GUIMARÃES, A.K.V. Anatomia comparada com o valor nutritivo de gramíneas forrageiras. **PUBVET**, Londrina, V.4, N. 3, Ed. 108, Art. 726, 2010.

PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia.

Anatomia comparada com o valor nutritivo de gramíneas forrageiras

Andréa Krystina Vinente Guimarães[1]

[1] Engenheira Agrônoma, MSc. Ciência Animal e Estudante do Curso de Doutorado em Zootecnia da UFLA

RESUMO

Nas últimas três décadas têm-se realizado estudos comparando o valor nutritivo das plantas forrageiras ao arranjo e proporção dos tecidos para dimensionar o potencial de digestibilidade das plantas. Há uma associação entre o valor nutritivo e a proporção de tecidos nas gramíneas tropicais, verificando baixos coeficientes de digestibilidade relacionados às elevadas proporções de xilema e esclerênquima e aos teores de FDN, FDA e lignina. Existe correlação significativa positiva entre bainha parenquimática do feixe, esclerênquima e tecido vascular lignificado, com os teores de FDN, FDA e lignina e negativas com os teores de proteína bruta. O nível de inserção das lâminas foliares influencia a proporção dos tecidos, sendo que lâminas do nível de inserção superior apresentam estrutura de suporte mais desenvolvida, com maior proporção de tecidos de sustentação e paredes celulares mais espessas. A espessura das paredes das células do esclerênquima é fortemente influenciada pelo estádio de desenvolvimento e varia com a espécie. Desta forma, essas alterações nos tecidos afetam a composição química, sendo assim, estes estudos são imprescindíveis como ferramenta para auxiliar em trabalhos de melhoramento genético de plantas forrageiras.

Comparative anatomy with the nutritional value of grasses

ABSTRACT

In the last three decades have been conducted studies comparing the nutritional value of forage plants to the arrangement and proportion of tissue to measure the potential digestibility of plants. There is an association between the nutritional value and the proportion of tissues in tropical grasses, checking low digestibility related to high proportions of xylem and sclerenchyma and the NDF, ADF and lignina. There is a significant positive correlation between the bundle sheath cells, sclerenchyma and vascular tissue, with the NDF, ADF and lignin and negative with crude protein. The leaf insertion level influences the proportion of tissues, being that blades from superior insertion level present support structure further developed, with large numbers of support tissue and cell walls thicker. The thickness cell walls of sclerenchyma is strongly influenced by stage of development varies with species. Thus, these tissue alterations affect the chemical composition, so these studies are essential as a tool to assist it in the breeding of forage plants.

1. INTRODUÇÃO

Nos ecossistemas de pastagens as plantas forrageiras estão submetidas a diversos fatores bióticos e abióticos que alteram o seu valor nutritivo, através do aumento da participação de componentes estruturais com o avanço da idade da planta.

Os principais constituintes químicos das plantas forrageiras podem ser divididos em duas grandes categorias: aqueles que compõem a estrutura da parede celular, que são de mais baixa disponibilidade no processo de digestão, e aqueles contidos no conteúdo celular, de maior disponibilidade. Os componentes do conteúdo celular envolvem substancias solúveis em água ou levemente solúveis em água, tais como: amido, lipídios e algumas proteínas

que são digeridas tanto por enzimas de microorganismos, quanto por aquelas secretadas pelo aparelho digestivo dos animais. Já os componentes da estrutura da parede celular incluem em sua maior parte carboidratos e outras substâncias como a lignina cuja digestão é totalmente dependente da atividade enzimática dos microorganismos do trato gastrointestinal dos ruminantes (VAN SOEST, 1994).

Para a determinação da composição química das espécies forrageiras, são mais utilizados basicamente dois métodos de análise, que são a análise aproximativa de Weende (1864) e o método de Van Soest (1965) (SILVA, 1981).

No método de análise aproximativa de Weende, são determinados seis grandes componentes químicos das plantas que são: Proteína Bruta, Extrato Etéreo, Extrato não Nitrogenado, Fibra Bruta, Matéria mineral ou Cinzas e Matéria Seca. O método de Van Soest, de determinação da qualidade das forrageiras, é baseado na separação das diversas frações que constituem as plantas, por meio de reagentes específicos, denominados detergentes. Por meio de detergente neutro, é possível separar o conteúdo celular (parte da forragem solúvel em detergente neutro), que se constitui basicamente de proteínas, gordura, carboidratos solúveis, pectina e outros compostos solúveis em água, da parede celular, que se constitui na Fibra em Detergente Neutro (FDN). A seguir, o uso de detergente ácido, solubiliza o conteúdo celular e a hemicelulose, além de grande parte da proteína insolúvel, obtendo-se um resíduo insolúvel em detergente ácido, denominado Fibra em Detergente Ácido (FDA), constituída pela fração de celulose e lignina. O tratamento do resíduo de FDA com solução de ácido sulfúrico (H2SO4 72%) ou permanganato, promove a solubilização da lignina, permitindo a determinação desta assim como da celulose (SILVA, 1981).

Nas últimas três décadas têm-se aliado às avaliações do valor nutritivo estudos do arranjo e da proporção dos tecidos para dimensionar o potencial de digestibilidade das plantas, uma vez que somente a composição química não é

capaz de explicar alterações no valor nutritivo das plantas forrageiras (PACIULLO *et al.,* 2002; ALVES DE BRITO *et al.,* 2004).

De acordo com Akin *et al.,* (1983) a digestibilidade da matéria seca (MS) de gramíneas tropicais não é resultante da proporção de cada tecido, mas da digestibilidade dos diversos tecidos. A celulose e a hemicelulose são, dentre os constituintes da parede celular dos tecidos, a maior fonte de substrato disponível para fermentação no rúmen e constituem a principal fonte de energia para o ruminante. No entanto, a lignificação que ocorre em função do processo de maturação influencia a digestibilidade dessas substâncias.

Gramíneas tropicais apresentam menor valor nutritivo quando comparadas com gramíneas temperadas por que altas temperaturas de crescimento aceleram o espessamento da parede celular e induzem à lignificação sem causar mudanças marcantes na anatomia foliar (AKIN *et al.,* 1987). Contudo, a maturidade pode provocar, além da lignificação da parede celular, aumento na proporção dos tecidos lignificados (ALVES DE BRITO *et al.,* 1999; PACIULLO *et al.,* 2002).

