

Crescimento da planta forrageira: aspectos relativos ao acúmulo e valor nutritivo da forragem

André Fischer Sbrissia¹

Sila Carneiro da Silva²

Domicio do Nascimento Júnior³

Lilian Elgalise Techio Pereira⁴

1 Introdução

O acúmulo de forragem em pastagens envolve a integração de processos que ocorrem em níveis distintos, porém de forma concomitante. O primeiro nível está relacionado com eventos em nível de perfilho individual, ou seja, o acúmulo de forragem pode ser interpretado como o balanço entre as taxas de crescimento e senescência foliares verificadas nos perfilhos ao longo de um determinado período de tempo. No entanto, pastagens de gramíneas são formadas por uma comunidade de perfilhos de tal forma que o balanço líquido global no acúmulo de forragem é dado por flutuações sazonais no número de perfilhos na área, que associados com os processos de crescimento e senescência foliares em perfilhos individuais resultam nas taxas líquidas de acúmulo de forragem do pasto. Assim, os objetivos desse texto são discutir aspectos básicos de morfogênese em perfilhos individuais e, posteriormente, integrar esse conhecimento para descrever de que forma ocorre o processo de crescimento e acúmulo de forragem em pastos submetidos à lotação intermitente. De forma mais sucinta também será mostrado de que forma o processo de rebrotação se relaciona com o valor nutritivo dos pastos.

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina – Departamento de Produção Animal e Alimentos. Lages, SC, Brasil. E-mail: sbrissia@cav.udesc.br

² Universidade de São Paulo – Departamento de Zootecnia. Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: scdsilva@esalq.usp.br. Pesquisador do CNPq

³ Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Zootecnia. Viçosa, MG, Brasil. E-mail: domicio@ufv.br. Pesquisador do CNPq.

⁴ Universidade de São Paulo – Aluna de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: ltechio@yahoo.com.br

2 Como a planta cresce – morfogênese em perfilhos individuais

A disponibilidade de forragem deve ser entendida como a biomassa aérea viva acumulada durante o processo de crescimento das plantas que compõem a pastagem. Cada planta dessa população é formada por unidades básicas denominadas perfilhos, no caso de gramíneas, e ramificações, no caso de leguminosas (Valentine & Matthew, 1999). Assim, é necessário entender a morfofisiologia dessa unidade básica e suas respostas aos fatores do meio. O desenvolvimento do perfilho, unidade vegetativa básica das gramíneas (Hodgson, 1990), segue uma série de processos onde são diferenciados folhas, colmo verdadeiro, gema axilar e sistema radicular em cada um dos fitômeros da planta, formados a partir da diferenciação do meristema apical. Esse fato caracteriza o perfilho como sendo uma série coordenada de fitômeros em distintos estádios de desenvolvimento, ou seja, cada um em estágio mais avançado de desenvolvimento que o anterior (Matthew et al., 1999). As primeiras e mais importantes estruturas a serem formadas em um fitômero são os primórdios foliares. O acúmulo de fitômeros e o grau de desenvolvimento individual (expansão foliar, alongamento e espessamento dos nós e entrenós) resultam no acúmulo de biomassa do perfilho (Skinner & Nelson, 1995). Essa organização dinâmica permite às gramíneas manter sua persistência por longo tempo, assim como promove um mecanismo plástico (dentro de certos limites) que proporciona adaptações ao pastejo e mudanças estacionais na estrutura do dossel (Chapman & Lemaire, 1993; Matthew et al., 2000).

Os mecanismos envolvidos no crescimento e desenvolvimento de folhas e perfilhos são descritos pela morfogênese. Chapman & Lemaire (1993) descreveram a morfogênese como sendo o processo responsável pela formação e modificação da estrutura do dossel, pois consiste na dinâmica de geração e expansão da forma da planta no tempo e no espaço, ou seja, formação e desenvolvimento de fitômeros sucessivos. As características morfogênicas e estruturais, definidas pela morfogênese, descrevem a dinâmica do fluxo de tecidos nas plantas

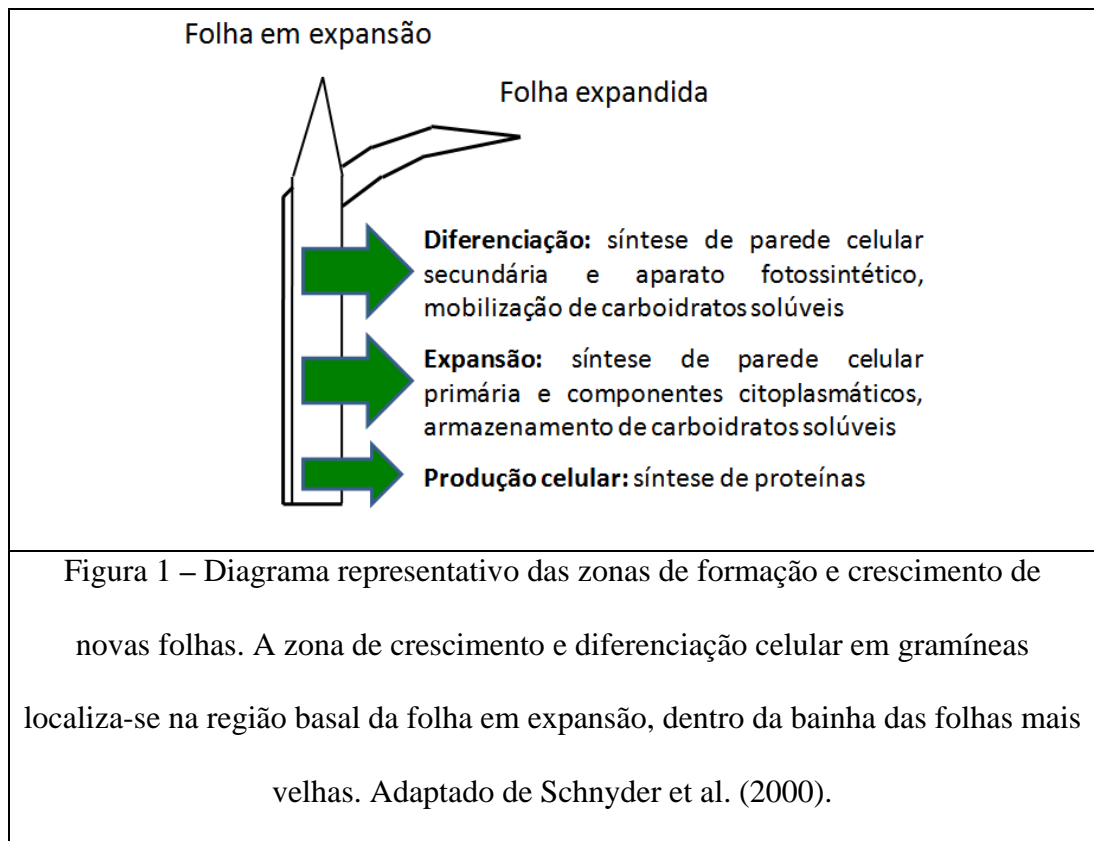
forrageiras (Lemaire & Agnusdei, 2000), caracterizada pelos processos de crescimento, senescência e decomposição de tecidos (Chapman & Lemaire, 1993). Tais processos foram amplamente descritos em diversos trabalhos para plantas de clima temperado (e.g. Bircham & Hodgson, 1983; Lemaire & Agnusdei, 2000; Lemaire, 2001), sendo os trabalhos desenvolvidos para espécies tropicais relativamente recentes. No entanto, têm sido reveladas mais similaridades que diferenças em padrões gerais de respostas entre gramíneas de clima tropical e de clima temperado (Hodgson & Da Silva, 2002), fato que favorece a integração de resultados e o estudo da ecofisiologia comparativa entre essas plantas.

