida de dossel é determinada pela habilidade do estande em interceptar luz e por sua eficiência em utilizar a luz captada no processo fotossintético, sendo essa habilidade controlada por propriedades estruturais do dossel (distribuição vertical da área foliar, densidade, distribuição espacial e orientação das partes da planta).

Moreno (2004) e Lara (2007) também registraram para capins do gênero *Panicum* e *Brachiaria* colhidos mecanicamente, relação linear de taxas de fotossíntese de dossel com IAF ($r = 0,89$ e $0,73$; $P < 0,0001$) e IL ($r = 0,70$ e $0,77$; $P < 0,0001$), respectivamente. No presente estudo, as taxas de fotossíntese de dossel no verão foram próximas daquelas medidas por Pedreira e Pedreira (2007) para capim Xaraés (média de $45 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em condição de pré-pastejo). Segundo esses autores, o manejo mais adequado das plantas forrageiras deve priorizar a otimização do uso da luz pelo dossel, resultando em altas taxas fotossintéticas.

A maior concentração intercelular de carbono (C_i) no verão agrostológico suporta a idéia de que as condições climáticas nessa estação são favoráveis a assimilação de carbono. Todavia, quanto maior a atividade metabólica de um tecido, maior a sua taxa respiratória. Gemas em desenvolvimento geralmente têm taxas de respiração maiores (por unidade de massa seca), e as taxas de respiração de tecidos vegetativos geralmente decrescem a partir do ponto de crescimento

para as regiões mais diferenciadas (TAIZ; ZEIGER, 2004). Assim, o efeito da temperatura nas taxas de respiração está relacionado ao aumento da atividade metabólica das plantas. A respiração tipicamente aumenta com a temperatura. Entre 0 e 30 °C, a taxa respiratória dobra para cada 10 °C aumentados na temperatura ambiente. Acima de 30 °C, a taxa respiratória tende a aumentar mais lentamente, atingindo um platô entre 40 e 50 °C e decrescendo em temperaturas mais altas.

Outro fator importante na distinção da capacidade fotossintética entre dosséis contrastantes é a condutividade estomática. No presente estudo a condutividade estomática não variou entre os genótipos na mesma altura de corte, porém para os genótipos Arapoty e Basilisk, o corte de 7,5 cm resultou em maiores taxas de trocas gasosas (Tabela 4). A transpiração também seguiu o mesmo padrão de resposta da condutividade estomática, sendo as perdas de água maior nos capins Arapoty e Basilisk (Tabela 6). Entre estações as respostas de condutividade estomática e transpiração também foram semelhantes entre os cinco genótipos (Tabela 5 e 7) o que é consistente com o fato de que a temperatura do ar no verão é responsável por grandes perdas de água para a atmosfera e que o suprimento de água no solo deve ser suficiente para otimizar o crescimento dessas plantas nesse período.

É frequentemente difícil gerar bons dados de fotossíntese foliar em condições de campo, pois isso depende de instrumentação cara e de operador treinado. Em virtude dos genótipos estudados terem apresentado taxas de fotossíntese foliar semelhantes sob os mesmos regimes de corte, foi possível gerar uma equação de estimativa da fotossíntese foliar baseada na temperatura do ar (Figura 7).

Em termos de relações luminosas, o arranjo espacial da folhagem é importante para determinar a eficiência de interceptação 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 CO₂ entre plantas e o ambiente, e também a evapotranspiração. Isso torna a arquitetura do dossel um elemento importante na determinação dos padrões de interceptação luminosa. Pequenas diferenças na altura do dossel podem ter grandes efeitos na competição por luz, pois variações mínimas em altura já são suficiente para uma folha sobrepor-se à outra (Loomis e Williams, 1969) alterando os padrões de interceptação de luz no dossel.

Pedreira (2006), trabalhando com capim Xaraés sob pastejo cuja entrada dos animais nos piquetes era determinada pela IL (95 ou 100%) ou quando 28 dias se passavam do pastejo anterior, encontrou uma boa correlação entre altura e IL durante o verão ($r = 0,79$), porém foi gerada apenas uma única curva de regressão para todos os tratamentos. O mesmo tem sido feito em trabalhos com outros capins como Carnevalli (2003), Souza Jr. (2009), mas Braga et al. (2006), trabalhando com Marandu sob lotação contínua, sugeriram que as relações entre IL e altura podem mudar ao longo das estações, 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).

A altura de corte não afetou a IL do dossel no final dos ciclos de rebrotação durante grande parte do ano (Figura 9), mas os dosséis cortados a 7,5 cm apresentaram incrementos em altura similares as das subparcelas cortadas a 15 cm. Assim, a diferença de 7,5 cm existente entre os dois regimes de corte foi preservada durante a rebrotação sendo praticamente a mesma no final dos ciclos de rebrotação. Os menores ângulos foliares em conjunto com a maior densidade populacional de perfilhos garantiram que a luz interceptada pelo dossel colhido mais baixo, alcançasse os mesmos valores de IL dos pastos colhidos mais altos, porém numa altura menor. Esse padrão de resposta também pode ser atribuído à densidade volumétrica (Capítulo 3), onde nas subparcelas cortadas a 7,5 cm havia, em média, 24% mais forragem por unidade de volume no estrato colhível. Apesar de ter havido correlações positivas entre altura e IL ($r = 0,71$ e $0,75$ nos dosséis colhidos a 15 e 7,5 cm respectivamente), elas não podem ser expressas por meio de uma única equação de regressão. A Figura 8, mostra que ocorre a IL é pouco variável dentro de uma mesma faixa de altura e vice-versa. Dessa forma, a relação direta, pontual entre altura e IL não expressa as variações estruturais que acontecem no dossel quando este é mantido sob diferentes manejos e tampouco refletem as mudanças na estrutura do dossel entre as estações.

Ao nível de 95% de IL, A diferença existente entre as alturas dos dosséis nos dois regimes de corte (Tabela 8) corresponde a cerca de 20% da altura total do dossel no manejo de corte de 15 cm, e cerca de 25% da altura total do dossel no manejo de corte de 7,5 cm. A magnitude da variação na altura do dossel entre os dois manejos de corte quando ambos os dosséis se encontram na mesma IL, mostra que determinar a entrada dos animais nos pastos com base na relação entre IL e altura do dossel com o uso de regressões generalistas, pode gerar erros no

manejo, colhendo-se a forragem antes ou depois do IAF crítico dependendo do manejo empregado no pasto e da estação do ano.

Esses resultados mostram que variações estruturais ocorrem no dossel devido ao manejo aplicado e à estação do ano. Para que a IL possa ter utilidade prática como guia de manejo traduzido para uma característica facilmente mensurável (altura), é necessário um melhor entendimento de como a estrutura do dossel varia ao longo do ano e quais as causas dessa variação. O maior acúmulo de forragem encontrado entre as duas alturas de corte na primavera é resposta do manejo aplicado aos capins durante o inverno (Capítulo 3), e o resíduo tem um papel muito importante nas relações luminosas dentro do dossel.

5.5 Conclusões

A altura de colheita da forragem modifica a assimilação de carbono pelas folhas mais jovens completamente expandidas em dosséis de *Brachiaria*. Altura de dossel maior resulta na diminuição na taxa de fotossíntese da folha mais jovem completamente expandida, porém aumenta a taxa de fotossíntese de dossel devido o maior IAF. Pastos colhidos em diferentes alturas podem assimilar a mesma quantidade líquida de carbono por meio de compensações entre área foliar e taxa de fotossíntese de folhas individuais.

Variações nas alturas de corte geram diferentes padrões de resposta das plantas forrageiras no mesmo ambiente luminoso. A mudança na estrutura do dossel permite que a mesma interceptação de luz seja atingida em alturas diferentes e vice-versa. A escolha dos modelos que representem as relações entre IL e altura deve ter fundamento biológico e ser compatíveis com o manejo empregado na pastagem, evitando generalizações.

Referências

- BÉLANGER, G.; GASTAL, F.; WAREMBOURG, F.R. Carbon balance of tall fescue (*Festuca arundinaceae* Schreb.): Effects of nitrogen fertilization and growing season. **Annals of Botany**, v.74; p.653-659, 1994.
- 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.
- BRAGA, G.J.; PEDREIRA, C.G.S.;HERLING, V.R., LUZ, P.H.C., LIMA, C.G. Sward structure and herbage yield of rotationally stocked pastures of 'Marandu' palisadegrass [*Brachiaria brizantha* (A.Rich.) Stapf] as affected by herbage allowance. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, 121-129, 2006.
- 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 In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 39., 2002. Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. 1 CD ROM.
- 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.
- 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.
- CARVALHO, D.D. **Leaf morphogenesis and tillering behaviour in single plants and simulated swards of Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) cultivars**. 2002. 180p. Thesis (Ph.D.) -Massey University, Palmerston North, 2002.
- 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.
- DA SILVA, S.C.; PEDREIRA; C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 3.,1997. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1997. p.1-62.

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

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

JOHNSON, I.R.; PARSONS, A.J.; LUDLOW, M.M. Modeling photosynthesis in monocultures and mixtures. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 16, p. 501-516, 1989.

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

LEMAIRE, G.; CHAPMAN D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J. ; ILLIUS, A.W (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford (UK): 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.

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.

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.

PARSONS, A.J.; ROBSON, M.J. Seasonal changes in physiology of S24 perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) Comparison of the carbon balance of reproductive crop in spring and vegetative crop in autumn. **Annals of Botany**, London, v.50, p.167-177, 1982.

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.

PARSONS, A.J.; LEAFE, E.L.; COLLETT, B.; STILES, W. The physiology of grass production under grazing. I. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously-grazed swards. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.20, p.117-126, 1983.

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 em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; DA SILVA, S.C. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.281-287, 2007.

PENG, Y.; JIANG, G.M.; LIU, X.H.; NIU, S.L.; LIU, M.Z.; BISWAS, D.K. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of four plant species with grazing intensities in Hunshandak Sandland, China. **Journal of Arid Environments**, London, v.70, p.304–315, 2007.

RYMPH, S.J. **Modeling growth and composition of perennial tropical forage grasses**. 2004. 316 p. Dissertation (Doctor of Philosophy). University of Florida, Gainesville, 2004.

SOUSA JUNIOR, S.J. **Estrutura do dosse, linterceptação de luz e acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu submetidos a estratégia de pastejo rotativo por bovinos de corte**. 2007. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

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

TAPPEINER, U.; CERNUSCA, A. Model simulation of spatial distribution of photosynthesis in structurally differing plant communities in the Central Caucasus. **Ecological Modelling**, Amsterdam, n.113, p. 201–223, 1998.

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.

WELLES, J. M.; NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n.5, p.818-825, 1991.
WOLEDGE, J. The effect of shading during vegetative and reproductive growth on the photosynthetic capacity of leaves in a grass sward. **Annals of Botany**, Oxford, v. 42, p. 1085-1089, 1978

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

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

6 MODELOS DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE CINCO GENÓTIPOS DE *Brachiaria* spp. BASEADOS EM VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Resumo

A procura por novas ferramentas que auxiliem no gerenciamento da propriedade pecuária tem possibilitado o desenvolvimento de artifícios computacionais cada vez melhores. Atualmente, modelos que simulam o crescimento de culturas e contemplam um conjunto de processos fisiológicos estão se tornando instrumentos importantes na pesquisa estudando principalmente os efeitos do clima sobre o potencial produtivo das culturas, e isso pode abrir novas oportunidades de estudo com espécies forrageiras. Nesse sentido um experimento foi conduzido no departamento de zootecnia da USP-ESALQ em Piracicaba-SP com o objetivo de gerar modelos simples de predição de produção de forragem baseados em temperatura e fotoperíodo. Foram estudados cinco genótipos de *Brachiaria* spp. (Arapoty, Basilisk, Capiporã, Marandu e Xaraés) colhidos mecanicamente a 15 e 7,5 cm durante o verão e inverno agrostológicos. As unidades experimentais (parcelas de 9 x 4 m) foram irrigadas e adubadas com o equivalente a 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O. O delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições num esquema de parcelas sub-duvidadas. Acompanhou-se o crescimento da forragem ao longo de dos ciclos, um no auge do verão e outro no auge do inverno para obtenção dos dados de acúmulo de forragem nos períodos de maior e menor energia. A temperatura base inferior (T_{Bi}) dos cinco genótipos variou de 10,7 a 11,1 °C. Os modelos de graus-dia (GD) e unidades fototérmicas (UF) ajustaram-se bem aos dados de acúmulo de forragem, mas não foi possível identificar modelos que fossem bons preditores da produção tanto no verão como no inverno. Os modelos de GD tiveram melhor correlação com o acúmulo de forragem do que os modelos de UF. A proposta de uma nova forma de calcular o acúmulo fototérmico durante a rebrotação baseada no cálculo tradicional da UF (Unidade fototérmica modificada) permitiu melhor ajustamento do modelo de produção de forragem ao longo do ano, obtendo melhor correlação com o acúmulo de forragem do que a forma tradicional de cálculo da UF.

Palavras-chave: Clima; Modelagem; Gramíneas tropicais; Simulação; Temperatura Base

Abstract

The search for new tools that are useful in managing the forage-livestock enterprise has contributed to the development of ever-improved computational resources. Currently, models that simulate crop development and address the various physiological processes of crops are becoming important research tools for studying the effects of climate on the productive potential of agricultural species, and this can open new opportunities in forage research. An experiment was conducted at the Departamento de Zootecnia at USP-ESALQ, in Piracicaba, São Paulo, Brazil, in order to generate simple models for predicting forage production based on temperature and photoperiod. Were studied five genotypes of *Brachiaria* spp. Grasses (Arapoty, Basilisk, Capiporã, Marandu Xaraés) harvested at 15 and 7.5 cm during the summer and winter. The experimental units (9 x 4 m plots) were irrigated and fertilized with the equivalent to 220 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of N and K₂O. A randomized complete block design with four replications in a split-plot layout was used. One growth cycle in the summer and one in the winter were monitored to describe accumulation curves for each season. The lower base temperature (LBI) ranged from 10.7 to 11.1 °C. The growing degree-days (GDD) and photothermal unit (PU) models fit well to the accumulation curve data of the genotypes, but no single model was a good predictor of forage production both in summer and winter. GDD models had the best correlation with herbage accumulation than models of PU. The proposal for a new way to calculate the photothermal accumulation during regrowth based on the traditional calculation of PU (modified photothermal unit) allowed better adjustment of the model of forage production throughout the year, obtaining the best correlation with herbage accumulation than traditional way of PU calculation.

Keywords: Weather; Modeling; tropical grasses; Simulation; Base temperature

6.1 Introdução

A 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 do ano e nas localidades. Assim, é necessário o desenvolvimento ou utilização de outro parâmetro base para que a produção possa ser previsível entre cultivares, localidades e estações do ano. Isso facilitaria o planejamento da atividade pecuária baseada em pastagens e racionalizaria o processo produtivo como um todo. Existem algumas evidências que a maior produção de forragem das pastagens tropicais não acontece nos meses mais quentes do ano (PEDREIRA; MATTOS, 1981), mesmo sob irrigação (GHELFI FILHO, 1972), sugerindo que outros fatores além da temperatura também atuam no processo de produção. Modelos que integrem os fatores que regem a produção são potencialmente úteis para que as previsões sejam exatas.