Nas lâminas foliares de gramíneas, as células que apresentam alta digestibilidade são as de mesofilo (MES) e de floema (FLO), as de epiderme, abaxial (EPIaba) e adaxial (EPIada), e de bainha parenquimática dos feixes (BPF), são parcialmente digeridas. Já as de esclerênquima (ESC) e xilema (XIL), são indigestíveis. As espécies C4 apresentam menor proporção de MES, células da BPF bem desenvolvidas, alta freqüência de feixes vasculares (WILSON *et al.,* 1983) e um denso acondicionamento dos tecidos (HANNA *et al.,* 1973), em relação às C3.

Portanto, realizar estudos comparativos entre o valor nutritivo e a proporção e digestão dos diferentes tecidos é importante para elucidar duvidas sobre a predição do real valor dos alimentos forrageiros.

Nesta revisão serão apresentados e discutidos resultados de pesquisas onde foi realizada a comparação entre valor nutritivo e a proporção de tecidos.

2. PROPORÇÃO DOS TECIDOS E DIGESTIBILIDADE

As composições química e física dos tecidos estão diretamente relacionadas às suas funções na planta. Tecidos de sustentação apresentam células densamente agrupadas, com paredes espessas e lignificadas. Tecidos de assimilação são ricos em cloroplastos e apresentam células com parede delgada e não-lignificada. (PACIULLO, 2000).

Os tecidos da lâmina foliar são diferenciados em tecidos condutores (feixes vasculares), consistindo das células do xilema e do floema; tecido de suporte ou sustentação (esclerênquima), que, em folhas de gramíneas, está freqüentemente associado aos feixes vasculares e ao tecido assimilatório, formado pelas células do parênquima clorofiliano que constituem o mesofilo. Ambas as superfícies da folha são cobertas pela epiderme, que, por sua vez, pode ser coberta na face exterior pela cutícula.

O colmo das gramíneas apresenta um tecido parenquimático (no qual os feixes vasculares estão dispersos), um anel esclerenquimático que circunda todo o colmo e a epiderme mais externamente. Os feixes vasculares são semelhantes àqueles encontrados nas folhas, podendo ser circundados por um anel de fibras (esclerênquima). Nos estádios iniciais de desenvolvimento, apenas o xilema é lignificado. Mas, com a maturação, há progressiva lignificação, que inclui o anel esclerenquimático e, em um estádio mais avançado, até o parênquima, onde os feixes vasculares estão inseridos (AKIN, 1989).

De acordo com Brito *et al.,* (1999) cada tecido apresenta um potencial de digestibilidade, variando com a espécie, o ambiente, e essa proporção influencia o valor nutritivo de gramíneas forrageiras. As células do mesofilo e as do floema, de parede celular delgada, são rapidamente digeridas (AKIN *et al.,* 1973). As células da epiderme e da bainha parenquimática dos feixes são reconhecidas como de digestão lenta e parcial. Tecidos como esclerênquima e o xilema, que apresentam parede celular espessa e lignificada, são muito pouco digeridos (AKIN, 1989) (Tabela 1).

Tabela 1. Digestão relativa dos tecidos vegetais em plantas de clima temperado e Tropical

	DIGESTÃO RELATIVA DOS TECIDOS [1]		
FRAÇÃO/ORIGEM	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**
Colmo/gramíneas	**FLO e PAR (imaturo)**	**PAR (meia idade)**	**EPI e ESC (anel)**

1- MES- mesofilo; FLO- floema; EPI- epiderme; BPF- bainha parenquimática dos feixes; ESC esclerênquima; XIL- xilema; BIF- bainha interna dos feixes; PAR- parênquima.

Fonte: Adaptada de AKIN, 1989.

Estudos comparando a anatomia com o valor nutritivo foram realizados por Paciullo *et al.,* (2002a) que avaliaram o efeito da idade sobre o potencial de degradação dos diferentes tecidos da lâmina foliar e do colmo de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e capim-tifton 85 (*Cynodon* sp). Inferiram que o capim-tifton 85 apresentou características anatômicas mais compatíveis com as de uma gramínea de melhor valor nutritivo (Figura 1). Explicaram que, 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 áreas digeridas, mesmo em lâminas e colmos em estádio 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 estádio de desenvolvimento. Tal característica certamente influiu negativamente na digestão das seções transversais.

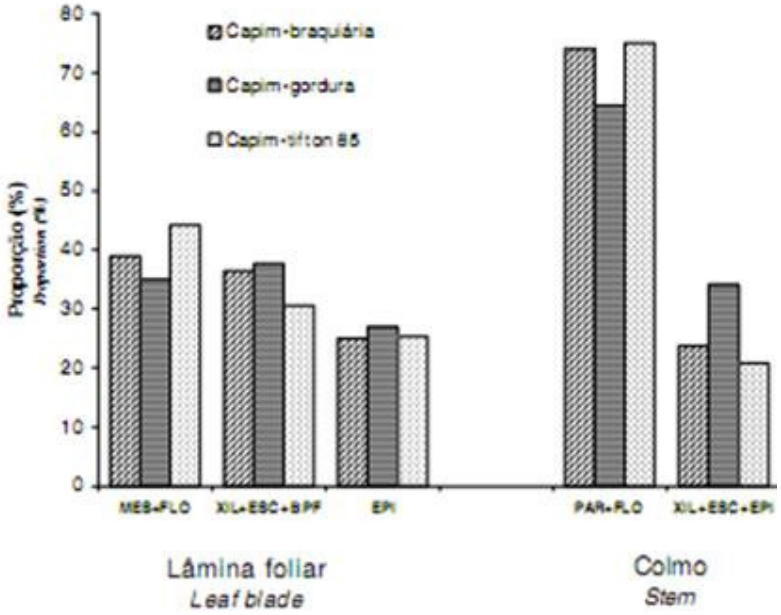

Figura 1 - Diferenças entre as três espécies quanto à proporção de tecidos agrupados de acordo com o potencial de digestão em seções transversais da lâmina foliar e do colmo. MES - mesofilo, FLO – floema e PAR - parênquima (digestíveis), EPI - epiderme (parcialmente digestível na lâmina e indigestível no colmo), XIL - xilema, ESC - esclerênquima, BPF - bainha parenquimática dos feixes (indigestíveis).
Fonte: PACIULLO *et al.,* (2002a)

Queiroz *et al.,* (2000) observaram que houve correlação significativa positiva entre bainha parenquimática do feixe (BPF), esclerênquima (ESC) E tecido vascular lignificado (TVL), com os teores de FDN, FDA e lignina e negativas com os teores de proteína bruta (Tabela 2). Estes tecidos apresentam parede celular espessada, lignificada, estando freqüentemente associados à fração lentamente digestível e ao teor de fibra da forrageira (AKIN, 1989). A proporção de mesofilo apresentou correlação significativa negativa com os teores de FDN na lâmina foliar ($r = -0,42$, $P<0,05$), mas não com a DIVMS. A proporção de epiderme na lâmina foliar não se associou significativamente à DIVMS, porém correlacionou-se negativamente aos teores

de FDA (r = -0,55; P<0,01) e lignina (r = -0,52; P<0,01) e positivamente aos teores de proteína bruta (r = 0,76; P<0,001).