Durante o desenvolvimento do perfilho, na medida em que a planta cresce, a taxa de aparecimento de folhas diminui, a duração do crescimento da lâmina foliar e o tamanho da lâmina foliar aumentam, sendo essas mudanças concomitantes com um aumento no tamanho da bainha foliar (Duru & Ducrocq, 2000). A produção desses tecidos foliares no perfilho é regulada por fatores ambientais e influenciada pelas características do pasto (densidade populacional de perfilhos) e do próprio perfilho, sendo que a interação entre esses fatores determina o ritmo morfogênico das plantas. Assim, em nível de planta individual, o ritmo morfogênico refere-se às taxas de aparecimento e alongamento de folhas, assim como sua taxa de senescência e duração de vida das folhas. A interação entre a expressão fenotípica de tais características, definidas por Chapman & Lemaire (1993) como características morfogênicas, é responsável pelas características estruturais do pasto. Em relação ao pasto, 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 rotativa e contínua, respectivamente.

2.1 Desenvolvimento do perfilho como resultado do fluxo celular

No início do desenvolvimento de um perfilho os recursos são utilizados de forma a desenvolver área foliar para o crescimento da planta. A produção de tecidos foliares é um processo contínuo, regulado por variáveis ambientais e características do dossel (Lemaire & Agnusdei, 2000; Duru & Ducrocq, 2000b; Chapman & Lemaire, 1993). Esses tecidos estão sujeitos a eventos discretos de desfolhação, cuja frequência e intensidade afetam a fisiologia das plantas e, assim, a taxa na qual os novos tecidos foliares são produzidos (Lemaire & Agnusdei, 2000).

Considerando que a premissa básica da produção animal em pastagens é a remoção contínua de área foliar pelos animais em pastejo (Parsons, 1988), a habilidade da planta em manter a produção de novas folhas frente a desfolhações periódicas é essencial para sustentar tanto a produtividade quanto a sobrevivência das plantas pastejadas (Schnyder et al., 2000). Durante a maior parte da estação de crescimento a maioria dos assimilados produzidos pelas plantas forrageiras é utilizada para a produção de folhas. A conversão de assimilados em tecidos foliares ocorre, principalmente, nas zonas de crescimento e diferenciação foliar (Figura 1), onde o tecido heterotrófico está completamente protegido no interior do cartucho formado pelas bainhas das folhas mais velhas (Schnyder et al., 2000).



A identificação dos fatores que controlam a expansão das folhas e as adaptações fisiológicas e morfológicas das plantas a regimes de desfolhação requer o conhecimento dos processos fundamentais envolvidos diretamente no processo de crescimento e o entendimento de como o crescimento foliar é controlado pela disponibilidade de reservas da planta, assim como por fatores genéticos, de manejo e climáticos (Schnyder et al., 2000). Em pastos estabelecidos, além desses fatores, a intensidade e a frequência de desfolhação também afetam a velocidade de recuperação da área foliar. Após desfolhação, uma série de respostas de natureza fisiológica e morfológica é desencadeada com o objetivo de promover a recuperação da área foliar removida e assegurar crescimento. Tais adaptações incluem a mobilização de reservas orgânicas acumuladas nas raízes e base dos colmos, fotossíntese compensatória nas folhas mais velhas (apesar de sua menor eficiência fotossintética), realocação de assimilados para as folhas em crescimento, produção de hormônios que

promovem e controlam o desenvolvimento de meristemas e redução do crescimento de raízes (Schnyder et al., 2000).

Os mecanismos desencadeados no curto prazo, as chamadas adaptações fisiológicas, e no longo prazo, as chamadas adaptações morfológicas, têm por objetivo restaurar o equilíbrio entre os processos de crescimento e a manutenção da persistência da planta na comunidade vegetal. Assim, a resistência e a plasticidade das plantas a regimes de desfolhação desempenham papel central tanto para a taxa de produção de novos tecidos foliares como na acessibilidade das folhas aos animais em pastejo (Lemaire & Agnusdei, 2000).

O crescimento é definido como um acréscimo irreversível na massa seca das folhas que crescem antes que estas iniciem o processo de senescência, pois a massa seca pode aumentar depois de a folha ter completado sua expansão basicamente como resultado de processos bioquímicos complexos. A folha é um órgão que possui crescimento e tempo de vida limitado. Contudo, o desenvolvimento de folhas sucessivas nem sempre segue o mesmo curso quantitativo ou qualitativo, sendo que diferentes partes da mesma folha em expansão podem estar em distintos estádios de desenvolvimento (Dale, 1988). Silsbury (1970) apresentou cinco estádios distintos de crescimento e desenvolvimento de uma folha de gramínea, a saber: iniciação, pré-aparecimento, aparecimento, maturidade e senescência. O crescimento e a morfogênese do primórdio foliar e das folhas em crescimento estão intimamente associados com os processos de alongamento e divisão celular (Dale, 1988). Ao intervalo entre a iniciação de dois órgãos sucessivos dá-se o nome de plastocrono (Esau, 1977), geralmente utilizado para se estudar a ontogenia foliar, mais precisamente, a formação de dois primórdios foliares sucessivos. A formação de folhas ocorre no meristema apical por meio do desenvolvimento dos primórdios foliares, os quais surgem alternadamente de cada lado do ápice do colmo. Na fase inicial de desenvolvimento da gramínea, observa-se a presença de um "tufo" de folhas em cuja base (o ápice do colmo) encontra-se o meristema

apical, formado por tecido meristemático que origina as folhas assim como os futuros perfilhos (Valentine & Matthew, 1999).

A produção de tecidos foliares pode ser analisada como resultado da interação entre dois processos: (a) produção de assimilados em uma planta individual, como resultado da interceptação de luz e fotossíntese das folhas; e (b) uso desses assimilados pelos meristemas foliares para a produção de novas células e, finalmente, expansão foliar. Assim, a disponibilidade de assimilados pode ser considerada fator limitante para a taxa de expansão de novos tecidos foliares (Lemaire & Agnusdei, 2000).

O uso de assimilados pelos meristemas foliares é diretamente influenciado pela temperatura, fator determinante das taxas de divisão e expansão celular (Fricke et al., 1997; Lawlor, 2002), e cria uma demanda de assimilados de C e N para prover energia e substrato para a expansão de tecidos foliares (Lawlor, 2002). Quando a produção de assimilados é suficiente para suprir a demanda dos meristemas, os assimilados excedentes podem ser estocados na forma de reservas orgânicas (Lemaire & Agnusdei, 2000).

A ontogenia da zona de crescimento foliar e sua relação com as fases de alongamento das folhas (Figura 2) têm sido discutidas por diversos autores (e.g. Fournier et al., 2004; Schnyder et al., 2000; Lemaire & Agnusdei, 2000). O crescimento foliar em gramíneas é predominantemente unidirecional (MacAdam et al., 1989), resultado do fluxo de células entre as distintas zonas que compõe o crescimento foliar: zona de divisão, zona de alongamento e zona de maturação celular (Fournier et al., 2004). Essa organização cria um gradiente de desenvolvimento em que as células, dispostas em feixes paralelos, passam sucessivamente pelas fases de divisão, alongamento celular e deposição de tecidos estruturais da folha (Gastal & Nelson, 1994; Fricke et al., 1997). Essas zonas, responsáveis pelo crescimento foliar, estão localizadas na região basal da folha (Figura 1), estando completamente protegidas pelas bainhas das folhas mais velhas (Schnyder et al., 2000).

