

ANATOMIA DE PLANTAS FORRAGEIRAS E A DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES PARA RUMINANTES: REVISÃO

Tiago Neves Pereira Valente^{1,2}
Erico da Silva Lima^{1,3}
Lara Toledo Henriques^{1,4}
Otávio Rodrigues Machado Neto^{1,5}
Daiany Íris Gomes^{1,6}
Cláudia Batista Sampaio^{1,7}
Viviane Aparecida Carli Costa¹

RESUMO

Diferentes espécies e cultivares de forrageiras têm sido utilizados na alimentação dos animais ruminantes em todo o mundo, porém devido a influências ambientais durante a adaptação destas, é possível observar microscopicamente os diferentes arranjos celulares em sua anatomia, gerando grande impacto na resposta produtiva dos animais, principalmente quando se compara gramíneas tropicais com temperadas, o que de certa forma, entende-se que o impedimento físico da estrutura anatômica da planta afeta a acessibilidade do nutriente pelas bactérias no rúmen. Com isso, objetivou-se nesta revisão discutir aspectos relacionados com a anatomia de plantas forrageiras C₃ e C₄ sobre a disponibilidade de nutrientes para os microrganismos ruminais.

Palavras-chave: anatomia da planta, digestibilidade, valor nutritivo

ANATOMY OF FORAGE PLANTS AND THE AVAILABILITY OF NUTRIENTS FOR ANIMAL RUMINANTS

ABSTRACT

Different species and cultivate of grasses have been used for animal ruminants in the world, however plants need change to adapt for ambient influences, it is possible microscopically observe the different cellular arrangements in its anatomy, and having as resulted in great impact in the productive farm animals, mainly when compared grass tropical and tempered, of certain form one understands that the physical impediment of the anatomical structure affects the accessibility of the nutrient for the bacteria in rumen. Then the objective this revision was the discussion of aspects related with the anatomy of grasses plants C₃ and C₄ on the availability of nutrients for microorganisms in rumen.

Key words: plant anatomy, digestibility, nutritive value

ANATOMÍA DE PLANTAS FORRAGERAS Y LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES PARA RUMIANTES

¹ Zootecnista

² Pós-doutor em Zootecnia – UENF-RJ, Fiscal Estadual Agropecuário da Agrodefesa de Goiás. Autor para correspondência. E-mail: tiagozootecnista@yahoo.com.br / Rua Onze nº 235, Jardim Belvedere Volta Redonda- RJ, 27258-220 / Telefone (064) 81097444

³ Doutorando em Zootecnia – FMVZ, UNESP, Botucatu. Bolsista CAPES; e-mail: ericozool1@yahoo.com.br

⁴ Professora Doutora da UFPB, e-mail: larath@oi.com.br

⁵ Doutorando em Zootecnia UFLA, Lavras. Bolsista CNPq; otavionetto@terra.com.br

⁶ Doutoranda em Zootecnia UFV, MG.

⁷ Professora Doutora da UNIVIÇOSA- MG; claudiabsampaio@yahoo.com.br

RESUMEN

Diferentes especies y que cultivos de forrajeras han sido utilizados en la alimentación de los animales rumiantes en todo el mundo, sin embargo debido a influencias ambientales durante la adaptación de estas, es posible observar microscópicamente los diferentes arreglos celulares en su anatomía, generando gran impacto en la respuesta productiva de los animales, principalmente cuando se compara gramíneas tropicales con templado, lo que de cierta forma, se entiende que el impedimento físico de la estructura anatómica de la planta afecta la accesibilidad del nutriente por las bacterias en el rúmen. Con eso, se objetivó en esta revisión discutir aspectos relacionados con la anatomía de plantas forrajeras C₃ y C₄ sobre la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos ruminales.

Palabras-claves: anatomía vegetal, digestibilidad, valor nutricional.

INTRODUÇÃO

As gramíneas e leguminosas forrageiras pertencem ao grupo das angiospermas e constituem uma importante fonte alimentar para os ruminantes. Porém, metabolicamente as forrageiras podem diferir em suas vias de redução do gás carbônico. Na grande maioria das plantas, a fixação do CO₂, segue um ciclo onde o primeiro composto estável é formado por três átomos de carbono, o ciclo da fosfato pentose C₃, ou ciclo de Calvin-Benson, popularmente conhecida apenas por ciclo de Calvin. Entretanto, existem plantas que reduzem o CO₂ segundo um ciclo onde o primeiro composto estável tem quatro átomos de carbono, ou ciclo do ácido dicarboxílico C₄. Tais modificações implicam em mudanças nas suas características morfológicas. As plantas C₄ estão mais adaptadas à luz e a altas temperaturas (Figura 1). As plantas C₄ nesta situação utilizam menos de 400 gramas (g) de água para produzir 1 g de matéria seca (MS) vegetal, enquanto as C₃ utilizam de 400 a 1000 g de água para produzir a mesma 1 g de MS. As plantas C₃ são plantas que possuem a maior produção de fotoassimilados no mundo, provavelmente porque são mais competitivas nas comunidades mistas, onde existe efeito de sombreamento e as temperaturas e luminosidade não são tão extremas (1). Existe uma outra rota fotossintética e conhecida pelo nome de CAM (metabolismo do ácido crassuláceo) que ao contrário das outras (C₃ e C₄), abrem os estômatos à noite e os fecham durante o dia. Este pode ser considerado um mecanismo de adaptação destas plantas a regiões áridas, no sentido de minimizar a perda de água (2).