Tabela 2. Correlação entre a proporção de tecidos e as entidades químicas na lâmina foliar e em todas as frações do perfilho

	Tecido *Tissue*					
	BPF *PBS*	MES *MES*	EPI *EPI*	ESC *SCL*	TVL *LVT*	CPA *PAC*
	Lâmina foliar *(Leaf blade)*					
Fibra em detergente neutro *Neutral detergent fiber*	0,54**	-0,42*	-0,14	0,68**	0,44*	0,48**
Fibra em detergente ácido *Acid detergent fiber*	0,79***	-0,12	-0,55**	0,67***	0,78***	0,56**
Proteína bruta *Crude protein*	-0,78***	-0,23	0,76***	-0,41*	-0,86***	-0,37*
Lignina *Lignin*	0,50**	0,19	-0,52**	0,14	0,52**	0,36*

Fonte: QUEIROZ et al., (2000)

2.1. ESCLERÊNQUIMA

O termo esclerênquima (ESC) é derivado do grego skleros, que significa duro. A característica principal desse tecido é a presença de paredes secundárias espessadas, lignificadas ou não havendo espessamento homogêneo e regular da parede celular. O esclerênquima é um tecido de sustentação, presente na periferia ou nas camadas mais internas do órgão, no corpo primário ou secundário da planta. As células do tecido esclerenquimático são encontradas em faixas ou calotas, ao redor dos tecidos vasculares, fornecendo proteção e sustentação (APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Bauer *et al.,* (2008) verificaram aumento na espessura da parede de células do ESC com o avanço da idade, sobretudo no verão (Tabela 3 e Figura 2), em fragmentos de colmo de capim-braquiária e capim-tifton 85 em idade avançada. Verificou-se que o aumento na espessura da parede celular e as taxas de espessamento foram, respectivamente, de 1,83 mm e 0,09 mm/dia para capim-braquiária, 1,23 mm e 0,06 mm/dia para capim-gordura e 1,20

mm e 0,06 mm/dia para capim-tifton 85. A espessura da parede dos vasos de MET (Tabela 3) aumentou com a idade, porém os incrementos de 0,22; 0,46; e 0,11 mm, respectivamente, para capim-braquiária, capim-gordura e capim-tifton 85, foram substancialmente menores que os observados em células do ESC.

Tabela 3 - Espessura da parede (mm) das células do esclerênquima (ESC) e de vasos de metaxilema (MET) em fragmentos de colmo, conforme a idade, a estação de crescimento e a espécie

Idade *Age*	Estação de crescimento *Season of growth*	Espécie *Species*		
		Capim-braquiária *Signalgrass*	Capim-gordura *Molassesgrass*	Capim-tifton 85 *Bermudagrass tifton 85*
			ESC *(SCL)*	
Jovem	Verão *(Summer)*	$1,43^{Aa}$	$0,89^{Ab}$	$1,28^{Aa}$
Young	Outono *(Autumn)*	$1,29^{Aa}$	$0,63^{Ab}$	$1,07^{Aa}$
Avançada	Verão *(Summer)*	$3,74^{Aa}$	$2,08^{Ac}$	$2,72^{Ab}$
Old	Outono *(Autumn)*	$2,64^{Ba}$	$1,90^{Ab}$	$2,03^{Bb}$
			MET	
Jovem *Young*	-	$1,71^{Ba}$	$1,31^{Bb}$	$1,54^{Aa}$
Avançada *Old*	-	$1,93^{Aa}$	$1,77^{Aab}$	$1,65^{Ab}$

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas nas linhas comparam espécies e maiúsculas nas colunas, em cada tecido, difere (P<0,05) pelo teste de Tukey.

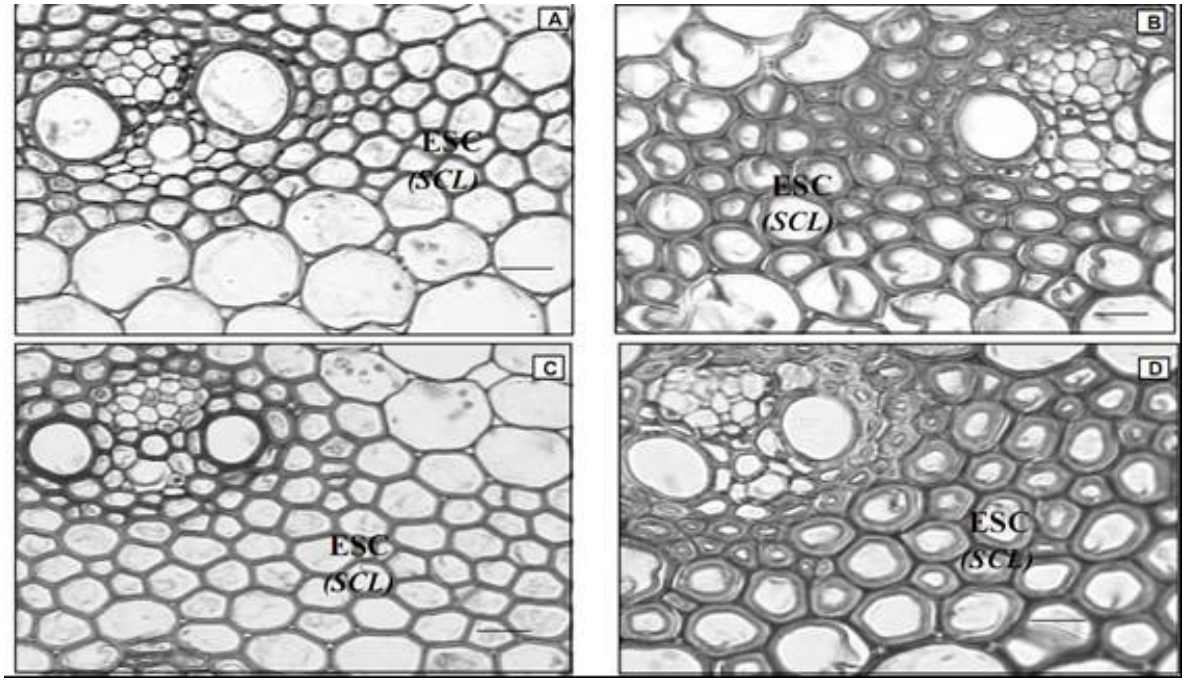

Figura 2 - Seções transversais de fragmentos de colmo mostrando aumento da espessura da parede de células do esclerênquima (ESC). (A) e (C) colmo jovem de capim-braquiária no outono e verão, respectivamente; (B) e (D) colmo em idade avançada de capim-braquiária no outono e verão, respectivamente.