Durante o crescimento foliar, num primeiro estágio, a divisão e o alongamento celular são coordenados, permanecendo constante o tamanho das células. Nessa fase a folha é considerada um único compartimento, correspondente à zona de divisão (DZ) (Figura 2). Assim, durante esse estágio, o primórdio é uma zona de divisão homogênea, e pode estar relacionado com a primeira fase do desenvolvimento foliar, a fase exponencial do desenvolvimento. No segundo estágio as células cessam o processo de divisão e passam a alongar-se. A zona de alongamento (EOZ) é criada pelo fluxo celular a partir da zona de divisão. O alongamento celular nesta fase é mais rápido, o que promove uma abrupta aceleração na taxa de crescimento relativo.

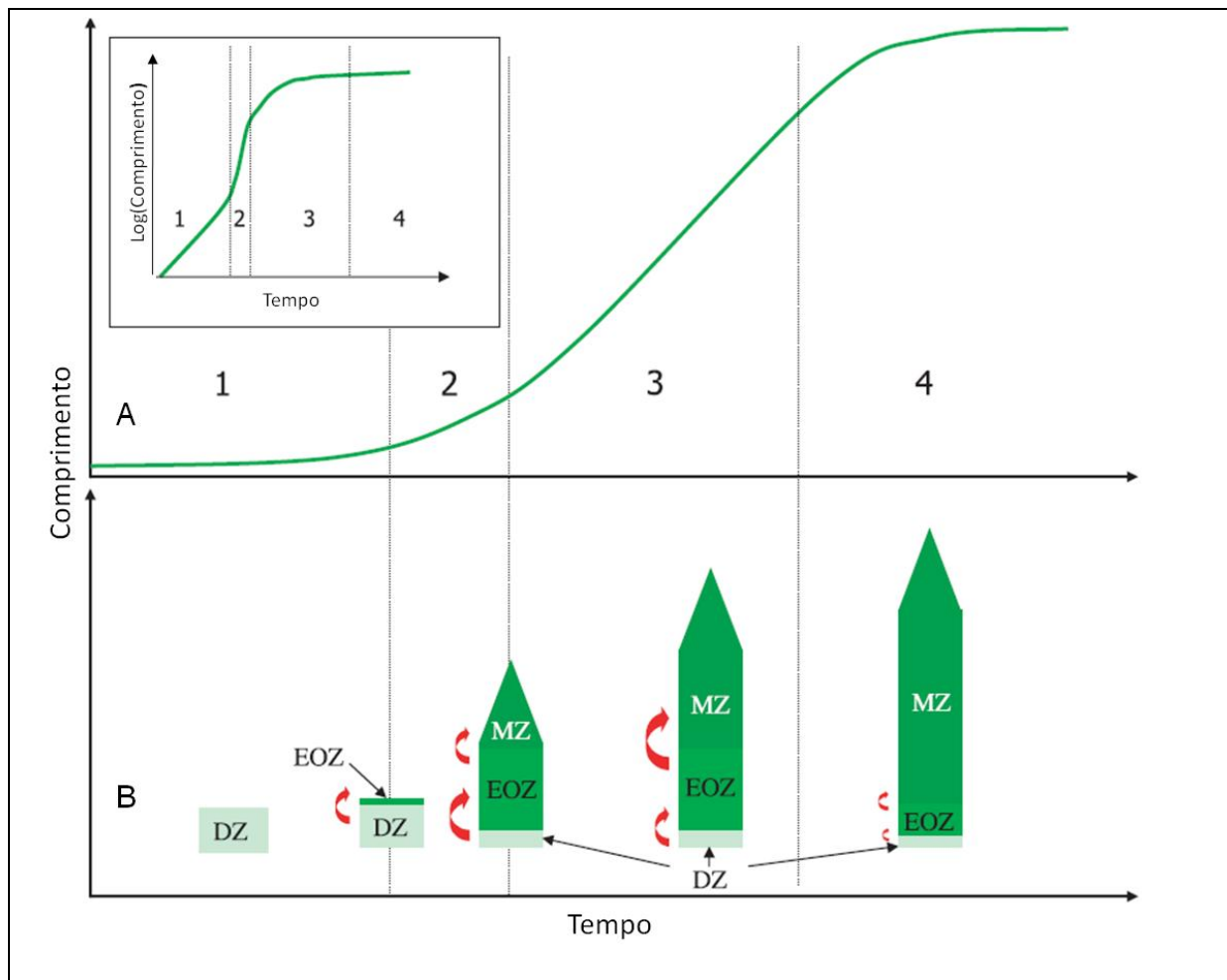


Figura 2 – Representação esquemática do desenvolvimento foliar a partir do estágio de primórdio até o estágio de maturação (A) e a ontogenia da zona de crescimento foliar (B). Os números indicam as diferentes fases do alongamento foliar. As linhas verticais marcam as mudanças nas fases de alongamento e as correspondentes mudanças ontogênicas na zona de crescimento. Adaptado de Fournier et al.(2004).

No terceiro estágio, no final da zona de alongamento, as células param de alongar e entram na zona de maturação, onde a taxa de crescimento permanece relativamente estável. Na fase 4 da ontogenia foliar, a zona de divisão e alongamento celular regridem e a taxa de crescimento é reduzida.

lígula. Durante os estádios iniciais de alongamento de uma folha somente a lâmina cresce ativamente, embora as células meristemáticas responsáveis pelo crescimento da bainha estejam presentes desde o início do crescimento foliar. A bainha inicia sua expansão somente quando a lâmina foliar está próxima de atingir seu tamanho final e persiste até a exteriorização da lígula (Langer, 1972; Dale, 1982). A transição da expansão da lâmina foliar para o alongamento da bainha ocorre sem uma mudança perceptível na taxa de alongamento de folhas, porém é facilmente reconhecida pelo deslocamento da lígula da zona de crescimento para a base da folha (Schnyder et al., 2000). Em geral, o alongamento da lâmina persiste até a diferenciação da lígula, sendo que as células da porção exposta da lâmina perdem sua capacidade de alongamento, continuando a se alongar apenas as células da porção da lâmina ainda contidas no interior do cartucho formado pelas bainhas das folhas mais velhas (Langer, 1972; Dale, 1982; Schnyder et al., 2000).

A importância desses processos para o entendimento do fluxo de tecidos em plantas reside no fato de que a taxa de alongamento foliar em gramíneas é função do suprimento celular (número total de células produzidas) e da taxa e duração do processo de alongamento celular (MacAdam et al., 1989; Schnyder et al., 2000). Schnyder et al. (2000) definiram a taxa de alongamento foliar (TAIF) como sendo o produto de dois componentes principais: o tamanho da zona de desenvolvimento foliar e a taxa média de crescimento relativo dos tecidos na zona de desenvolvimento. O tamanho das zonas de desenvolvimento de células é influenciado pela temperatura, idade da folha, regime de luz e também pela disponibilidade de N (MacAdam et al., 1989), e pode influenciar significativamente as taxas de alongamento foliar. Além disso, o tamanho dessa zona reflete diferenças entre espécies ou respostas de plantas que perfilham ou não (Fricke et al., 1997). Assim, a TAIF pode ser definida como o produto da taxa de produção de células e a taxa e duração da expansão celular. Se o genótipo

ou ambiente possuem efeito sobre a TAlF, isso pode ser resultado dos efeitos sobre um ou mais desses componentes de crescimento (Schnyder et al., 2000).

