

Comissão 2.4 - Química do solo

COMPOSIÇÃO LIGNOCELULÓSICA E ISÓTOPICA DA VEGETAÇÃO E DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE UMA TURFEIRA TROPICAL. I - COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA, FITOMASSA E ACÚMULO DE CARBONO⁽¹⁾

Vinicius Evangelista Silva⁽²⁾, Alexandre Christofaro Silva⁽³⁾, Rosana Cristina Pereira⁽⁴⁾, Plínio Barbosa de Camargo⁽⁵⁾, Bárbara Pereira Christofaro Silva⁽⁶⁾, Uidemar Moraes Barral⁽⁶⁾ & Carlos Victor Mendonça Filho⁽⁷⁾

RESUMO

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos grandes reservatórios de carbono (C) da Terra e constitui um dos principais componentes do ciclo do C. Turfeiras, ambientes acumuladores de MOS, são produto da decomposição de vegetais, que se desenvolvem e se acumulam em ambientes saturados com água, sendo o estágio inicial da sequência de carbonificação. A fitomassa participa de forma marcante no ciclo global do C, armazenando em torno de 85 % de todo o C terrestre acima do solo. O tecido vegetal é composto principalmente por lignina, celulose e hemicelulose, constituindo até 85 % da biomassa seca. As plantas discriminam C de forma diferenciada, em razão de seu ciclo fotossintético (C₃, C₄ e CAM). As turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM-MG) são colonizadas por vegetação de Campo Limpo Úmido (CLU) e de Floresta Estacional Semidecidual (FES), onde ocorrem espécies dos ciclos fotossintéticos C₃ e C₄. Este trabalho objetivou avaliar a contribuição dessas duas fitofisionomias para o acúmulo de MOS, por meio da avaliação da fitomassa e da composição lignocelulósica e isotópica da vegetação e da MOS. A turfeira estudada localiza-se na SdEM e ocupa 81,75 ha.

⁽¹⁾ Parte de Dissertação de Mestrado do primeiro autor para obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM. Recebido para publicação em 19 de março de 2012 e aprovado em 30 de outubro de 2012.

⁽²⁾ Engenheiro Florestal da Empresa Eldorado Brasil Celulose S/A. Av. Aldair Rosa de Oliveira, 1036. CEP 79640-100 Três Lagoas (MS). E-mail: vinicius.silva@eldoradobrasil.com.br

⁽³⁾ Professor Associado do Departamento de Engenharia Florestal da UFVJM. Rodovia MGT 367, km 583. CEP 39100-000 Diamantina (MG). E-mail: alexandre.christo@ufvjm.edu.br

⁽⁴⁾ Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFVJM. E-mail: rosanac_pereira@yahoo.com.br

⁽⁵⁾ Professor Associado do Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP. Av. Centenário, 303. CEP 13416-000 Piracicaba (SP). E-mail: pcamargo@cena.usp.br

⁽⁶⁾ Bolsista de Iniciação Científica da UFVJM. E-mail: barbarachristofaro@hotmail.com

⁽⁷⁾ Professor Associado do Departamento de Ciências biológicas da UFVJM. E-mail: carlos.mendonca@ufvjm.edu.br

Para a estimativa da fitomassa do CLU e da FES, foram marcadas três parcelas de 0,5 x 0,5 m em cada fitofisionomia, onde todos os indivíduos da parcela foram cortados e armazenados. Para as análises isotópicas e lignocelulósicas da vegetação, identificaram-se as espécies dominantes em cada fitofisionomia. Amostras de solo foram coletadas em três locais representativos sob cada fitofisionomia, a cada 5 cm de profundidade, até 50 cm. Foram extraídas a celulose e a lignina das folhas das 15 espécies dominantes e das 60 amostras de turfeira para quantificação e determinação dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Para datação da MOS, o ^{14}C foi determinado em três profundidades, sob o CLU e a FES. A produção da fitomassa da FES foi muito superior à produção da do CLU. Os sinais isotópicos e a composição lignocelulósica da vegetação e da matéria orgânica do solo evidenciaram que a turfeira foi formada pela deposição de matéria orgânica da vegetação que a coloniza. O crescimento vertical e a taxa de acúmulo de C foram muito mais elevados sob a FES do que sob o CLU.

Termos de indexação: Organossolo, $\delta^{13}\text{C}$, ^{14}C , campo, floresta, ciclo do carbono.

SUMMARY: LIGNOCELLULOSIC AND ISOTOPIC COMPOSITION OF VEGETATION AND SOIL ORGANIC MATTER OF A TROPICAL PEAT. I FLORISTIC COMPOSITION, BIOMASS AND CARBON STOCK

Soil organic matter (SOM) is one of the major reservoirs of carbon on Earth and is one of the key contributors to the carbon cycle. Peatlands are natural accumulators of organic matter commonly derived from decomposing plant residues in water-saturated environments, and represent an initial stage of a much longer pedogenic pathway leading to carbonification. The soil biomass markedly influences the global carbon cycle, accounting for approximately 85 % of all carbon on the Earth's surface. Plant tissues are mainly composed of lignin, cellulose and hemicelluloses, representing as much as 85 % of their dry biomass. Plants usually discriminate carbon differentially, according to their photosynthetic cycle (C_3 , C_4 and CAM). The vegetation of the bogs in the southern domain of Serra do Espinhaço (SdEM; Brazil) consists mostly of moist grassland (CLU) and semideciduous forest (FES), with species of both C_3 and C_4 cycles. This study was designed to discriminate the contribution of these two vegetation types to the accumulation of soil organic matter by an analysis of the biomass and of the lignocellulosic and carbon isotopic composition and SOM. The studied peat is located in SdEM and covers an area of 81.75 ha. Three 0.5 x 0.5 m plots were marked per vegetation type, to delimit the sampling areas, for which biomass of CLU and FES were estimated. All plants per plot were cut and adequately stored to preserve as much of their fresh characteristics as possible. To characterize the isotopic and lignocellulosic composition of the vegetation, the species of each vegetation type were systematically identified according to their main botanic characteristics. Soil samples were collected at three representative sites under each vegetation type, at intervals of 5 cm, down to a depth of 50 cm. Cellulose and lignin were extracted from leaves of 15 dominant species and 60 peat samples, to quantify and determine the values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. The ^{14}C was determined at three depths under CLU and FES. The biomass production under FES was much higher than the biomass production under CLU. The isotopic signals and lignocellulosic composition of the vegetation and SOM confirmed that this peat was originated by the deposition of organic matter from the colonizing vegetation. The vertical growth and the carbon storage rates are much higher under FES than under CLU.

Index terms: Histosols, $\delta^{13}\text{C}$, ^{14}C , grassland, forest, carbon cycle.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos compartimentos armazenadores de carbono (C) da Terra como a atmosfera, os corpos de água doce, os oceanos e a biota. A MOS constitui um dos principais

componentes do ciclo do C pelo dinamismo e por ser um grande reservatório (Scholes & van Breemen, 1997) que armazena cerca de quatro vezes mais C que a biota (Odum, 1983), além de contribuir para o sequestro de C atmosférico por meio da fixação do C, principalmente nas frações humificadas (Lai & Chen, 2004).

As turfeiras, ambientes acumuladores de MOS, são produto da decomposição de vegetais, que se desenvolvem e se acumulam em ambientes saturados com água, sendo o estágio inicial da sequência de carbonificação. O acúmulo da massa vegetal morta ocorre em condições de excessiva umidade, baixo pH e escassez de oxigênio, passando por processos de mineralização lenta e humificação (Pontevedra-Pombal & Martinez-Cortizas, 2004). A importância das turfeiras no ciclo global do C é evidenciada por essas representarem cerca de 4 % dos solos do planeta Terra e por armazenarem aproximadamente 28 % do C estocado nesse recurso natural (Groham, 1991; Rieley et al., 2008; Campos et al., 2010).

A fitomassa é um importante aspecto para a caracterização estrutural dos ecossistemas, pois expressa o potencial de acumulação de energia e nutrientes pela biota, em interação com os fatores ambientais (Salis, 2004), bem como participa de forma marcante no ciclo global do C, armazenando em torno de 85 % de todo o C terrestre acima do solo (Schimel et al., 2000) e sequestrando entre 1,0 e 4,0 Pg desse elemento de forma bruta, por ano, dependendo das condições atmosféricas anuais (GCP, 2010).

