

Composição Isotópica de Carbono e Nitrogênio em Solos e Plantas de uma Mata de Galeria: Efeito do Gradiente Topográfico





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Junho, 2004

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 127

Composição Isotópica de Carbono e Nitrogênio em Solos e Plantas de uma Mata de Galeria: Efeito do Gradiente Topográfico

Lucília Maria Parron
Mercedes Maria da Cunha Bustamante
Plínio B. de Camargo

Planaltina, DF
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

http\www.cpac.embrapa.br

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Hozana Alvares de Oliveira*

Capa: *Jussara Flores de Oliveira*

Foto da capa: *Lucília Maria Parron*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza /
Jaime Arbués Carneiro*

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2004): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.
Embrapa Cerrados.

P262c Parron, Lucília Maria.

Composição isotópica de carbono e nitrogênio em solos e plantas de uma mata de galeria : efeito do gradiente topográfico / Lucília Maria Parron, Mercedes Maria da Cunha Bustamante, Plínio B. de Camargo. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2004.

24 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 127)

1. Pedologia - Cerrado. 2. Mata de galeria - Cerrado. I. Bustamante, Mercedes Maria da Cunha. II. Camargo, Plínio B. de. III. Título. IV. Série.

631.417 - CDD 21

© Embrapa 2004

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	11
Composição isotópica do carbono	11
Composição isotópica do nitrogênio	15
Conclusões	21
Referências Bibliográficas	21

Composição Isotópica de Carbono e Nitrogênio em Solos e Plantas de uma Mata de Galeria: Efeito do Gradiente Topográfico

Lucília Maria Parron¹; Mercedes Maria da Cunha Bustamante²; Plínio B. de Camargo³

Resumo – Estudos de composição isotópica de carbono e nitrogênio em solos e folhas são importantes para identificar diferenças nos processos de ciclagem biogeoquímica em ecossistemas. Neste estudo foram determinadas as composições isotópicas de C e N em solos e folhas de 15 espécies lenhosas de uma Mata de Galeria no Distrito Federal, de acordo com o gradiente topográfico. O experimento foi realizado entre abril de 2001 e agosto de 2002, numa área de 100 x 100 m, próxima à cabeceira da Mata de Galeria do Córrego Pitoco, na Reserva Ecológica do IBGE. Três transectos foram estabelecidos, paralelos ao córrego e separados a cada 45 m, representando as comunidades: úmida (margem do córrego), intermediária e seca (borda da mata). Os valores de composição isotópica de C ($\delta^{13}\text{C}$) maiores nos solos na comunidade seca em relação à comunidade úmida podem estar relacionados ao aporte de matéria orgânica com valores mais altos de $\delta^{13}\text{C}$ ou maior contribuição de gramíneas C_4 no passado. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ maiores nas folhas verdes de espécies da comunidade seca em relação a espécies da comunidade úmida parecem estar associados à redução na disponibilidade de água no solo e redução na razão entre concentração de CO_2 intercelular e atmosférico (ci/ca). Espécies lenhosas da comunidade úmida apresentaram valores maiores de $\delta^{15}\text{N}$ e de concentração de N em relação às espécies da comunidade seca, indicando que a denitrificação é provavelmente maior na comunidade úmida, permanecendo no solo, a matéria orgânica enriquecida em ^{15}N .

Termos para indexação: bioma cerrado, biogeoquímica, ciclagem de nutrientes.

¹ Biól., Dra., Embrapa Cerrados, lucilia@cpac.embrapa.br

² Biól., Ph.D., Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, mercedes@unb.br

³ Eng., Agrôn., Dr., Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, Piracicaba, SP, pcamargo@cena.usp.br

Isotopic Composition of Soils and Plants in a Gallery Forest of Cerrado Biome: Effect of Topographical Gradient