Além dos modelos baseado em tempo (dias) e soma térmica (acúmulo de temperatura), existem outros modelos que integram, além da temperatura, os efeitos os efeitos fotoperíodo na mesma equação como é o caso da unidade fototérmica (UF) (VILLA NOVA et al., 1983). Em trabalho relacionando a produção de forragem e a quantidade de UFs acumuladas usando os dados obtidos por Ghelfi Filho (1972) com capim-elefante cv. napier (*Pennisetum purpureum* Schum.), Villa nova et al., (1999) obtiveram um modelo com $R^2 = 0,97$. Posteriormente, outros trabalhos semelhantes obtiveram resultados satisfatórios como o de Moreno et al. (2000), utilizando dados de grama estrela cv. Florico (*Cynodon nlemfuënsis* Vandyerst var. *nlemfuënsis*) em Piracicaba, por Medeiros et al. (2001) para capins do gênero *Cynodon* em Jaboticabal e Piracicaba e Lara (2007) com *Brachiarias*.

A questão de estacionalidade da produção de forragem para os sistemas de produção animal baseados em pastagens tem sido bastante estudada. Uma abordagem comum é aquela em que se procura minimizar os efeitos não controláveis do ambiente, como fotoperíodo e temperatura, prevendo com antecedência a capacidade produtiva das pastagens e usando de artifícios como a irrigação e a adubação para maximizar o aproveitamento das condições ótimas do período quente e chuvoso, evitando os veranicos e prolongando a estação de crescimento. Assim, o uso de modelos em tomadas de decisão nesse ambiente pode dar condições para os pecuaristas e manejadores traçarem estratégias de uso desses recursos para que, por exemplo, as

rebrotações iniciem mais cedo na primavera e/ou encerrem mais tarde no outono, tornando as variações estacionais menos acentuadas e menos problemáticas ao longo dos anos. O objetivo deste trabalho foi de gerar modelos que descrevessem o acúmulo de forragem de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. baseados em variáveis climáticas.

6.2 Material e Métodos

6.2.1 Local do experimento

O estudo foi conduzido 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, 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 de coleta de dados foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ, distante cerca de 1 km da área experimental.

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. O manejo da irrigação foi baseado no monitoramento das condições hídricas do solo por meio de quatro tensiômetros instalados na área experimental a 30 cm de profundidade. Sempre que os tensiômetros registravam valores médios de potencial hídrico no solo entre -0,30 e -0,40 kPa procedia-se a irrigação. O tempo de irrigação foi controlado com a finalidade de que lâmina de água aplicada não ultrapassasse a velocidade de infiltração básica do solo, evitando escoamento superficial. A irrigação também foi realizada após cada adubação (6 mm de lâmina de água, sempre após os cortes), com o intuito de maximizar a eficiência do adubo aplicado.

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). As adubações foram realizadas manualmente logo após os cortes, aplicando no ano um total de 20 kg ha⁻¹ de N e K₂O, utilizando como adubo, sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄ (22 % de N e 18 % de S) e cloreto de potássio, KCl (65 % K₂O). Foram realizados 11 ciclos de rebrotação totalizando a aplicação de 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O.

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/dm ³						
5,9	42	20	4,0	54	16	28	74	102	73

*P Resina. SB=soma de bases. T=CTC total. V%=saturação por bases.

Os dados climatológicos foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ (Figura 1). O Balanço hídrico foi calculado com base nos dados coletados na estação experimental e dados da lâmina de água aplicada no campo (Figura 2).

Figura 1 - Médias mensais de temperaturas máximas, médias e mínimas durante o período experimental comparados com dados médios coletados na estação meteorológica da USP-ESALQ de 1917

Figura 2 - Balanço hídrico (outubro de 2007 a outubro de 2008), sem irrigação e com irrigação

6.2.2 Delineamento experimental e manejo da colheita

Foram estudados cinco genótipos de *Brachiaria* spp., sendo quatro de *B. brizantha* (Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã) e um de *B. decumbens* (Basilisk), estabelecidas no verão de 2004-2005. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os cinco genótipos foram alocados à área, totalizando 20 parcelas, cada uma medindo 36m² (4m x 9m). Estas foram subdivididas longitudinalmente e por sorteio e cada metade foi submetida a uma altura de corte, 15 ou 7,5 cm (Figuras 3 A e B).

Figura 3 - Aspecto da área experimental no momento do estabelecimento das alturas de corte em maio de 2007 (A). Parcelas prontas para coleta de dados em outubro de 2007 (B)

Figura 4 - Vista da área experimental

Durante o período experimental, a forragem das parcelas foi cortada de acordo com o cronograma de colheita e a altura de cada subparcela. Para a geração dos modelos baseados em variáveis climáticas acompanhou-se o crescimento dos dosséis semanalmente em dois ciclos de rebrotação que foram selecionados de forma que representassem o verão e do inverno agrostológicos, sendo esses ciclos intitulados detalhamento de verão e inverno (Figura 5).

Figura 5 - Cronograma de colheita de forragem e seleção dos ciclos detalhados do experimento

6.2.3 Coleta de amostras no campo

Para compor os modelos de produção de forragem baseados em graus-dia (GD) e unidades fototérmicas (UF), foram acompanhados, com avaliações detalhadas, duas rebrotações em duas estações contrastantes (auge do verão e do inverno agrostológicos). Nessas ocasiões, durante quatro semanas no verão e seis semanas no inverno, foram coletadas amostras de forragem acumulada acima da altura do resíduo, que correspondeu a 0,5 m² (duas amostras de 0,25 x 1,0m) em cada subparcela, com o auxílio de molduras de metal e aparador de cerca-viva. Estas amostras foram pesadas no campo, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas a 20°C negativos para posterior separação morfológica (folha: colmo: material morto). Após a separação, cada fração foi colocada em sacos de papel e levadas à estufa de ventilação forçada a 60°C até peso constante. A soma desses componentes resultou na massa de forragem acumulada em cada momento da amostragem gerando a curva de acúmulo durante o ciclo de rebrotação.

Para que não houvesse a sobreposição de amostras na subparcela, as subparcelas foram divididas em nove seções imaginárias de mesmo tamanho. A demarcação foi feita com estacas de madeira dispostas a cada 90 cm nos corredores entre os blocos e foram usadas para o balizamento visual no momento da retirada das amostras (Figura 6 A e B).

Figura 6 - Retirada de amostras dentro da seção (A). Demarcação das seções das parcelas usadas no balizamento do corte das amostras (B)

6.2.4 Cálculo de unidades fototérmicas (UF) e graus-dia (GD)

Segundo Villa Nova et al., (1983) a unidade fototérmica é descrita pela equação:

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

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:

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

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

Onde $\overline{GD}$ é o grau-dia médio do período de n dias; $\overline{Tx}$ 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 $\overline{Tx}$ 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:

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

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

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

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

Onde N é 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).

Além dos modelos de produção baseados em variáveis climáticas gerados no verão e no inverno agrostológicos, foi possível gerar modelos com base na produção de anual de forragem. Para isso, foi usada a produção de forragem que ocorreu dentro de cada uma das quatro estações do ano (Capítulo 3). Cada estação do ano foi então subdividida em dois períodos (Início e final da estação), para os quais foram calculados os GDs e UFs acumuladas. Dessa forma, a produção total anual de forragem foi distribuída em oito períodos dentro do ano (Figura 7). Regressões foram geradas para cada genótipo em cada altura de corte.

Figura 7 - Variação anual no fotoperíodo (N) para a cidade de Piracicaba (Latitude $-22^{\circ} 43' 11''$ – Longitude $47^{\circ} 38' 57''$) e as subdivisões de cada estação usadas para o cálculo de GD e UF. N = Fotoperíodo. Nf = Fotoperíodo no final da estação. Ni = Fotoperíodo no início da estação

6.2.5 Análise dos dados

As TBis foram obtidas por meio de regressão linear simples (usando o PROC REG do SAS), relacionando a taxa média diária de acúmulo de forragem (TMA) de cada rebrotação e a temperatura média mínima do respectivo período (PEDRO Jr. et al., 1990). Resolvendo a equação $y = ax + b$ para $y = 0$, tem-se a temperatura média mínima em que a TMA é nula e, definindo-se esta como a temperatura base inferior. Foram realizadas análises de correlação entre variáveis climáticas e produtivas usando-se o procedimento CORR, do "software" estatístico SAS (SAS®, 2004). Para a geração dos modelos de crescimento com base no acúmulo anual de forragem, fez-se o uso de regressões exponenciais baseados nos GDs e UFs calculadas em cada período dentro das estações.

Os dados de acúmulo de forragem, em função do tempo em GD e UF, para os ciclos específicos de rebrotação de verão e inverno, foram ajustados para um modelo não-linear logístico (MORENO, 2004). Para o ajuste foi utilizado o procedimento NLIN (SAS®, 2004), sendo as estimativas dos parâmetros obtidas por meio de processo iterativo de *Gauss-Newton*, desenvolvido por Hartley (1961) para modelos não-lineares. O critério de convergência para as

estimativas foi considerado quando $(SQR_{j-1} - SQR_j) / (SQR_j + 10^{-6}) \leq 10^{-8}$, em que SQR_j é a soma de quadrado residual na j -ésima iteração. O modelo logístico apresenta a seguinte forma:

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

em que ' a ', representa a assíntota (valor máximo de Y), ' x_0 ' 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 ($\partial y / \partial x$) (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 $[(y_1 - y_0)/x]$. O valor de ' y ' corresponde à quantidade de forragem acumulada em kg MS ha⁻¹ e ' x ' à quantidade de graus dia (GD) e unidades fototérmicas (UF) acumuladas no período.

Para a comparação entre os modelos de GD e UF gerados foi usada a proposta de Schabenberger (2001), considerando-se, no modelo de análise, os efeitos de genótipo, estação e altura de corte. O primeiro modelo gerado é denominado modelo completo e considera diferentes conjuntos de estimativas de parâmetros (a , b e x_0) em função das combinações dos efeitos de cinco genótipos, duas estações do ano e duas alturas de corte ajustada pelo modelo logístico. Para este modelo de análise foram gerados 20 conjuntos de estimativas dos parâmetros (a , b e x_0). O segundo modelo é denominado modelo reduzido e considera que não existem diferenças no acúmulo de forragem entre os genótipos, ou alturas de corte, ou entre estações de crescimento, podendo ser então o acúmulo de forragem descrito por uma única curva de produção para cada situação.

Modelo Completo

$$Y_{ijk} = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x - x_0}{b}\right)}} + \varepsilon_{ijk}$$

O modelo completo apresenta $n = 3$ parâmetros, em que i identifica o genótipo ($i=1,2,...,5$), j identifica a estação do ano ($j=1, 2$) e k é o número de classes existentes para altura de corte ($k=1, 2$) e 3 é o número de parâmetros do modelo logístico utilizado.

Modelo Reduzido

Nessa situação, os modelos reduzidos podem ser descritos de três formas:

1 – Quando não há diferença no acúmulo de forragem entre os genótipos (i), reduzindo de 20 para 4 modelos.

$$Y_{jk} = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} + \varepsilon_{jk}$$

2 – Quando não há diferença no acúmulo de forragem entre as estações do ano (j), reduzindo de 20 para 10 modelos.

$$Y_{ik} = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} + \varepsilon_{ik}$$

3 – Quando não há diferença no acúmulo de forragem entre as alturas de corte (k), reduzindo de 20 para 10 modelos.

$$Y_{ij} = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} + \varepsilon_{ij}$$

No caso do teste de hipótese não revelar significância entre os efeitos de genótipo, altura de corte e estação do ano em nenhum dos casos, apenas um único modelo generalizado irá prever o acúmulo de forragem, ou seja, o acúmulo de forragem predito para todos os genótipos, independente da altura de corte ou estação, tem os mesmos valores médios para os parâmetros (a , b e x_0).

As hipóteses testadas foram:

H_0 : não há diferença de acúmulo de forragem quanto ao genótipo, altura de corte e estação do ano;

H_A : existe diferença de acúmulo de forragem quanto ao genótipo, altura de corte e estação do ano;

A comparação entre os modelos completo e reduzido foi feita usando o teste F calculado (F_{calc}), dado por:

$$F_{\text{calc}} = (SQR_r - SQR_c) / (GLR_r - GLR_c) / QMR_c,$$

em que:

SQR_r = soma de quadrado do resíduo do modelo reduzido;

SQR_c = soma de quadrado do resíduo do modelo completo;

GLR_r = graus de liberdade do resíduo do modelo reduzido;

GLR_c = graus de liberdade do resíduo do modelo completo;

QME_c = quadrado médio do resíduo do modelo completo.

O valor da probabilidade de F_{calc} ($\text{Prob}_{\text{calc}} > F$) foi obtido por meio do comando PROBF do SAS (SAS@, 2004), que gera a probabilidade de uma distribuição F, conforme abaixo.

$$\text{Prob}_{\text{calc}} > F = 1 - \text{PROBF} \{F_{\text{calc}}, [GLR_r - GLR_c], [GLR_c]\}$$

em que:

F_{calc} = valor do F calculado utilizado para testar as hipóteses entre os modelos;

GLR_r = graus de liberdade do resíduo do modelo Reduzido;

GLR_c = graus de liberdade do resíduo do modelo Completo;

6.3 Resultados

6.3.1 Correlações entre acúmulo de forragem (AF) e variáveis climáticas

Para verificar se as variáveis climáticas estiveram correlacionadas com o acúmulo de forragem, calculou-se o coeficiente de correlação (r) (Tabela 2). Como encontrado por Tonato (2009), Lara (2007) e Cruz (2010) a temperatura mínima correlacionou-se fortemente com o acúmulo de forragem, mas a unidade fototérmica (UF) modificada também apresentou altas correlações com o AF.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação (r) entre acúmulo de forragem e variáveis climáticas ao longo das estações do ano para cinco genótipos de *Brachiaria* spp. sob duas alturas de corte

Genótipo	Altura de corte	Temp. máxima	Temp. mínima	Temp. média	GD	UF	UF modificada
Arapoty	15 cm	0,35	0,77	0,77	0,76	0,45	0,85
	7,5 cm	0,15	0,80	0,81	0,80	0,60	0,85
Basilisk	15 cm	0,35	0,77	0,73	0,73	0,30	0,85
	7,5 cm	0,24	0,81	0,81	0,80	0,51	0,87
Capiporã	15 cm	0,11	0,86	0,85	0,84	0,49	0,86
	7,5 cm	0,03	0,90	0,88	0,87	0,47	0,84
Marandu	15 cm	0,18	0,76	0,71	0,70	0,26	0,80
	7,5 cm	0,14	0,82	0,79	0,78	0,43	0,84
Xaraés	15 cm	0,05	0,88	0,87	0,86	0,45	0,88
	7,5 cm	0,03	0,88	0,87	0,87	0,56	0,88

6.3.2 Temperatura base (T_{Bi})

Figura 9 - Regressões entre Índice de Produtividade (IP) e temperatura média mínima dos ciclos de rebrotação, para determinação da T_{Bi} para cinco genótipos de *Brachiaria* spp.