2.2. MESOFILO

O mesofilo compreende todos os tecidos situados entre a epiderme e o sistema vascular da folha. Nas monocotiledôneas que apresentam a fotossíntese de ciclo C4, em geral, as células do mesofilo dispõem-se de maneira radiada em torno da endoderme, constituindo uma coroa, daí o nome de "anatomia kranz" (Kranz em alemão=coroa) (Figura 3) (APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

O mesofilo não é diferenciado em tecido paliçádico e esponjoso, mas é formado por células parenquimáticas de tamanho e estrutura bastante uniformes.

As células ao redor do tecido vascular são morfologicamente diferentes das células mesofílicas adjacentes. Muitas vezes elas são maiores, podem ter

poucos cloroplastos, e podem ter a parede mais espessa. Essas células constituem a **bainha do feixe**, algumas evidências indicam que a bainha do feixe e suas extensões funcionam na condução e no armazenamento de alimento. **A bainha do feixe** pode ser considerada como uma endoderme, ou como uma bainha de amido, uma vez que pode aparecer amido nessas células.

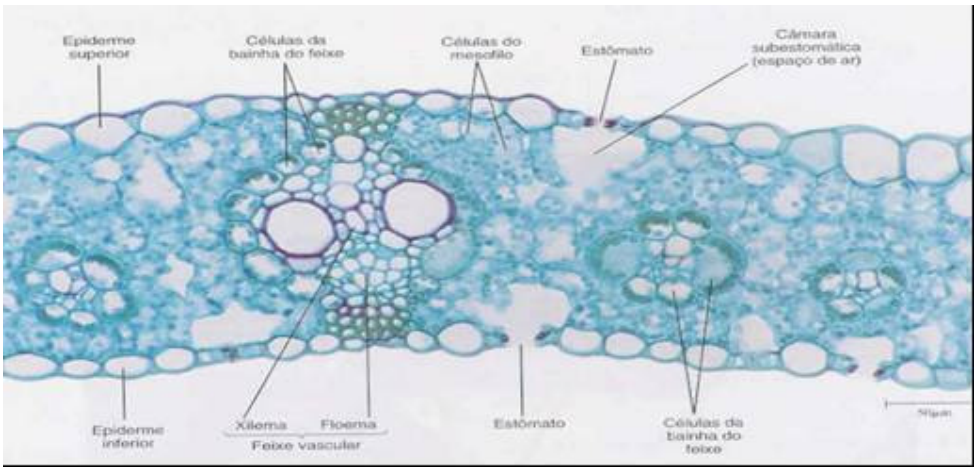

Figura 3. Seção transversal folha do milho (Zea mays). Como é típico de planta C4 (composto por xilema e floema) estão rodeados por células da bainha do feixe (caracterizando anatomia Kranz). Raven, 2001.

A proporção de células de MES nas lâminas foliares de C4 é variável entre as espécies e cultivares, porém, é geralmente inferior a 45%. O desaparecimento destas células no rúmen é elevado, apresentando digestão completa normalmente após 12 a 24 horas de incubação (AKIN *et al.,* 1983). Na Figura 4, pode-se observar o desaparecimento total das células de MES após 24 h de incubação *in situ* em lâminas foliares de duas espécies de Brachiaria, que reconhecidamente apresentam qualidade distinta, sendo maior para as lâminas foliares de *B. ruziziensis* em relação à *B. humidicola.*

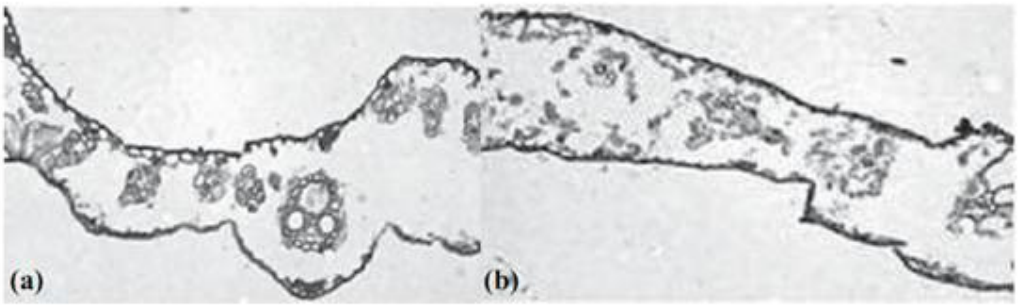

Figura 4. Seção transversal de resíduo da incubação in vitro (24 h) de lâmina foliar de *Brachiaria ruziziensis* cv. Kennedy (a) e *B. humidicola* cv.Tully (b), % 10 µm.

Paciullo *et al.,* (2002b) avaliaram os efeitos da idade, do nível de inserção da folha no perfilho e da estação de crescimento (verão ou outono), sobre a proporção de tecidos e a espessura da parede celular em lâminas foliares e segmentos de colmo de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e capim-tifton 85 (*Cynodon* sp). Observaram que as proporções de esclerênquima (ESC) e bainha parenquimática do feixe (BPF) foram mais altas nas lâminas da posição superior, com exceção da proporção de ESC em capim-braquiária e de BPF em capim-tifton 85 (Tabela 4). Por outro lado, lâminas da posição inferior apresentaram maior proporção de mesofilo (MÊS), exceto para o capim-tifton 85, cuja proporção de MES não variou em função de seu nível de inserção. Maiores proporções de MES e ESC foram encontradas no capim-tifton 85, independente do nível de inserção. Lâminas da posição superior do perfilho apresentaram maior proporção de XIL, independente da idade, da espécie e da estação do ano. Foram encontrados valores de 6,3 e 5,0%, respectivamente, para lâminas das posições superior e inferior do perfilho.