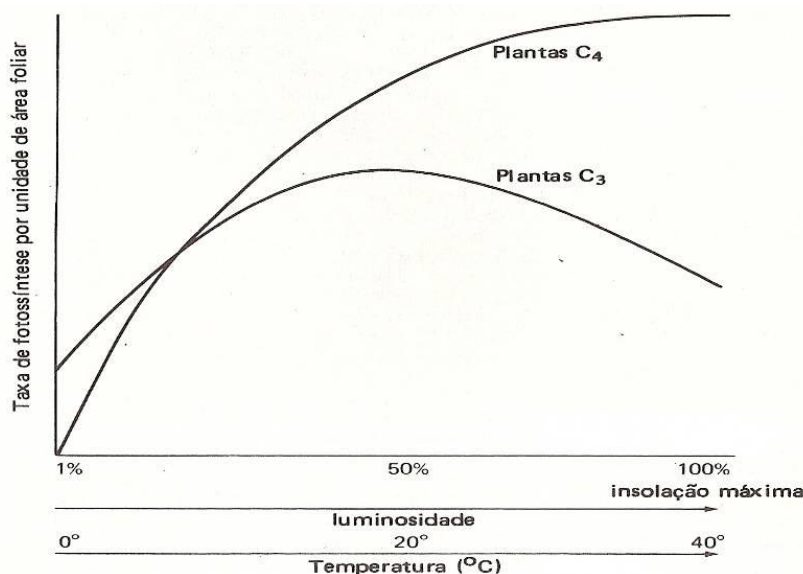


Figura 1. Comparação das respostas fotossintéticas de plantas C_3 e C_4 a aumentos de luminosidade e temperatura adaptado de Odum (1).

Todas as leguminosas tropicais são plantas com metabolismo C_3 . Porém, a maior parte das gramíneas tropicais tem metabolismo C_4 e este fato gera um problema no equilíbrio da pastagem onde as gramíneas e leguminosas estão consorciadas. As gramíneas C_4 possuem maior crescimento, e com a intensidade do pastejo, as leguminosas tendem a desaparecer (3). As plantas tropicais C_4 fazem pouca fotorrespiração porque a alta concentração de CO_2 em suas células da bainha acelera a reação da carboxilase em relação à de oxigenase. Esse efeito é especialmente importante em temperaturas mais altas. Assim, os vegetais C_4 têm vantagem em ambiente quente e sob alta iluminação (Tabela 1).

Tabela 1- Características de plantas C_3 e C_4 .

| C_3 | C_4 |
|---|--|
| C_3 1º composto estável da fotossíntese | C_4 1º composto estável da fotossíntese |
| Ribulose bisfosfato carboxilase (carboxidismutase), enzima do 1º passo da fixação do CO_2 | Fosfoenolpiruvato (PEP) carboxilase - enzima de carboxilação |
| Baixa temperatura ótima (20-25°C) maior carboxilação enzimática | Alta temperatura ótima (30-35°C) maior carboxilação enzimática |
| No início a acumulação fotossintética é distribuída através de células do mesófilo | No início a acumulação fotossintética é concentrada nos feixes das bainhas celulares |
| Normalmente 10-15 células do mesófilo entre os feixes vasculares | Somente 2-3 células do mesófilo entre os feixes vasculares |
| Translocação lenta dos fotoassimilados para as folhas | Translocação rápida dos fotoassimilados para as folhas |
| Não têm reserva de amido (somente gramíneas); não têm cloroplastos dimórficos | Tem reserva de amido e grande quantidade de cloroplastos dimórficos |
| Alta transpiração | Baixa transpiração |
| Alta fotorrespiração | Baixa fotorrespiração |
| Adaptado de Van Soest (3) | |

A enzima ribulose-1,5 bisfosfato conhecida como rubisco, tem tanto função carboxilase quanto oxigenase, e surgiu precocemente na evolução, quando a atmosfera era rica em CO_2 e

quase isenta de O₂. Dessa forma, a enzima não foi originalmente selecionada para operar em ambiente rico em O₂ e quase isento de CO₂ (2).

As plantas C₃ apresentam a enzima rubisco nas células do mesofilo. Esta enzima possui duas atividades: carboxilase e oxigenase. Quando atua como carboxilase, o CO₂ reage com a ribulose 1,5-bisfosfato formando duas moléculas de 3-fosfoglicerato. Esta fase é denominada de carboxilação. Mas, quando a Rubisco atua como oxigenase forma uma molécula de 3-fosfoglicerato e uma de fosfoglicolato, iniciando o processo denominado fotorrespiração. As plantas C₄ apresentam uma estrutura denominada de "anatomia Kranz", que se caracterizam por terem feixes vasculares bem desenvolvidos, rodeado por células denominadas células da bainha dos feixes vasculares, que apresentam cloroplastos sem grana. Em volta dessas células existem as células do mesofilo, com cloroplastos com grana. A fixação inicial de CO₂ ocorre no citossol das células mesofílicas, onde o CO₂ reage com o fosfoenolpiruvato, via enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcarboxilase) para formar oxalacetato. Posteriormente, o oxalacetato pode ser reduzido a malato por uma malato desidrogenase ligada a NADP⁺. Posteriormente, o malato é transportado até as células da bainha dos feixes vasculares, onde serão descarboxilados, liberando CO₂ e produzindo piruvato. O CO₂ liberado entra no ciclo de Calvin, por meio da enzima rubisco, enquanto o piruvato retorna às células mesofílicas, onde é convertido em fosfoenolpiruvato, regenerando o aceptor inicial de CO₂ (2).