O tecido vegetal é composto principalmente por lignina, celulose e hemicelulose, constituindo em até 85 % da biomassa seca de espécies arbóreas (Canellas & Santos, 2005). A lignina é um composto que ocupa posição central na formação do húmus do solo (Whetten & Sederoff, 1995). No conjunto do tecido vegetal de espécies herbáceas, a lignina representa 14 a 30 % da biomassa seca (Silva & Queiroz, 2004; Moreira et al., 2006) e de 16 a 24 % das espécies arbóreas folhosas (Klock et al., 2005).

Isótopos são espécies atômicas de um mesmo elemento químico com mesmo número de prótons, mas com massas diferentes, em razão da diferenciação do número de nêutrons (Martinelli et al., 2009). Os isótopos estáveis são utilizados em estudos ambientais, pois a composição isotópica varia de forma previsível, conforme o elemento movimenta-se nos diversos compartimentos dos ecossistemas (Farquhar et al., 1982). Dessa forma, pode-se inferir sobre processos físicos, químicos e biológicos por meio do enriquecimento (+) ou empobrecimento (-) do isótopo leve (abundante, ^{12}C), em relação ao pesado (raro, ^{13}C), tendo como referência um padrão internacional, de forma que $\delta^{13}\text{C} = (^{13}\text{C}/^{12}\text{C amostra}) - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C padrão}) \times 1000 / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C padrão})$.

As plantas, tendo como base a diferenciação entre os ciclos fotossintéticos, discriminam C da seguinte maneira: espécies C_3 : -38 a -24 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$; espécies C_4 : -17 a -9 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$; e espécies CAM: -28 a -10 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$ (O'Leary, 1988; Boutton, 1991; Freitas et al., 2001; Sanaiotti et al., 2002). A análise comparativa do teor de $\delta^{13}\text{C}$ na vegetação e na MOS pode ser utilizada para identificar a origem da MOS (Martinelli et al., 2009).

As turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional (MG) são colonizadas por vegetação de Campo Limpo

Úmido, onde ocorrem espécies dos ciclos fotossintéticos C_3 e C_4 , e de Floresta Estacional Semidecidual, onde há espécies de ciclo fotossintético C_3 (Silva et al., 2005; Campos et al., 2010; Horák et al., 2011), que apresentam variações na produção de fitomassa e na composição lignocelulósica do material vegetal (Silva, 2011), podendo, hipoteticamente, influenciar na taxa de acúmulo de MOS.

Este trabalho objetivou avaliar a contribuição de duas fitofisionomias que colonizam uma turfeira tropical para o acúmulo de matéria orgânica no solo, por meio da avaliação da fitomassa e das composições lignocelulósica e isotópica da vegetação e da MOS.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

A turfeira estudada estende-se por 81,75 ha (Campos, 2009) e está inserida na APA Pau-de-Fruta, que ocupa uma área de 1.700 ha e é de propriedade da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA, MG). Essa área localiza-se a 6 km da cidade de Diamantina, entre as coordenadas geográficas 18° 16' 22" e 18° 15' 17" de latitude sul e 43° 41' 10" e 43° 39' 15" de longitude oeste e abriga a nascente do córrego das Pedras (Figura 1), responsável pelo fornecimento de água para a população diamantinense.

Os solos da turfeira são: Organossolo Háplico sáprico típico, Organossolo Háplico êmico típico e o Organossolo Háplico fíbrico típico, que ocupam, respectivamente, 66, 28,4 e 5,6 % da área total da turfeira, de acordo com Campos et al. (2010). O clima é, de acordo com a classificação de Köppen, do tipo Cwb, ou seja, mesotérmico, com invernos frios e secos e verões brandos e úmidos. As médias anuais de temperatura e precipitação pluviométrica são de 18,7 °C e de 1.483 mm, respectivamente (Silva et al., 2005).

Duas fitofisionomias do bioma cerrado colonizam a turfeira: o Campo Limpo Úmido - CLU - e a Floresta Estacional Semidecidual - FES (Silva et al., 2005b). O CLU é formado predominantemente por espécies herbáceas, adaptadas a condições de drenagem deficiente (Munhoz & Felfili, 2008). As ilhas de FES ou popularmente "Capões de Mata" são formadas por espécies de hábito arbóreo-arbustivo e ocorrem espaçadamente na turfeira (Horák et al., 2011).

Determinação da fitomassa

Para a estimativa da fitomassa do CLU e da FES, foram marcadas três parcelas de 0,5 x 0,5 m em cada fitofisionomia, onde todos os espécimes vegetais da parcela foram retirados. No CLU, todo o material vegetal contido nas parcelas foi separado em parte aérea e raízes. Na FES, todo o material foi separado

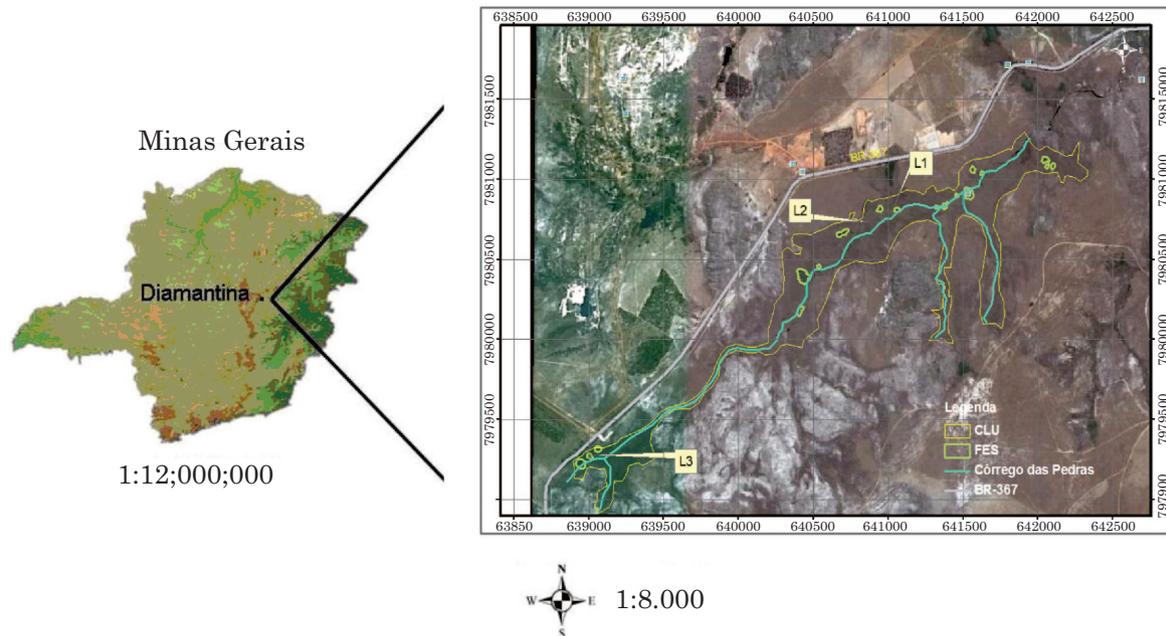


Figura 1. Localização da turfeira estudada e dos três locais amostrados (L1, L2 e L3) nas fitofisionomias Campo Limpo Úmido (CLU) e Floresta Estacional Semidecidual (FES).

Fonte: Google Earth, 2010.

em galhos, folhas, troncos e miscelânea. Imediatamente após a coleta, o material vegetal foi pesado em balança de precisão ainda úmido e colocado para secar em estufa de circulação forçada a 55 °C (Silva & Queiroz, 2004). Posteriormente, houve nova pesagem desse material seco e acondicionamento das amostras para as análises químicas por espécie. O teor de C dos tecidos vegetais foi determinado em um espectrômetro de massa (Groning, 2004).