Abstract – *In the present study we determined the isotopic composition of carbon and nitrogen in soils and leaves of 15 woody species for the Gallery Forest ecosystems according to variations in the topographic gradient. The experiment was conducted between March of 2001 and February of 2002 in a plot of 100 x 100 m in the Gallery Forest of the Pitoco stream, located in the Ecological Reserve of IBGE, DF. (15°56'41''S and 47°56'07''W). Three sampling lines were established, parallel to the stream and 45 m apart to each other. The lines represent wet community (near the stream), intermediate community and dry community (adjacent to a typical Cerrado area). The foliar $\delta^{13}\text{C}$ values increased from the wet to the dry community species, probably because in the drier sites the water stress leads to a decrease in ratio of internal to atmospheric CO_2 concentration (c_i/c_a) and consequently to a decrease in the foliar $\delta^{13}\text{C}$. The higher $\delta^{13}\text{C}$ values of the soil organic matter in the dry community can be related to the input of a litter with higher $\delta^{13}\text{C}$ values or a higher contribution of C_4 grasses in the past. The woody species of wet community presented higher values of $\delta^{15}\text{N}$ and of N in comparison to the dry community species indicating that denitrification is probably higher in the wet communities leaving behind a ^{15}N enriched organic matter. The isotopic composition of carbon and nitrogen in soils and leaves is an important tool to identify differences in biogeochemical cycling processes in Gallery Forest ecosystems along the topographical gradient.*

Index terms: cerrado biome, biogeochemistry.

Introdução

A ciclagem de carbono (C) e de nitrogênio (N) é um processo ecológico fundamental e tem ganhado importância devido ao interesse na dinâmica dos estoques desses elementos, seus impactos nos ecossistemas e a contribuição dos fluxos de gases, como CO, CO₂, NO e N₂O para o aquecimento global. Os ciclos de C e N têm sido estudados, nas últimas décadas, utilizando técnicas de espectrometria de massa, pela medida da abundância natural (δ) dos isótopos estáveis raros ¹³C e ¹⁵N em relação ao isótopo mais abundante ¹²C e ¹⁴N ([GRIFFITHS et al., 1999](#)).

A composição isotópica da matéria orgânica (MO) dos solos, resultado da decomposição dos tecidos das plantas, apresenta pouca variação ([BALESDENT et al., 1987](#); [VITORELLO et al., 1989](#)), possibilitando, assim, utilizar a abundância natural de ¹³C como um traçador do destino da matéria orgânica produzida. Devido às diferenças dos processos bioquímicos fotossintéticos, as plantas com ciclo fotossintético C₃ e C₄ apresentam discriminação isotópica do ¹³C. Os tecidos das plantas C₃ apresentam valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ próximo a -28‰ enquanto as C₄ possuem valor médio em torno de -12 ‰. Esses valores são muito mais negativos que os encontrados no CO₂ do ar, em torno de -7,4‰. Maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ indicam menor discriminação contra o ¹³C devido a menores valores de CO₂ intercelular e maior eficiência no uso de água ([FARQUHAR et al., 1982](#); [BUCHMANN; KAPLAN, 2001](#)). Em função disso, informações sobre $\delta^{13}\text{C}$ no solo possibilitam determinar diferenças de estresse hídrico entre as comunidades. A maioria das plantas das florestas tropicais, inclusive, as de Matas de Galeria, possui ciclo fotossintético do tipo C₃.

Em ecossistemas naturais, a abundância natural de isótopos estáveis raros ¹⁵N, em relação ao isótopo mais abundante ¹⁴N, pode ser usada na identificação de plantas fixadoras de N₂ atmosférico ([MARTINELLI et al., 1999](#)) e de estoques de N do solo ([PICCOLO et al., 1994](#)).

A abundância de ¹⁵N na matéria orgânica do solo é maior que no N₂ atmosférico ($\delta^{15}\text{N} = 0\text{‰}$). A quantidade de N₂ que plantas fixadoras (com habilidade de formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de N₂ dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*) utilizam como fonte de N, pode ser avaliada comparando sua composição isotópica com aquela de espécies não fixadoras de N₂ que obtêm N somente de estoques disponíveis a partir da decomposição da

matéria orgânica no solo ([HÖGBERG, 1997](#)). O nitrogênio fixado biologicamente é a maior fonte de entrada de N em ecossistemas ([SYLLA et al., 2002](#)). Plantas que assimilam N₂ atmosférico apresentam $\delta^{15}\text{N}$ próximos aos do N₂ atmosférico ([NADELHOFFER; FRY, 1994](#)), enquanto plantas não fixadoras de N₂ atmosférico têm $\delta^{15}\text{N}$ diferente de 0‰, devido às variações isotópicas em NH₄⁻ e NO₃⁺.