No mesmo gênero de plantas podemos encontrar espécies com diferenciação na rota metabólica. Wilson et al. (4) trabalharam com 28 espécies de *Panicum* e constataram que apenas 18 espécies apresentaram anatomia do tipo Kranz, ou seja, anatomia da folha com tipo fotossintético conhecido como plantas com metabolismo C₄, sete espécies do tipo não Kranz (C₃) e três espécies do tipo intermediário conhecido como C₃ / C₄. Esses autores concluíram que a ordenação decrescente da digestibilidade começou pelas plantas C₃ seguidas das C₃ / C₄ e por último as C₄. Sendo identificado uma relação entre a anatomia da gramínea e sua digestibilidade (Tabela 2). Porém, segundo Queiroz et al. (5) plantas do mesmo grupo fotossintético podem diferir anatomicamente entre as espécies, o que resulta em forragens com diferentes valores nutritivos.

Tabela 2. Valores médios atribuídos às espécies de *Panicum* C₃, C₃ / C₄ e C₄

| | Digestibilidade da MS % | Parede celular % | Proporção dos tecidos em (%) | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------|----------|---------------|
| | | | Mesofilo | Bainha parenquimática | Bainha vascular | Epiderme | Esclerênquima |
| C ₃ | 76 | 33 | 66 | 10 | 3 | 22 | 0,5 |
| C ₃ / C ₄ | 70 | 42 | 48 | 18 | 6 | 26 | 1,7 |
| C ₄ | 69 | 50 | 43 | 20 | 8 | 27 | 1,7 |

Adaptado de Wilson et al. (4)

TECIDOS VEGETAIS

As plantas forrageiras são formadas por diferentes órgãos (raiz, folha, colmo), sendo cada órgão formado por um conjunto de células com características diferentes tanto estruturais como químicas. Cada tecido possui composição física e química diretamente relacionada com sua estrutura na planta; por exemplo, tecidos de sustentação devem ser densamente agrupados, espessados e lignificados. Já um tecido especializado para realizar a fotossíntese deve possuir células com parede delgada e não-lignificada. Assim, o potencial de digestibilidade de uma forrageira pode ser relacionado com os diferentes tecidos que as constituem (6). Desse modo, quanto maiores quantidades de tecidos vasculares lignificados e

esclerenquimáticos menores serão as taxas de digestibilidade (7, 5). Conforme avança a idade da planta, ocorre aumento na espessura da parede de células do esclerênquima de lâminas foliares.

Brito & Deschamps (8), ao trabalharem com três cultivares de capim-elefante, verificaram que a área ocupada pelo tecido lignificado aumentou com o crescimento das plantas, tanto nas folhas quanto no colmo. O estágio de maturidade é importante fator a influenciar o valor nutritivo da planta forrageira. Mesmo que seja perceptível o declínio na qualidade de lâminas e bainhas foliares com o avanço da maturidade, não ocorrem variações nas proporções de tecidos, uma vez que, a contribuição relativa de cada tecido na folha não se altera com a idade (9). Nas lâminas foliares de gramíneas são encontrados diferentes tecidos, uns especializados na condução da seiva, outros na sustentação da planta e outros formados pelo mesofilo, tecido ao qual ocorre a síntese de fotoassimilados. Os tecidos condutores conhecidos como feixes vasculares são constituídos tanto por xilema quanto por floema. O esclerênquima é um tecido de sustentação, porém nas gramíneas tanto tecidos de sustentação quanto de condução estão associados. A epiderme recobre a superfície externa tanto inferior quanto superior na planta, podendo ainda ter uma camada de cutícula mais externa.

O colmo das gramíneas é formado por um tecido parenquimático, onde os feixes vasculares estão dispersos com um anel esclerenquimático subepidérmico que circunda todo o colmo e a epiderme mais externamente (9). Os feixes vasculares são similares àqueles encontrados nas folhas, podendo apresentar um anel de fibras (esclerênquima) circundando cada feixe. Nos estágios iniciais de desenvolvimento, apenas o xilema é lignificado, porém, ocorre um progressivo processo de maturação com o avanço da idade incluindo o anel esclerenquimático e num estágio mais avançado, até o parênquima onde os feixes vasculares estão inseridos (10).

Nas espécies C₄, há uma diferença anatômica, pois as células do mesofilo apresentam-se mais densamente arranjadas, formando uma estrutura radial ao redor dos feixes vasculares, denominado arranjo tipo Kranz, estrutura ausente nas espécies C₃.