Seleção do material para análise lignocelulósica e isotópica

Para as análises isotópicas e lignocelulósicas da vegetação, foram identificadas as espécies dominantes em cada fitofisionomia. Foram selecionadas e coletadas 11 espécies do CLU e quatro espécies de FES, utilizando-se o estudo preliminar feito por Santos & Mendonça Filho (2009), os parâmetros fitossociológicos das espécies de cada feição vegetal e as observações de campo feitas em conjunto com o botânico Carlos Victor Mendonça Filho. Também foi amostrado um exemplar de cada espécie selecionada de cada fitofisionomia para confecção de exsicatas, depositadas no herbário DIA do Departamento de Botânica da UFVJM.

Amostragem da turfeira

Foram escolhidos três locais representativos em cada fitofisionomia da turfeira, onde, com auxílio de uma pá reta, foram coletadas amostras de camadas do solo a cada 5 cm de profundidade, até 50 cm, totalizando 10 amostras em cada ponto e 60 amostras no total.

Extração e quantificação da lignina e da celulose nas plantas e no solo

Foram extraídas lignina e celulose das folhas das 15 espécies coletadas nas duas fitofisionomias e das 60 amostras de turfeira, para quantificação e posterior determinação dos valores de $\delta^{13}\text{C}$.

Para serem determinadas e extraídas a lignina e celulose, usou-se solução de detergente ácido (van Soest & Moore, 1994), obtendo o resíduo: celulose + lignina + cinza insolúvel (FDA). A partir da FDA, foram utilizados dois métodos de determinação da lignina: o do permanganato de potássio e o do ácido sulfúrico. No primeiro, a lignina foi oxidada por meio de solução de ácido acético e permanganato de potássio, deixando como resíduo apenas celulose e cinza insolúvel. O teor de celulose foi calculado após queima em mufla a 500 °C por 3 h. No segundo, o método do ácido, o resíduo é composto de lignina e cinza insolúvel. O teor de lignina foi calculado após queima em mufla a 500 °C por 3 h.

Determinações isotópicas de C e de N

Para a determinação da composição isotópica, as amostras foram secas em estufa a 40 °C, homogêneas em almofariz de ágata e pesadas em cápsulas de estanho. Aproximadamente 3,5 mg de cada amostra foram utilizados para se determinar os valores de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % de C, % de N e relação C/N, em um espectrômetro de massas (Groning, 2004).

Foram analisadas as idades radiocarbônicas dos Organossolos sob o CLU e a FES, em três profundidades, no Laboratório de ^{14}C do CENA/USP,

de acordo com Pessenda et al. (1983) e Stuiver et al. (2005).

Análises estatísticas

Para avaliação das diferenças nas composições isotópica e lignocelulósica entre as fitofisionomias e as camadas de turfeira, o delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de dois fatores (Pimentel-Gomes, 1987), sendo os tratamentos as duas fitofisionomias e as 10 profundidades de coleta de amostras, com três repetições, totalizando 60 parcelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização florística

Foram identificadas 15 espécies predominantes pertencentes a 11 famílias, sendo quatro na FES e 11 no CLU (Quadro 1), destacando-se a família *Cyperaceae* no CLU e as espécies que ocorrem com frequência em matas de galeria dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, na FES.

As espécies vegetais estudadas apresentam rota fotossintética C_3 , exceto a espécie da família *Poaceae*, cuja rota fotossintética é C_4 (Quadro 1). Associações de plantas de ciclo C_3 e C_4 também foram identificadas em turfeiras tropicais (Parolin et al., 2006; Vidotto et al., 2007; Campos et al., 2010; Horák et al., 2011) e temperadas (Hillaire-Marcel et al., 1989; Aucour et al., 1994).

Carbono orgânico armazenado na vegetação e no solo

A área total da turfeira é de 81,75 ha, sendo 79,15 ha composta de CLU e 2,60 ha, de FES (Campos,

2009); estas distribuídas por 19 capões, a maioria próxima ao córrego das Pedras (Figura 1).

O teor médio de C_{org} das espécies vegetais é de 45,66 dag kg^{-1} no CLU e de 42,24 dag kg^{-1} , na FES (Quadro 2). O CLU armazena 17,18 Mg ha^{-1} e a FES, 137,80 Mg ha^{-1} , cerca de oito vezes mais C por unidade de área que o CLU. A vegetação que coloniza toda a turfeira estoca 1.718,08 Mg de C_{org} (Quadro 2).

Em levantamento detalhado de solos realizado na mesma turfeira, Campos (2009) quantificou 33.129,7 Mg de C_{org} armazenados no solo, evidenciando que o solo armazenou cerca de 20 vezes mais C do que o contido na vegetação da turfeira estudada. Em média, a pedosfera armazena cerca de quatro vezes mais C que a biosfera (Odum, 1983). Em termos gerais, os Organossolos armazenam cerca de 10 vezes mais C do que os demais solos (Groham, 1991; Rieley et al., 2008). Assim, as estimativas de estoque de C no solo e na vegetação da turfeira da APA Pau-de-Fruta são consistentes.

Segundo Gama-Rodrigues (2004), pode-se avaliar a sinergia das transferências energéticas e nutricionais no ecossistema por meio do índice de estabilidade ou de ciclagem de matéria orgânica, dividindo as reservas orgânicas da vegetação pelas do solo. Quanto maior for a reserva da vegetação no ecossistema, menor é a estabilidade desse com relação à perturbação da vegetação. O índice de ciclagem de matéria orgânica é de 0,05 para a turfeira estudada, indicando que houve pouca perturbação antrópica e natural e que as fitofisionomias atuais estão bem adaptadas ao pedoambiente.

Teores de lignina e celulose na vegetação

O teor de lignina variou de 4,3 a 19,4 % com média 11,9 % nas espécies do CLU e entre 9,9 e 14,3 % nas

Quadro 1. Espécies predominantes nas fitofisionomias Campo Limpo Úmido (CLU) e Floresta Estacional Semidecidual (FES) que colonizam as turfeiras e seus ciclos fotossintéticos

Família	Espécie	Ocorrência	Ciclo fotossintético/Referência
Poaceae	<i>Loudetiopsis chrysothrix</i>	CLU	C_4 /Pivello et al. (1999)
Cyperaceae	<i>Lagenocarpus tenuifolius</i> (Boeckeler) Kuntze	CLU	C_3 /Pessenda et al. (2009)
Cyperaceae	<i>Lagenocarpus rigidus</i> Nees.	CLU	C_3 /Pessenda et al. (2009)
Cyperaceae	<i>Rhynchospora speciosa</i> Schrad. ex Nees	CLU	C_3 /Hefler & Long-Wagner (2010)
Araceae	<i>Philodendron</i> sp.	CLU	C_3 /Novides et al. (2002)
Eriocaulaceae	<i>Paepalanthus distichophyllus</i> Mart.	CLU	C_3 /Keeley & Sandquist (1991)
Eriocaulaceae	<i>Paepalanthus</i> sp.	CLU	C_3 /Keeley & Sandquist, 1991
Xyridaceae	<i>Xyris</i> sp.	CLU	C_3 /Cleef & Velásquez (2005)
Xyridaceae	<i>Xyris asperula</i> Mart	CLU	C_3 /Cleef & Velásquez (2005)
Asteraceae	<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	CLU	C_3 /Marchese et al. (2003)
Onagraceae	<i>Ludwigia</i> sp.	CLU	C_3 /Sternberg et al. (1984)
Myrsinaceae	<i>Myrsine gardneriana</i> A.DC.	FES	C_3 /Scarano et al. (2001)
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> L.Marchand	FES	C_3 /Martinelli et al. (1998)
Clusiaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	FES	C_3 /Martinelli et al. (1998)
Melastomataceae	<i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn.	FES	C_3 /Pessenda et al. (2009)

espécies da FES, com média 11,9 %. O teor de celulose variou de 3,6 a 19,5 % nas espécies do CLU, com média 10,8 %, e de 11,4 a 16,8 %, na FES com média 14,6 %. No CLU, o teor médio de lignina assemelha-se ao de celulose e, de acordo com Cunha-Santino et al. (2008), isto é frequentemente observado em plantas herbáceas de ambientes alagados (Quadro 3).