A desfolhação representa um importante distúrbio em comunidades de plantas sob pastejo, e gera uma redução drástica na taxa de alongamento de folhas. Segundo Schnyder et al. (2000), esse efeito pode ser resultado de uma diminuição na taxa de alongamento relativa ou diminuição no tamanho da zona de desenvolvimento celular de folhas. Volenec & Nelson (1983), citados por Schnyder et al. (2000), demonstraram que desfolhações frequentes diminuem a taxa de alongamento de folhas, resultado de decréscimos nas taxas de produção e expansão celular, o que diminui o tamanho da zona de desenvolvimento celular da folha.

3 Acúmulo de forragem em pastos sob lotação intermitente

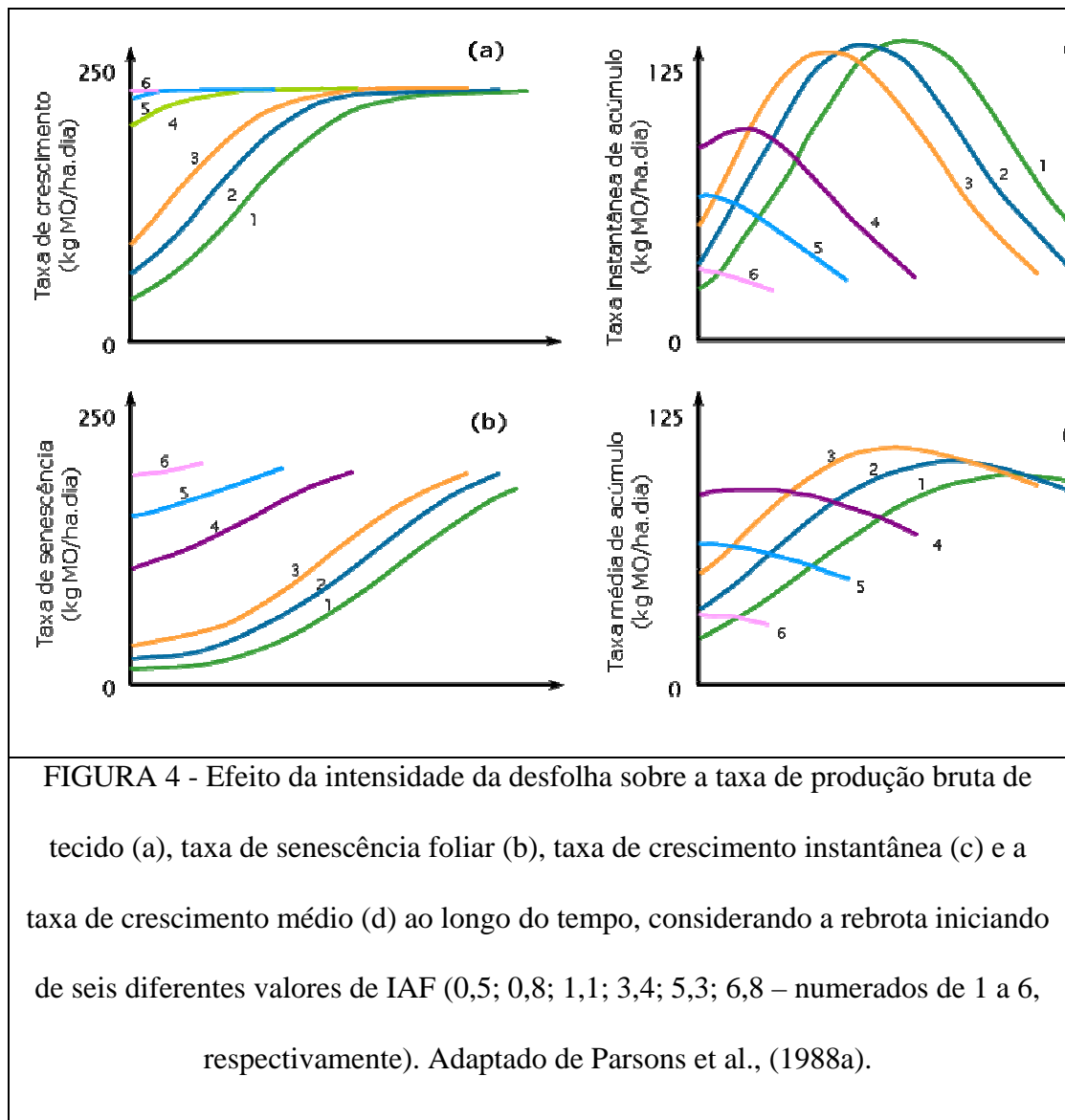
A capacidade fotossintética do pasto após uma desfolhação depende da quantidade de área foliar residual e da capacidade fotossintética das folhas remanescentes. Em pastos que atingiram um IAF alto, as folhas que permanecem após o pastejo não são adaptadas à alta luminosidade incidente sobre elas, resultante da remoção das folhas superiores que as sombreavam, pois foram formadas em condições de baixa luminosidade e normalmente, também, em temperaturas mais baixas. Folhas formadas sob baixa luminosidade apresentam menor eficiência fotossintética em baixas intensidades luminosas e têm baixa capacidade de readaptar-se a níveis mais altos de luminosidade (Prioul et al., 1980a,b), da mesma forma que a resposta fotossintética à temperatura atinge seu ótimo somente naquelas temperaturas em que a folha foi formada (Robson et al., 1988). Desta forma, o IAF residual tem uma baixa capacidade fotossintética apesar da alta incidência de radiação. Como consequência, a rebrotação inicial é lenta até que um número suficiente de folhas tenha se expandido e passe a contribuir substancialmente para a fotossíntese do pasto (Nabinger, 1997).

A quantidade de área foliar residual é função da intensidade da desfolhação, determinada pela taxa de lotação imposta ou pela altura de corte. Numa desfolhação severa, em que a maior parte do tecido fotossintetizante é removido, a fixação de C pode ser insuficiente para assegurar a manutenção dos tecidos remanescentes e para a síntese de nova área foliar. Nessa condição a produção de novas folhas necessita ser suportada inicialmente pelo aporte de reservas. Uma vez que ocorrem “perdas” de C pela respiração, determinadas pela síntese dos novos tecidos, há uma perda inicial de massa de forragem (balanço de C negativo). Este balanço de C apenas se tornará positivo depois que a área de folhas produzida a partir das reservas seja suficiente para assimilar uma quantidade de carbono que exceda as perdas por respiração e senescência. Como resultado, quanto mais severa for a desfolhação maior será a fase de balanço negativo de C pela planta (Parsons et al, 1988; Nabinger, 1997).

Em pastos submetidos a lotação intermitente existem diferenças consideráveis na fotossíntese líquida e na taxa de crescimento conforme a fase de rebrotação (King et al., 1984). Nesse método de desfolhação ocorre uma redução abrupta da área foliar após o pastejo, de tal forma que a fotossíntese, logo após a desfolhação, pode ser menor que aquela de pastos mantidos num IAF baixo sob lotação contínua (King et al., 1984; Parsons et al., 1988). A lotação intermitente admite infinitas combinações entre períodos de pastejo, frequências e intensidades de desfolhação, de tal forma que, é importante considerar a combinação destes dois efeitos sobre a capacidade do pasto em rebrotar e produzir forragem com alto valor nutritivo.