Tabela 4. Proporção de esclerênquima (ESC), bainha parenquimática dos feixes (BPF) e mesofilo (MES) (% na seção transversal) em lâminas foliares, conforme a espécie e o nível de inserção

Nível de inserção *Level of insertion*	Espécie *Species*		
	Capim-braquiária *Signalgrass*	Capim-gordura *Molassesgrass*	Capim-tifton 85 *Bermudagrass tifton 85*
		ESC *(SCL)*	
Inferior *(Lower)*	$0,83^{Ab}$	$0,86^{Bb}$	$2,30^{Ba}$
Superior *(Upper)*	$1,00^{Ab}$	$1,42^{Ab}$	$2,86^{Aa}$
		BPF *(PBS)*	
Inferior *(Lower)*	$28,7^{Ba}$	$27,0^{Ba}$	$22,9^{Ab}$
Superior *(Upper)*	$32,1^{Aa}$	$33,2^{Aa}$	$22,1^{Ab}$
		MES	
Inferior *(Lower)*	$39,8^{Ab}$	$38,2^{Ab}$	$43,7^{Aa}$
Superior *(Upper)*	$35,8^{Bb}$	$29,7^{Bc}$	$41,4^{Aa}$

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, em cada tecido, diferem (P<0,05) pelo tes de Tukey.

Fonte: PACIULLO *et al.,* (2002b).

2.3. TECIDOS VASCULARES

A maioria das monocotiledôneas possui um sistema de venação paralelo, no qual vários feixes vasculares mais ou menos iguais são ligados por nervuras comissurais menores correndo entre as nervuras principais.

Maiores quantidades de tecidos vasculares lignificados e esclerenquimáticos proporcionam menores taxas de digestibilidade. Com o envelhecimento das plantas ocorre espessamento e lignificação das paredes celulares, principalmente na região dos feixes vasculares. Este fenômeno foi relacionado com a redução das áreas de digestão dos tecidos (HANNA *et al.,* 1973).

Nos limbos de C3 e C4 as células do floema representam < 1 (% da seção transversal), e nos caules de leguminosas de 4 a 9% (WIILSON, 1993). Elas possuem somente a parede celular primária e não são passíveis de lignificação, sendo rapidamente digeridas no rúmen (HARBERS *et al.,* 1981). As de xilema (XIL) e as fibras são 100% indigestíveis, como também as de esclerênquima (ESC), devido ao espessamento da parede celular secundária e a conseqüente biossíntese de lignina (AKIN, 1989).

2.3.1. XILEMA

O xilema é o tecido responsável pelo transporte de água e solutos à longa distancia, armazenamento de nutrientes e suporte mecânico**.** Os xilemas primário e secundário são tecidos complexos formados por elementos condutores, células parenquimáticas e fibras, alem de outros tipos celulares. No xilema primário esses tipos celulares organizam-se apenas no sistema axial e são derivados do procâmbio.

2.3.2. FLOEMA

O floema é o principal tecido de condução de materiais orgânicos e inorgânicos em solução nas plantas vasculares. É um tecido complexo constituído por células especializadas em condução (elementos crivados); células parenquimáticas; algumas especializadas, como as células companheiras, as de transferência e as albuminosas; fibras e esclereides (APPEZZATO-DA GLORIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

As células de floema, localizadas no tecido vascular, são rapidamente digeridas nas espécies C3, nas quais representam maior proporção do que nas C4. Já nas C4, podem apresentar compostos fenólicos que interferem negativamente na degradabilidade, mas por estas células representarem em torno de 2% (seção transversal), não comprometem a digestibilidade da forragem (LEMPP, 2007).

Alves de Brito e Deschamps, (2001) observaram que foi no limbo de três cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.) que se concentrou a maior área de tecido vascular lignificado (Tabela 5). A área de tecido vascular lignificado aumentou com a idade dos tecidos, especialmente no colmo. Os feixes vasculares na bainha encontraram-se bastante distanciados em relação a sua distribuição no limbo. No colmo, o estabelecimento de um padrão de distribuição dos feixes vasculares ficou prejudicado pela forma irregular com que os mesmos se distribuíram (Tabela 6).

Tabela 5. Área dos tecidos (%) e distância entre feixes vasculares no limbo de duas regiões de cultivares de *Pennisetum purpureum.*

	Testo	Areia	Roxo	Média (R) *Average*
		Tecido vascular lignificado + esclerênquima *Lignified vascular tissue + sclerenchyma*		
Apical *Apical*	29,4 ± 1,64 $^{n.s.}$	26,5 ± 2,20 $^{n.s.}$	24,9 ± 2,18 $^{n.s.}$	26,9^{A}
Mediana *Median*	23,4 ± 2,50 $^{n.s.}$	21,9 ± 1,29 $^{n.s.}$	26,0 ± 1,72 $^{n.s.}$	23,8^{B}
Média (C) *Average*	26,4^{a}	24,2^{a}	25,5^{a}	
		Tecido vascular não lignificado *Non lignified vascular tissue*		
Apical *Apical*	2,7 ± 0,40^{Aa}	2,9 ± 0,32^{Ba}	2,3 ± 0,18^{Aa}	2,6^{B}
Mediana *Median*	2,4 ± 0,13^{Ab}	4,5 ± 0,55^{Aa}	2,2 ± 0,19^{Ab}	3,2^{A}
Média (C) *Average*	2,5^{b}	3,9^{a}	2,3^{b}	

Fonte: Modificado de Alves de Brito & Deschamps, (2001)

Tabela 6. Área dos tecidos (%) presentes no colmo de duas regiões de cultivares de *Pennisetum purpureum*.

	Testo	Areia	Roxo	Média (R) *Average*
		Tecido vascular lignificado + esclerênquima *Lignified vascular tissue + sclerenchyma*		
Mediana *Median*	15,4 ± 1,41 $^{n.s.}$	14,8 ± 1,53 $^{n.s.}$	14,4 ± 0,70 $^{n.s.}$	14,9^{B}
Basal *Basal*	21,2 ± 2,78 $^{n.s.}$	16,6 ± 0,68 $^{n.s.}$	17,4 ± 1,23 $^{n.s.}$	18,4^{A}
Média (C) *Average*	18,3^{a}	15,7^{b}	15,9^{ab}	
		Tecido vascular não lignificado *Non lignified vascular tissue*		
Mediana *Median*	2,1 ± 0,07 $^{n.s.}$	1,3 ± 0,04 $^{n.s.}$	1,4 ± 0,09 $^{n.s.}$	1,6^{A}
Basal *Basal*	2,2 ± 0,27 $^{n.s.}$	1,2 ± 0,09 $^{n.s.}$	1,2 ± 0,04 $^{n.s.}$	1,6^{A}
Média (C) *Average*	2,2^{a}	1,3^{b}	1,3^{b}	

Fonte: Modificado de Alves de Brito & Deschamps, (2001)

2.4. EPIDERME

A epiderme exerce papel importante ao conferir proteção à planta, como também a cutícula e a sílica, visto diminuírem a perda de água por evaporação e serem um mecanismo de defesa contra patógenos, bactérias e fungos.