Em geral, observa-se que os teores de celulose em espécies arbóreas são maiores em relação às herbáceas, em razão da elevada maturidade dos tecidos vegetais das árvores e pelo fato de as plantas herbáceas possuírem ciclo vital mais curto (Turner, 1986). Em plantas jovens, predominam carboidratos solúveis em água (frutose, sacarose redutoras, dentre outros) e, nas maduras, celulose, hemicelulose e lignina (Tauf, 1990). As espécies do CLU apresentam espessamento da cutícula por causa do xeromorfismo, mesmo com a

disponibilidade hídrica elevada (Silva, 2002). O baixo teor de celulose e lignina em algumas espécies do CLU pode estar relacionado ao aumento na produção de cutina (Brady & Weil, 2002).

Composição isotópica e elementar da vegetação

Todas as espécies da FES e quase todas do CLU são de ciclo C_3 e apresentam valores de $\delta^{13}C$ dentro da faixa indicada por Sanaiotti et al. (2002) para esse grupo de plantas. A exceção é a espécie *Loudetiopsis chrysothrix*, de ciclo C_4 , que possui elevada fitomassa na turfeira (Quadro 1) e $\delta^{13}C$ de -13,37 ‰ (Quadro 3), semelhante ao valor médio de espécies C_4 , de -13 ‰ (Sanaiotti et al., 2002). As espécies C_4 são originárias de ambientes que não possuem restrição de água; no entanto, há outras limitações como disponibilidade de

Quadro 2. Área ocupada, matéria seca (MS), teor de carbono nos tecidos, na fitomassa e carbono total na fitomassa das fitofisionomias Campo Limpo Úmido (CLU) e Floresta Estacional Semidecidual (FES)

Fitofisionomia	Área	MS	Carbono orgânico		
			Tecidos	Fitomassa	Total
	ha	Mg ha ⁻¹	dag kg ⁻¹	Mg	Mg ha ⁻¹
CLU	79,15	37,63	45,66	1359,80	17,18
FES	2,60	326,23	42,24	358,28	137,80
Total	81,75	363,86	-	1718,08	154,98

Quadro 3. Teores de celulose, lignina e isótopos estáveis em folhas das espécies predominantes das fitofisionomias Campo Limpo Úmido (CLU) e Floresta Estacional Semidecidual (FES)

Espécie	Celulose		$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$
	%			
	CLU			
<i>Loudetiopsis chrysothrix</i>	7,6	12,8	-13,37	0,67
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Nees.	19,5	19,4	-27,60	3,12
<i>Lagenocarpus tenuifolius</i> (Boeckeler) Kuntze	13	17,2	-26,85	2,55
<i>Rhynchospora speciosa</i> Schrad. ex Nees	11,3	11,3	-26,01	2,05
<i>Philodendron</i> sp.	10,6	12,8	-25,62	2,96
<i>Paepalanthus distichophyllus</i> Mart.	5,3	4,6	-26,08	0,43
<i>Paepalanthus</i> sp.	3,6	4,3	-27,66	2,51
<i>Xyris asperula</i> Mart	17,8	18,7	-27,88	3,79
<i>Xyris</i> sp.	4,4	7,2	-25,60	-2,35
<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	11,9	8,1	-28,75	-5,76
<i>Ludwigia</i> sp.	13,6	14,3	-27,84	4,43
Média	10,8	11,9	-25,75	1,31
	FES			
<i>Myrsine gardneriana</i> A.DC.	16,4	9,9	-30,08	-4,12
<i>Protium heptaphyllum</i> L.Marchand	13,9	11,2	-29,39	-3,88
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	16,8	14,3	-30,85	-3,07
<i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn.	11,4	12,1	-29,30	-1,63
Média	14,6	11,9	-29,91	-3,18

nutrientes, como na turfeira estudada, o que provoca adaptações fisiológicas e enriquecimento em átomos de ¹³C da atmosfera (Martinelli et al., 2009).

A média dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ para as espécies da floresta tropical amazônica é de -31,9 ‰ (Medina & Minchin, 1980; Ducatti et al., 1991; Kapos et al., 1993; Martinelli et al., 1994, 1998; Ometto et al., 2006) e para florestas temperadas, de -27,7 ‰ (Schleser, 1992; Flanagan et al., 1996; Buchmann et al., 1997). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das espécies da FES variaram entre -30,85 e -29,30 ‰ (Quadro 3), assemelhando-se ao valor médio encontrado para as espécies da Amazônia.

Analisando apenas os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das plantas C₃ do CLU, obtém-se média de -27,82 ‰ (Quadro 3), semelhante à encontrada para as espécies de florestas temperadas, o que, provavelmente, acontece em razão das restrições químicas (nutrientes, pH) e físicas (anaerobiose) dos Organossolos ao crescimento dessas plantas, ocorrendo necessidade de otimização da fotossíntese.

Foi possível separar graficamente as espécies C₃ e C₄ do CLU e C₃ da FES (Figura 2), por meio dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e pelas dissimilaridades de $\delta^{15}\text{N}$ no CLU, pois os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram muito próximos aos da FES. No caso da C₄ do CLU, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são bem mais enriquecidos, o que a torna distinta das espécies da FES e das C₃ do CLU (Quadro 3).

A composição em ¹⁵N das plantas é uma função de diluição entre as formas inorgânicas NH₄⁺ e NO₃⁻ que ocorrem no solo, além da disponibilidade de N no solo (Martinelli et al., 2009). O valor médio de $\delta^{15}\text{N}$ das espécies do CLU é de 1,31 ‰ e o das que ocorrem na FES é de -3,18 ‰ (Quadro 3), evidenciando que as plantas da FES absorvem N mais empobrecido em ¹⁵N em relação às do CLU, uma vez que em condições de maior disponibilidade hídrica espécies arbóreas absorvem preferencialmente NH₄⁺ oriundo da

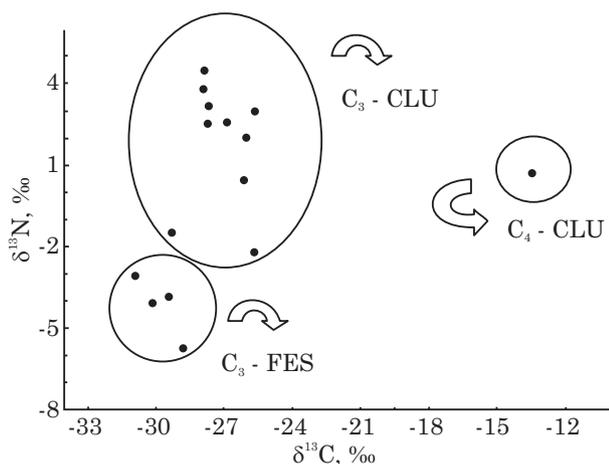


Figura 2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ nas espécies vegetais predominantes das fitofisionomias Campo Limpo Úmido (CLU) e Floresta Estacional Semidecidual (FES).

mineralização do N orgânico e, de acordo com Högborg (1997), há empobrecimento em $\delta^{15}\text{N}$ nesse processo.

Os teores de C_{org} de todas as espécies analisadas estão dentro da faixa comum a todas as espécies vegetais (Martinelli et al., 2009). Os teores de N são muito baixos, entre 0,50 e 2,13 ‰ (Quadro 4), inferindo-se que as plantas reciclam quase todo o N antes da morte dos tecidos (Campos, 2009).

A relação C/N é utilizada em modelos para prever a disponibilidade de N no solo durante a decomposição de materiais orgânicos (Nicolardot et al., 2001). Materiais com valores de C/N abaixo de 25 apresentam maior mineralização e acima de 30, maior imobilização (Giacomini et al., 2003). Quase todas as espécies apresentam relação C/N bem maior do que 30 (Quadro 4), indicando maior imobilização de N na MOS.