Comparações anatômicas e químicas de entrenós situados nas porções superior e inferior do perfilho são escassas, mas freqüentemente mostram um gradiente de aumento do tecido esclerenquimático e de espessamento da parede celular, e dos teores de fibra e de lignina, do topo para a base do perfilho (5). Ao comparar a proporção dos tecidos tanto da lâmina foliar quanto do colmo para o capim-gordura, capim-tifton 85 e capim-braquiária (Figura 2), Paciullo (10) estudou duas idades de corte e só não encontrou diferença para o capim-braquiária. Ao avaliar a composição química de lâminas foliares o capim-braquiária também foi o que apresentou mais alto teor de lignina, sendo que as demais espécies não diferiram entre si. Em geral, a composição química foi acentuadamente influenciada pelo nível de inserção da folha no perfilho. Lâminas foliares de posição superior apresentaram maiores teores de FDN e lignina. Segundo o mesmo autor a explicação pode ser pelo fato de que o mais longo período de alongamento das folhas de posição superior contribui para os mais elevados teores de FDN, uma vez que a deposição dos constituintes da parede celular aumenta linearmente com a idade.

Ao comparar as proporções dos tecidos de gramíneas tropicais C₄ com gramíneas temperadas C₃, Wilson (9) percebeu que a maior presença de mesofilo (tecido de rápida degradação) encontrado nas gramíneas temperadas, pode resultar em melhor desempenho dos animais em comparação com as gramíneas tropicais.

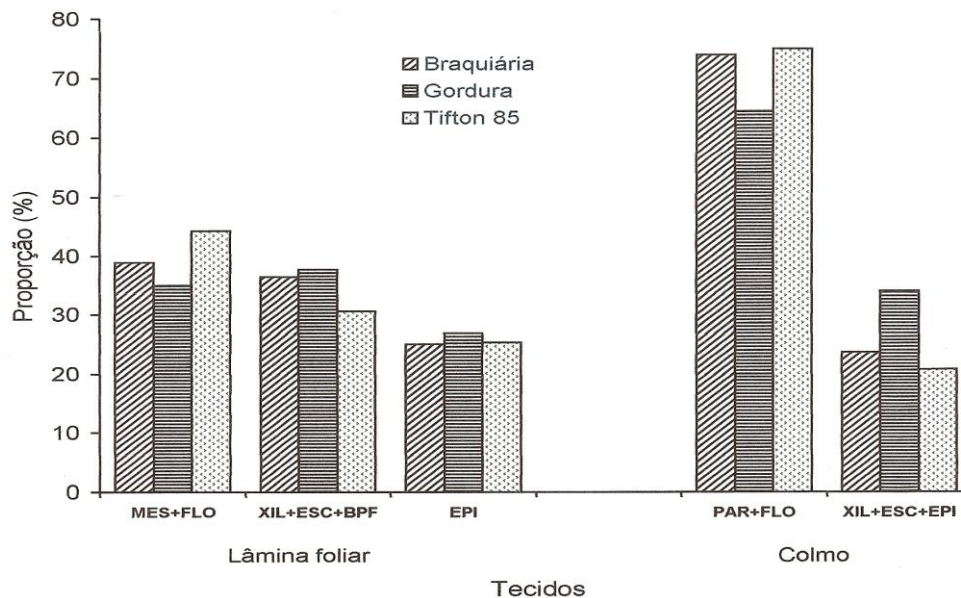


Figura 2. Diferenças entre três espécies quanto a proporção de tecidos agrupados de acordo com o potencial de digestão em seções transversais da lâmina foliar e do colmo. MES - mesofilo, FLO – floema e PAR - parênquima (digestíveis), EPI - epiderme (parcialmente digestível na lâmina e praticamente indigestível no colmo), XIL- xilema, ESC- esclerênquima, BPF - bainha parenquimática dos feixes (praticamente indigestíveis) (Adaptado (11))

PROPORÇÕES DE TECIDOS VEGETAIS E A DIGESTIBILIDADE

A digestibilidade de uma planta forrageira está relacionada com sua composição bromatológica e também a sua composição histológica. Embora a lignina seja o principal fator limitante da digestibilidade (12), outros componentes nas plantas também podem limitar seu valor nutritivo. Segundo Van Soest (3) estes componentes são representados por uma grande quantidade de substâncias que podem ter diferentes efeitos. Substâncias defensivas agem tanto inibindo o metabolismo do animal quanto o desenvolvimento das bactérias no rúmen, sendo as principais substâncias: o fenilpropanóide incluindo a lignina, flavonóides, isoflavonóides, taninos condensados, taninos hidrolisados e outros compostos contendo alcalóides e terpenos.

Espera-se que no clima tropical as forrageiras tenham uma menor quantidade de carboidratos solúveis e alta quantidade de parede celular como também celulose (Tabela 3).

As forrageiras no clima tropical tendem a ter um menor valor nutritivo e alta proporção de estruturas protetoras para prevenir a predação, levando-se em conta também que durante longos períodos de noites quentes as plantas respiram e quando as forrageiras crescem em temperaturas elevadas ocorre um aumento da lignificação. Por isso, as forrageiras com metabolismo C_4 , tendem a ter uma qualidade inferior (3).