De acordo com Akin (1989) as células da epiderme, abaxial e adaxial, são parcialmente digeridas no rúmen. O principal impedimento para a digestão é que a cutícula contém sílica o que confere rigidez e impede a digestão. O espessamento da parede da EPI é mais pronunciado no colmo que no limbo e maior na EPI abaxial que na adaxial tanto no limbo como na bainha. A EPI externa em contato com o ambiente apresenta uma camada espessa, lignificada e coberta por cutícula e cutina, indigestível, atuando como uma barreira física à colonização do substrato por microrganismos do rúmen. Os microrganismos penetram nos fragmentos dos limbos por meio dos estômatos e principalmente pelas superfícies danificadas pela apreensão/mastigação.

O tecido epidérmico apresenta parede espessa, com uma camada de cutícula em torno de 0,5 mm. Harbers et al. (1981), citaram que a cutícula contém sílica, conferindo rigidez e impedindo a digestão, bem como que a cutícula per se pode ser um inibidor estrutural da digestão.

Wang *et al.,* (2006) realizaram estudos pra avaliar o efeito de NH_4CO_3 e NAOH na digestão de colmo de arroz e observaram através de imagens obtidas em microscópio eletrônico de varredura e de transmissão que as epidermes foram danificadas através dos tratamentos químicos, o que facilitou a colonização e digestão dos tecidos (Figura 5).

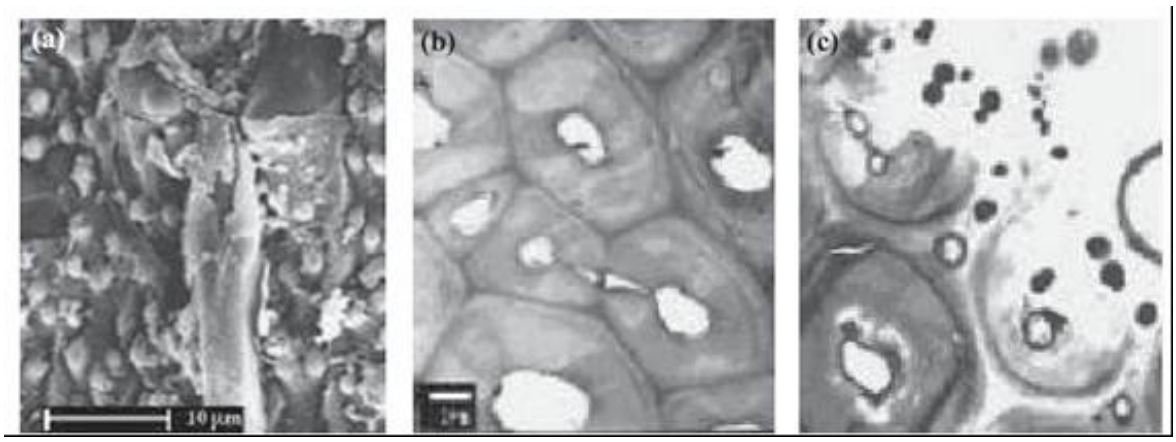

Figura 5. (a). Elétrons-micrografia de varredura de epiderme (EPI) do colmo de arroz tratado com NH_4CO_3 (cutícula danificada). Elétron-micrografias de transmissão – (b). EPI de colmo de arroz sem tratamento (– 1µm) e (c). tratado com NaOH (dissolução da cutícula e degradabilidade da EPI) (% 1µm). Fonte: WANG *et al*., (2006).

2.5. PAREDE CELULAR

A parede celular é a estrutura que envolve toda a célula externa a membrana plasmática e que define a forma do vegetal. Ela pode ser primaria e secundária. A parede primária é típica de células de tecidos vivos, primários, como parênquima. A parede primaria é formada por polímeros de celulose sendo que cada célula produz esta estrutura, entre as paredes de células vizinhas forma-se a lamela média. Pode ainda ocorrer deposição de hemicelulose e de substâncias pécticas (CASTRO *et al*., 2009). Em muitas células, a parede primária é a única que permanece. Em outras, internamente à parede primária ocorre à deposição de camadas adicionais, que constituem a parede secundária.

A parede secundária desenvolve-se internamente à parede primária, após completar-se a expansão da célula. Essa parede compreende três camadas (S1, S2 e S3), distinguidas pela orientação das microfibrilas de celulose. Não há evidências de diferenciação da digestão dessas camadas. A parede secundária com espessura variando de 1 a 5µm confere à célula

resistência às forças de tensão e compressão. Geralmente, os tipos celulares que apresentam parede secundária se lignificam em maior ou menor grau (WILSON, 1993).

Quimicamente, a parede celular é uma matriz complexa composta de polissacarídeos, proteínas, compostos fenólicos, água e minerais. Dos polissacarídeos, destacam-se a celulose, a hemicelulose e a pectina. Existem fortes evidências de que os polissacarídeos isolados apresentam relativa facilidade de degradação pelos microorganismos do rúmen ou por enzimas isoladas. A extensão da degradação varia conforme o tecido examinado, a espécie e a idade da planta. As interações dos componentes da parede, particularmente entre os polifenóis e os carboidratos, exercem as maiores restrições à degradação da parede celular (JUNG, 1989).

A lignina é o componente químico associado à parede celular que, reconhecidamente, limita a digestão dos polissacarídeos da parede celular no rúmen. Entretanto, em gramíneas, quando os microorganismos têm rápido acesso à superfície da parede celular, a digestão da parede secundária parece não ser comprometida somente pela lignificação. Wilson & Mertens (1995) sugeriram que a espessura da parede celular e o arranjo das células nos tecidos podem limitar a digestão da parede secundária, tanto quanto, ou até mais que a composição química da parede secundária.

Relatos da literatura mostram que a parede secundária sofre diferente grau de digestão, enquanto a lamela média e a parede primária lignificadas permanecem intactas após três semanas de digestão (WILSON *et al.,* 1993). Este fato decorre das diferenças em composição da lignina presente nas diversas camadas da parede celular.