Composição isotópica da lignina e da celulose da vegetação

O processo de lignificação concentra C nos tecidos vegetais, de forma que quanto maior o teor de C, mais empobrecido torna-se o tecido em ¹³C (Sternberg & Deniro, 1983; Sternberg et al., 1984). Verificou-se empobrecimento em ¹³C na lignina nas espécies que

Quadro 4. Teores de C e N e relação C/N das espécies predominantes das fitofisionomias Campo Limpo Úmido (CLU) e Floresta Estacional Semidecidual (FES)

Espécie	C		C/N
	%		
	CLU		
<i>Loudetiopsis chrysothrix</i>	43,51	0,50	86,45
<i>Lagenocarpus tenuifolius</i> (Boeckeler) Kuntze	42,03	0,97	43,95
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Nees.	47,30	0,43	110,2
<i>Rhynchospora speciosa</i> Schrad. ex Nees	44,92	0,73	61,89
<i>Philodendron</i> sp.	49,38	2,13	23,24
<i>Paepalanthus distichophyllus</i> Mart.	45,27	0,54	83,14
<i>Paepalanthus</i> sp.	41,86	0,78	53,98
<i>Xyris</i> sp.	44,73	0,78	57,31
<i>Xyris asperula</i> Mart	46,71	0,51	91,04
<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	49,70	1,18	42,17
<i>Ludwigia</i> sp.	46,85	1,29	36,56
Média	45,66	0,89	62,72
	FES		
<i>Myrsine gardneriana</i> A.DC.	44,74	0,95	46,97
<i>Protium heptaphyllum</i> L.Marchand	43,21	0,80	53,72
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	42,33	1,41	30,08
<i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn.	38,67	1,06	36,49
Média	42,24	1,06	41,82

compõem o CLU de 3,57 ‰ e nas que colonizam a FES de 2,30 ‰ (Quadro 5), em relação ao conjunto do tecido vegetal, e esse foi acima do preconizado por Eglin et al. (2008), que foi de 1-2 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$, com relação ao conjunto tecido vegetal.

Observou-se enriquecimento em $\delta^{13}\text{C}$ da fração celulose em relação ao conjunto do tecido vegetal de 0,95 ‰ nas espécies do CLU e de 1,51 ‰, nas da FES. De maneira geral, a celulose é enriquecida em 1-2 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$, em relação ao tecido vegetal (Leavitt & Long, 1986). Durante a lignificação, ocorre fracionamento isotópico por causa da deposição lenta da lignina em relação à produção de celulose, ocasionando nessa um enriquecimento em ^{13}C . A molécula de lignina possui aproximadamente 50 % a mais de C que a de celulose e a maior parte desse carbono é ^{12}C . O aumento de 10 % no teor de lignina na planta promove enriquecimento de 0,25 a 0,47 ‰ nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ da fração celulose (Eglin et al., 2008).

Não foi possível quantificar todos os valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) na celulose de todas as plantas (Quadro 5). A celulose é um polímero de moléculas de glucose formada por átomos de C, H e O. Apenas em algumas espécies observa-se a ocorrência de N na composição elementar da fração celulose (Solomons & Fryhle, 2000).

Teores de lignina e celulose na MOS

O teor médio de lignina (% MOS) variou significativamente na MOS, sob as duas fitofisionomias

(Anova, $p=0,006360$), sendo maior na FES (38,5 %) em relação ao CLU (29,6 %). Em profundidade, a tendência foi a mesma (Figura 3). Nas folhas das espécies do CLU e da FES, o teor médio de lignina foi de 11,9 % (Quadro 3), bem inferior aos encontrados na MOS. Isto corrobora a natureza predominantemente lignificada e recalcitrante dos resíduos orgânicos produzidos pelas espécies arbóreas (Andrae, 1982; Christensen et al., 2000; Moreira et al., 2006). A recalcitrância da lignina no ambiente está relacionada principalmente com o tipo de ligação química que une os blocos de fenilpropano da molécula, ou seja, do tipo C-C, extremamente resistentes à degradação química (Mason, 1980; Andrade et al., 2001).

As ligninas podem ser *core* ou *não core*, de acordo com sua composição química e localização na planta, sendo as primeiras muito mais resistentes à degradação. As espécies campestres apresentam ligninas *core* e *não core*, enquanto nas arbóreas predomina a lignina *core* (Saliba et al., 2001), o que contribui para o maior teor de lignina encontrado na MOS sob FES, em relação ao CLU.

As turfeiras da SdEM são caracterizadas pela extrema acidez e baixíssima disponibilidade de nutrientes (Silva et al., 2009; Campos, 2009) e estão saturadas por água durante todo o ano, o que dificulta a ação dos microrganismos decompositores (Silva et al., 2009; Campos et al., 2010). O quociente metabólico

Quadro 5. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ da lignina e celulose das espécies predominantes nas fitofisionomias Campo Limpo Úmido (CLU) e Floresta Estacional Semidecidual (FES)

Espécie	Lignina		Celulose	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
	‰			
	CLU			
<i>Loudetiopsis chrysothrix</i>	-16,86	0,46	-12,03	-
<i>Lagenocarpus tenuifolius</i> (Boeckeler) Kuntze	-29,71	2,10	-25,48	3,65
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Nees.	-30,57	1,76	-26,14	-
<i>Rhynchospora speciosa</i> Schrad. ex Nees	-29,39	0,90	-26,01	1,34
<i>Philodendron</i> sp.	-28,14	2,43	-24,23	3,61
<i>Paepalanthus distichophyllus</i> Mart.	-31,54	0,38	-26,59	-
<i>Paepalanthus</i> sp.	-32,54	4,52	-27,41	-
<i>Xyris</i> sp.	-32,15	3,23	-27,16	2,63
<i>Xyris asperula</i> Mart	-28,38	-0,96	-24,31	-
<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	-32,08	-5,14	-26,67	-1,2
<i>Ludwigia</i> sp.	-31,2	2,13	-26,75	3,3
Média	-29,32	1,07	-24,80	2,22
	FES			
<i>Myrsine gardneriana</i> A.DC.	-31,46	-1,26	-26,91	-0,58
<i>Protium heptaphyllum</i> L.Marchand	-30,89	-2,61	-27,22	-2,11
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	-33,53	-1,65	-29,78	-2,3
<i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn.	-32,96	-3,26	-29,65	-3,3
Média	-32,21	-2,20	-28,39	-2,07

(qCO₂) e o microbiano (qMIC) em solos orgânicos são muito baixos, comparando com os dos solos minerais (Horák et al., 2007; Campos, 2009; Silva et al., 2009; Campos et al., 2010), o que torna muito lenta a decomposição da matéria orgânica, em particular de seus componentes recalcitrantes como a lignina, que pode permanecer no solo por até mais de 3.000 anos (Canellas & Santos, 2005). Como os teores de lignina na MOS sob FES foram muito mais elevados em relação à MOS sob o CLU e a vegetação da floresta apresenta teores de lignina mais elevados em razão dos troncos e galhos, pode-se inferir que a MOS é originada da fitofisionomia que coloniza a área.

O teor médio de celulose (%MOS) não variou entre a MOS sob as duas fitofisionomias (p=0,710217), sendo de 15,5 % na FES e de 14,2 %, no CLU, assim como não variou em profundidade (p=0,283848).

Carboidratos, incluindo celulose e hemicelulose, constituem os principais compostos orgânicos ou macromoléculas presentes na vegetação e na MOS (Camargo et al., 1999; Silva & Queiroz, 2004), podendo representar até 50 % do total de C_{org} dos solos, em especial da camada de serapilheira (Sposito, 1989). No entanto, percebe-se que os teores de celulose são menores que os de lignina (% MOS), pois sua degradação é mais rápida durante a decomposição da MOS (Moreira & Siqueira, 2002).

Composição isotópica e elementar da MOS

Os valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ variaram entre as fitofisionomias (Anova, p=0,0000001) e em profundidade (Figura 4). A MOS sob a FES apresentou valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ de -25,14 ‰, o que caracteriza similaridade do material orgânico do solo com o da vegetação predominante na área atualmente, ou seja, espécies de ciclo fotossintético C₃. Na MOS do CLU, observaram-se valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ de -19,35 ‰, caracterizando uma mistura entre espécies C₃ e C₄ (Martinelli et al., 2009). Apesar de ter sido identificada

apenas uma espécie C₄ no CLU, essa ocupa uma área muito significativa nesse bioma, ocasionando aumento no valor médio do $\delta^{13}\text{C}$ de sua MOS. Esses valores estão em consonância com os obtidos na mesma área deste estudo por Campos (2009) e Campos et al. (2010). Os valores da MOS sob FES diminuem em profundidade, indicando mudanças na cobertura vegetal. Horák (2010) e Horák et al. (2011), estudando mudanças ambientais na mesma turfeira por meio de isótopos de C e de palinologia, obtiveram evidências de mudanças climáticas quaternárias e clima atual mais úmido, possibilitando a colonização localizada da turfeira por espécies de FES.