6.3.3 Modelos de acúmulo de forragem no verão e inverno agrostológicos

Figura 10 - Acúmulo de forragem do genótipo Arapoty cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de graus dia (GD)

Figura 11 - Acúmulo de forragem do genótipo Arapoty cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de unidades fototérmicas (UF)

Figura 12 - Acúmulo de forragem do genótipo Basilisk cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de graus dia (GD)

Figura 13 - Acúmulo de forragem do genótipo Basilisk cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de unidades fototérmicas (UF)

Figura 14 - Acúmulo de forragem do genótipo Capiporã cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de graus dia (GD)

Figura 15 - Acúmulo de forragem do genótipo Capiporã cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de unidades fototérmicas (UF)

Figura 16 - Acúmulo de forragem do genótipo Marandu cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de graus dia (GD)

Figura 17 – Acúmulo de forragem do genótipo Marandu cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de unidades fototérmicas (UF)

Figura 18 - Acúmulo de forragem do genótipo Xaraés cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de graus dia (GD)

Figura 19 - Acúmulo de forragem do genótipo Xaraés cortados a 15 e 7,5 cm de altura no auge do verão e inverno agrostológico em função de unidades fototérmicas (UF)

6.3.4 Modelos de produção anual de forragem em função de graus-dia (GD)

Figura 20 - Produção de forragem em pastos de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. cortados a 15 e 7,5cm de altura, em função de Graus Dia (GD) acumulados em diferentes estações do ano

6.3.5 Modelos de produção de forragem em função da unidade fototérmica (UF) modificada

Figura 21 - Acúmulo de forragem em pastos de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. cortados a 15 e 7,5cm de altura, em função de Unidades Fototérmicas (UF) acumulados em diferentes estações do ano

6.4 Discussão

Na literatura são encontrados diversos valores de temperatura base inferior (T_{Bi}) para diversas culturas. Em geral estas variam entre 10 e 15°C para espécies forrageiras tropicais (COOPER; TANTON, 1968), mas há indícios de que essas generalizações são aceitas devido à escassez de dados específicos para cada espécie. Em alguns casos valores pontuais para grupos de plantas tropicais são encontrados, como 13°C (MEDEIROS et al., 2001), 15 °C (MCWILLIAM, 1978), 17 °C (COSTA, 1984). No entanto, variações de apenas 1 °C na T_{Bi} pode acarretar em grandes variações na soma térmica e consequentemente na contabilização das unidades fototérmicas.

Ao correlacionar a temperatura média mínima mensal com os dados de produção de massa seca de 32 espécies forrageiras 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 comparados ao 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.

As TBis resultantes do método proposto por Pedro Jr et al., (1990) são passíveis de variação devido as formas de mensuração do acúmulo de forragem. No presente estudo, o acúmulo de forragem nas parcelas colhidas a 7,5 cm foram maiores que os obtidos nas parcelas colhidas a 15 cm. As regressões independentes geradas para cada altura variou 0,5°C entre os genótipos. Como as regressões são baseadas nas taxas diárias de acúmulo de forragem ocorreu variações entre as TBis geradas em cada regime de corte. Para minimizar esse efeito, optou-se por fazer as regressões com base na produção relativa de forragem atribuindo valores de 0 a 1 para cada taxa média de acúmulo, gerando-se uma escala única de acúmulo que foi chamada de índice de produtividade (IP) (Figura 9). Os valores encontrados de T_{Bi} após a geração do IP foram semelhantes entre alguns genótipos. Apesar disso, para os cálculos de GD e UF foram usados os valores individuais encontrados para cada genótipo.

Para os dados coletados nos ciclos detalhados, o modelo sigmóide se ajustou bem aos efeitos estudados (genótipo, estação do ano e altura de corte). No entanto, houve diferença

($P=0,0001$) entre os modelos gerados dentro de cada efeito, sendo então necessário a abordagem dos modelos baseado no modelo completo. O principal objetivo da redução dos modelos parte do princípio que rege a transformação de dias “do calendário” em GD e/ou UF, relacionando a produção com aspectos biológicos e não com o tempo cronológico. Nesse contexto, esperava-se que com o uso da soma térmica e do fotoperíodo fosse possível formar uma escala temporal sólida de previsão de acúmulo de forragem entre as estações do ano, mas o uso de dados do acúmulo de forragem apenas não foi suficiente para gerar tal escala.

Segundo Bélanger et al. (1994), trabalhando com *Festuca* spp. sob condições não limitantes de N, apresentaram a mesma biomassa total (parte aérea + subterrânea) por unidade de energia (g MS MJ^{-1}). Os autores concluíram que variações entre o acúmulo de parte aérea entre estações estão ligadas à partição de carbono destinado a formação de raízes e órgãos de reserva no inverno. O uso eficiente da Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) elimina o efeito das estações de crescimento para acúmulo total de biomassa. Como no presente estudo a avaliação do acúmulo de biomassa se deu apenas na parte aérea do dossel, é plausível que tenha havido variações nos modelos entre as estações.

Com esse resultado, foram geradas regressões completas para cada genótipo, ou seja, um modelo para cada estação do ano e para cada altura de corte (Figuras 10 a 19). A assíntota dos modelos de verão foi maior que a dos modelos de inverno, sugerindo que mesmo rebrotações muito longas durante o inverno não permitiriam produções da mesma ordem de grandeza daquelas ocorridas durante verão. De forma geral, o ponto de máxima taxa de acúmulo instantânea (x_0) (ponto de inflexão do modelo) ocorreu mais cedo nas rebrotações de inverno e a aceleração inicial de crescimento também foi maior nesse período (menores valores de b), indicando que as máximas taxas de acúmulo (média e instantânea) ocorreram com menores aportes de GD e UF no inverno. Isso pode ser reflexo da área foliar residual, que no ciclo de inverno foi maior que a do verão para todos os genótipos. Segundo Ward e Blaser (1961), estudando a rebrotação de *Dactylis glomerata* após diferentes condições de colheita, avaliaram que em perfilhos individuais que se retiveram duas lâminas foliares, cresceram mais rápido que perfilhos totalmente desfolhados.

Quanto às alturas de corte, tanto a taxa de acúmulo instantânea (x_0), foi mais tardia como a taxa de aceleração inicial do modelo foi menor (maiores valores de b) nos dosséis cortados a 7,5 cm no verão. Isso sugere que a reestruturação do dossel no que diz respeito à interceptação de

luz e assimilação de carbono ocorreu inicialmente de forma mais lenta nesses dosséis. O estresse causado pela desfolhação mais intensa pode colocar em risco a sustentabilidade da pastagem se não forem respeitados os limites ecofisiológicos e temporais necessários para a restauração da área foliar removida. A velocidade de recuperação de um dossel forrageiro é inversamente proporcional ao grau de desfolhação sofrido pelas plantas (BROUGHAM, 1956).

Já no inverno, dosséis cortados a 7,5 cm atingiram taxas de acúmulo instantâneas (x_0) mais cedo e a aceleração inicial do modelo foi maior (menores valores de b). As taxas de acúmulo de forragem no inverno são reduzidas pela diminuição da disponibilidade dos fatores crescimento, e é comum a redução nas diferenças produtivas entre genótipos. No entanto, parece haver maior “prontidão” das plantas no que diz respeito à restauração do aparato fotossintético quando colhidas numa intensidade maior, o que sugere que essas plantas possam estar numa condição de maior dependência de reservas orgânicas.

O êxito no processo de recuperação das plantas forrageiras após a desfolhação se deve tanto pelo teor dos compostos de reserva quanto a área foliar remanescente, sendo essas características atuantes de forma conjunta e não competitiva (WARD; BLASER, 1961). Dessa forma, em desfolhações severas, as reservas assumem papel importante para assegurar a síntese inicial de novos tecidos. Em desfolhações lenientes, a área foliar remanescente terá maior capacidade de promover a recuperação da planta, tendo as reservas importância secundária.

Apesar da velocidade de rebrotação ter sido mais lenta nos dosséis cortados a 7,5 cm, para a maioria dos genótipos os modelos apresentam maior predição de produção de forragem no final dos ciclos de crescimento de verão (maiores valores de a). Isso ilustra o maior dinamismo no processo de rebrotação da forragem nessas condições. Dados de morfogênese (Capítulo 4) e taxas fotossintéticas (Capítulo 5) suportam a idéia de que sob esse manejo a remoção de tecido pelo corte e a restauração do mesmo coloca essa comunidade de plantas mais próximas de seus limites de integridade produtiva.

Embora os modelos logísticos e seus parâmetros tenham significado biológico, ao contrário do que acontece quando se usam equações polinomiais como modelos (HUNT, 1982), os parâmetros das regressões propostas no presente estudo (com exceção da assíntota), não são comparáveis, pois a escala temporal à qual estão relacionados é diferente entre os genótipos. O parâmetro x_0 indica o valor de x em que ocorre a máxima taxa de acúmulo instantânea e o parâmetro b refere-se a uma taxa (inverso da taxa de aceleração inicial do modelo) (BIRCH

1999), portanto, esses parâmetros são dependentes da escala temporal do modelo, ou seja, são dependentes da variação que ocorrem nos cálculos de GD e UF. Tanto GD como UF são, por sua vez, dependentes da T_{Bi} que foi diferente para cada genótipo e fez com que capins crescendo no mesmo período de tempo cronológico (sob as mesmas temperaturas e o mesmo fotoperíodo) acumulassem quantidades diferentes de GD e UF.

O uso da equação logística na descrição do crescimento de plantas vem de longa data. Hunt (1982) citou trabalhos em que a função foi empregada. Ludlow e Charles-Edwards (1980), Parsons et al. (1988), Cacho (1993), Birch (1999), Peek et al. (2002), Moreno (2003), Lara (2007) também discutiram a não-linearidade do das culturas e a função logística é consenso como uma boa aproximação na determinação de curvas de crescimento. É necessário, todavia, identificar em cada caso qual ou quais variáveis se relacionam melhor com a produção para a geração de modelos mais precisos.

Para ranquear as melhores relações entre clima e produção de forragem, foram calculados os coeficientes de correlação (r) do acúmulo de forragem (AF) com as variáveis climáticas como temperaturas máxima, média e mínima, graus dia (GD) e unidades fototérmicas (UF) acumulados em cada ciclo de crescimento (Tabela 2). Adicionalmente, foi realizada uma modificação da estrutura do cálculo de UF que também foi correlacionada com o AF.

Autores como Moreno (2004), Lara (2007) e Cruz (2010), encontraram baixos coeficientes de correlação entre AF e UF. Optou-se então, no presente estudo, por verificar as possíveis causas desse baixo coeficiente de correlação, já que segundo Villa Nova et al. (2005), a UF considera parâmetros de temperatura e fotoperíodo o que torna seu modelo mais completo. Após tentar associar, sem sucesso, os resultados do cálculo de UF com fatores climáticos adjacentes na forma de fatores de correção, optou-se por verificar as premissas do próprio modelo e constatou-se que a falta de correlação dos dados se dava pela forma com que a variação no fotoperíodo é abordada na equação.

A entrada do fotoperíodo na equação da UF ocorre na forma de N_f e N_i (fotoperíodo no final e no início do ciclo de rebrotação, respectivamente). Constatou-se então que quando o fotoperíodo crescia do inverno para o verão, $N_f \square N_i$, os valores usados na equação sempre eram maiores que 1. Usando a localização de Piracicaba-SP como exemplo, o fotoperíodo no dia mais longo do ano tem 13,4 horas, já o fotoperíodo mais curto é de 10,6 horas (Figura 9). Nesse caso, quando o acúmulo de forragem é medido quando o fotoperíodo está crescendo (inverno para

verão), ocorre que $Nf=13,4 / Ni=10,6$ resulta numa variação de 1,26 horas, ou seja, >1 . No entanto, quando o acúmulo de forragem é medido quando o fotoperíodo decresce do verão para inverno ocorre que o $Nf=10,6 / Ni=12,4$ resulta numa variação de 0,85 horas, ou seja, <1 . Isso muda o expoente ao qual o GD médio é elevado promovendo grandes variações no valor final de UF. Como resultado, períodos favoráveis ao crescimento como de janeiro a abril na região de Piracicaba, apresentaram grandes acúmulos de forragem com baixos valores de UFs acumuladas (expoente menor), refletindo na baixa correlação entre esses fatores. Dessa forma, trabalhando com a mesma equação, mas considerando a variação do fotoperíodo, não mais como Nf / Ni e sim, $N_{máximo} / N_{mínimo}$, pôde-se encontrar melhores relações entre acúmulo de forragem e UF modificada (Tabela 2).

Além do fotoperíodo, as correlações usando temperaturas máximas e mínimas ratificam a associação dessas variáveis com a produção de forragem. Dentre as temperaturas, a mínima foi mais bem correlacionada com a produção, o que corrobora com os dados de Moreno (2003), Lara (2007), Tonato (2009) e Cruz (2010). No entanto, apesar da temperatura afetar diversos processos metabólicos nas plantas, como a fotossíntese, respiração, taxa de expansão foliar entre outros, o que faz com que a temperatura esteja intimamente ligada ao processo de acúmulo de forragem (RODRIGUES; RODRIGUES, 1987). Nos trabalhos de Ghelfi Filho (1972) e Pedreira e Mattos (1981) a taxa máxima de acúmulo não coincidiu com a máxima temperatura, sugerindo a existência de outros fatores influenciando a produção de forragem. Isso também pôde ser visto nos acúmulos baseados em GD no presente estudo.

Acúmulos de forragem medidos no início do verão sob condições de soma térmica que superaram 550 GD acumulados foram menores ou iguais à mesma quantidade de forragem produzida com o acúmulo de 450 GD (Figura 20). Na região de Piracicaba ocorre grande variação nas temperaturas diurnas e noturnas nesse período devido à grande ocorrência de dias nublados e chuvosos, o que poderia reduzir a produção mesmo sob temperaturas elevadas. Sinclair et al. (2001) estudando o capim Pensacola (*Paspalum notatum* Flugge) e Sinclair et al. (2003), trabalhando 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 efeito marcante do fotoperíodo na produção de forragem. Assim, levando em consideração o efeito do fotoperíodo no ajuste dos modelos, as

equações baseadas na UF modificada, foram melhores preditoras do acúmulo de forragem (Figura 21).

Deve-se ressaltar, por fim, que modelos são abstrações da realidade e, dependendo do objetivo, seu uso deve ser condicionado ao julgamento e conhecimento das limitações impostas pelo fato de que as representações são quase sempre incompletas. A chave para uma modelagem efetiva está no equilíbrio entre o realismo e a abstração na reprodução do sistema (SANTOS, 1986). Não existe, portanto um modelo certo ou errado, mas sim modelos com diversos graus de aplicação para diversas circunstâncias. Também não há perfeição na representatividade universal dos parâmetros, mas ainda assim, modelos devem continuar sendo formulados e adaptados às diversas situações particulares. Cabe aos “modeladores” definir claramente seus objetivos antes de construí-los, enquanto os usuários devem escolher aqueles que melhor representem sua realidade específica (DOURADO NETO et al., 1998).

6.5 Conclusões

A transformação de “dias” em GD e UF não foi suficiente para minimizar as variações temporais do acúmulo da parte aérea da forragem entre as estações. No entanto, GD e UF podem ser usados como ferramenta de previsão de produção de forragem ao longo do ano, salvo as limitações de água e nutrientes. Os modelos se ajustaram bem às respostas produtivas, permitindo a racionalização do processo de acúmulo de forragem em cada situação às quais os genótipos foram expostos, o que nos ajuda a entender a dinâmica de crescimento do dossel e a tomar decisões fundamentadas sobre qual estratégia de manejo pode ser adotada.