Padrões de transformação de N (N-mineralização, nitrificação, denitrificação, N-imobilização e N-assimilação) têm efeito significativo na abundância natural de ¹⁵N em plantas e solos ([NADELHOFFER; FRY, 1994](#); [HÖGBERG, 1997](#)). Em ecossistemas com ciclos relativamente fechados, pouco sujeitos a entradas de N, plantas assimilam fontes de N que são levemente depletadas em ¹⁵N em relação ao N total do solo ([NADELHOFFER; FRY, 1994](#); [HÖGBERG, 1997](#)). Esse N retorna à superfície do solo pela queda de serapilheira e, conseqüentemente, a superfície do solo tem baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ que aumentam com a profundidade ([NADELHOFFER; FRY, 1994](#); [HÖGBERG, 1997](#)), à medida que o estoque de N inorgânico (NH₄⁺ e NO₃⁻) passa a ser maior que o de N orgânico ([MARTINELLI et al., 1999](#)).

Os objetivos do trabalho foram determinar o perfil isotópico de C e de N e verificar padrões de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ nos solos e em plantas de três comunidades vegetais distintas, conforme o gradiente topográfico de uma Mata de Galeria no Distrito Federal.

Material e Métodos

O experimento foi realizado numa área de 100 x 100 m, próxima à cabeceira da Mata de Galeria do Córrego Pitoco, na Reserva Ecológica do IBGE (15°56'41''S e 47°56'07''W), unidade de conservação de 1500 ha, localizada no Distrito Federal. A Mata de Galeria do Córrego Pitoco é mais larga na cabeceira (160 m) e estreita na foz (≤ 120 m) ([SILVA JÚNIOR, 1995](#)). A declividade varia entre 6 e 15 graus. Três transectos foram estabelecidos, paralelos ao córrego e separados 45 metros um do outro. Os transectos referem-se às comunidades florísticas denominadas: comunidade úmida (margem do córrego); intermediária e seca (borda da mata), identificadas por [Silva Júnior \(1995\)](#) em função do gradiente topográfico.

Os solos foram classificados de acordo com as comunidades vegetais. Na comunidade úmida, tem-se um Gleissolo Háplico Distrófico A moderado, textura

muito argilosa fase Mata de Galeria, relevo plano a suave-ondulado, substrato metarritmito argiloso. Nas comunidades intermediária e seca, tem-se um Latossolo Amarelo Distrófico A moderado, textura muito argilosa, fase Mata de Galeria, relevo suave-ondulado, substrato metarritmito argiloso.

Em cada transecto, foram determinados o $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$: (1) da matéria orgânica do solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10 e, daí até 100 cm, em intervalos de 10 cm; (2) do tecido de folhas verdes; e (3) tecido de folhas senescentes de espécies lenhosas mais comuns em cada comunidade vegetal ([Tabela 1](#)). As folhas foram coletadas da mesma árvore e na mesma altura; as verdes em abril de 2001 e as senescentes em agosto de 2002. Foram utilizadas três repetições para as coletas de solo e de tecido vegetal.

Por convenção, as composições isotópicas entre o observado e o padrão de C e N (depleção ou enriquecimento) foram expressas com notação δ em partes por mil (‰) como:

Composição isotópica do C:

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = [(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{amostra}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}}] \times 10^3 / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}}$$

onde PDB = C no CO_2 produzido no fóssil belemnita da formação calcária Pee Dee.

Composição isotópica do N:

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = [(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{amostra}} - (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{padrão}}] / (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{padrão}} \times 10^3$$

padrão = N_2 atmosférico

A determinação das concentrações de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foi realizada no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA (USP), segundo metodologia descrita em [Nadelhoffer e Fry \(1994\)](#), em um analisador elementar Carlo Erba acoplado ao espectrômetro de massa (para ^{13}C e ^{15}N) Thermo Finnigan Delta Plus. A sensibilidade é de 0,3‰ entre repetições. C e N total foram analisados pelo método de combustão seca no mesmo equipamento.

Tabela 1. Espécies arbóreas utilizadas para determinação da composição isotópica de carbono e nitrogênio. Mata de Galeria do Córrego Pitoco, Reserva Ecológica do IBGE.