A importância das gramíneas para a MOS em solos de Cerrado é substanciada pelo fato de que embora possuam pouca biomassa na parte aérea (apenas 11 % do total), essas contribuem com 50 % do C aportado ao solo anualmente, resultando em enriquecimento do $\delta^{13}\text{C}$. Possivelmente, isto se deve à rápida ciclagem e ao aporte de C derivado de raízes finas dessas plantas (Wilcke & Lillienfein, 2004).

Datações radiocarbônicas

A camada de 50 cm de MOS sob o CLU começou a se formar a 3.480 anos atrás e continua a ser formada até os dias atuais; já a de MOS sob a FES é moderna, ou seja, começou a se formar no século XX, aproximadamente em 1950. Como consequência desse pequeno tempo de formação, o crescimento vertical e as taxas anuais de acúmulo de C são muito mais elevados na FES do que no CLU (Quadro 6).

O crescimento vertical e a taxa de acúmulo de C no CLU são semelhantes àqueles encontrados por Campos et al. (2010) na mesma turfeira e inferiores aos obtidos para turfeiras do hemisfério norte (Espanha, Finlândia, Rússia e Canadá), onde o crescimento vertical variou entre 0,2 e 0,75 mm ano⁻¹ e a taxa de acúmulo de C oscilou entre 20 e 48 g m⁻² ano⁻¹ (Gorham, 1991;

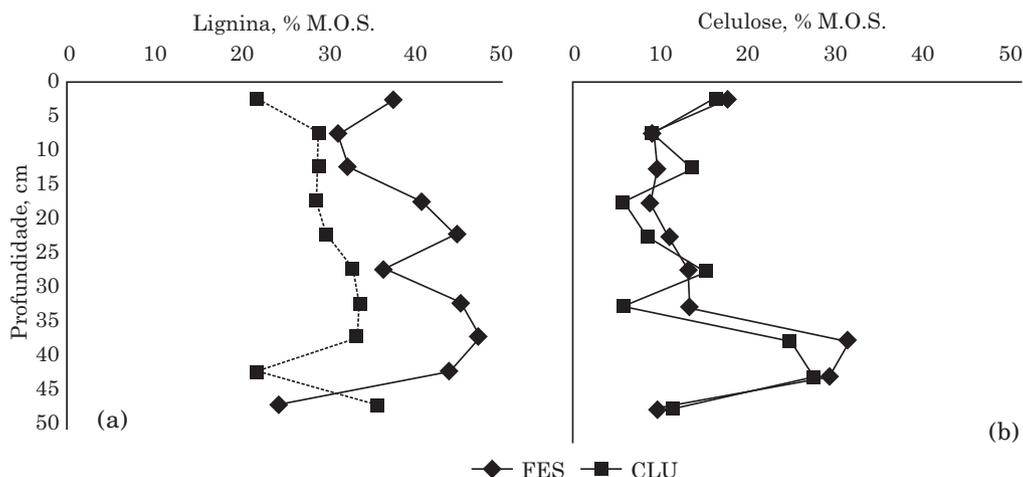


Figura 3. Teor médio de (a) lignina e (b) celulose (% MOS) em profundidade no Campo Limpo Úmido (CLU) e na Floresta Estacional Semidecidual (FES).

Pontevedra-Pombal, 2002). Ambiente oligotrófico, temperaturas amenas, baixo aporte de C_{org} ao solo pela vegetação (Quadro 2) estão entre as variáveis que podem influenciar esse menor acúmulo.

Na FES, a taxa de acúmulo de C na vegetação é cerca de oito vezes maior que no CLU (Quadro 2). Assim, o aporte de serapilheira ao solo é muito mais elevado e, como grande parte se trata de material lenhoso, a decomposição é mais lenta (MOS com maior teor de lignina), otimizando o crescimento vertical e a taxa de acúmulo de C (Quadro 6).

CONCLUSÕES

1. A produção de fitomassa da Floresta Estacional Semidecidual é muito superior à do Campo Limpo Úmido.

2. Os sinais isotópicos das espécies vegetais, das frações lignina e celulose e da matéria orgânica do solo evidenciam que a turfeira é formada pela deposição de matéria orgânica da vegetação que a coloniza.

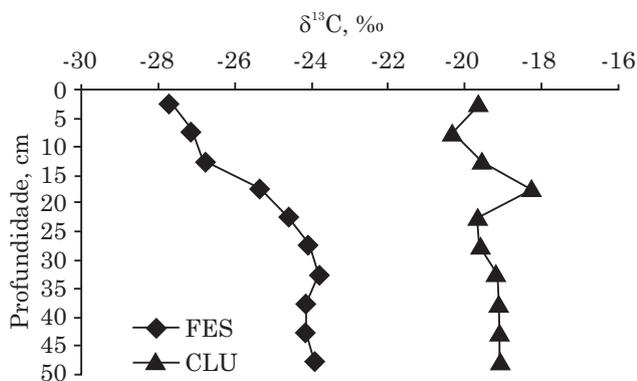


Figura 4. Valores médios de $\delta^{13}C$ da MOS no Campo Limpo Úmido (CLU) e na Floresta Estacional Semidecidual (FES).

3. O material orgânico acumulado nos primeiros 50 cm superficiais da turfeira sob Floresta Estacional Decidual é de origem muito recente, sendo bem mais antigo o da turfeira sob Campo Limpo Úmido.

4. O crescimento vertical e a taxa de acúmulo de carbono são muito mais elevados sob a Floresta Estacional Semidecidual do que sob o Campo Limpo Úmido.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG e ao CNPq, pela disponibilização de recursos, e à CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, J.B.; FERRARI JR., E. & BRAUN, G. Valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar tratada com uréia e acrescida de rolão-de-milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:1169-1174, 2001.
- AUCOUR, A-M.; HILLAIRE-MARCEL, C. & BONNERLLE, R. Late Quaternary biomass changes from ^{13}C measurements in a highland peatbog from equatorial Africa (Burundi). *Quater. Res.*, 41:225-296, 1994.
- ANDRAE, F.H. Zweitinventur eines *Eucalyptus saligna* Bestandes in Suedbrasilien. *Klosterneuburg*, 99:193-217, 1982.
- BOUTTON, T.W. Stable carbon isotopes ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environmental. In: COLEMAN, D.C. & FRY, B., eds. *Carbon isotopes techniques*. New York, Academic Press, 1991. p.155-171.
- BUCHMANN, N.; KAO, W.Y. & EHLERINGER, J.T. Influence of stand structure on carbon 13 of vegetation, solids, and canopy air within deciduous and evergreen forests in Utah, United States. *Oecologia*, 110:109-119, 1997.
- BRADY, N. & WEIL, R.R. *The nature and properties of soils*. 13.ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002. 960p.

Quadro 6. Idades radiocarbônicas, crescimento vertical e taxa de acúmulo de carbono (TAC) sob as duas fitofisionomias Campo Limpo Úmido (CLU) e Floresta Estacional Semidecidual (FES)

Fitofisionomia	Prof. média	Idade ^{14}C	Crescimento vertical	TAC	Nº do laboratório
	cm	Anos AP ⁽¹⁾	mm ano ⁻¹	g m ⁻² ano ⁻¹	
CLU	7,5	moderna	0,06	6	UGAMS#8492
	22,5	2.465 ± 70	0,25	30	UGAMS#8493
	47,5	3.480 ± 55			UGAMS#8494
FES	7,5	moderna	2,50	250	CEN 1140
	22,5	moderna	4,20	504	CEN 1139
	47,5	moderna			CEN 1138

Prof.: profundidade; ⁽¹⁾ AP: antes do presente.