A espessura das paredes das células do esclerênquima é fortemente influenciada pelo estádio de desenvolvimento e varia com a espécie. Isso foi observado por Paciullo *et al.,* (2002b) que verificaram que o aumento da idade do colmo não concorreu para a redução na taxa de digestão da parede celular. Pelo contrário, as taxas foram semelhantes em capim braquiária e capim-tifton 85 e aumentaram de 0,010 para 0,018 μm/h em capim-gordura (Tabela 7),

com o avanço da idade. Este fato sugere que o aumento da lignificação na parede secundária, com o desenvolvimento do colmo, não influiu na taxa de digestão. Com a maior taxa de digestão (0,018 µm/h) e o tempo de incubação de 46 horas, estima-se que a máxima redução da parede celular foi de 0,83 µm, menor espessura que observada (1,27 µm) (Tabela 7). 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. Os autores sugerem que em células com parede espessa (acima de 1 µm), as limitações à digestão se originam, principalmente, de problemas estruturais, de que a baixa acessibilidade à parede secundária, resultante da sua elevada espessura, reduz a extensão da digestão da parede celular pelos microrganismos ruminais. Por essa razão, a digestão de células com parede espessada não se completa durante o tempo de permanência das partículas no rúmen, sendo os principais resíduos de gramíneas encontrados nas fezes.

Tabela 7. Espessura da parede de células do esclerênquima de segmentos de colmo de gramíneas forrageiras, antes e após incubação em líquido ruminal por 46 h e redução da espessura da parede celular, conforme a idade e a espécie.

Espécies *Species*	Idade *Age*							
	Jovem *Young*				Avançada *Old*			
	Espessura da parede (µm) *Wall thickness (µm)*		Redução na espessura (%) *Thickness reduction (%)*	Taxa de digestão (µm/h) *Rate of digestion (µm/h)*	Espessura da parede (µm) *Wall thickness (µm)*		Redução na espessura (%) *Thickness reduction*	Taxa de digestão (µm/h) *Rate of digestion (µm/h)*
	NI*	I+			NI	I		
Braquiária *Signalgrass*	1,33	1,00	24,8	0,007	4,88	4,54	7,0	0,007
Gordura *Molassesgrass*	1,27	0,80	37,0	0,010	2,62	1,79	31,7	0,018
Tifton 85 *Bermudagrass tifton 85*	1,49	0,93	37,6	0,012	3,58	3,13	12,6	0,010

*NI - não-incubado *(NI - Undigested)*.
+I - incubado por 46 horas *(46 hours digestion)*.

Fonte: PACIULLO *et al.,* (2002b)

No mesmo estudo, Paciullo et al., (2002b), verificaram que lâminas do nível de inserção superior do perfilho apresentaram paredes celulares mais espessas que lâminas da base. Lâminas recém-expandidas de capim-braquiária apresentaram maior espessura da parede das células do esclerênquima, enquanto, em lâminas com 20 dias de idade, não se observou diferença entre as espécies (Tabela 8). A espessura da parede em células do ESC aumentou com a idade em capim-tifton 85 e capim-gordura, não se alterando, contudo, em capim-braquiária. Os valores foram de 2,01 e 1,41 mm, para espessura das paredes do ESC, e de 1,30 e 1,06 mm, para espessura das paredes do MET, respectivamente, para lâminas das posições superior e inferior do perfilho. Tal comportamento reforça a hipótese de que lâminas do nível de inserção superior, por serem mais longas, apresentam estrutura de suporte mais desenvolvida, com maior proporção de tecidos de sustentação (ESC e XIL) e paredes celulares mais espessas.

Tabela 8. Espessura da parede (mm) de células do esclerênquima de lâminas foliares, conforme a idade e a espécie

	Espécie *Species*		
Idade (dias) *Age (days)*	Capim-braquiária *Signalgrass*	Capim-gordura *Molassesgrass*	Capim-tifton 85 *Bermudagrass tifton 85*
0	$1,73^{Aa}$	$1,56^{Bb}$	$1,62^{Bab}$
20	$1,78^{Aa}$	$1,76^{Aa}$	$1,80^{Aa}$

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem (P<0,05) pelo teste de Tukey.
Means followed by different letters, small in the row and capital in the column, are different (P<.05) by Tukey test.

Fonte: PACIULLO *et al.,* (2002b)

Em outro experimento que avaliou a anatomia dos capins sapé, braquiária, Jaraguá e gordura, Bauer *et al.,* (2008) observaram que os capins sapé e jaraguá foram as espécies com maiores teores de parede celular, enquanto o capim-braquiária e o capim-gordura apresentaram paredes mais delgadas e menos lignificadas. Explicaram que as diferenças de digestibilidade entre as espécies, em parte, poderiam ser atribuídas a esses fatores, especialmente aos teores de lignina, pois, no estudo das correlações entre a DIVMS e os componentes da parede celular (Tabela 9) todos os componentes

da parede celular apresentaram correlação negativa com a digestibilidade, contudo, essa correlação foi maior com a lignina.

Tabela 9. Coeficientes de correlação linear simples entre DIVMS e componentes químicos e anatômicos de lâminas foliares das gramíneas DIVMS e tecidos anatômicos DIVMS e composição química.

	DIVMS[1]	FDN	FDA	LIG	CEL
DIVMS[1]		-0,75***	-0,78***	-0,89***	-0,67**
FVtotal	-0,62**	0,33 ns	0,24 ns	0,73***	0,24 ns
BPF	0,65**	-0,65**	-0,89***	-0,49*	-0,74***
FLO	-0,70***	0,55**	0,72***	0,64**	0,59**
XIL	-0,85***	0,73***	0,90***	0,75***	0,77***
ESC	-0,90***	0,67***	0,88***	0,77***	0,79***
EPS	0,70***	-0,74***	-0,58*	-0,82***	-0,38 ns
EPI	0,84***	-0,73***	-0,76***	-0,82***	-0,64**
MES	-0,12ns	0,45 ns	0,28 ns	0,22 ns	0,08 ns

[1] DIVMS - digestibilidade *in vitro* da matéria seca; FDN - fibra em detergente neutro; FDA - fibra em detergente ácido; LIG - lignina; CEL - celulose; FVTotal - feixe vascular total; BPF - bainha parenquimática do feixe; FLO - floema; XIL - xilema; ESC - esclerênquima; EPS - epiderme adaxial; EPI - epiderme abaxial; MES - mesofilo.
ns (não-significativo: P>0,05); *** (P<0,001); ** (P<0,01); * (P<0,05).

Fonte: BAUER *et al.,* (2008)

3. CONSIDERACÕES FINAIS

Conforme os resultados apresentados e discutidos nesta revisão foi possível concluir que existe uma associação entre o valor nutritivo e a proporção de tecidos nas gramíneas tropicais, verificando baixos coeficientes de digestibilidade relacionados às elevadas proporções de xilema e esclerênquima e aos teores de FDN, FDA e lignina.