A ação conjugada da temperatura e fotoperíodo foi mais bem correlacionada com o acúmulo de forragem e pôde ser descrita por meio da UF modificada. Entretanto, estudos que contemplem uma maior amplitude de respostas da planta a variações edafoclimáticas são necessárias para que o uso desse modelo se consolide como uma ferramenta no planejamento de uma propriedade, ou como instrumentos de pesquisa.

O próximo passo seria fazer um teste de igualdade de parâmetros para verificar se existe correlação entre as respostas dos genótipos, classificando-os em grupos funcionais. Além disso, a determinação da relevância dos fatores de crescimento usados na geração dos modelos poderia ser realizada com o uso de análise multivariada, sendo que diferenças entre os grupos, quando

analisados separadamente, poderiam ser significativas e, quando analisados em conjunto, poderiam revelar-se não significativas.

Modelos não podem ser encarados como um objetivo final de pesquisa (como uma consequência) ou de qualquer necessidade agronômica, tampouco como uma ferramenta pronta, visto que são previamente formulados e são compostos por vários elementos, os quais devem ser bem conhecidos e constantemente aferidos quanto aos seus limites, diante das diversas situações de manejo.

Referencias

- BÉLANGER, G.; GASTAL, F.; WAREMBOURG, F.R. Carbon balance of tall fescue (*Festuca arundinaceae* Schreb.): Effects of nitrogen fertilization and growing season. **Annals of Botany**, Berlin, v.74, . p.653-659, 1994.
- 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.
- BROUGHAM, R.W. Effects of intensity of defoliation on regrowth of pasture. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 7, p. 377-387, 1956.
- CACHO, O.J. A practical equation for pasture growth under grazing. **Grass and Forage Science**, Oxford, v.48, p.387- 394, 1993.
- 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.
- COSTA, N.M.S. Regionalização da produção de sementes de plantas forrageiras em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Viçosa, v.11, p.18-23, 1984.
- CRUZ, P.G. da. **Produção de forragem em Brachiaria brizantha**: adaptação, geração e avaliação de modelos empíricos e mecanicistas para estimativa do acúmulo de forragem. 2010. 102p. Tese (Doutorado em Ciência animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- DOURADO NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J. A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: I, Uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, p.46-50, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação, 1999. 412p.
- 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.
- HARTLEY, H.O. The modified Gauss-Newton method for the fitting of nonlinear regression functions by least squares. **Technometrics**, Alexandria, v. 3, p. 269-280, 1961.
- HUNT, R. **Plant growth curves**. New York: Edward Arnold, 1982. 248 p.
- JONES, C.A. **C₄ Grasses and cereals**: growth, development, and stress. New York: John Wiley, 1985. 419 p.

- LARA, M.A.S.; **Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de *Brachiaria* spp. às variações estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo.** 2007. p. 91 Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- LINDSTROM, M.J.; BATES, D.M. Nonlinear mixed effects models for repeated measurements data. **Biometrics**, v.46, p.673-687, 1990.
- 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.
- 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 an empirical model based on temperature and daylength. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.263-265.
- 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 In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 8., 2000. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, FEALQ, 2000. 1 CD-ROM.
- 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.
- 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).
- PEEK, M.S.; RUSSEK-COHEN, E.; WAIT, D.A.; et al. Physiological response curve analysis using nonlinear mixed models. **Oecologia**, Berlin, v.132, p.175-180, 2002.

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.

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

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system user's guide**: version 9.1. Cary, 2004.

SCHABENBERGER, O. **Nonlinear regression with the SAS system**. Disponível em: <<http://www.cas.vt.edu/schabenb/SASNlin.htm>>. Acesso em: 12 nov. 2010).

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

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

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.

TONATO, F. **Desenvolvimento e avaliação de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais para apoio à tomada de decisão**. 2009. 110p. Tese (Doutorado em Ciência animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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.; DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; PILAU, F. G.; PEDREIRA, C.G.S. . Avaliação da produtividade potencial de *Brachiaria ruziziensis* em função de unidades fototérmicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 13, n. 2, p. 443-449, 2005.

WARD, C.Y.; BLASER, R.E. Carbohydrate food reserves and leaf area in regrowth of orchardgrass. **Crop Science**, Madison, v. 1, p. 366-370, 1961.

7 ADAPTAÇÃO DO MODELO CROPGRO PARA PREVISÃO DE CRESCIMENTO DE *BRACHIARIA*

Resumo

Em regiões tropicais, gramíneas de estação quente são economicamente importantes para a produção de bovinos. Atualmente, modelos que simulam o desenvolvimento de culturas e sintetizam vários processos fisiológicos estão se tornando instrumentos importantes na pesquisa mundial principalmente devido ao apelo ambiental sobre os efeitos antrópicos. Esta pesquisa foi conduzida com a finalidade de adaptar o modelo CROPGRO-Forragem para simular o crescimento de espécie tropical *Brachiaria brizantha*, descrevendo a adaptação do modelo para esta espécie. A procura dos parâmetros que compõem o modelo CROPGRO iniciou a com valores absolutos relatados na literatura. Alguns parâmetros e suas inter-relações foram calibrados por comparação com o crescimento observado, o desenvolvimento, acúmulo de matéria seca e partição de assimilados que foram adquiridos com dados de dois anos de experimento com capim Xaraés em Piracicaba, São Paulo. Começando com os parâmetros no modelo de forrageiras perenes para capim Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé), os efeitos de dormência tiveram de ser minimizados assim como a partição para tecidos de reserva e raiz. A partição para folhas e colmos foi aumentada para fornecer mais folhas e colmos em relação as raízes. Parâmetros que afetam a área foliar específica (AFE) e senescência dos tecidos vegetais foram otimizados. Após as alterações feitas nos parâmetros do modelo, o acúmulo de biomassa foi melhor simulado, a média prevista de produção de forragem por ciclo foi de 3573 kg MS ha⁻¹, com erro padrão da média de 538 kg MS ha⁻¹, com D-Stat de 0,838 e a razão simulado / observado = 1,028. Os resultados da adaptação sugerem que o modelo CROPGRO é uma ferramenta eficiente para integrar aspectos fisiológicos de *Brachiaria* e pode ser usado para simular o seu crescimento.

Palavras-chave: Modelo de forragem; Pastagens; Gramíneas tropicais; *Brachiaria brizantha*; *Urochloa brizantha*; Simulação

Abstract

In tropical regions, warm-season grasses are economically important for cattle production. Nowadays, crop simulation models synthesize numerous physiological processes have been an important research tools for evaluating crop production mainly due to the environmental appeal of the anthropogenic effects. This research conducted to adapt the perennial CROPGRO Forage model to simulate growth of the tropical species palisadegrass *Brachiaria brizantha* and describe model adaptation for this species. The development of CROPGRO parameters for this species, we began with values and relationships reported in the literature. Some parameters and relationships were calibrated by comparison with observed growth, development, dry matter accumulation and partitioning collected during two-year experiment with Xaraes “palisadegrass” in Piracicaba, SP, Brazil. Starting with parameters for bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge) perennial forage model, dormancy effects had to be minimized, and partitioning to storage tissue and root decreased. Partitioning to leaf and stem was increased to provide for more leaf and stem growth and less root. Parameters affecting specific leaf area (SLA) and senescence of plant tissues were improved. After these changes were made to the model, biomass accumulation was better simulated, mean predicted herbage yield per cycle was 3573 kg/ha, with a RMSE of 538 kg DM ha⁻¹ with D-Stat = 0.838, and simulated / observed ratio=1.028. The results of the adaptation suggest that the CROPGRO Model is an efficient tool to integrate physiological aspects of palisadegrass and can be used to simulate growth.

Keywords: Forage model; Pastures; Tropical grasses; *Brachiaria brizantha*; *Urochloa brizantha*; Simulation

7.1 Introdução

No Brasil a produção animal pode ser considerada uma grande empresa agrícola. O país tem a maior população mundial comercial de bovinos (204,5 milhões de cabeças), e detém o status de principal produtor e exportador de carne a nível mundial. A pecuária de corte é essencialmente baseada em pastagens distribuídas em cerca de 197 milhões de hectares no país (FAO, 2010). Desse montante, aproximadamente 35 a 40 milhões de hectares são atualmente estabelecidos com gramíneas do gênero *Brachiaria* (MILES et al., 1996). Essa gramínea C₄ tem demonstrado excelente adaptação em grande parte do território nacional, embora o manejo empregado por grande parte dos pecuaristas possa ser considerado empírico. A forma de colheita e a decisão do tempo de pastejo são geralmente estabelecidos por conveniência do produtor. Muitas vezes utilizando períodos de pastejo e rebrotação fixos para facilitar o manejo, resultando em qualidade e quantidade variáveis de forragem para pastejo ou corte, o que se agrava ainda mais quando não se leva em consideração a progressão das estações do ano (PEDREIRA et al., 2009).

A modelagem de sistemas é um instrumento útil para a compreensão das relações entre solo, plantas e outros componentes em ambientes agrícolas, especialmente para estudar tais relações ao longo do tempo. Modelos agrícolas têm sido desenvolvidos não só para compreender os processos e interações que envolvem os componentes do sistema e seus efeitos na produção global, mas pela sua utilidade como ferramenta de apoio à decisão para avaliar as opções de gestão da propriedade (ZAMORA et al., 2009). O CROPGRO é um modelo mecanicista (implementado em FORTRAN), que prevê o crescimento e a dinâmica da composição de culturas com base em plantas, manejo do solo, clima e uso de insumos (BOOTE et al., 1998a). A capacidade do modelo CROPGRO para simular água no solo e saldos de N, matéria orgânica, dinâmica de resíduos e os danos causados por doenças e pragas aumentam a sua utilidade (JONES et al, 2003;. RYMPH, 2004). O modelo é genérico no sentido de que usa a mesma estrutura de códigos para prever o crescimento de diferentes leguminosas como soja [*Glycine max* (L.) Merr.], amendoim (*Arachis hypogaea* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (BOOTE et al, 1998a;. BOOTE et al, 1998b), fava (*Vicia faba* L.) (BOOTE et al, 2002.) e mucuna preta (*Mucuna pruriens*) (HARTKAMP et al. 2002a; HARTKAMP et al, 2002b), bem como outras culturas não-leguminosas, incluindo tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) (SCHOLBERG,

1997). Isso é possível porque o código interno do modelo CROPGRO usa arquivos de entrada que definem as características de espécie e atributos de cultivar para representar as diferenças genéticas dentro da espécie. Esses modelos fazem parte do software DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), que fornece uma interface amigável, permitindo ao usuário simular as opções de manejo da cultura ao longo de vários anos para avaliar os riscos associados com cada opção (JONES et al., 2003).

Para cada espécie, é especificada a temperatura base inferior (TB) e temperatura ótima (Topt) para processos de desenvolvimento (como a taxa de emergência, a taxa de aparecimento de folhas, etc.) e processos de crescimento (fotossíntese, expansão foliar, a mobilização de N, etc.). No arquivo de cultivar, o efeito de fotoperíodo é criado com dois parâmetros que definem o fotoperíodo crítico e a sensibilidade ao fotoperíodo, o que atrasa ou acelera o desenvolvimento, dependendo do fotoperíodo. O arquivo inclui também coeficientes e outras relações para a fotossíntese, fixação de N, a composição do tecido, crescimento e respiração de manutenção (BOOTE et al., 2002).

Na década de 1990, o modelo CROPGRO “anuais” foi adaptado para simular Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé) como um componente de um sistema de rotação de culturas para simulação de sistemas de cultivo de amendoim na Flórida (KELLY, 1995) e um modelo “anual” foi parametrizado para *Brachiaria* por Giraldo et al. (2001). Os arquivos de cultivar, espécie e ecótipo desenvolvidos foram lançadas como “pasture” nos modelos DSSAT v. 3.5 (ICASA, 1998) e versões posteriores. No entanto, estas simples versões do modelo não eram confiáveis, especialmente para os meses mais frios, quando se previa consistentemente superproduções de matéria seca, em parte, devido às limitações de código que não permitiam a dormência no inverno ou ainda a rebrotação após a colheita quando a desfolhação chegava a 100% pelos animais ou pelo efeito do congelamento (RYMPH et al., 2004). O desejo de aplicar o modelo em diferentes situações de rebrotação exigia uma representação mais realista dos padrões estacionais e velocidade de crescimento, que fez necessária a inclusão de órgãos de armazenamento de reservas orgânicas no modelo. Por estas razões, Rymph (2004) adicionou ao código do modelo rizomas e estolões para preenchimento das reservas no inverno e para utilização de carboidratos e reservas de N para a rebrotação, assim como parâmetros de dormência e partição ligados aos padrões de resposta ao fotoperíodo. Essa parametrização e codificação mais rigorosa foram feitas com o modelo de simulação CROPGRO versão 4.0, o que confere a capacidade de prever o

crescimento e a quantidade de N nos tecidos de Pensacola em resposta às condições meteorológicas diárias, adubação e manejo de colheita. O código fonte para esse modelo de forrageiras perenes difere do modelo padrão CROPGRO “anuais”, e o modelo de forrageiras perenes CROPGRO desenvolvido por Rymph (2004) foi usado como base nesse estudo.

Começando com o modelo CROPGRO-Forragem, previamente calibrado para Pensacola (RYMPH, 2004), o objetivo desta pesquisa foi de adaptá-lo para simular o crescimento e composição morfológica de *Brachiaria brizantha*, uma das gramíneas forrageiras tropicais de grande importância econômica em muitos sistemas pecuários dos trópicos. O segundo objetivo foi descrever o processo de adaptação do modelo usando o genótipo Xaraés, que é tido como um capim promissor em várias pesquisas.

7.2 Material e Métodos

7.2.1 Coleta de dados e análise de crescimento de *Brachiaria brizantha*

Os dados utilizados nessa adaptação do modelo foram coletados em um experimento com cinco genótipos *Brachiaria* spp. realizado na Universidade de São Paulo na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP-ESALQ) em Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil (22° 42' S, 47° 30' W, com altitude de 546 m). Apesar de haver cinco genótipos de *Brachiaria* no experimento, optou-se por parametrizar o modelo com os dados do genótipo Xaraés que se destacou entre os genótipos produtivos superando o capim Marandu (capítulo 3). Além disso, a parametrização dos dados de dormência e partição é melhorada quando ocorrem amplitudes maiores de produção entre as estações.

A forragem das parcelas foi colhida mecanicamente por dois anos, e teve início em outubro 2005 até setembro de 2006 com o experimento de Lara (2007) e de outubro 2007 a setembro 2008 com os dados do presente trabalho, com um ano de intervalo entre as coletas. As parcelas foram colhidas a 15 cm de altura a cada 28 dias de outubro a março e a cada 42 dias de abril a setembro, num total de 11 ciclos de crescimento por ano. As parcelas mediam 36m² (9 x 4 m), com quatro repetições. O solo da área experimental foi classificado como Nitossolo vermelho eutroférico com horizonte (A) moderado e de textura argilosa/muito argilosa (EMBRAPA, 1999), de alta fertilidade (Tabela 1).

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 -----						
5,9	42	20	4,0	54	16	28	74	102	73

† P Resina. SB=soma de bases. T=CTC total. V%=saturação por bases.

As parcelas foram adubadas imediatamente após cada colheita, totalizando 220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O aplicados como sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄ e cloreto de potássio KCl, respectivamente. A irrigação foi realizada por meio de um sistema de aspersão, onde foram fornecidos de 4 a 12 mm de água, sempre que a tensão no solo atingia -0,30 kPa, conforme determinado por tensiômetros a 25 cm de profundidade.