Estudos da anatomia foliar e suas relações com o valor nutricional de plantas forrageiras foram relatados por (13-21). Para que os tecidos sejam digeridos após sua chegada no rúmen é necessário que os diferentes tipos de microrganismos colonizem as partículas do alimento. A maior rota de invasão parece ser via lesão da epiderme. Brito & Deschamps (8) observaram que os estômatos presentes na epiderme de bainhas e lâminas foram utilizados pelos micro-organismos como via de acesso aos tecidos mais internos. O processo de degradação iniciou-se pela câmara sub-estomática, avançando pelo mesofilo. As bactérias do rúmen digerem inicialmente as células do mesofilo e do floema (22-24). Para terem acesso às

células da bainha parenquimática dos feixes, os micro-organismos necessitam antes digerir as do mesofilo ou da epiderme, ou que as células da bainha estejam expostas por efeito de dano físico. Assim, a taxa de digestão das células da bainha parenquimática poderá ser influenciada pela taxa de digestão das células de mesofilo e o tempo de colonização poderá ser menor, quanto maior for o número de danos na epiderme, sendo que, a mastigação do animal pode contribuir tanto na hora da ingestão como na hora da ruminação para uma maior degradação física da gramínea.

Tabela 3. Digestibilidade e componentes de forrageiras tropicais e temperadas

| | Base MS | | | | | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------|------------------|--------------------------|
| | Digestibilidade em (%) | Proteína bruta (%) | Fibra bruta (%) | Parede celular (%) | Celulose (%) | Hemicelulose (%) | Componentes solúveis (%) |
| Temperadas | | | | | | | |
| Alfafa | 60 | 17 | 30 | 40 | 24 | 8 | 33 |
| Silagem de milho | 70 | 9 | 24 | 45 | 26 | 16 | 40 |
| Orchard jovem | 70 | 15 | 27 | 55 | 26 | 25 | 21 |
| timótio velho | 52 | 7 | 34 | 68 | 31 | 29 | 20 |
| Tropicais (60 dias) | | | | | | | |
| Pangola | 54 | 11 | 30 | 70 | 34 | 29 | 10 |
| Guinéia | 54 | 9 | 34 | 70 | 35 | 26 | 9 |
| Bermuda | 50 | 9 | 30 | 77 | 32 | 38 | 8 |
| Napier | 50 | 9 | 31 | 72 | 36 | 28 | 9 |

Adaptado (3).

Para a bainha parenquimática dos feixes e a epiderme, a digestão é parcial após período de incubação entre 24 e 48 horas (25, 26), porém, o desaparecimento total das células da epiderme ocorre após incubação por 24 h (27). Os tecidos que apresentam células com paredes espessadas e lignificadas, como o xilema e esclerênquima, são praticamente indigestíveis, permanecendo aparentemente intactos após longo período de incubação em líquido ruminal (28).

A inacessibilidade da parede secundária impede que os micro-organismos façam rápida digestão da parede celular vegetal, não por sua composição da parede, mas sim pelo tempo gasto no acesso da parede para a digestão, de modo que material que poderia render energia acaba saindo nas fezes sem ser digerido (9). A espessura da parede celular pode dificultar o rápido acesso das bactérias para o início do processo digestivo. A parede celular do esclerênquima, por exemplo, depende de 48 horas para ser digerido, ou seja, mesmo que a parede celular esteja acessível aos micro-organismos, esta partícula não sofrerá completa digestão no seu tempo de permanência no rúmen. Para Akin (6) quanto maior a espessura da parede secundária, maior será o tempo para que ocorra uma completa digestão.

Compilando resultados de diferentes trabalhos sobre digestão de tecidos (Tabela 4), Akin, (24) sugeriu a divisão dos tecidos foliares de gramíneas C₄ em rapidamente digestíveis, o mesofilo e o floema, lenta e parcialmente digestíveis, a epiderme e as células da bainha do feixe vascular, respectivamente, e indigestíveis, o xilema e o esclerênquima. Nas espécies C₃, apenas o tecido vascular (exceto floema) e a bainha interna dos feixes, que ocorre em algumas espécies C₃, são resistentes à digestão, sendo que, numa posição intermediária, parcial e lentamente digestível, encontram-se o esclerênquima e a bainha parenquimática dos feixes. Os tecidos rapidamente digeridos incluem o mesofilo, floema, epiderme e bainha externa dos feixes.

Tabela 4. Resposta de tecidos à digestão

| FRAÇÃO/ORIGEM | DIGESTÃO RELATIVA DOS TECIDOS ¹ | | |
|-------------------|---|-----------------------------------|--------------|
| | Rápida | Lenta e parcial | Não digerido |
| Folha/ Tropicais | MES e FLO | EPI e BPF | XIL e ESC |
| Folha/ Temperadas | MES, FLO, EPI e BPF (depende da espécie) | BPF (depende da espécie) e ESC | XIL e BIF |

1- MES- mesofilo; FLO- floema; EPI- epiderme; BPF- bainha parenquimática dos feixes; ESC- esclerênquima; XIL- xilema; BIF- bainha interna dos feixes (Adaptada de Akin (24)).

Em geral, as espécies C₄ apresentam, na lâmina foliar, maior proporção de tecido vascular, bainha parenquimática dos feixes e esclerênquima, enquanto as espécies C₃ se destacam pela maior proporção de mesofilo, que ocupa ao redor de 60 % da seção transversal destas gramíneas (29) (Figura 3).