Os trabalhos de Brougham (1956, 1958) mostraram bem o efeito da intensidade de desfolhação sobre a restauração do IAF e a interceptação de luz. Nesses experimentos um pasto com uma altura média de 22 cm foi desfolhado a 12,5; 7,5 ou 2,5 cm. Os resultados mostraram que a intensidade da desfolhação determinou uma grande redução na área foliar remanescente e que um período de tempo maior foi necessário para o dossel atingir um IAF

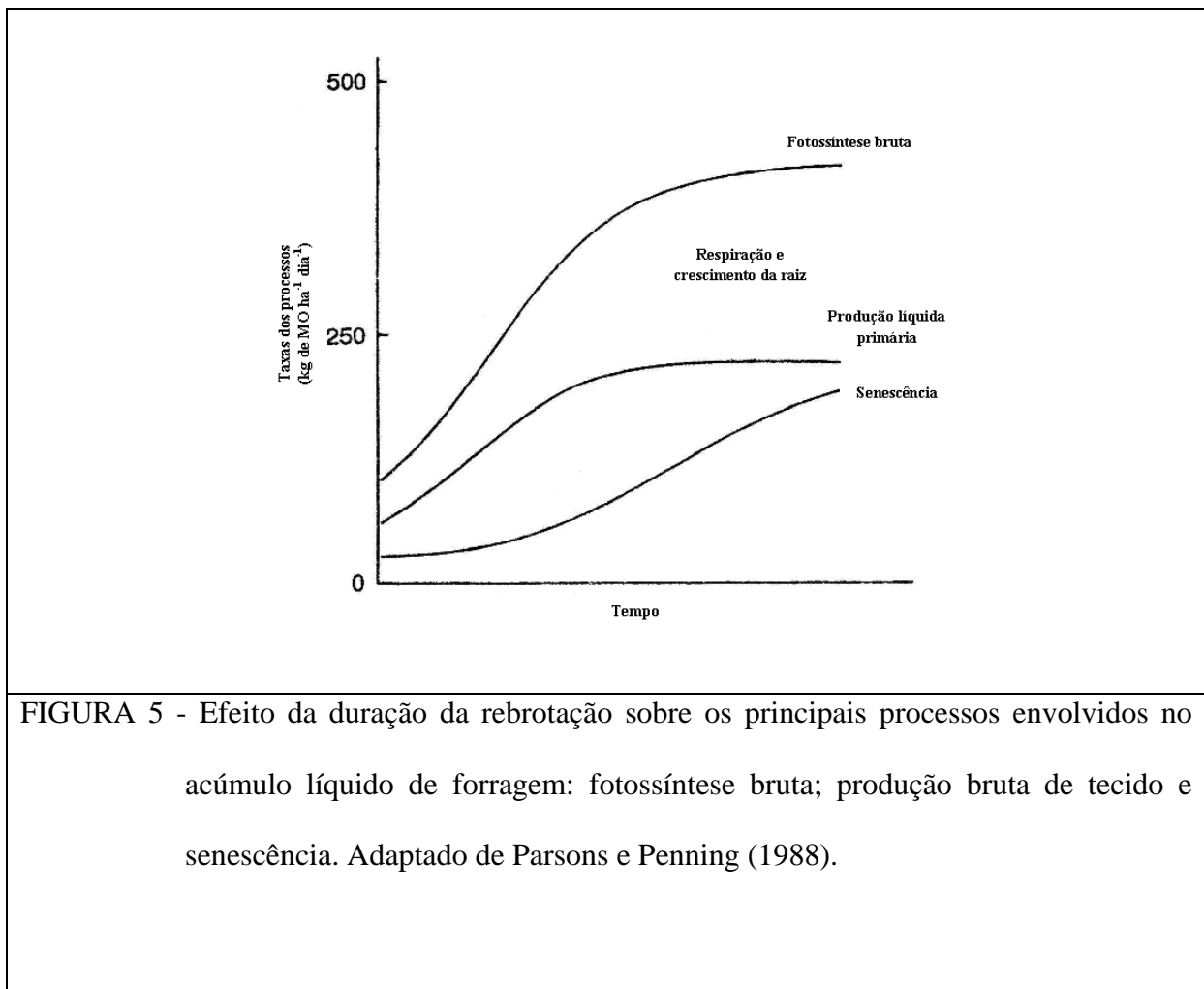
capaz de interceptar a maior parte da radiação incidente. No corte a 12,5 cm foram necessários apenas quatro dias para que o pasto voltasse a interceptar 95% da luz incidente, enquanto que nos cortes a 7,5 e 2,5 cm foram necessários, respectivamente, 16 e 24 dias. O trabalho de Parsons et al. (1988a) mostra esse mesmo padrão de recuperação do IAF (Figura 4(a)). Como afirmado, o efeito da intensidade de desfolhação mostrado na Figura 4(a) sobre a fotossíntese do pasto lembra a curva mostrada por Brougham (1956, 1958) para interceptação de luz. Em um pasto que sofreu uma desfolhação severa (por exemplo a linha 2) a taxa fotossintética é substancialmente reduzida e ocorre uma demora até que atinja a taxa máxima de fotossíntese. Numa desfolhação mais leniente (linha 4), a taxa fotossintética é menos reduzida e a máxima taxa fotossintética é restabelecida rapidamente. Por outro lado, a intensidade de desfolhação tem um efeito parecido sobre a taxa de senescência do pasto (Figura 4b). Sob desfolhação severa (linha 2), a taxa fotossintética do pasto é substancialmente reduzida, e desta maneira ocorre um atraso até que comece a aparecer senescência. Já numa desfolhação mais leniente (linha 4) o efeito é semelhante àquela para a taxa de produção bruta, ou seja, a máxima taxa de senescência foliar é restabelecida de forma mais rápida.



Vale ressaltar que a intensidade de desfolhação tem um grande efeito sobre as taxas de crescimento do pasto (Figura 4 c,d). Pelo simples fato de que a taxa de senescência foliar é atrasada em relação à taxa de produção bruta de tecidos, a taxa de crescimento instantâneo (dW/dt) (Figura 4c), em todos os casos é sempre positiva, o que leva a concluir que o pasto possui, independente da intensidade de desfolhação, um acúmulo líquido positivo de forragem. A intensidade de desfolhação tem um efeito marcante também sobre a taxa de crescimento média do pasto ($(W - W_o)/t$) (Figura 4(d)). Após uma desfolhação severa a taxa média de crescimento aumenta marcadamente. Porém, como descrito por Parsons e Penning

(1988), a taxa de crescimento médio sofre pouca alteração, mantendo-se em níveis altos após seu valor máximo ter sido atingido. Após uma desfolhação intermediária, uma taxa alta de crescimento médio também é mantida. No entanto isto ocorre por um período mais curto de tempo. Já sob desfolhas mais lenientes, as taxas de crescimento não só são menores como também declinam com o passar do tempo.

Os padrões de mudança nos principais processos envolvidos durante o crescimento do pasto foram descritos em detalhes usando-se pastagens no estágio vegetativo em ambientes controlados (McCree e Troughton, 1966; Robson, 1973). Os estudos realizados por Parsons e Penning (1988) corroboram estes resultados (Figura 5).