Para quantificar o acúmulo de forragem durante a rebrotação em cada parcela, foi amostrada no final de cada ciclo a forragem acima do resíduo de 15 cm dentro de três retângulos de 1m² (0,5 x 2 m). Dois ciclos de rebrotação que ocorreram por volta do dia mais longo (21 de dezembro) e mais curto (21 de junho) do ano, foram considerados como representativos do verão e inverno agrostológicos (Figura 1). Para facilitar a modelagem, a massa de forragem no resíduo, abaixo de 15 cm, foi quantificada duas vezes por ano (verão e inverno agrostológicos) colhendo a massa de forragem no nível do solo. Além disso, em cada ano, essas massas foram separadas em frações folha, colmo e material morto. O índice de área foliar (IAF) foi medido semanalmente durante cada rebrotação em cada parcela, inclusive imediatamente após e antes da colheita, utilizando um analisador de dossel modelo LAI 2000 (LI-COR, Lincoln Nebraska, EUA) (WELLES; NORMAN, 1991).

Figura 1 - Cronograma de colheita de forragem e seleção dos ciclos detalhados do experimento

7.2.2 Adaptação do Modelo

O CROPGRO-Forragem que foi adaptado e calibrado para Pensacola (RYMPH, 2004), foi utilizado como ponto de partida para este estudo. O código foi considerado um ponto de partida razoável, devido ser uma gramínea C_4 cultivada em regiões tropicais e sub-tropicais. O modelo CROPGRO-Forragem pode ser calibrado modificando-se os parâmetros listados nos arquivos de espécie, cultivar e ecótipo. Para desenvolver esses parâmetros, foram utilizados valores relatados na literatura comparados com os valores observados no campo por dois anos.

Os dados meteorológicos (radiação solar diária, temperaturas máxima e mínima e precipitação) foram coletados em uma estação localizada a 1 km da área experimental, carregado em uma base diária no arquivo de clima, aqui apresentados como médias mensais (Tabela 2). Os dados de solo (percentual de argila e silte, e carbono orgânico) da área experimental foram usados como entrada no DSSAT e um arquivo específico de solo chamado (.soil) foi criado por meio de equações padrão “Sbuild” (Tabela 3).

Tabela 2 - Dados climáticos mensais de dois anos de experimento realizados em Piracicaba

Dados climáticos	Meses											
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
2005-2006												
Radiação Solar MJ m ² dia ⁻¹	16,7	21,1	21,4	22,0	18,9	18,9	17,3	14,4	13,8	13,4	17,2	18,3
Temperatura Máxima °C	30,0	29,1	29,2	30,8	29,8	30,4	27,9	24,9	25,7	26,4	28,6	27,6
Temperatura Mínima °C	18,2	17,0	17,9	19,6	19,7	19,3	15,9	10,8	10,4	10,8	12,0	13,7
Precipitação e irrigação (mm)	147,5	128,1	158,4	279,2	234,0	223,3	70,3	77,4	62,6	42,1	89,2	142,8
2007-2008												
Radiação Solar MJ m ² dia ⁻¹	17,5	19,9	19,5	14,2	13,7	12,4	15,4	16,3	18,7	18,6	21,8	22,4
Temperatura Máxima °C	31,7	28,5	30,4	28,4	30,2	29,1	27,2	24,3	24,9	26,4	27,5	26,8
Temperatura Mínima °C	17,4	17,3	18,7	18,7	19,1	18,3	17,0	12,4	12,5	9,8	13,4	13,1
Precipitação e irrigação (mm)	111,8	157,1	204,1	416,7	191,5	187,7	196,1	118,7	108,6	98,3	133,5	128,4

Tabela 3 - Criação do perfil do solo no programa “Sbuild” DSSAT para o local do experimento

Profundidade de (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Matéria orgânica (%)	Limite inferior de drenagem	Limite superior de drenagem	Saturação	Densidade (g.cm ⁻³)	Cond. hidráulica (cm.h ⁻¹)	Fator de crescimento de raiz
5	40	22	1,74	0,242	0,366	0,48	1,37	0,38	1,00
15	40	22	1,74	0,242	0,366	0,48	1,37	0,38	1,00
25	40	22	1,10	0,242	0,366	0,48	1,37	0,38	0,87
40	44	22	0,70	0,242	0,366	0,48	1,35	0,40	0,79
55	61	4	0,40	0,240	0,340	0,48	1,15	0,40	0,70
75	61	4	0,40	0,240	0,340	0,49	1,15	0,40	0,62
85	61	4	0,36	0,240	0,340	0,49	1,13	0,40	0,55
200	59	10	0,36	0,250	0,350	0,49	1,13	0,36	0,31

Os dados experimentais utilizados na simulação, incluindo a localização e estabelecimento da cultura, foram descritos num arquivo de manejo experimental chamado “Arquivo X”. Idade do plantio (150 dias) e peso de transplante (2000 kg ha⁻¹) foram ajustados para melhor caracterizar as condições iniciais da pastagem. Diferente de outras culturas semeadas em linhas, o modelo de forragem pode ser executado usando o transplantio ao invés de semeadura, o que permite iniciar uma simulação com um estande de plantas já estabelecidas.

Para esta versão do modelo, um novo arquivo de entrada foi criado, definindo as datas de colheita, o parâmetro “MOW” (quantidade de resíduo remanescente após a colheita) e a fração folha (no resíduo; RSPLF). O MOW foi fixado em 2042, 2554, 1672, 1979 kg de MS ha⁻¹ e a RSPLF 36,0; 56,0; 39,3; 53,2%, respectivamente, para verão e inverno do primeiro e segundo ano, com base nos dados coletados. Para *Brachiaria*, usou-se diferentes valores de MOW para diferentes datas de colheita, com base nos dados observados, pois a massa do resíduo mudou ao longo das estações e dos anos.

Além da fração MOW e folha, outro parâmetro foi introduzido: o MVS (número de folhas deixadas no perfilho após a colheita). Isto fornece o número de folhas remanescentes por perfilho principal no momento da colheita, que neste estudo foi de três folhas, com base em dados publicados (ALEXANDRINO et al, 2004; MARTUSCELLO et al, 2005).

O modelo CROPGRO prevê a assimilação de carbono diária para produção com base no nível de fotossíntese das folhas, simulando a dinâmica da atividade da Rubisco e de transporte de elétrons, de acordo com a área foliar iluminada e área foliar sombreada, resultando numa taxa

diária de assimilação (BOOTE; PICKERING, 1994). A fotossíntese simulada responde à temperatura, a concentração de CO₂ e a concentração de N foliar. A fotossíntese foliar foi utilizada neste processo, pois é mais mecanicista, permitindo a comparação com medições de campo de um dos parâmetros de entrada, como a fotossíntese foliar em condições de saturação de luz (PEDREIRA; PEDREIRA, 2007).

Os modelos de simulação de culturas no DSSAT incluem um módulo de simulação de matéria orgânica do solo (SOM) e a dinâmica de resíduos, que tem duas opções: o modelo PAPRAN (GODWIN; JONES, 1991; SELIGMAN; VAN KEULEN, 1988) e o modelo CENTURY (PARTON et al., 1988). O modelo CENTURY, ligado aos modelos DSSAT por Gijssman et al. (2002) foi usado no presente trabalho pois é mais flexível no tratamento de diferentes sistemas agrícolas, incluindo a decomposição dos resíduos que caem sobre o solo durante as estações e que deu bons resultados ao simular o teor de matéria orgânica no solo para experimentos de longa duração. Assim, a SOM foi parametrizado com base em equações relatadas por Porter et al., (2009), usando a argila do solo e porcentagem de silte e carbono orgânico do solo do experimento. Três conjuntos de matéria orgânica do solo (MOS) foram calculados (MOS 1 = 0,01, MOS 2 = 0,42, e MOS 3 = 0,57) e incluídas em um arquivo de matéria orgânica.

7.2.3 Avaliação estatística do desempenho dos modelos

Previsão de fotossíntese, acúmulo de biomassa e índice de área foliar (IAF) foram comparados com os valores observados, rodando o modelo com o clima, solo e manejo empregados no experimento. Os parâmetros de crescimento de folhas foram ajustados para o melhor ajuste da biomassa, folha, caule, IAF e SLA. Para avaliar o desempenho do modelo foi utilizada a razão observado/simulado, o quadrado médio do resíduo (RMSE) e o índice de concordância de Willmott (D-Stat) (WILLMOTT, 1981; WILLMOTT et al, 1985). A melhor previsão do modelo é caracterizada por uma estreita relação entre observação e simulação sendo próximos de 1, assim como o D-Stat e o menor valor de RMSE para cada variável estudada.

Alguns parâmetros foram otimizados utilizando a estimativa de incerteza generalizada de verossimilhança (GLUE), e consiste de um método bayesiano que é útil para analisar a incerteza sobre os valores do parâmetro (MAKOWSKY et al., 2002). O procedimento baseia-se em fazer

um grande número de simulações com diferentes conjuntos de valores de parâmetros e comparar os valores previstos e observados para cada simulação. A cada conjunto de valores de parâmetro foi atribuído um valor de verossimilhança indicando o bom ajuste do desempenho do modelo (Wang et al., 2005). Tais representações dos parâmetros podem ser úteis para a tomada de decisão baseada nos riscos do modelo (MAKOWSKY et al., 2002). Assim, para cada parâmetro no qual o método GLUE foi usado, foi levado em conta o entendimento fundamental do parâmetro de dentro do modelo, bem como o intervalo de valores possíveis com base na literatura ou conhecimento prévio.

7.3 Resultados e discussão

7.3.1 Adaptação do modelo com base no conjunto de dados de *Brachiaria*

Idealmente, a parametrização do modelo para estimar o potencial de crescimento deve ser feita na ausência de estresse hídrico e de nitrogênio permitindo a compreensão dos efeitos não controláveis do ambiente (fotoperíodo, temperatura, características do solo, etc.) sobre o acúmulo de biomassa. O balanço hídrico simulado no CROPGRO não apresentou estresse hídrico, o que atesta o bom controle da água aplicada via irrigação no experimento além da precipitação. A simulação de estresse por falta de nitrogênio não foi significativa para longo prazo, e isto provavelmente está relacionado com a matéria orgânica do solo (1,74%) e o nitrogênio fornecido após cada colheita (20 kg ha⁻¹).

Os dados de da composição da planta foram parametrizados e aceitos (Tabela 4), pois simulam a proteína bruta (PB) em concentrações de 7-11% em tecidos vegetativos, e entre 9 e 15% no tecido foliar. Estas simulações são próximas aos valores relatados por Nave et al. (2011), que estudaram o valor nutritivo do capim Xaraés em ciclos de 28 dias, e encontraram concentrações de PB na forragem íntegra acima do resíduo (no caso, acima de 15 cm) e nas folhas que variam entre 9,3 e 13,4% e 10,3 e 15,5%, respectivamente.

Tabela 4 - Parâmetros de fenologia e produtividade (fotossíntese e respiração)

† Parâmetro	Definição	Valores iniciais	Valores otimizados
PRO__G	“Crescimento normal” concentrações de proteínas dos tecidos (folhas = LF, RT = raiz, caule = ST, órgão de reserva = SR).	0.110, 0.040, 0.070, 0.064	0.110, 0.040, 0.070, 0.064
PRO__I	“Máximo” concentrações de proteínas de tecido (folhas = LF, RT = raiz, caule = ST, órgão de reserva = SR).	0.220, 0.110, 0.101, 0.092	0.220, 0.110, 0.101, 0.092
TB, TO1, TO2, TM	Temperatura base (TB), primeira temperatura ótima (TO1), segunda temperatura ótima (TO2), e temperatura máxima para desenvolvimento vegetativo (TM) (° C).	9.0, 32.0, 40.0, 45.0	10.0, 32.0, 40.0, 45.0
RES30C	Constante (gramas de carboidratos por grama de peso seco / hora) que descreve respiração de manutenção em função do peso total da cultura seca (menos óleo, proteína e amido nas sementes). Constante é dependente da temperatura.	3.5E-05	3.0E-04
MRSWITCH	Respiração: M = Baseado na Massa/original do código CROPGRO ou P = Baseado em Proteínas	P	M
LFMAX	Máxima fotossíntese foliar a 30 °C, com 350 ppm CO ₂ , em alta quantidade de luz.	1.76	1.89
FNPGN(1-2)	Efeito do N na folha em PG ou FNPGN (4) e TYPPGN - Esta é uma curva quadrática, para descrever a resposta da fotossíntese das folhas em função da concentração de N foliar. Aumenta a partir de zero, na concentração mínima de N foliar para o máximo na concentração máxima de N foliar.	0.75, 3.00	0.80, 4.00
SLWREF	Peso específico das folhas em que LFMAX é definido (g. g ⁻¹).	0.0100	0.0078
R30C2	Constante, gramas de carboidratos por grama de carboidratos fotoassimilados por hora que descreve a respiração de manutenção em função da fotossíntese no dossel. Constante é dependente da temperatura e somados ao longo de 24 horas.	0.0029	0.0024

† Nome dos parâmetros na linguagem Fortran; Definições do significado de cada parâmetro; Valores iniciais obtidos com *Paspalum* (RHIMPF, 2004) e valores otimizados para *Brachiaria*.

A fenologia é estimada no modelo por um conjunto de quatro parâmetros de temperatura registrados em °C: temperatura base (TB), primeiro ponto de temperatura ótima (TO1), segundo ponto de temperatura ótima (TO2) e temperatura máxima para o desenvolvimento vegetativo (TM). Mudou-se a T_{Bi} de 9°C para 10°C por meio de uma regressão linear entre a temperatura média mínima e a taxa média de acúmulo de forragem num período conhecido (capítulo 6). Os outros parâmetros de temperatura (TO1, TO2 e TM) foram mantidos semelhantes aos de *Paspalum* (Tabela 4).

Parâmetros que influenciam a produtividade também foram ajustados (Tabela 3). Um desses parâmetros refere-se à respiração de manutenção em função da biomassa total seca (RES30C), que foi aumentada. As opções de respiração podem ser alteradas para serem calculadas em função da massa ou com base na proteína. Optou-se pela primeira via devido à ausência de informações sobre as concentrações de nitrogênio para o capim Xaraés no presente experimento. A máxima taxa de fotossíntese foliar (LFMAX) e a resposta da fotossíntese das folhas para a concentração de N foliar (FNPGN) foram aumentadas. O peso específico das folhas em que LFMAX é definida (SLWREF) e respiração de manutenção em função da fotossíntese no dossel (R30C2) foram reduzidos com base na otimização pelo método GLUE com base nos dados de biomassa e fotossíntese foliar (Tabela 3). Isto permitiu que o modelo simulasse maior fotossíntese e consequentemente, produtividade.

7.3.2 Parâmetros de senescência

O conjunto de parâmetros de senescência foi modificado para melhorar as simulações (Tabela 5). De acordo com Silveira et al. (2010) a vida útil das folhas de quatro genótipos de *Brachiaria* está entre 45 e 74 dias, sob crescimento livre. Entretanto, quando o tempo de vida é avaliado sob diferentes condições de manejo, essas taxas são reduzidas, ficando em torno de 35-40 dias (MARCELINO et al., 2006). Assim, a taxa de senescência natural das folhas (LFSEN) aumentou para 0,02, o que significa que uma folha tem 50 dias de vida. Semelhantes às folhas, caules e tecidos de reserva também senescem como a idade da planta. A taxa de senescência de órgãos de reserva (SENSR) é função da idade e temperatura, os mesmos fatores que influenciam a senescência das folhas, caules e raízes. A senescência de raiz (RTSEN) foi mantida em 0,008 (0,8% por dia), mas SENSR foi aumentado para obter menos tecido de reserva (0,11% por dia).