- CAMPOS, J.R.R.; SILVA, A.C.; VASCONCELLOS, L.L.; SILVA, D.V.; ROMÃO, R.V.; SILVA, E.B. & GRAZZIOTTI, P.H. Pedochronology and development of peat bog in the environmental protection area Pau-de-Fruta - Diamantina, Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1965-1975, 2010.
- CAMPOS, J.R.R. Caracterização, mapeamento, volume de água e estoque de carbono da turfeira da Área de Proteção Ambiental Pau-de-Fruta, Diamantina – MG. Diamantina, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2009. 101p. (Dissertação de Mestrado)
- CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A. & GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da material orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.27-40.
- CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, UENF, 2005. 287p.
- CUNHA-SANTINO, M.B.; SCIESSERE, L. & BIANCHINI JR., I. As Atividades das enzimas na decomposição da matéria orgânica particulada em ambientes aquáticos continentais. *Oecol. Bras.*, 12:30-41, 2008.
- CLEEF, A.M. & VELASQUEZ, M.V.A. Diversity and complexity of the Araracuara sandstone flora and vegetation in the colombian Amazon. *Biol. Sci.*, 55:73-87, 2005.
- CHRISTENSEN, J.H.; BAUCHER, M. & BOERJAN, W. Control of lignin biosynthesis. In: JAIN, S.M. & MINOCHA, S.C., orgs. Molecular biology of woody plants. Norwell, Kluwer Academic Publishers, 2000. 520p.
- DUCATTI, C.; SALATI, E. & MARTINS, D. Measurement of the natural variation of $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ ratio in leaves at Reserve Ducke Forest, central Amazonia. *For. Ecol. Manage.*, 38:201-210, 1991.
- EGLIN, T.; MAUNOURY-DANGER, F.; FRESNEAU, C.; LELARGE, C.; POLLET, B.; LAPIERRE, C.; FRANÇOIS, C. & DAMESIN, C. The biochemical composition is not the main factor influencing the variability of $\delta^{13}\text{C}$ the carbon isotope composition of tree-rings. *Tree Physiol.*, 28:1619-1628, 2008.
- FARQUHAR, G.D.; O'LEARY, M.H. & BERRY, J.A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Austr. J. Plant Physiol.*, 9:121-37, 1982.
- FLANAGAN, L.B.; BROOKS, J.R.; VARNEY, G.T.; BERRY, S.C. & HLERINGER, J.R. Carbon isotope discrimination during photosynthesis and the isotope ratio of respired CO_2 in boreal forest ecosystem. *Global Biogeochem. Cycles*, 10:629-640, 1996.
- FREITAS, H.A.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S. & BOULET, R. Late Quaternary vegetation dynamics in the Southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter. *Quater. Res.*, 55:39-46, 2001.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: Funcionalidade e sustentabilidade. In: MÜLLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.S.F.L. & SERÓDIO, M.H.C.F., orgs. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustentando a vida. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, 2004. p.64-84.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; COLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:325-334, 2003.
- GLOBAL CARBON PROJECT (GCP) of the Earth System Science Partnership. Disponível em: <<http://www.essp.org/>>. Acesso em: 21 de out. 2010.
- GROHAM, E. Northern peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecol. Appl.*, 1:182-195, 1991. Disponível em: <<http://www.jstor.org/pss/1941811>>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- GRONING, M. Handbook of stable isotope analytical techniques. Amsterdam, Elsevier, 2004. p.874-906.
- HEFLER, S.M. & LONGHI-WAGNER, H.M. A contribuição da anatomia foliar para a taxonomia das espécies de *Cyperus* L. subg. *Cyperus* (Cyperaceae) ocorrentes no sul do Brasil. *Acta Bot. Bras.*, 24:708-717, 2010.
- HILLAIRES-MARCEL, C.; AUCOUR, A.M.; BONNERLLE, R.; RIOLLET, G.; VINCENS, A. & WILLIAMSON, D. ^{13}C palynological evidence of differential residence times of organic carbon prior to its sedimentation in East African rift lakes and peat bogs. *Quater. Sci. Rev.*, 8:207-212, 1989.
- HÖGBERG, P. ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. *New Phytol.*, 137:179-203, 1997. (Tansley Review, 97)
- HORÁK, I. Relações pedológicas, isotópicas, e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-Fruta, Serra do Espinhaço Meridional - MG. Piracicaba, USP/ESALQ, 2010. 281p. (Dissertação de Mestrado)
- HORÁK, I.; VIDAL TORRADO, P.; SILVA, A.C. & PESSENDA, L.C.R. Pedological and isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Southern Espinhaço (Brazil). *R. Bras. Ci. Solo*, 35:41-52, 2011.
- HORÁK, I.; SILVA, A.C.; VIDAL-TORRADO, P.; FERREIRA, C.A.; RACEDO, J.R. & CORTIZAS, A.M. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional – MG: II - caracterização e fracionamento químico da matéria orgânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Gramado, 2007. Anais... Gramado, SBCS, 2007. CD ROM.
- KAPOS, V.; GANADE, G.; MATSUI, E. & VICTORIA, R.L. Partial-derivative C^{13} as an indicator of edge effects in tropical rain-forest reserves. *J. Ecol.*, 81:425-432, 1993.
- KEELEY, J.E. & SANDQUIST, D.R. Diurnal photosynthesis cycle in CAM and non-CAM seasonal pool aquatic macrophytes. *Ecology*, 72:716-727, 1991.
- KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A. & ANDRADE, A.S. Química da madeira. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2005. 121p.
- LAI, H. & CHEN, Z. Effects of EDTA on solubility of cadmium, zinc, and lead and their uptake by rainbow pink and vetiver grass. *Chemosphere*, 55:421-430, 2004.
- LEAVITT, S.W. & LONG, A. Stable carbon isotope variability in tree foliage and wood. *Ecology*, 67:1002-1010, 1986.