A fotossíntese, e conseqüentemente a capacidade de produção bruta de tecido, aumentam rapidamente após a desfolhação (Figura 5). Porém há um atraso entre um aumento correspondente na senescência foliar. Como resultado, há momentos onde altas taxas de produção bruta de tecido estão associadas com baixas taxas de morte de tecidos. Entretanto, esta vantagem relativa da taxa de produção bruta sobre a taxa de senescência não necessariamente implica numa maior capacidade produtiva (Parsons e Penning, 1988). Uma consequência imediata no atraso entre estes dois processos é que ocorre uma mudança na taxa de crescimento instantâneo (dW/dt) a qual, cumulativamente, descreve a curva sigmóide de acúmulo líquido do pasto, ou seja, a pastagem aumenta sua massa. Para maximizar a produção deve-se considerar como o prolongamento do período de rebrotação afeta a taxa média de crescimento (Maeda e Yonetani, 1978; Watanabe et al., 1984). Isso é definido como o incremento líquido em peso ($W-W_0$), dividido pelo tempo de rebrotação. O objetivo é colher o pasto quando a taxa média de crescimento for máxima (Parsons e Penning, 1988). O efeito da duração da rebrotação sobre a taxa média de crescimento está mostrado na Figura 4(d). Após uma desfolhação severa, a taxa média de crescimento aumenta rapidamente com um grande aumento também na taxa de crescimento instantâneo. Porém nas últimas fases da rebrotação, mudanças na taxa média de crescimento são resultantes das altas taxas de crescimento instantâneo verificadas no início da rebrotação. Desta forma, até mesmo assumindo-se que toda forragem acumulada fosse colhida, a taxa média de produção líquida seria praticamente insensível às variações no período de rebrotação após ter atingido seu valor máximo. Isto ocorre, principalmente, pelo fato de que a máxima taxa de crescimento médio ocorre após a máxima taxa de crescimento instantâneo e antes da produção máxima (Parsons e Penning, 1988). Embora seja possível, em teoria, identificar um tempo ótimo para a colheita com a finalidade de atingir a taxa máxima de crescimento, é importante considerar como este conhecimento poderia ser aplicado na prática.

Em países de clima temperado tem-se aumentado o uso de variáveis que identificam condições de pasto (altura, massa, resíduo) quer seja como guias para manejo ou caracterizações de tratamentos experimentais (Grant et al., 1988; Parsons e Penning, 1988; Smetham, 1995). Isto é de fundamental importância para a definição da intensidade e da eficiência com que a pastagem está sendo colhida. Porém, no caso de lotação rotativa, se não forem levadas em conta a produção e as perdas de tecido durante o período de rebrotação, estas variáveis são insuficientes para estimar o consumo de matéria seca pelos animais (Parsons et al., 1988). Alguns parâmetros ecofisiológicos para se estipular o momento ideal de corte (ou pastejo), tais como, interceptação luminosa de 95% (Tainton, 1974; Korte et al., 1984) e início do aumento na taxa de senescência foliar (Hunt, 1965) têm sido usados com algum sucesso.

Estudos recentes realizados com importantes plantas forrageiras tropicais como a *Brachiaria brizantha*, cultivares Marandu e Xaraés, e o *Panicum maximum*, cultivares Mombaça e Tanzânia, dentre outras, onde a estrutura do dossel e, ou, seu padrão de variação foram cuidadosamente monitorados, têm gerado uma quantidade grande de informações e conhecimento acerca das respostas de plantas forrageiras e animais a estratégias de pastejo. De uma maneira geral, o conceito de *IAF* crítico, condição na qual 95% da luz incidente são interceptados, originalmente descrito e aplicado com sucesso em plantas de clima temperado, demonstrou-se efetivo e válido também para o manejo de gramíneas tropicais sob lotação intermitente, diferentemente do que se pensava e postulava (Gomide & Gomide, 2001), uma vez que mostrou relação análoga com variáveis como acúmulo de forragem, especialmente de folhas, composição morfológica do acúmulo e valor nutritivo da forragem produzida.

Da mesma forma, Bircham & Hodgson (1983), avaliando o efeito da condição em que pastos de azevém perene (*Lolium perenne*) eram mantidos sob controle rígido da estrutura do dossel por meio de lotação contínua, foram os primeiros a descrever o acúmulo de forragem

como sendo o resultado líquido de dois processos concomitantes e antagônicos (crescimento e senescência). Revelaram, nesse estudo, existir uma amplitude de condições de pasto relativamente grande, correspondente a uma grande variação em estratégias de manejo, em que o acúmulo de forragem seria o mesmo, resultado de compensações entre número, área foliar e peso por perfilho. Ficou clara, assim, a importância que a estrutura do dossel possui como determinante e condicionante das respostas tanto de plantas como de animais e surgiu, então, o conceito de desenvolver práticas de manejo do pastejo com base em metas de condição de pasto (“sward targets”) como forma de assegurar a otimização dos processos de acúmulo e consumo de forragem pelos animais (Hodgson, 1985).

No caso de lotação intermitente, experimentações recentes com base no controle estrito das condições e/ou estrutura do dossel forrageiro na entrada e saída dos animais dos piquetes (pré e pós-pastejo), têm revelado resultados bastante promissores para a melhoria e refinamento do manejo do pastejo dos capins mombaça, tanzânia e marandu. Bueno (2003) e Carnevalli (2003) avaliaram o capim-mombaça sob pastejo rotativo caracterizado por duas alturas de resíduo (30 e 50 cm) e duas condições de pré-pastejo (95 e 100% de interceptação de luz pelo dossel) em Araras, SP. Os resultados demonstraram a consistência do critério de interrupção do processo de rebrotação aos 95% de interceptação de luz e o efeito benéfico de sua associação com um valor de altura de resíduo mais baixo, condizente com a necessidade da planta em manter uma área foliar remanescente mínima e de qualidade para iniciar seu processo de rebrotação e recuperação para um próximo pastejo (Figura 1). De uma forma geral, a maior produção de forragem foi registrada para o tratamento de 30 cm de resíduo e 95% de interceptação de luz, com redução acentuada em produção quando o período de descanso era mais longo (100% interceptação de luz) ou o resíduo mais elevado (50 cm). A redução em produção de forragem foi consequência de processo acelerado de senescência foliar, resultante de maior competição por luz sob aquelas condições, o que também favoreceu

maior acúmulo de colmos, resultando em redução na proporção de folhas e aumento na proporção de colmos e material morto na massa de forragem pré-pastejo (Figura 6). As condições de pré-pastejo de 95 e 100% de interceptação de luz apresentaram uma correlação muito alta e consistente com a altura do dossel (horizonte de folhas) independentemente da época do ano e do estágio fisiológico das plantas (vegetativo ou reprodutivo – 90 cm para 95% e 110 cm para 100%), indicando que a altura poderia ser utilizada como critério de campo confiável para o controle e monitoramento do processo de rebrotação e pastejo.