Outros parâmetros de senescência, incluindo senescência de caule como uma função da massa de folhas senescentes (PORPT), ponto de compensação para a senescência das folhas inferiores (ICMP), e uma constante de tempo para a senescência das folhas inferiores (TCMP), foram todos otimizados usando o método GLUE (Tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros de senescência

† Parâmetros	Definição	Valores iniciais	Valores otimizados
LFSEN	Taxa de senescência foliar (0,02 significa 50 dias de vida).	0.01	0.02
RTSEN	Senescência de raízes (Fração por dia fisiológico).	0.008	0.008
ICMP	Ponto de compensação de luz ($\text{mol PPFD m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) para a senescência das folhas mais baixas por causa do excesso de auto-sombreamento do dossel.	0.80	1.17
TCMP	Constante de tempo (dias) para a senescência das folhas mais baixas por causa do excesso de auto-sombreamento no dossel.	25.0	13.1
PORPT	Senescência de caule como função da massa foliar senescente (fração).	0.02	0.27
SENSR	Taxa de senescência de ecidos de reserva (proporção da massa de reserva cumulativa perdida / dia fisiológico).	0.007	0.011

† Nome dos parâmetros na linguagem Fortran; Definições do significado de cada parâmetro; Valores iniciais obtidos com *Paspalum* (RHIMPF, 2004) e valores otimizados para *Brachiaria*.

7.3.3 Partição biomassa de folhas, caule e raízes

Simulações iniciais com dados de *Brachiaria* mostraram a necessidade de modificar os parâmetros de partição (YLEAF, YSTEM e YSTOR, Tabela 6) aumentando a alocação de assimilados para crescimento de folhas e caule (Tabela 7), ao mesmo tempo em que foi necessário alocar menos para o crescimento de órgãos de reserva. Assim, durante a fase inicial de rebrotação das plantas após a desfolhação, os parâmetros priorizam a formação de folhas em gramíneas tropicais.

Em *Paspalum*, com o aumento da idade da planta, a partição muda para aumentar as reservas, ou seja, massa de rizomas, enquanto a proporção de caule continua baixa e varia pouco. Para *Brachiaria* a partição é diferente, pois na medida em que ocorre a rebrotação é considerável o alongamento vegetativo dos colmos que, combinado com altas quantidades de massa foliar (PEDREIRA et al., 2009) resultam em aumento na massa de forragem e consequentemente na altura do dossel (BRAGA et al., 2006; BRAGA et al., 2008).

Tabela 6 - Parâmetros de partição vegetativa, área foliar específica, temperatura e fotoperíodo

† Parâmetros	Definição	Valores Iniciais	Valores Otimizados
YLEAF VALUES	Descreve a partição de matéria seca apenas entre tecido vegetativo, em função do estágio vegetativo da folha (fração).	0.60, 0.40, 0.30, 0.25, 0.20, 0.20, 0.20, 0.20	0.80, 0.80, 0.80, 0.75, 0.50, 0.40, 0.40, 0.40
YSTEM VALUES	Descreve a partição de matéria seca apenas entre tecido vegetativo, em função do estágio vegetativo do caule (fração).	0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05	0.10, 0.10, 0.17, 0.17, 0.15, 0.16, 0.16, 0.16
YSTOR VALUES	Descreve a partição de matéria seca apenas entre tecido vegetativo, em função do estágio vegetativo do tecido de reserva (fração).	0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.45, 0.50, 0.50, 0.50	0.01, 0.01, 0.01, 0.02, 0.02, 0.03, 0.03, 0.03
SLAVR	A área foliar específica em condições de crescimento padrão ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) (= SLAREF).	100	170
SLAMAX	SLAMAX (a mais fina), folhas com pouca luz ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$).	200	358
SLAMIN	SLAMIN é o (a mais grossa) folha sob a luz alta ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$).	100	130
FNPG(1-2)	Descreve o efeito relativo da temperatura mínima noturna na taxa de fotossíntese de folhas saturadas por luz no dia seguinte ($^{\circ}\text{C}$).	7.0, 22.0	7.6, 20.9
XLMAXT(2-3)	Função, que descreve a taxa relativa de transporte de elétrons fotossintéticos em resposta à temperatura ($^{\circ}\text{C}$).	12.0 45.0	10.4 38.0
XSLATM(3-4)	Efeito da temperatura relativa sobre a área foliar específica das folhas recém-formadas (fração).	10.0, 30.0	11.0, 26.0
YSLATM(3-4)	Efeito da temperatura relativa sobre a área foliar específica das folhas recém-formada ($^{\circ}\text{C}$).	0.25, 1.00	0.29, 1.00
FNPTD(2-3)	Efeito do fotoperíodo na partição (horas).	10.5, 12.5	10.3, 15.2
FNPM(1-3)	Efeito do fotoperíodo na mobilização (horas).	10.5, 12.5, 0.10	10.1, 14.5, 0.46
RDRMT	Sensibilidade relativa da dormência - Efeito do fotoperíodo sobre partição.	1.000	0.405
RDRMM	Sensibilidade relativa da dormência - Efeito do fotoperíodo sobre a mobilização.	1.000	0.532

† Nome dos parâmetros na linguagem Fortran; Definições do significado de cada parâmetro; Valores iniciais obtidos com *Paspalum* (RHIMPF, 2004) e valores otimizados para *Brachiaria*.

Tabela 7 - Comparação de valores médios observados e simulados das porcentagens de folhas, colmos no primeiro e último dia dos ciclos de rebrotação, durante o primeiro e segundo ano de experimento, em Piracicaba

Estação	Condição	Data	Folhas (%)		Colmos (%)	
			Observado	Simulado	Observado	Simulado
Verão	Pós corte	08 12 2005	39,3	38,9	60,7	61,0
	Pré corte	8 Jan. 2006	62,1	65,5	37,9	34,5
Inverno	Pós corte	12 Jun. 2006	55,5	56,0	44,5	44,0
	Pré corte	23 Jul. 2006	57,6	58,6	42,4	42,4
Verão	Pós corte	3 Dez. 2007	37,9	39,3	62,1	60,7
	Pré corte	2 Jan. 2008	69,1	47,8	30,9	34,0
Inverno	Pós corte	4 Jun. 2008	51,9	53,2	48,1	46,8
	Pré corte	15 Jul. 2008	59,6	61,0	40,4	39,0

7.3.4 Previsão de área foliar específica e índice de área foliar

A área foliar específica (AFE) simulada e observada para o capim Xaraés apresentou variação anual associada com a variação estacional de luz e temperatura (Figura 2). A AFE foi estimada em $170 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ em condições-padrão de crescimento para o genótipo com pico no início da fase vegetativa, sob condições ótimas de temperatura, água e luz (SLAVR, Tabela 6). Os dados de folhas mais finas e mais grossas sob luminosidade alta (SLAMAX) e baixa (SLAMIN), respectivamente, foram otimizadas usando o método GLUE (Tabela 6). A taxa de aparecimento de folhas no colmo principal (TRIFL) foi mantida em 0,15 folhas por unidade de soma térmica diária, pois foi semelhante aos valores relatados na literatura para *Brachiaria* (ALEXANDRINO et al., 2004; MARCELINO et al., 2006; RODRIGUES et al., 2008 e SBRISSIA; Da SILVA, 2008).

Figura 2 - Área foliar específica simulada e observada para o capim Xaraés em Piracicaba

O índice de área foliar medido durante os ciclos de rebrotação sucessivos (Figura 3) foi predito razoavelmente bem. No inverno, o IAF predito não foi tão bem ajustado como na estação de crescimento, e isso pode estar associado a grandes quantidades de material morto no dossel durante a estação fria. Este resultado também está associado ao equipamento utilizado nestas medições (analisador de dossel LAI-2000), que pode superestimar IAF, devido à sua leitura de grandes quantidades de material morto que são registradas como área foliar.

Nos cálculos do modelo, o IAF é o resultado do carbono assimilado pela fotossíntese, da quantidade de carbono alocada para as folhas, e da AFE resultante sob essas condições. Ajustes na fração foliar do resíduo (RSPLF) afetam a porcentagem de folhas, AFE e parâmetros de partição, melhorando os índices estatísticos (Tabela 8).

Figura 3 - Índice de área foliar predito vs. observado durante o primeiro (2005-2006) e o segundo (2007-2008) ano de experimento para o Capim Xaraés em Piracicaba

Tabela 8 - Comparação dos valores médios observados e preditos para análise de crescimento e análise dos resultados do modelo para capim Xaraés em Piracicaba durante dois anos de experimento (2005-2006 e 2007-2008)

Variável	Observado	Predito	RMSE	Razão	D-Stat
Peso de folhas (kg.MS.ha ⁻¹)	1431	1581	291	1,098	0,953
Peso de colmos (kg.MS.ha ⁻¹)	1080	1167	144	1,076	0,824
Biomassa de parte aérea (kg.MS.ha ⁻¹)	3358	3573	538	1,070	0,838
AFE (cm ² .g ⁻¹)	153,7	154,0	15,5	1,040	0,386
IAF	2,58	2,47	0,70	0,965	0,816

Mudanças na partição de fotoassimilados para os órgãos de armazenamento são desencadeadas pela diminuição do fotoperíodo e temperatura em várias gramíneas tropicais, tais como *Cynodon* spp. (PEDREIRA et al., 2000), *Pennisetum* spp. (MACOON et al., 2002), *Hemarthria altissima* (NEWMAN; SOLLENBERGER, 2005) e *Andropogon gerardii* Vitman. (MOUSEL et al., 2005). Outras espécies como o azevém (*Lolium perenne* L.) (LEE et al, 2008;.

OURRY et al, 1988; OURRY et al, 1990; OURRY et al, 1994.) e *Brachiaria* (MILES et al., 1996.; RODRIGUES et al., 2007) não são rizomatosas e, portanto, não alocam quantidades significativas de fotoassimilados para os órgãos específicos de reserva. Em vez disso, as reservas são normalmente encontradas na base de perfilhos e raízes, e podem ser remobilizadas para a rebrotação das folhas após a desfolhação.

Com base nas características contrastantes entre *Brachiaria* e *Paspalum*, foram feitas alterações nos parâmetros do modelo de partição para permitir mais colmos e menos raízes e estolões, mantendo a proporção de folhas alta. A imobilização de reservas para os órgãos de armazenamento é conduzida pelas funções de dormência que aumentam a partição para o crescimento de estolões sob fotoperíodos curtos.

É importante ressaltar que, para mimetizar menor produção estacional de *Brachiaria* nesta latitude tropical, em relação à diminuição da média de temperatura e fotoperíodo durante o “inverno” (abril a setembro), foram necessários ajustes em alguns parâmetros (Tabela 6). Assim, o método GLUE foi usado para obter uma taxa única de fotossíntese foliar saturada por luz, mais sensível ao efeito da temperatura mínima noturna (FNPGL, no arquivo de espécie), e para melhorar a função que descreve a taxa relativa de transporte de elétrons em função da temperatura (XLMAXT). Ao mesmo tempo, ajustes foram feitos sobre o efeito da temperatura relativa na AFE das folhas recém formadas (XSLATM e YSLATM). Este conjunto de ajustes permitiu melhorias na previsão estacional de biomassa.

Alterações foram feitas no fotoperíodo sobre a mobilização e a partição (FNPMD, FNPTD), e sensibilidade relativa da dormência dessas espécies ao afetar a partição (RDMRT) e mobilização (RDRMM), para fazer o capim Xaraés menos sensível ao fotoperíodo (Tabela 6). Isso foi feito para reduzir a sensibilidade relativa e o aumento da amplitude de horas que define mobilização e partição (Figuras 4 e 5). Ambos os gráficos mostram respostas cíclicas na produção dos tecidos em resposta a variações anuais do fotoperíodo. Genótipos de *Brachiaria* não têm rizomas ou estolões, e as reservas orgânicas como carboidratos totais não estruturais (TNC) e nitrogênio (N) são armazenados nas bases de caule e parte nas raízes (REIS et al., 1985;. RODRIGUES et al., 2007). Assim, pode-se assumir que os órgãos de reserva nesta simulação foram a base do caule e raízes (no modelo o órgão de armazenamento simulado não tem localização posicional).

Figura 4 - Peso de órgãos de reserva (rizomas e/ou estolões) simulados para *Brachiaria* em Piracicaba

Figura 5 - Peso de raízes simulado para *Brachiaria* em Piracicaba

Se os regimes de pastejo ou colheita mecânica podem resultar aumentos área foliar residual, a rebrotação é menos dependente de reservas, já que a área foliar remanescente fornece fotoassimilados para sintetizar novos tecidos a partir da fotossíntese. Por outro lado, quando a desfolhação é severa, e pouca ou nenhuma área foliar é mantida no dossel, o novo crescimento vai depender da existência de reservas orgânicas, apresentando taxas lentas de rebrotação inicial (DONAGHY; FULKERSON, 2002; RODRIGUES et al., 2007).

Com a finalidade de garantir a dinâmica dos padrões de rebrotação, alguns parâmetros relacionados a dinâmica do carbono e nitrogênio foram mantidas semelhantes aos do *Paspalum*, incluindo as taxas mínimas e máximas de carbono e mobilização do nitrogênio para reservas (CMOBSRN, CMOBSRX, NMOBSRN e NMOBSRX). Outros parâmetros, no entanto, foram otimizados utilizando novamente o método GLUE, para ajustar a fração de assimilação diária que é alocada para os tecidos de reserva (ALPHSR e CADPV) e o efeito sobre a mobilização de IAF (LRMOB) (Tabela 9). O estoque de carboidratos, IAF e os efeitos da fotossíntese no dossel na rotina “reabastecimento” de carboidratos móveis (CRREF, LRREF e PRREF, respectivamente) também foram otimizados. A taxa máxima de mobilização de carboidratos (CMOBMX), proteína (NMOBMX) de tecidos vegetativos e a fração do estoque de carboidratos disponíveis por dia foram ajustados para permitir a diminuição da concentração dos mesmos nas folhas, caules e raízes durante os ciclos.