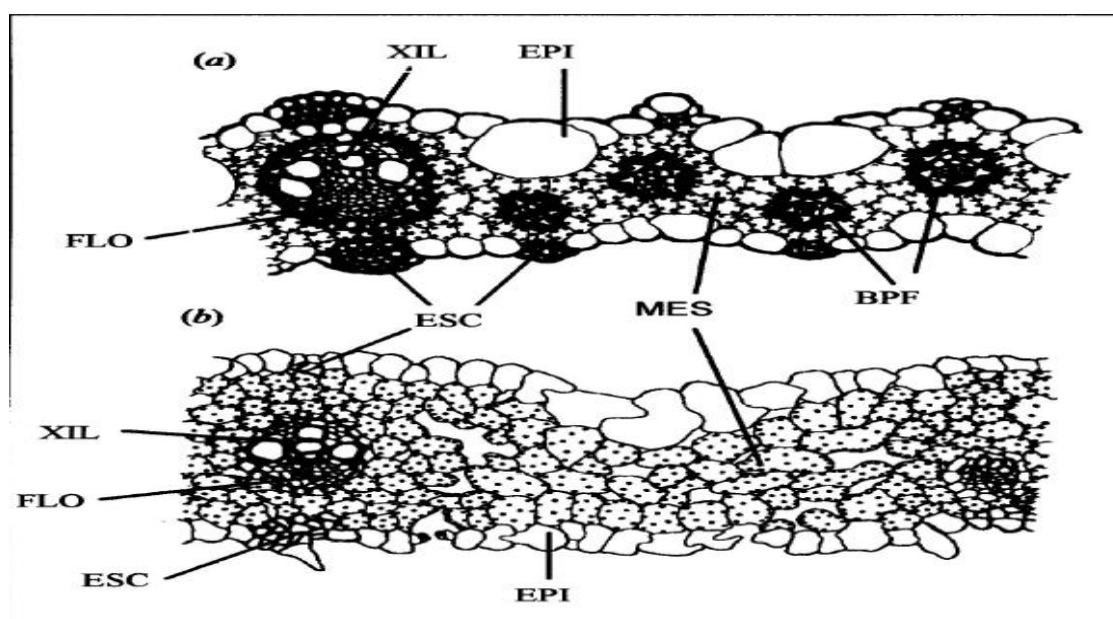


Figura 3. lâmina foliar (a) gramínea tropical C₄ e (b) gramínea de clima temperado C₃. MES - mesofilo; XIL - xilema; FLO - floema; ESC - esclerênquima; EPI - Epiderme e BPF - bainha parenquimática dos feixes (adaptado de Minson & Wilson (29))

O mesofilo nas gramíneas C₄ mesmo que sofram uma rápida degradação são mais lentamente digeridos que nas espécies C₃, devido ao forte adensamento celular na C₄. Nas espécies C₃ as células são mais frouxamente arranjadas, apresentando poucos pontos de aderência entre si. Anatomicamente, a degradação da bainha parenquimática parece ser a maior causa da variação na digestibilidade entre cultivares de *Panicum* do tipo fotossintético C₄ e C₃ (6). Foi possível constatar que o potencial de degradação apresentou a seguinte ordem decrescente: tecido parenquimático > floema > epiderme > bainha parenquimática > xilema e esclerênquima, estando de acordo com as seqüências de degradação apresentadas pelos autores (9, 5).

A degradação dos tecidos presentes nas diferentes estruturas diminuiu com a idade da planta. Dentre os fatores que afetam a qualidade da forragem, a idade da planta é o fator isolado com maior contribuição. Contudo, o ambiente no qual a planta se desenvolve também

desempenha papel relevante, segundo Carvalho & Pires (30). A área ocupada pelo tecido epidérmico no limbo se reduz com o incremento do estágio de maturação das folhas e a área de tecido vascular lignificado aumenta com a idade dos tecidos, especialmente no colmo em trabalho com três cultivares de capim-elefante (8).

O capim imperial (*Axonopus scoparius*) é uma gramínea tropical muito usada no Sul do Brasil, em que, com a maturidade apresentou queda na taxa de degradabilidade efetiva, a qual foi relacionada com o espessamento da parede celular e aumento da área de tecido lignificado. O caule foi a fração cuja degradação decresceu em maior proporção quando comparado às frações foliares (31,32). Para o trevo que é uma leguminosa, a digestibilidade também diminuiu conforme aumentou a maturidade (33) e a justificativa seria a presença de lignina na bainha vascular.

De modo geral, a proporção de mesofilo relaciona-se positivamente com a digestibilidade e negativamente com o teor de parede celular. Já as proporções de bainha parenquimática dos feixes, tecido vascular e esclerênquima, ao contrario se relacionam negativamente com a digestibilidade e positivamente com o teor de parede celular (34, 5).

As gramíneas tropicais podem apresentar resultados diferentes para a digestão de cada parte dos tecidos foliares, e células como o mesofilo e floema podem ser rapidamente degradados após um período de incubação de 12 a 24 horas, apesar de às vezes a digestão não ser completa após incubação de 48 horas (35). Paciullo (10) ao trabalhar com capim-gordura, capim-tifton 85 e capim-braquiária observou que as células do mesofilo, do parênquima e do floema foram às únicas a sofrerem completa digestão *in vitro* em até 48 horas. Akin (6) trabalhou com duas variedades de *Cynodon* e observou que o mesofilo e o floema foram os primeiros tecidos a serem degradados. Após 24 horas de digestão *in situ* somente foram encontrados xilema e esclerênquima, segundo Gasser et al. (36), para uma forrageira temperada. Ao comparar tecidos lignificados em *Brachiaria brizantha* e *B. humidicula*, Brito et al. (7) encontraram as maiores proporções de tecidos lignificados na *B. brizantha* tanto para as regiões basilares, centrais como também para as regiões apicais.