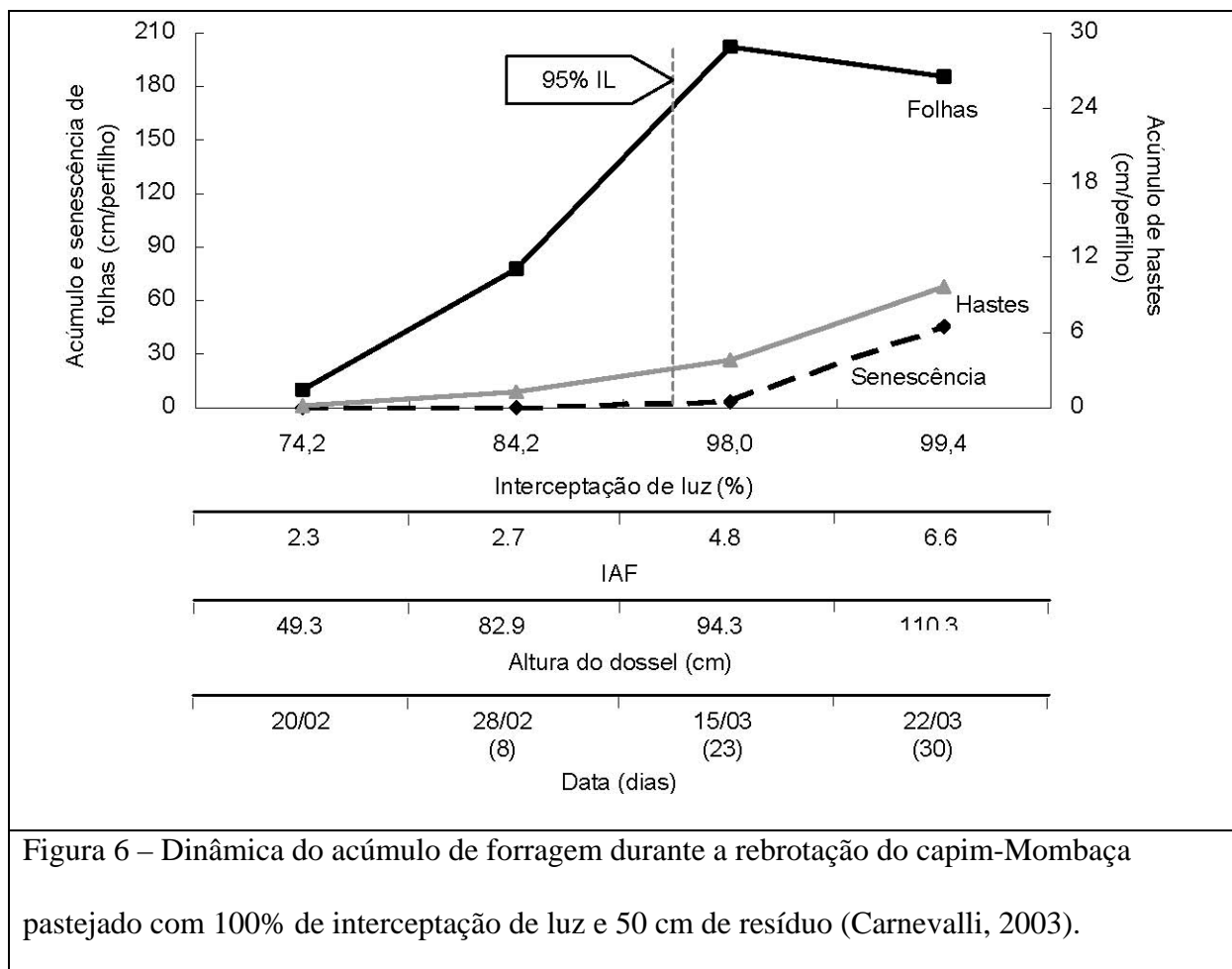


Figura 6 – Dinâmica do acúmulo de forragem durante a rebrotação do capim-Mombaça pastejado com 100% de interceptação de luz e 50 cm de resíduo (Carnevali, 2003).

Trabalho análogo ao de Carnevali (2003) foi realizado por Barbosa (2004) com capim-tanzânia, em Campo Grande, MS. Como condições de pré-pastejo foram utilizados 90, 95 e 100% de interceptação de luz pelo dossel e como condições de pós-pastejo 25 e 50 cm de

resíduo. Os resultados apresentaram um padrão bastante consistente e semelhante àqueles descritos para o capim-mombaça. De uma forma geral, maior produção de forragem foi obtida para o tratamento de 95% de interceptação de luz e 25 cm de resíduo. Pastejos realizados com 90 ou 100% de interceptação de luz e 50 cm de resíduo resultaram em menor produção de forragem e de folhas. Na condição de 90% de interceptação de luz a menor produção seguramente ocorreu por limitação do processo de crescimento, uma vez que não havia área foliar suficiente para aproveitar toda a luz incidente. Já para a condição de 100% de interceptação de luz a menor produção foi resultado da ocorrência exacerbada do processo de senescência e morte de tecidos. Além de resultar em menor produção de forragem com menor proporção de folhas e maior proporção de colmos e material morto, pastejos menos frequentes, caracterizados pela condição de 100% de interceptação luminosa, resultaram em elevação da meta de resíduo de 25 cm (até 40 cm), consequência do acúmulo excessivo de colmos. Assim como para o capim-mombaça, os intervalos entre pastejos variaram com os tratamentos e épocas do ano (24 a 150 dias), com os maiores valores registrados para os tratamentos de 100% de interceptação de luz durante os meses de outono e inverno. As condições pré-pastejo de 90, 95 e 100% de interceptação de luz apresentaram, também, uma correlação muito alta e consistente com a altura do dossel (horizonte de folhas) independentemente da época do ano e do estágio fisiológico das plantas (vegetativo ou reprodutivo – 60 cm para 90%, 70 cm para 95% e 85 cm para 100%), mais uma vez indicando e ratificando o fato de que a altura poderia ser utilizada como critério de campo confiável para o controle e monitoramento do processo de rebrotação e pastejo. Resultados mais recentes com capim-marandu submetidos a estratégias de lotação intermitente (Sarmiento, 2007) mostraram, novamente, que o momento ideal da interrupção da rebrotação desse capim esteve sistematicamente associado ao ponto em que o dossel interceptava 95% da luz incidente, e que este correspondeu a uma altura aproximada pré-pastejo de 25 cm associada à uma altura

de resíduo de 15 cm, sugerindo que o manejo do pastejo desse cultivar deva ser realizado segundo uma frequência e uma intensidade maior de pastejo que normalmente utilizado.

De uma maneira geral, o valor nutritivo da forragem consumida quando os pastejos são realizados com 95% de IL é bastante estável e caracterizado por concentrações de proteína bruta da ordem de 14 a 18% e digestibilidade da matéria seca de 60 a 70% (Bueno, 2003; Difante, 2005), compatíveis, portanto, com níveis satisfatórios de desempenho para vacas leiteiras e animais de engorda. Resultados recentes com outros cultivares de *Panicum maximum* como Tobiataã, Massai e Atlas (Moreno, 2004) e com *Pennisetum purpureum* cv. Cameroon (Voltolini, 2006) ratificam e corroboram o padrão de resposta descrito acima, apontando para uma nova realidade e uma nova janela de oportunidades em termos de pesquisa e experimentação com plantas forrageiras tropicais. Maiores valores de valor nutritivo poderiam ser obtidos com interrupções na rebrotação dos pastos antes de 95% da interceptação de luz, uma vez que a tendência é a produção de perfilhos mais novos e com folhas mais jovens (Barbosa, 2004). Isso poderia ser uma estratégia pontual no sentido de maximizar o ganho de peso (ou produção de leite) num determinado período de tempo. Porém o uso contínuo dessa estratégia poderia levar os pastos ao colapso por reduzir a capacidade de rebrotação e reconstituição de reservas e redução no perfilhamento.

4 Referências Bibliográficas

BARBOSA, R.A. Características morfofisiológicas e acúmulo de forragem em capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) submetido a frequências e intensidades de pastejo. 2004. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004. Orientador: Prof. Domicio do Nascimento Júnior

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.

BROUGHAM, R.W. Effects of intensity of defoliation on regrowth of pasture. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.7, p.377-387, 1956.

BROUGHAM, R.W. Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.9, p.39-52, 1958.

BUENO, A.A.O. Características estruturais do dossel forrageiro, valor nutritivo e produção de forragem em pastos de capim-Mombaça submetidos a regimes de desfolhação intermitente. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens), Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2003. Orientador: Prof. Sila Carneiro da Silva.