Tabela 9 - Valores dos parâmetros de carbono e nitrogênio

† Parâmetros	Definição	Valores iniciais	Valores otimizados
CMOBSRN, CMOBSRX	Mínimas (N) e máximas (X) taxas de mobilização de reservas de carbono.	0.020, 0.050	0.020, 0.050
NMOBSRN, NMOBSRX	Mínimas (N) e máximas (X) taxas de mobilização de nitrogênio a partir das reservas.	0.010, 0.060	0.010, 0.060
ALPHSR	Fração do crescimento de um novo tecido de reserva. Carboidrato disponível (fração).	0.30	0.20
CADPV	Maxima fração de fotoassimilados disponíveis que podem ser alocados para reabastecer C durante condições de não estresse.	0.07	0.437
LRMOB (4)	Efeito do IAF sobre a mobilização.	0.5, 1.50	0.44, 1.03
CRREF (4)	Efeito do status de carboidratos na rotina de recarga de carboidratos móveis.	0.25, 0.75, 0.25	0.30, 0.77, 0.29
LRREF (4)	Efeito do IAF na rotina de recarga de carboidratos móveis.	0.50, 3.00	0.65, 2.41
PRREF (1,2)	Efeito da fotossíntese de dossel na rotina de recarga de carboidratos móveis.	0.20	0.30, 0.45
CMOBMX	Taxa máxima de mobilização de carboidratos em tecidos vegetativos, fração do pool de carboidratos disponíveis por dia.	0.025	0.050
NMOBMX	Taxa máxima de mobilização de proteína dos tecidos vegetativos, fração do pool de proteína disponíveis por dia.	0.02	0.088
CMOBSRN, CMOBSRX	Mínimas (N) e máximas (X) taxas de mobilização de reservas de carbono.	0.020, 0.050	0.020, 0.050
NMOBSRN, NMOBSRX	Mínimas (N) e máximas (X) taxas de mobilização de nitrogênio a partir de reservas.	0.010, 0.060	0.010, 0.060

† Nome dos parâmetros na linguagem Fortran; Definições do significado de cada parâmetro; Valores iniciais obtidos com *Paspalum* (RHIMPF, 2004) e valores otimizados para *Brachiaria*.

Todas as modificações no modelo relatadas acima permitiram a melhoria nos padrões de rebrotação. Durante a primavera, quando começa a estação de crescimento em condições ambientais favoráveis, as simulações mostram biomassa radicular e tecidos de reserva cada vez maiores (Figura 6a). Por outro lado, no outono, os aumentos de biomassa (a taxas mais baixas) e tecidos de reserva são mantidos, enquanto raiz é reduzida (Figura. 6b).

Figura 6 - Dinâmica da biomassa de raízes e tecidos de reserva durante uma rebrotação no verão (A) e no outono (B) para *Brachiaria* em Piracicaba

7.3.5 Acúmulo de biomassa

Os parâmetros-padrão do modelo de forrageiras perenes no CROPGRO foram modificados para simular mais folhas e colmos, juntamente com o menor crescimento de raízes. Ao mesmo tempo a AFE foi reajustada, assim como a senescência dos diferentes órgãos da planta (raiz, folha, colmo, e tecidos de reserva). Após essas mudanças, a previsão do acúmulo de biomassa foi melhorada (Figura 7) com melhor razão entre predito e observado e melhorias no índice D-estatístico (Tabela 8). Apesar do fato dos valores observados e preditos serem diferentes principalmente no segundo inverno, a produção coletada no campo no segundo inverno foi inferior à do primeiro ano, o que diminuiu a precisão do modelo, mas os valores de biomassa simulados foram próximos do esperado. Como as parcelas foram colhidas usando uma motosserradora, a biomassa do resíduo (principalmente colmos e material morto) aumentou do primeiro para o segundo ano. Isso pode ser resultado do manejo aplicado entre os anos de coletas de dados. Apesar do fato de que entre o final do primeiro e início do segundo ano experimental, as parcelas foram mantidas sob o mesmo cronograma de corte por um ano inteiro sem a coleta de dados, isso pode ter gerado um impacto negativo sobre a rebrotação no segundo inverno, reduzindo a penetração de luz no dossel e reduzindo o perfilhamento basal, e outros processos ligados ao crescimento das plantas, o que em última análise, reduziu o acúmulo de forragem. No início da primavera, quando as condições ambientais foram propícias, esperava-se que as plantas

pudessem restabelecer os padrões de crescimento rápido, mas isso não aconteceu. Parece que mesmo sob condições favoráveis, há uma defasagem entre o aparecimento de condições climáticas para o desenvolvimento vegetativo e a retomada física do crescimento. A causa deste atraso é desconhecida, mas pode estar envolvida com a partição de carbono durante essa fase de transição ou possivelmente com as raízes, principalmente se a senescência da raiz durante o inverno for substancial (maior que o predito no modelo).

Além disso, foram necessários ajustes nos efeitos da temperatura e fotoperíodo. Os resultados indicam que o crescimento da biomassa da *Brachiaria* e sua composição morfológica pode ser simulada usando o CROPGRO-Forragem, embora uma validação adicional seja necessária utilizando um conjunto de dados independentes antes do modelo ser recomendado para uso geral.

Figura 7 - Biomassa predita vs. observada durante o primeiro e segundo ano de coleta de dados para *Brachiaria* em Piracicaba

7.3.6 Análise de Sensibilidade: temperatura, radiação, fotoperíodo e chuvas

O modelo respondeu sensivelmente à temperatura (-2 e +2 °C, Tabela 10) ao longo do ano. Em geral, quando a temperatura foi reduzida em 2°C, o acúmulo de biomassa diminuiu, principalmente durante o outono e inverno. O acúmulo de forragem diminuiu de cerca de 1900 kg MS ha⁻¹ em média para 830 kg MS ha⁻¹ ou seja, uma redução de 44% na estação mais fria. Quando a temperatura aumentou 2°C, o acúmulo de biomassa simulado aumentou, embora a biomassa na primavera e verão no segundo ano tenham diminuído devido ao aumento do déficit hídrico simulado.

Estudos em ambientes controlados têm mostrado que o crescimento de gramíneas responde muito fortemente ao fotoperíodo (MAROUSKY et al., 1992). Além disso, a sensibilidade ao fotoperíodo pode ter um grande impacto sobre o crescimento relativo de gramíneas em condições naturais. Quando a radiação solar e fotoperíodo foram aumentados (+1 hora, imposta sobre o ciclo natural anual de fotoperíodo do modelo) a biomassa simulada aumentou ao longo do ano (Tabela 10). A produção de biomassa aumentou em média 1230 e 110 kg MS ha⁻¹ quando simulada com dias mais longos e com mais radiação, respectivamente. Quando o fotoperíodo foi reduzido (-1 hora imposta sobre o ciclo natural anual de fotoperíodo do modelo) as produções diminuíram na mesma magnitude (Tabela 10), principalmente, na estação quente (primavera e verão). Criar um menor comprimento do dia com -1 hora, causa o aumento da partição para órgãos de reserva e uso mais lento dessas reservas para a nova rebrotação, o que levaria a uma menor produção. O mesmo resultado pode ser observado quando se aumenta ou reduz os índices de radiação solar. Aumentos na radiação solar em +1 MJ m⁻² dia⁻¹ aumentaram a produção em 110 kg MS ha⁻¹ em média por estação.

Quando a precipitação foi aumentada em 10%, a produção de forragem não sofreu grandes alterações devido ao conjunto de dados observados ser provenientes da soma da precipitação natural e da irrigação, gerando um modelo sem déficit hídrico. No entanto, alguns valores negativos foram observados, causados pelo excesso de água no solo. Quando a precipitação foi reduzida em 10%, a produção de biomassa diminuiu em momentos em que se esperava o maior crescimento vegetativo. Isso se deu devido ao déficit hídrico nas estações mais quentes (no primeiro verão e na segunda primavera). Estes testes mostram que o modelo é sensível à radiação solar e à quantidade de água disponível, importantes para desenvolvimento

vegetativo e acúmulo de biomassa. A maior variação na biomassa foi causada por mudanças de temperatura e fotoperíodo, mostrando a sensibilidade destas variáveis no modelo.

Tabela 10 - Análise de sensibilidade para a produção de biomassa em função de variações no fotoperíodo, temperatura, radiação solar e precipitação para *Brachiaria* em Piracicaba

Ano	Estação	Condição Padrão	Temperatura (°C)		Fotoperíodo (horas)		Radiação Solar (MJ m ² .dia ⁻¹)		Precipitação (%)	
			-2	+2	-1	+1	-1	+1	-10	+10
----- kg MS ha ⁻¹ -----										
2005 - 2006	Primavera	5453	-1022	244	-1199	774	-271	233	63	-27
	Verão	6814	-434	-284	-1704	1605	-70	196	-34	18
	Outono	2293	-874	660	-1053	1190	-58	77	-16	67
	Inverno	1870	-1039	840	-1887	1198	-67	32	11	8
2007 - 2008	Primavera	5120	-325	-186	-1447	1380	-151	66	-80	62
	Verão	6938	-173	-203	-1671	1544	-272	224	36	-7
	Outono	2963	-866	355	-1277	1382	-115	56	-39	6
	Inverno	773	-584	734	-518	811	-11	8	14	5

7.3.7 Processo de Adaptação: Vantagens e dificuldades

Mudanças na taxa de acúmulo de forragem de gramíneas perenes durante a transição do verão para o inverno nas zonas tropicais são provavelmente influenciados pela dormência e dizem respeito a mudanças de regimes de fotoperíodo e temperatura. Na primavera, a rebrotação em condições ambientais favoráveis também é acionada pelo fotoperíodo e temperatura. A sensibilidade ao fotoperíodo existente no modelo pode exigir melhorias na parametrização para que se possa alcançar simulações mais reais durante o inverno. Mesmo gramíneas que têm baixa sensibilidade ao fotoperíodo mostraram redução no acúmulo de forragem durante os meses de fotoperíodo curto (SINCLAIR et al., 2001). A diminuição no crescimento ocorre apesar do fato de haver umidade adequada e fertilidade no solo, e temperaturas suficientemente elevadas que permitiriam a produtividade substancialmente maior (SINCLAIR et al., 2003).

Logo no início da estação de crescimento (setembro-outubro), os valores simulados são maiores do que os dados observados. Marousky et al., (1992) demonstraram que dias mais longos

aumentam o comprimento das folhas, mas não aumentam o número de estolões ou o peso seco da planta. Isso provavelmente ocorre com a *Brachiaria* no início da primavera, quando as condições ambientais são favoráveis ao desenvolvimento vegetativo, porém as plantas não respondem em termos de acúmulo de biomassa. O modelo já representa de forma igualitária as variações entre fotoperíodo curto ou efeitos de temperaturas baixas sobre redução ou aumento na produção, de modo que pode haver “carry-over” com o efeito de dormência no inverno, que limita o potencial de crescimento de forragem novamente no início da primavera, e que o modelo não está representando. Isso pode exigir novas reflexões a respeito de como criar esse efeito sobre a rebrotação e o potencial de produção. Para melhor simular a biologia de gramíneas tropicais perenes, tais modificações podem ser necessárias nos atuais conceitos e códigos do modelo.

Além disso, as condições iniciais bem definidas são aspectos importantes quando se trabalha com forrageiras. O uso de um novo código para a simulação da colheita da forragem para parametrização direta da proporção da fração folha que permanece no resíduo (RSPLF), juntamente com rotina de adição da massa residual (MOW) em si, proporcionaram maior capacidade para simular as condições de pós-colheita, em comparação a versão anterior do modelo usado por Pedreira 2009.

7.4 Conclusões

Os resultados da adaptação indicam que o modelo CROPGRO-Forragem é eficaz na integração os conhecimentos sobre a fisiologia de *B. brizantha* e pode ser usado para simular o crescimento com uma precisão aceitável. O modelo foi sensível à radiação solar, temperatura, fotoperíodo e precipitação, fatores climáticos mais importantes para o desenvolvimento vegetal. Porém, mais dados e validações são necessários para testar esses resultados, de modo que o modelo possa ser usado como uma ferramenta de tomada de decisões na produção e na pesquisa.

As variações estacionais preditas pelo modelo parametrizado para *Brachiaria* podem auxiliar na previsão de padrões de resposta à aplicação de água e fertilizantes, e apoiar as recomendações quanto as adaptações dos genótipos a um conjunto de condições ambientais diferenciados. Gerar bancos de dados sob condições controladas de produção são primordiais para melhorar a parametrização do modelo.

Ainda são muitas as etapas dentro dos códigos do modelo que precisam ser revisadas e melhoradas para forrageiras perenes. Dados sobre a massa da raiz e dos órgãos de reserva (estolões e rizomas) são necessários para verificar a partição de carbono entre os componentes vegetativos e não são usualmente coletados nos experimentos.

Elucidar as causas de atrasos no crescimento vegetativo no início da primavera e adicioná-los ao modelo são os próximos passos na tentativa de tornar o modelo mais robusto em termos de previsão de produção no período de transição entre as estações. Também é importante trabalhar com os efeitos de níveis de adubação, pois o presente trabalho foi conduzido sob alta oferta de N. Dados adicionais de massa de folhas e colmos e principalmente raízes são necessários para melhorar a partição de assimilados entre esses órgãos. As taxas de senescência de folhas, colmos, raízes e órgãos de reserva também precisam ser verificadas.

Referências

- ALEXANDRINO, E.; JUNIOR, D.D.; MOSQUIM, P.R.; REGAZZI, A.J.; ROCHA, F.C. Morphogenesis and structural characteristics of regrowth of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu assigned to three nitrogen levels. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1372-1379, 2004.
- BOOTE, K.J.; PICKERING, N.B. Modeling photosynthesis of row crop canopies. **Hortscience**, St. Joseph, v. 29, n. 12, p. 1423-1434, 1994.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998a. p.651-692.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PICKERING, N. B. The CROPGRO model for grain legumes. In: Tsuji, G.Y., HOOGENBOOM, G., THORNTON, P.K. (Ed.), Understanding options for agricultural production. **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, p. 99-128, 1998b.
- BOOTE, K.J.; MINGUEZ, M.I.; SAU, F. Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 4, p. 743-756, 2002.
- BRAGA, G.J.; PEDREIRA, C.G.S.; HERLING, V.R.; LUZ, P.H.C.; LIMA, C.G. Sward structure and herbage yield of rotationally stocked pastures of 'Marandu' palisadegrass [*Brachiaria brizantha* (A.Rich.) Stapf] as affected by herbage allowance. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.63, 121-129, 2006.
- BRAGA, G.J.; PEDREIRA, C.G.S.; HERLING, V.R.; LUZ, P.H.C.; LIMA, C.G. Herbage allowance effects on leaf photosynthesis and canopy light interception in palisadegrass pastures under rotational stocking. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v.42, 214-223, 2008.
- DONAGHY, D.J.; FULKERSON, W.J. The impact of defoliation frequency and nitrogen fertilizer application in spring on summer survival of perennial ryegrass under grazing in subtropical Australia. **Grass Forage Science**, Oxford, v.57, 351-359, 2002.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations Disponível em: <<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>>. Acessado em : 10 nov 2010.
- GIJSMAN, A.J.; HOOGENBOOM, G.; PARTON, W.J.; KERRIDGE, P.C. Modifying DSSAT crop models for low-input agricultural systems using a soil organic matter-residue module from CENTURY. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 3, p. 462-474, 2002.

GIRALDO, L.M.; LIZCANO, L.J.; GIJSMAN, A.J.; RIVERA, B.; FRANCO, L.H. Adapting the CROPGRO Model of DSSAT to Simulate the Growth of *Brachiaria decumbens*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEMS APPROACHES FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT, 3, 2001. Lima, Peru, 2001. **Anais...** Lima, Peru: International Potato Center (CIP), p. 14-18, 2001.

GODWIN, D.C.; JONES, C.A. Nitrogen dynamics in the soil-plant systems. In: HANKS, J.; RITCHIE, J.T. (Ed.). **Modeling soil and plant systems**. Madison, WI: American Society of Agronomy, p. 289-321, 1991.