Ao comparar a digestão do capim-tifton 85, capim gordura e capim braquiária (Paciullo et al. (37); Paciullo et al. (11)) concluíram que o capim-tifton 85 apresentou características anatômicas mais compatíveis com as de uma gramínea de melhor valor nutritivo (Figura 2). Isso porque, no capim-tifton 85, as mais baixas proporções de tecidos pobremente digeridos na lâmina foliar e no colmo, associadas às elevadas proporções de MES e PAR, refletiram em maiores área digeridas, mesmo em lâminas e colmos em estágio de desenvolvimento mais avançado. Por outro lado, as elevadas proporções de XIL, BPF e ESC, em capim-gordura, indicam que esta espécie apresenta características anatômicas mais típicas de forrageira de valor nutritivo mais baixo. O capim braquiária, embora tenha apresentado proporção de tecidos intermediária às duas outras espécies, mostrou mais alta espessura da parede celular, independente do estágio de desenvolvimento. Tal característica certamente influenciou negativamente na digestão das seções transversais. As taxas de digestão da parede celular do esclerênquima variaram de 0,007 a 0,018 $\mu\text{m}/\text{h}$, conforme a espécie e a idade da gramínea, sendo maior com um tempo de incubação de 46 horas. Portanto, mesmo na ausência da lignificação, como em colmos jovens, a digestão da parede celular não se completou durante o tempo de incubação em líquido ruminal. Este fato sugere que, em células com parede espessa (acima de 1 μm), as limitações à digestão se originam, principalmente, de problemas estruturais (11).

A bainha parenquimática dos feixes, esclerênquima e o tecido vascular lignificado proporcionaram correlações altamente significativas, positivas com os teores de FDN, FDA e lignina e negativas com os teores de proteína bruta. Estes tecidos apresentam parede celular espessada, lignificada, estando freqüentemente associados à fração lentamente digestível e ao teor de fibra da forrageira (5).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há uma necessidade de se estabelecer um banco de informações a respeito da anatomia das diferentes gramíneas forrageiras, incluindo a proporção dos tecidos, os fatores que determinam a digestão da parede celular e, conseqüentemente, dos diferentes tecidos, como também a influência da estrutura anatômica sobre o consumo dos animais, o que poderia possibilitar o avanço sobre o conhecimento das relações entre fatores anatômicos e a qualidade das gramíneas forrageiras.

REFERÊNCIAS

1. Odum EP. Basic ecologic. Philadelphia: CBS College Publishing; 1983.
2. Stryer L. Bioquímica. 4° ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1996.
3. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. Ithaca: Comstock Publishing Associates; 1994.
4. Wilson JR, Brown RH, Windham WR. Influence of leaf anatomy on the dry matter digestibility of C3, C4 and C3 / C4 intermediate types of Panicum species. Crop Sci. 1983;23:141-6.
5. Queiroz DS, Gomide JA, Maria J. Avaliação da folha e do colmo de topo e base de perfilhos de três gramíneas forrageiras. 2. Anatomia. Rev Bras Zootec. 2000;29:61-8.
6. Akin DE. Section to slide technique for study of forage anatomy and digestion. Crop Sci. 1982;22:444-6.
7. Brito CJFA, Rodella RA, Deschamps FC. Anatomia quantitativa da folha e do colmo de Brachiaria Brizantha (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf e B. humidícula (Rendle) Schweick. Rev Bras Zootec. 2004;33:519-28.
8. Brito CJFA, Deschamps FC. Caracterização anatômica em diferentes frações de cultivares de Capim-elefante (Pennisetum purpureum Schumach.). Rev Bras Zootec. 2001;30:1409-17.
9. Wilson JR. Structural and anatomical traits of forages influencing their nutritive value for ruminants. In: Anais do Simpósio Internacional sobre Produção Animal em Pastejo. Viçosa. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1997. p. 173-208.
10. Paciullo DSC. Características anatômicas e nutricionais de lâminas foliares e colmos de gramíneas forrageiras, em função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2000.
11. Paciullo DSC, Gomide JA, Silva EAM, Queiroz DS, Gomide CAM. Degradação in vitro de tecidos da lâmina foliar e do colmo de gramíneas forrageiras tropicais, em função do estágio de desenvolvimento. Rev Bras Zootec. 2002;31:900-7.