- MARTINELLI, L.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERRAZ, E.S.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B. & MOREIRA, M.Z. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo, Oficina de Textos, 2009. 130p.
- MARTINELLI, L.A.; ALMEIDA, S.; BROWN, I.F.; MOREIRA, M.Z.; VICTORIA, R.L.; STERNBERG, L.S.L.; FERREIRA, C.A.C. & THOMAS, W.W. Stable carbon isotope ratio of tree leaves, boles and fine litter in a tropical forest in Rondonia, Brazil. *Oecologia*, 114:170-179, 1998.
- MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; FORSBERG, B.R. & RICHEY, J.E. Isotopic composition of major carbon reservoirs in the Amazon floodplain. *Intern. J. Ecol. Environ. Sci.*, 20:31-46, 1994.
- MARCHESE, J.A.; MING, L.C.; GALINA, A.; TEDESCO, A.C.; CONTE, C.; MINIUK, C.M.; SCHURT, D.A.; SANGALETTI, E.; SILVA, G.O.; GOMES, G.; BERTAGNOLLI, J.A.; FRANCHESCHI, L.; COSSA, M.L.; MORAES, M.R.D.; LIMA, P.M.; LIRA, R.; CAMOCHENA, R. & COSTA, S. Popular use of the medicinal plants for the rural community of the Passo da Ilha, in the Pato Branco city, Paraná State, Brazil. In: THE WORLD CONGRESS ON MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS FOR HUMAN WELFARE, 3., Chiang Mai, 2003. Anais... Chiang Mai, 2003. CD ROM
- MASON, C.F. Decomposição. São Paulo: EDUSP, 1980. 63p.
- MEDINA, E. & MINCHIN, P. Stratification of $\delta^{13}\text{C}$ values of leaves in Amazonian rain forests. *Oecologia*, 45:377-378, 1980.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.
- MOREIRA, J.N.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; FERREIRA, M.A.; ARAÚJO, G.G.L.; FERREIRA, R.L.C. & SILVA, G.C. Caracterização da vegetação de Caatinga e da dieta de novilhos no Sertão de Pernambuco. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:1643-1651, 2006.
- MUNHOZ, C.B.R. & FELFILI, J.M. Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo em Campo Limpo Úmido no Brasil Central. *Acta Bot. Bras.*, 22:905-913, 2008.
- NICOLARDOT, B.; RECOUS, S. & MARY, B. Simulation of C and N mineralization during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C/N ratio of the residues. *Plant Soil*, 228:83-103, 2001.
- O'LEARY, M.H. Carbon isotopes in photosynthesis. *BioScience*, 38:325-36, 1988.
- ODUM, H.T. Systems ecology: An introduction. New York, J. Wiley, 1983. 644p.
- OMETTO, J.P.H.B.; EHLERINGER, J.R.; DOMINGUES, T.F.; BERRY, J.A.; ISHIDA, F.Y.; MAZZI, E.; HIGUCHI, N.; FLANAGAN, L.B.; NARDOTO, G.B. & MARTINELLI, L.A. The stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil. *Biogeochemistry*, 79:251-274, 2006.
- PAROLIN, M.; MEDEANIC, S. & STEVAUX, J.C. Registros palinológicos e mudanças ambientais durante o Holoceno de Taquarussu (MS). *R. Bras. Paleontol.*, 1:137-148, 2006.
- PESSENDA, L.C.R.; CAMARGO, P.B.; CRUZ, M.V.L.; LISI, C.S. & VALENCIA, E.P.E. O Laboratório de Radiocarbono do CENA/USP no Programa Internacional de Interação Laboratorial de Resultados. *Quím. Nova*, 16: 221-223, 1993.
- PESSENDA, L.C.R.; DE OLIVEIRA, P.E.; MOFATTO, M.; MEDEIROS, V.B.; GARCIA, R.J.F.; ARAVENA, R.; BENDASSOLI, J.A.; LEITE, A.Z.; SAAD, A.R. & ETCHEBEHERE, M.L. The evolution of a tropical rainforest / grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 ^{14}C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. *Quater. Res.*, 71:437-452, 2009.
- PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 12.ed. São Paulo, Nobel, 1987. 466p.
- PIVELLO, V.R.; CARVALHO, V.M.C.; LOPES, P.F.; PECCININI, A.A. & ROSSO, S. Abundance and distribution of native and alien grasses in a 'cerrado' (Brazilian savanna) biological reserve. *Biotropica*, 31:71-82, 1999.
- PONTEVEDRA-POMBAL, X. & MARTINEZ-CORTIZAS, A. Turberas de Galicia: Processos formativos, distribución y valor medioambiental el caso particular de las "Serras Septentrionais". *Chioglossa*, 2:103-121, 2004.
- PONTEVEDRA-POMBAL, X. Turberas de Montaña de Galicia: Génesis, propiedades y su aplicación como registros ambientales geoquímicos. Santiago de Compostela, Universidad de Santiago de Compostela, 2002. 489p. (Tese de Doutorado)
- RIELEY, R.A.J.; WUST, J.; JAUHAINEN, S.E.; PAGE, H.; WOSTEN, A.; HOOLJER, F.; SIEGERT, S.H.; LIMIM, H.; VASANDER, H. & STAHLHUT, M. Tropical peatlands: Carbon stores, carbon gas emissions and contribution to climate change processes. In: STRACK, M., ed. Peatlands and climate change. Calgary, Peat Society, 2008. p.44-70.
- SALIS, S.M. Distribuição das espécies arbóreas e estimativa da biomassa aérea em savanas florestadas, Pantanal da Nhecolândia, Estado do Mato Grosso do Sul. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, 2004. 63 p. (Tese de Doutorado)
- SALIBA, E.O.S.; RODRIGUEZ, N.M.; MORAIS, S.A.L. Ligninas - métodos de obtenção e caracterização química. *Ci. Rural*, 31:917-928, 2001.
- SANAIOTTI, T.M.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; TRUMBORE, S.E. & CAMARGO, P.B. Past vegetation changes in Amazon Savannas determined using 927 carbon isotopes of soil organic matter. *Biotropica*, 34:2-16, 2002.
- SANTOS, R. & MENDONÇA FILHO, C.V. Florística e estrutura do componente arbóreo de Capões de Mata na APA Pau-de-Fruta, no Espinhaço Meridional, Diamantina - MG. Relatório final de Projeto. Diamantina, UFVJM, FAPEMIG, 2009. 19p.
- SILVA, V.E. Relações entre a composição lignocelulósica e isotópica da vegetação e da matéria orgânica de uma turfeira tropical. Diamantina, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2011. 164p. (Dissertação de Mestrado)

- SILVA, A.C.; HORÁK, I.; MARTINEZ-CORTIZAS, A.; VIDAL-TORRADO, P.; RACEDO, J.R.; GRAZZIOTTI, P.H.; SILVA, E.B. & FERREIRA, C.A. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional: I Caracterização e classificação. R. Bras. Ci. Solo, 33:1385-1398, 2009.
- SILVA, A.C. Solos. In: SILVA, A.C.; PEDREIRA, L.C.V.S.F. & ALMEIDA ABREU, P.A., Eds. Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e ambientes. Belo Horizonte, O Lutador, 2005. 271p.
- SILVA, D.J. & QUEIROZ, A.C. Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 235p.
- SILVA, L.N.M. Estrutura de uma Turfeira de Altitude no Município de São José dos Ausentes (RS-Brasil). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 96p. (Dissertação de Mestrado)
- SOLOMONS, T.W.G. & FRYHLE, C.B. Química orgânica. Rio de Janeiro, LTC, 2000.766p.
- SCARANO, F.R.; DUARTE, H.M.; RIBEIRO, K.T.; RODRIGUES, P.J.F.P. & BARCELLOS, E.M.B. Four sites with contrasting environmental stress in southeastern Brazil: relations of species, life form diversity and geographic distribution to ecophysiological parameters. Bot. J. Linnean Soc., 136:345-364, 2001.
- SCHIMEL, D.; MELILLO, J.; TIAN, H.; MCGUIRE, A.D.; KICKLIGHTER, D.; KITTEL, T.; ROSENBLUM, N.; RUNNING, S.; THORNTON, P.; OJIMA, D.; PARTON, W.; KELLY, R.; SYKES, M.; NEILSON, R. & RIZZO, B. Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States. Science, 287:2004-2006, 2000.
- SCHLESER, G. H. $\delta^{13}\text{C}$ pattern in a forest tree as an indicator of carbon transfer in trees. Ecology, 73:1922-1925, 1992.
- SCHOLES, R.J. & van BREEMEN, N. The effects of global change on tropical ecosystems. Geoderma, 79:9-24, 1997.
- STERNBERG, L. & DENIRO, M.J. Isotopic composition of cellulose from C₃, C₄, and CAM plants growing in the vicinity of one another. Science, 220:947-948, 1983.
- STERNBERG, L.; DENIRO, M.J. & KEELEY, J.E. Hydrogen, oxygen and carbon isotope ratios of cellulose from submerged aquatic Crassulacean acid metabolism and non Crassulacean acid metabolism plants. Plant Physiol., 76:68-70, 1984.
- STUIVER, M.; REIMER, P.J. & REIMER, R.W. CALIB 5.0 Disponível em: <<http://calib.qub.ac.uk/calib>> Acesso em: 15 de dez. 2011.
- SPOSITO, G. The chemistry of soils. Oxford, Oxford University Press, 1989. 222p.
- TAUK, S.M. Biodegradação de resíduos orgânicos no solo. R. Bras. Geoci, 20:299-301, 1990.
- TURNER, N.C. Adaptation to water deficits: A changing perspective. Austr. J. Plant Physiol., 13:175-190, 1986.
- van SOEST, P.J. & MOORE, L.A. New chemical methods for analysis of forages for the purpose of predicting nutritive value. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 9., São Paulo, 1966. Anais...São Paulo, 1997. p.783-789.
- VIDOTTO, E.; PESSENDA, L.C.R.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.A. & BENDASSOLLI, J.A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do Estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. Acta Amaz., 37:385-400, 2007.
- VOVIDES, A.P.; ETHERINGTON, J.R.; DRESSER, P.Q.; GROENHOF, A.; IGLESIAS, C. & RAMIREZ, J.F. CAM-cycling in the cycad *Dioon edule* Lindl. in its natural tropical deciduous forest habitat in central Veracruz, Mexico. Bot. J. Linn. Soc., 138:155-162, 2002.
- WILCKE, W. & LILIENFEIN, J. Soil carbon-13 natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:827-832, 2004.
- WHETTEN, R. & SEDEROFF, R. Lignin biosynthesis. Plant Cell, 7:1001-1013, 1995.