HARTKAMP, A.D.; HOOGENBOOM, G.; GILBERT, R.A.; BENSON, T.; TARAWALI, S.A.; GIJSMAN, A.J.; BOWEN, W.; WHITE, J.W. Adaptation of the CROPGRO growth model to velvet bean (*Mucuna pruriens*) II. Cultivar evaluation and model testing. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.78, 27-40, 2002b.

HARTKAMP, A.D., HOOGENBOOM, G., WHITE, J.W. Adaptation of the CROPGRO growth model to velvet bean (*Mucuna pruriens*) I. Model development. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.78, 9-25, 2002a.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Brazilian Institute of Geography and Statistics 2008.

ICASA. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Honolulu: ICASA: DSSAT, 1998.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, Oxford, v. 18, n. 3/4, p. 235-265, 2003.

KELLY, T.C. **A bioeconomic system approach to sustainability analysis at the farm level**. 1995. 114 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - University of Florida, Gainesville, 1995.

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

LEE, J.M., DONAGHY, D.J., ROCHE, J.R. Effect of defoliation severity on regrowth and nutritive value of perennial ryegrass dominant swards. **Agronomy Journal**. Madison, v.100, 308-314, 2008.

MACOON, B., SOLLENBERGER, L.E., MOORE, J.E. Defoliation effects on persistence and productivity of four *Pennisetum* spp. genotypes. **Agronomy Journal**. Madison, v.94, 541-548. 2002.

MARCELINO, K.R.A.; NASCIMENTO JR., D.; DA SILVA, S.C.; EUCLIDES, V.P.B.; FONSECA, D.M. Morphogenetic and structural traits and herbage production of marandugrass under intensities and frequencies of defoliation. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2243-2252, 2006.

MAROUSKY, F.J.; DUDECK, A.E.; MCCARTY, L.B.; ANDERSON, S.F. Influence of daylength and fertility on growth of bermudagrass cultivars. In: CHILDERS, N.F. (Ed.). Proc. Fla. **State Horticulture Society**, 1992. p. 236-238.

MAKOWSKI, D.; WALLACH, D.; TREMBLAY, M. Using a Bayesian approach to parameter estimation; comparison of the GLUE and MCMC methods. **Agronomie**. Paris, v.22, p.191-203, 2002.

MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M.; NASCIMENTO JR., D.; SANTOS, P.M.; RIBEIRO, J.I.; CUNHA, D.D.F.V.; MOREIRA, L.D. Morphogenetic and structural characteristics of Xaraesgrass submitted to nitrogen fertilization and defoliation. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1475-1482, 2005.

MILES, J.W., MAASS, B.L., VALLE, C.B. Brachiaria: Biology, Agronomy and Improvement. CIAT, Cali, 1996.

MOUSEL, E.M.; SCHACHT, W.H.; ZANNER, C.W.; MOSER, L.E. Effects of summer grazing strategies on organic reserves and root characteristics of big bluestem. **Crop Science**. Madison, v.45, p.2008-2014, 2005.

NAVE, R.L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; PEDREIRA, B.C. Nutritive value and physical characteristics of Xaraes palisadegrass as affected by grazing strategy. **South African Journal Animal Science**. (accepted).

NEWMAN, Y.C.; SOLLENBERGER, L.E. Grazing management and nitrogen fertilization effects on vaseygrass persistence in limpograss pastures. **Crop Science**. Madison, v.45, 2038-2043, 2005.

OURRY, A.; BOUCAUD, J.; SALETTE, J. Nitrogen mobilization from stubble and roots during re-growth of defoliated perennial ryegrass. **Journal Experimental of Botany**, Oxford, v.39, 803-809, 1988.

OURRY, A.; BOUCAUD, J.; SALETTE, J. Partitioning and remobilization of nitrogen during regrowth in nitrogen-deficient ryegrass. **Crop Science**. Madison, v.30, 1251-1254, 1990.

OURRY, A.; KIM, T.H.; BOUCAUD, J. Nitrogen reserve mobilization during regrowth of *Medicago sativa* L. - Relationships between availability and regrowth yield. **Plant Physiology**. Waterbury, v.105, 831-837, 1994.

PARTON, W.J.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. **Biogeochemistry**, San Diego, v. 5, n. 1, p. 109-131, 1988.

PEDREIRA, B.C. **Capim Xaraés sob pastejo: respostas agronômicas e morfofisiológicas e adaptação do modelo CROPGRO para predição de crescimento**. 2009. 111p. Tese (Doutorado em Ciência animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S. Fotossíntese foliar do capim-xaraés [*Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf. cv. Xaraés] e modelagem da assimilação potencial de dosséis sob estratégias de pastejo rotativo. **Revista Brasileira Zootecnia**. Viçosa, v.36, 773-779, 2007.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; DA SILVA, S.C. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, 281-287, 2007.

PEDREIRA, B.C.E.; PEDREIRA, C.G.S.; DA SILVA, S.C. Acúmulo de forragem durante a rebrotação de capim-xaraés submetido a três estratégias de desfolhação. **Revista Brasileira Zootecnia**. Viçosa, v.38, 618-625, 2009.

PEDREIRA, C.G.S.; SOLLENBERGER, L.E.; MISLEVY, P. Botanical composition, light interception, and carbohydrate reserve status of grazed 'Florakirk' bermudagrass. **Agronomy Journal**. Madison, v.92, p.194-199, 2000.

PORTER, C.H.; JONE, J.W.; ADIKU, S.; GIJSMAN, A.J.; GARGIULO, O.; NAAB, J.B. Modeling organic carbon and carbon-mediated soil processes in DSSAT v4.5., **Operational research quarterly**, London, v.10, p. 247-278, 2009.

REIS, R.A.; GARCIA, R.; GOMIDE, J.A.; OBEID, J.A. Efeitos dos regimes de cortes nos níveis de carboidratos não-estruturais do capim-brachiária. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 14, n. 5, p. 522-528, 1985.

RODRIGUES, R.C.; MOURAO, G.B.; BRENNECKE, K.; LUZ, P.H.D.; HERLING, V.R. Dry matter production, leaf/stem ratio and growth indexes of palisade grass (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés), cultivated with different rate combinations of nitrogen and potassium. **Revista Brasileira Zootecnia**. Viçosa, v. 37, n. 3, p. 394-400, 2008.

RODRIGUES, R.C.; MOURAO, G.B.; VALINOTE, A.C.; HERLING, V.R. Reservas orgânicas, relação parte aérea-raiz e C-N e eliminação do meristema apical no capim-xaraés sob doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira Zootecnia**. Viçosa, v.8, 505-514, 2007.

RYMPH, S.J. **Modeling growth and composition of perennial tropical forage grass**. 2004. 316 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - University of Florida, Gainesville, 2004.

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

SBRISSIA, A.F.; DA SILVA, S.C. Tiller size/density compensation in Marandu palisadegrass swards. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 35-47, 2008.

SCHOLBERG, J. M.S.; BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; McNEAL, B.L.. Adaptation of the CROPGRO model to simulate the growth of field-grown tomato. In: KROPFF, M. J. E. A. (Ed.). Application of system approaches to the field level. London: **Kluwer Academic Publishers**, v.2, p.131-151, 1997.

SELIGMAN, N.G.; VAN KEULEN, H. PAPRAN: a simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen. In: FRISSEL, M.J.; VAN VEEN, J.A. (Ed.). **Simulation of nitrogen behaviour of soil plant systems**. Wageningen: 1988. p.192–220.

SILVEIRA, M.C.T.; NASCIMENTO JR., D.; DA SILVA, S.C.; EUCLIDES, V.P.B.; MONTAGNER, D.B.; SBRISSIA, A.F.; RODRIGUES, C.S.; SOUSA, B.M.L.; PENA, K.S.; VILELA, H.H. Morphogenetic and structural comparative characterization of tropical forage grass cultivars under free growth. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.67, 136-142, 2010.

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

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

WANG, X.; HE, X.; WILLIAMS, J.R.; IZAURRALDE, R.C.; ATWOOD, J.D. Sensitivity and uncertainty analyses of crop yields and soil organic carbon simulated with EPIC. **Transactions of the Asae**, St. Joseph, v.48, p.1041-1054, 2005.

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

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

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.90, p.8995-9005, 1985.

ZAMORA, D.S.; JOSE, S.; JONES, J.W.; CROPPER, W.P. Modeling cotton production response to shading in a pecan alleycropping system using CROPGRO. **Agroforestry Systems**, Dordrecht , v.76, p.423-435, 2009.

Apêndices

Apêndice A

Fontes de Variação: Capítulo 3

Tabela A1 - Fontes de variação para acúmulo de forragem (AF)

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P=0,1641	P<0,0001	P=0,0009	P=0,2849

Tabela A.2 - Fontes de variação para porcentagem de folhas na forragem acumulada

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P=0,1339	P<0,0001	P<0,0001	P=0,0663

Tabela A.3 - Fontes de variação para porcentagem de colmos na forragem acumulada

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P=0,0995	P<0,0001	P=0,0004	P=0,279

Tabela A.4 - Fontes de variação para porcentagem de material morto na forragem acumulada

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,0007	P=0,0017	P<0,0001	P=0,0412	P=0,0001	P=0,7006	P=0,114

Tabela A.5 - Fontes de variação para porcentagem de inflorescências na forragem acumulada

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P=0,0005	P<0,0001	P=0,068	P=0,0001	P=0,0005	P=0,064

Tabela A.6 - Fontes de variação para IAF do dossel

Fonte de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P<0,0001	P=0,0916	P=0,6232	P<0,0001	P<0,0003	P=0,3510

Tabela A.7 - Fontes de variação para massa seca total no resíduo

Fonte de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P=0,0181	P=0,1066	P=0,0107	P=0,3138

Tabela A.8 - Fontes de variação para porcentagem de folhas no resíduo

Fonte de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P=0,8391	P<0,0001	P=0,001	P=0,5519

Tabela A.9 - Fontes de variação para porcentagem de colmos no resíduo

Fonte de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,005	P=0,0312	P=0,0065	P=0,3675	P=0,0077	P=0,1645	P=0,285

Tabela A.10 - Fontes de variação para porcentagem de material morto no resíduo

Fonte de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P=0,6136	P<0,0001	P=0,1302	P=0,218

Tabela A.11 - Fontes de variação para IAF no resíduo

Fonte de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P<0,0001	P=0,5016	P=0,0623	P=0,7028	P=0,0101	P=0,2145

Tabela A.12 - Fontes de variação para porcentagem de massa seca na forragem acumulada

Fonte de variação		
Genótipo	Altura de corte	Genótipo X Altura de corte
P=0,0116	P<0,0303	P=0,0424

Apêndice B

Fontes de Variação: Capítulo 4

Tabela 1.B- Fontes de variação para taxa de aparecimento de folhas (TAPF)

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P=0,0758	P<0,0001	P=0,9015	P<0,0001	P=0,8504	P=0,354

Tabela 2.B- Fontes de variação para filocrono

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P=0,0093	P<0,0001	P=0,9277	P=0,0045	P=0,0729	P=0,8732

Tabela 3.B- Fontes de variação para duração de vida das folhas

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,0009	P=0,0156	P<0,0001	P=0,9968	P=0,0093	P=0,3447	P=0,7546

Tabela 4.B- Fontes de variação para taxa de alongamento foliar (TALF)

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,0004	P=0,0039	P<0,0001	P=0,3386	P=0,4833	P=0,070	P=0,1291

Tabela 5.B- Fontes de variação para taxa de crescimento de colmo

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P=0,0236	P=0,0004	P=0,5159	P=0,0032	P=0,9123	P=0,3684

Tabela 6.B- Fontes de variação para taxa de senescência

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,187	P=0,3723	P<0,0001	P=0,4274	P=0,0006	P=0,0226	P=0,2219

Tabela 7.B- Fontes de variação para número de folhas vivas (NFviv) por perfilho

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P=0,0001	P=0,5511	P=0,0391	P<0,0001	P=0,0028	P=0,1862

Tabela 8.B- Fontes de variação para número de folhas em expansão (NFexp) por perfilho

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,0009	P=0,0262	P=0,0048	P=0,7732	P=0,0166	P=0,8469	P=0,6827

Tabela 9.B- Fontes de variação para número de folhas senescentes (NFsen) por perfilho

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,0016	P<0,0001	P=0,1875	P=0,1142	P=0,1375	P=0,9163	P=0,4068

Tabela 10.B- Fontes de variação para número de folhas maduras (NFmad) por perfilho

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,0006	P<0,0001	P=0,7632	P=0,0426	P=0,0005	P=0,062	P=0,1435

Tabela 11.B- Fontes de variação para comprimento de colmo

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,0065	P=0,0001	P=0,0050	P=0,5060	P<0,0001	P=0,853	P=0,1432

Tabela 12.B- Fontes de variação para comprimento final de folhas

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P=0,0004	P=0,325	P=0,6967	P<0,0001	P=0,1095	P=0,3909

Tabela 13.B- Fontes de variação para relação Crescimento/Senescência

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P=0,0028	P=0,0023	P=0,1313	P=0,0212	P=0,1573	P=0,528	P=0,2972

Tabela 14.B- Fontes de variação para peso de perfilhos

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P=0,0022	P=0,0257	P=0,0002	P=0,003

Tabela 15.B- Fontes de variação para densidade populacional de perfilhos (DPP)

Fontes de variação						
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação
P<0,0001	P=0,0007	P=0,0268	P=0,0027	P=0,2814	P=0,7871	P=0,2872

Apêndice C

Fontes de Variação: Capítulo 5

Tabela 1.C- Fontes de variação para fotossíntese foliar

Fonte de variação							
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação	†Temp. da folha
P=0,7736	P<0,0001	P<0,0001	P=0,0554	P=0,2107	P=0,0264	P=0,7412	P<0,0001

†Temperatura da folha, usada como covariável.

Tabela 2.C- Fontes de variação para fotossíntese de dossel

Fonte de variação							
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação	†Temp. da folha
P=0,2271	P=0,8767	P=0,0002	P<0,4429	P=0,2168	P=0,9844	P=0,5762	P=0,0037

†Temperatura da folha, usada como covariável.

Tabela 3.C- Fontes de variação para concentração intercelular de carbono

Fonte de variação							
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação	†Temp. da folha
P=0,3034	P=0,1865	P<0,0001	P=0,5255	P=0,1161	P=0,7800	P=0,7873	P=0,0060

†Temperatura da folha, usada como covariável.

Tabela 4.C- Fontes de variação para condutividade estomática

Fonte de variação							
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação	†Temp. da folha
P=0,1516	P<0,0001	P<0,0001	P=0,0304	P=0,0512	P=0,9521	P=0,9893	P=0,0075

†Temperatura da folha, usada como covariável.

Tabela 5.C- Fontes de variação para transpiração foliar

Fonte de variação							
Genótipo	Altura de corte	Estação	Genótipo X Altura de corte	Genótipo X Estação	Altura de corte X Estação	Genótipo X Altura de corte X Estação	†Temp. da folha
P=0,0912	P<0,0001	P<0,0001	P=0,0189	P=0,0533	P=0,4161	P=0,8649	P<0,0001

† *Temperatura da folha, usada como covariável.*

Apêndice D

Produção de forragem com base na UF calculada da forma tradicional (Capítulo 6).

Figura D 1 - Acúmulo de forragem em pastos de cinco genótipos de *Brachiaria* spp. cortados a 15 e 7,5cm de altura, em função de Unidades Fototérmicas (UF), acumulados em diferentes estações do ano. UF calculada da forma tradicional.