CARNEVALLI, R.A. Dinâmica da rebrotação de pastos de capimMombaça submetidos a regimes de desfolhação intermitente. 2003. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens), Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2003. Orientador: Prof. Sila Carneiro da Silva.

CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: BAKER, M. J. (Ed.) *Grasslands for Our World*. SIR Publishing, Wellington, p.55-64, 1993.

DALE, J. E. Some effects of temperature and irradiance on growth of the first four leaves of wheat, *Triticum aestivum*. *Annals of Botany*, v.50, p.851-858, 1982.

DIFANTE, G.S. Desempenho de novilhos, comportamento ingestivo e consumo voluntário em pastagem de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia. 2005. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Orientador: Prof. Domicio do Nascimento Júnior

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

DURU, M., DUCROCQ, H. Growth and senescence of the successive grass leaves on a tiller. Ontogenic development and effect of temperature. *Annals of Botany*, v.85, p.635-643, 2000b.

FRICKE, W.; McDONALD, A. J. S.; MATTSON-DJOS, L. Why do leaves and cells leaf of N-limited barley elongate at reduced rates? *Planta*, v. 202, p. 522-530, 1997.

FOURNIER, C. et al. A functional–structural model of elongation of the grass leaf and its relationships with the phyllochron. *New Phytologist*, v.166, p.881–894, 2005.

GASTAL, F., NELSON, C.J. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. *Plant Physiology*, v.105, p.191-197, 1994.

GOMIDE, J.A.; GOMIDE, C.A.M. Utilização e manejo de pastagens. In: MATTOS, W.R.S. et al. (Eds.) *A PRODUÇÃO ANIMAL NA VISÃO DOS BRASILEIROS*. FEALQ, Piracicaba, p.808-825, 2001.

GRANT, S.A.; BARTHAM, G.T.; TORVELL, L.; KING, J.; ELSTON, D.A. Comparison of herbage production under continuous stocking and intermittent grazing. *Grass and Forage Science*, v.43, n.5, p.29-39, 1988.

HODGSON, J. Grazing management—science into practice. Essex, England, Longman Scientific & Technical, 1990. 203p.

HODGSON, J. The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 15., Kyoto, 1985. Proceedings. Nishi-Nasuno: Japanese Society of Grassland Science, 1985. p. 63-67.

HODGSON, J.; DA SILVA, S.C. Options in tropical pasture management. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. Anais... Recife: SBZ, 2002. p.180-202.

HUNT, L. A. Some implications of death and decay in pasture production. Journal of the British Grassland Society, v.20, p.27-31, 1965.

KING, J.; SIM, E.; GRANT, S.A. Photosynthetic rate and carbon balance of grazed ryegrass pastures. Grass and Forage Science, v.39, p.81-92, 1984.

KORTE, C.J.; WATKIN, B.R.; HARRIS, W. Effects of the timing and intensity of spring grazings on reproductive development, tillering, and herbage production of perennial ryegrass dominant pasture. New Zealand Journal of Agricultural Research, v.27, p.135-149, 1984.

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

LEMAIRE, G. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. In: GOMIDE, J. A.; MATTOS, W. R.; DA SILVA, S. C. (Eds). XIX INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. Proceedings...Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 29-37.

LEMAIRE, G., AGNUSDEI, M. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIER, G., HODGSON, J., MORAES, A., et al. (Eds.) Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. CAB International, p.265-288, 2000.

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

LAWLOR, D. W. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. Journal of Experimental Botany, v. 53, n. 370, p. 773-787, 2002.

MacADAM, J. W.; VOLENEC, J. J. ; NELSON, C. J. effects of nitrogen on mesophyll cell division and epidermal cell elongation in tall fescue leaf blades. Plant Physiology, v.89, p. 549-556, 1989.

MAEDA, S.; YONETANI, T. Optimum cutting stage of forage plants. II. Seasonal changes in CGR and average productivity in Italian ryegrass population. Journal of Japanese Society of Grassland Science, v.24, p.10-16, 1978.

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. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens), Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2004. Orientador: Prof. Sila Carneiro da Silva

McCREE, K.J.; TROUGHTON, J.H. Non existence of na optimum leaf area index for the production rate of white clover grown under constant conditions. *Plant Physiology*, v.41, p.1615-1622, 1966.

NABINGER, C. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1997, p. 213-251.

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.

PARSONS, A.J.; PENNING, P.D. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science*, v.43, n.1, p.15-27, 1988.

PARSONS, A.J.; JOHNSON, I.R.; HARVEY, A. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science*, v.43, n.1, p.49-59, 1988a.

PARSONS, A.J.; JOHNSON, I.R.; WILLIAMS, J.H.H. Leaf age structure and canopy photosynthesis in rotationally and continuously grazed swards. *Grass and Forage Science*, v.43, n.1, p.1-14, 1988b.

PRIOUL, J.L.; BRANGEON, J.; REYSS, A. Interaction between external and internal conditions in the development of photosynthetic features in a grass leaf. I. Regional responses along a leaf during and after low-light or high-light acclimation. *Plant Physiology*, v.66, p.762-769, 1980a.

PRIOUL, J.L.; BRANGEON, J.; REYSS, A. Interaction between external and internal conditions in the development of photosynthetic features in a grass leaf. II. Reversebility of light-induced responses as a function of developmental stages . *Plant Physiology*, v.66, p.770-774, 1980b.

ROBSON, M. J. the growth and development of simulated swards of perennial ryegrass. 1. Leaf growth and dry weight change as related to the ceiling yield of a seedling sward *Annals of Botany*, v.37, p.485-500, 1973.

SARMENTO, D.O.L. Produção, composição morfológica e valor nutritivo da forragem em pastos de *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich) Stapf. cv Marandu submetidos a estratégias de pastejo rotativo por bovinos de corte. 2007. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens), Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2007. Orientador: Prof. Sila Carneiro da Silva

SCHNYDER, R. H. et al. 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. (Eds.) Grassland ecophysiology and grazing ecology. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxon OX10 8DE, UK, 2000. p.41-60.

SKINNER, R. H., NELSON, C. J. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. *Crop Science*, v.35, n.1, p.4-10, 1995.

SMETHAM, M.L. The management of pastures for grazing. *Outlook on Agriculture*, v.24, n.3, p.167-177, 1995.

SUPLICK, M. R. et al. Switchgrass leaf appearance and lamina extension rates in response to fertilizer nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*, v. 25, n. 10, p.2115-2127, 2002.

TAINTON, N.M. Effects of diferent grazing rotations on pasture production. *Journal of the British Grassland Society*, v.29, p.191-202, 1974.

VALENTINE, I.; MATTHEW, C. Plant growth, development and yield. In: WHITE, J.; HODGSON, J. (Ed.). *New Zealand pasture and crop science*. Auckland: Oxford University Press, 1999. p. 11-27.

VOLTOLINI, T.V. Adequação protéica em rações com pastagens ou com cana-de-açúcar e efeito de diferentes intervalos entre desfolhas da pastagem de capim Elefante sobre o desempenho lactacional de vacas leiteiras. 2006. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens), Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2006. Orientador: Flávio Augusto Portela Santos

WATANABE, K.; SATO, Y.; SAKURAI, T.; KOYAMA, Y. Effects of fertilization level on the regrowth of perennial. 1. Changes of growth and nitrogen content with timw and suitable cutting stages. *Journal of Japanese Society of Grassland Science*, v.29, p.290-297, 1984.