Também, pode-se afirmar que existe correlação significativa positiva entre bainha parenquimática do feixe (BPF), esclerênquima (ESC) E tecido vascular lignificado (TVL), com os teores de FDN, FDA e lignina e negativas com os teores de proteína bruta.

A digestão dos tecidos é afetada pela proporção de tecidos tanto na folha como no colmo, e associada às elevadas proporções de mesofilo e parênquima, mesmo em lâminas e colmos em estádio de desenvolvimento mais avançado.

Ocorre efeito do nível de inserção das lâminas foliares nas proporções dos tecidos, sendo que lâminas do nível de inserção superior do perfilho apresentaram paredes celulares mais espessas que lâminas da base. Essas lâminas apresentam estrutura de suporte mais desenvolvida, com maior proporção de tecidos de sustentação (ESC e XIL) e paredes celulares mais espessas.

A espessura das paredes das células do esclerênquima é fortemente influenciada pelo estádio de desenvolvimento e varia com a espécie.

No limbo foliar concentrou-se maior área de tecido vascular lignificado, e esse tecido sofreu influencia da idade, aumentando de área especialmente no colmo.

As diferenças de digestibilidade entre as espécies poderiam ser atribuídas aos teores de lignina, pois, no estudo das correlações entre a DIVMS e os componentes da parede celular todos os componentes da parede celular apresentaram correlação negativa com a digestibilidade, contudo, essa correlação foi maior com a lignina.

Portanto, estudos comparativos entre anatomia e valor nutritivo de gramíneas forrageiras são imprescindíveis como ferramenta para auxiliar em trabalhos de melhoramento genético de plantas forrageiras.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIN, D.E.; AMOS, H.E.; BARTON, F.E. et al. Rumen microbial degradation of grass tissue by scanning electron microscopy. Agronomy of Journal, v.65, n.5, p.825-888, 1973.

AKIN, D.E.; FALES, S.L.; RIGSBY, L.L. et al. Temperature effects on leaf anatomy, phenolic acids, and tissue digestibility in tall fescue. **Agronomy Journal**, v.79, p.271-275, 1987.

AKIN, D.E.; WILSON, J.R.; WINDHAM, W.R. Site and rate of tissue digestion in leaves of C3, C4, and C3/C4 intermediate Panicum species. Crop Science, v.23, n.1, p.147-155, 1983.

ALVES DE BRITO, C. J. F.; DESCHAMPS, F. C. Caracterização Anatômica em Diferentes Frações de Cultivares de Capim-elefante (Pennisetum purpureum Schumach.). **Rev. bras. zootec.,** v. 30(5), p. 1409-1417, 2001.

GUIMARÃES, A.K.V. Anatomia comparada com o valor nutritivo de gramíneas forrageiras. **PUBVET**, Londrina, V.4, N. 3, Ed. 108, Art. 726, 2010.

ALVES DE BRITO, C.J.F.; RODELLA, R.A.; DESCHAMPS, F.C. Anatomia quantitativa da folha e do colmo de Brachiaria brizantha (Hochst. ex A. Rich.) Stapf. e B. humidicola (Rendle) Schweick. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.3, p.519- 528, 2004.

ALVES DE BRITO, C.J.F.; RODELLA, R.A.; DESCHAMPS, F.C. et al. Anatomia quantitativa e degradação in vitro de tecidos em cultivares de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schumach.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.2, p.223-229, 1999.

APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (editoras). **Anatomia Vegetal.** 2 ed. Atual. Viçosa: Ed. UFV, 2006.p. 304-326.

BAUER, M. O. ; GOMIDE, J. A.; SILVA, E. A. M.; REGAZZI, A. J.; CHICHORRO, J. F. Características anatômicas e valor nutritivo de quatro gramíneas predominantes em pastagem natural de Viçosa, MG. **R. Bras. Zootec.,** v.37, n.1, p.9-17, 2008.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura E Função De Órgãos Vegetativos**. Lavras:UFLA, 2009. 234p.:il.

HANNA, W.W.; MONSON, W.G.; BURTON, G.W. Histological examination of fresh forages leaves after "in vitro" digestion. **Crop Science,** v.13, n.1, p.98-102, 1973.

HARBERS, L.H.; BRAZLE. F.K.; RAINTEN. D.J. et al. Microbial degradation of smooth brome and tall fescue observed by scanning electron microscopy. **Journal of Animal Science**, v.51, n.1, p.439-446, 1981.

JUNG, H.G. Forage lignins and their effects on fiber digestibility. **Agronomy Journal ,** v.81, p.33-38, 1989.

LEMPP, B. Avanços metodológicos da microscopia na avaliação de alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, suplemento especial, p.315-329, 2007.

PACIULLO, D.S.C. Características anatômicas relacionadas ao valor nutritivo de gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v.32, n.2, p.357-364, 2002.

PACIULLO, D.S.; GOMIDE, J.A.; SILVA, E.D.A.M. et al. Degradação in vitro de tecidos da lâmina foliar e do colmo de gramíneas forrageiras tropicais, em função do estádio de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Zootecnia,** v.31, n.2, p.900-907, 2002a.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, J.A.; SILVA, E.A.M. et al. 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. **Revista Brasileira de Zootecnia,** v.31, n.2, p.890-899, 2002b.

QUEIROZ, D.S.; GOMIDE, J.A.; MARIA, J. Avaliação da folha e do colmo de topo e base de perfilhos de três gramíneas forrageiras. 2. Anatomia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.1, p.61-68, 2000.

SILVA, D. J. Análise de alimentos. Viçosa, 1981, 116 p.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. New York, 1994, 476 p.

WANG, J.K.; LIU, J.X.; LI, J.Y. et al. Histological and rumen degradation changes of rice straw stem epidermis as influenced by chemical pretreatment. **Animal Feed Science and Techonolog** /j.anifeedsci. 2006.

WILSON, J.R. Organization of forage plant tissues. In: JUNG, H.G., BUXTON, D.R., HATFIELD, R.D. et al. (Eds.) Forage cell wall structure and digestibility, Madison: American Society of Agronomy, Crop Sci. Society of America, Soil Science Society of America. p.1-32. 1993.

WILSON, J.R., BROWN, R.H., WINDHAM, W.R. Influence of leaf anatomy on the dry matter digestibility of C3, C4, and C3/C4 intermediate types of Panicum species.Crop Sci., v. 23, n.1, p.141-146. 1983.

WILSON, J.R.; MERTENS, D.R. Cell wall accessibility and cell structure limitations microbial digestion of forage. **Crop Science,** v.35, p.251-259, 1995.