12. Jung HG, Deetz DA. Cell wall lignification and degradability. In: Jung HG, Buxton DR, Hatfield RD, Ralph J, editors. Forage cell wall structure and digestibility. Madison: ASA-CSSA-SSSA; 1993. p.315-46.
13. Wilkins RJ. The potential digestibility of cellulose in grasses and its relationship with chemical and anatomical parameters. *J Agric Sci.* 1972;78:457-64.
14. Wilson JR. Variation of leaf characteristics with level of insertion on a grass tiller. II. Anatomy. *Aust J Agric Res.* 1976;27:355-64.
15. Rodella RA, Ishiy CM, Maimoni-Rodella CS. Estudo quantitativo de características anatômicas de folhas de duas espécies de *Brachiaria*. *Rev Agrocienc.* 1982;2:21-30.
16. Rodella RA, Ayoub JF, Maimoni-Rodella RCS. Estudo quantitativo de características anatômicas da folha de *Panicum maximum* Jacq. E *Panicum coloratum* L. *Rev Agric.* 1984;59:163-74.
17. Brito CJFA, Rodella RA. Breve histórico das relações entre anatomia vegetal e qualidade de gramíneas forrageiras com ênfase para o gênero *Brachiaria*. *Rev Agric.* 2001;76:19-36.
18. Brito CJFA, Rodella RA, Deschamps FC, Alquini Y. Anatomia quantitativa e degradação in vitro de tecidos em cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach). *Rev Bras Zootec.* 1999;28:223-9.
19. Brito CJFA, Rodella RA, Deschamps FC. Perfil químico da parede celular e suas implicações na digestibilidade de *Brachiaria Brizantha* e *Brachiaria humidicula*). *Rev Bras Zootec.* 2003;32(supl 2):1835-44.
20. Brito CJFA, Rodella RA, Deschamps FC, Alquini Y. organização estrutural da lâmina e da bainha foliar de cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.-Poaceae). *Arq Biol Tecnol.* 1997;40:661-71.
21. Tanaka LEY, Rodella RA. Caracterização morfo-anatômica da folha de gramíneas forrageiras C3 e C4 através da análise multivariada. In: Resumos da 36ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia; 1999, Porto Alegre. Porto Alegre: SBZ; 1999. v.1, p.22.
22. Hanna WW, Monson WG, Burton GW. Histological examination of fresh forages leaves after "in vitro" digestion. *Crop Sci.* 1973;13:98-102.
23. Akin DE, Amos HE, Barton FE, Burdick D. Rumen microbial degradation of grass tissue by scanning electron microscopy. *Agron J.* 1973;65:825-88.
24. Akin DE. Histological and physical factors affecting digestibility of forages. *Agron J.* 1989;81:17-25.
25. Bohn PJ, Brown RH, Akin DE. "In vitro" dry matter digestibility, leaf anatomy, and fiber concentration of a hybrid between C 3 and C 3-C4 *Panicum* species. *Crop Sci.* 1988;28:332-6.

26. Wilson JR, Deinum B, Engels FM. Temperature effects on anatomy and digestibility of leaf and stem of tropical and temperate forage species. *Neth J Agric Sci.* 1991;39:31-48.
27. Akin DE, Burdick D. Percentage of tissue types in tropical and temperate grass leaf blades and degradation of tissues by rumen microorganisms. *Crop Sci.* 1975;15:661-8.
28. Wilson JR. Organization of forage plant tissues. In: Jung HG, Buxton DR, Hatfield RD, Ralph J, editors. *Forage cell wall structure and digestibility.* Madison: ASA-CSSA-SSSA; 1993. p.1-32.
29. Minson DJ, Wilson JR. Comparative digestibility of tropical and temperate forage a contrast between grasses and legumes. *J Aust Inst Agric Sci.* 1980;46:247-9.
30. Carvalho GGP, Pires AJV. Organização dos tecidos de plantas forrageiras e suas implicações para os ruminantes. *Arch Zootec.* 2008;57(R):13-28.
31. Lima MS, Alquini Y, Brito CJFA, Deschamps FC. Área de tecidos de folhas e caules de *Axonopus scoparius* (flügge) kuhlm. e *Axonopus fissifolius* (raddi) kuhlm1. *Cienc Rural.* 2001;31:425-30.
32. Lima MS, Alquini Y, Brito CJFA, Deschamps FC. Degradação Ruminal dos Tecidos Vegetais e Composição Bromatológica de Cultivares de *Axonopus scoparius* (flüegge) kuhlm. e *Axonopus fissifolius* (raddi) kuhlm. *Cienc Rural.* 2001;31:509-15.
33. Akin DE, Robinson EL. Structure of leaves and stems of arrowleaf and crimson clovers as related to in vitro digestibility. *Crop Sci.* 1982;22:24-9.
34. Queiroz DS, Gomide JA, Maria J. Avaliação da folha e do colmo de topo e base de perfilhos de três gramíneas forrageiras. 1. Digestibilidade. *Rev Bras Zootec.* 2000;29:53-60.
35. Akin DE, Wilson JR, Windham WR. Site and rate of tissue digestion in leaves of C3, C4 and C3 / C4 intermediate types of *Panicum* species. *Crop Sci.* 1983;23:147-55.
36. Gasser M, Ramos J, Vegetti A, Tivano JC. Digestión de láminas foliares de *Bromus auleticus* Trin. ex Nees sometidas a diferentes tiempos de incubación ruminal. *Agric Tec.* 2005;65:48-54.
37. Paciullo DSC, Gomide JA, Silva EAM, Queiroz DS, Gomide AM. Características anatômicas da lâmina foliar e do colmo de gramíneas forrageiras tropicais, em função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento. *Rev Bras Zootec.* 2002;31(supl):890-9.

Recebido em: 30/07/10

Aceito em: 27/05/11