Espécie	Família	Comunidade Vegetal
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers.	Icacinaceae	Úmida
<i>Protium almecega</i> March.	Burseraceae	Úmida
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	Myristicaceae	Úmida
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Leguminosae	Intermediária
<i>Faramea cyanea</i> Muell. Arg.	Rubiaceae	Intermediária
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Leguminosae	Intermediária
<i>Jacarandá puberula</i> Cham.	Bignoniaceae	Intermediária
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	Euphorbiaceae	Intermediária
<i>Tapura amazonica</i> Poepp. & Endl.	Dichapetalaceae	Intermediária
<i>Callistene major</i> Mart.	Vochysiaceae	Seca
<i>Eriotheca pubescens</i> Schott. & Endl.	Bombacaceae	Seca
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	Cunoniaceae	Seca
<i>Bauhinia rufa</i> Steud.	Leguminosae	Comum às três comunidades
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel.*	Leguminosae	Comum às três comunidades
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	Comum às três comunidades

* Variedade *rubiginosum*.

Os dados de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do solo foram analisados estatisticamente usando o procedimento 'General Linear Models' (GLM) para análise de medidas repetidas (VIVALDI, 1999) do programa Statistica (STATSOFT, 2001). As análises consideraram as comunidades (úmida, intermediária e seca) como tratamento e profundidade do solo como medida repetida no espaço ($p < 0,05$). No texto, as médias estão seguidas pelo erro-padrão da média (ep). Os métodos Greenhouse-Geisser e Huynh-Feldt (G-G e H-F) que ajustam os graus de liberdade das análises de medidas repetidas, baseados em intercorrelações entre as hipóteses das análises, foram usados para confirmar os resultados.

Análises de co-variância dos GLM (ANCOVA, $p < 0,05$) foram usadas para comparar o $\delta^{15}\text{N}$ de espécies leguminosas e não leguminosas da comunidade intermediária e comuns às três comunidades.

Além disso, coeficientes de correlação de Pearson foram usados para determinar correlações entre C e $\delta^{13}\text{C}$, assim como entre N e $\delta^{15}\text{N}$.

Resultados e Discussão

Composição isotópica do carbono

A concentração de C na superfície do solo (0 a 5 cm) foi 10,57% (ep = 0,76), 9,62% (ep = 2,10) e 6,31% (ep = 0,60) nas comunidades úmida, intermediária e seca, respectivamente, e, na camada entre 90 e 100 cm, foi em média 1,43% (ep = 0,07) (Figura 1a). As variações nas concentrações de C entre essas duas camadas, nas comunidades úmida, intermediária e seca foram, respectivamente, 9,15%, 8,11% e 4,37%.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da superfície do solo das comunidades úmida, intermediária e seca foram -27,13‰ (ep = 0,26), -26,52‰ (ep = 0,07), e -26,75‰ (ep = 0,04) respectivamente. Na camada entre 90 e 100 cm, foram em média -23,38‰ ($\sigma = 0,29$) (Figura 1b). A variação na composição isotópica entre as duas camadas, nas comunidades úmida, intermediária e seca foi 3,66‰, 2,86‰ e 3,78‰ respectivamente. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da comunidade seca é maior que os das comunidades úmida e intermediária (análise de medidas repetidas, $F = 12,14$; $p = 0,007$), mas não há diferença entre as duas últimas. Na interação profundidade *versus* comunidade, o $\delta^{13}\text{C}$ dos solos entre 30 e 80 cm da comunidade seca, destaca-se significativamente das demais (análise de medidas repetidas, $F = 2,70$; $p = 0,002$), apresentando valores próximos a -22‰.

A concentração de C das folhas verdes variou de 38,0% (ep = 2,3) em *T. amazonica*, espécie da comunidade intermediária, até 53,33% (ep = 0,10) e 54,32% (ep = 0,12), em *V. sebifera* e *E. nitens*, espécies da comunidade úmida (Figura 2a). O padrão da curva e a concentração de C nas folhas senescentes são muito semelhantes ao das folhas verdes (Figura 2a).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ nas folhas verdes das espécies da comunidade seca (*E. pubescens* ($\delta^{13}\text{C} = -28,94\text{‰}$; ep = 0,14) e *C. major* ($\delta^{13}\text{C} = -29,43\text{‰}$; ep = 0,13) foram maiores (Teste de Tukey, $MS = 0,93$, $p = 0,05$) que os $\delta^{13}\text{C}$ de *V. sebifera* ($\delta^{13}\text{C} = -33,73\text{‰}$; ep = 0,23) e *P. almecega* ($\delta^{13}\text{C} = -32,40\text{‰}$; ep = 0,73), espécies da comunidade úmida (Figura 2b).

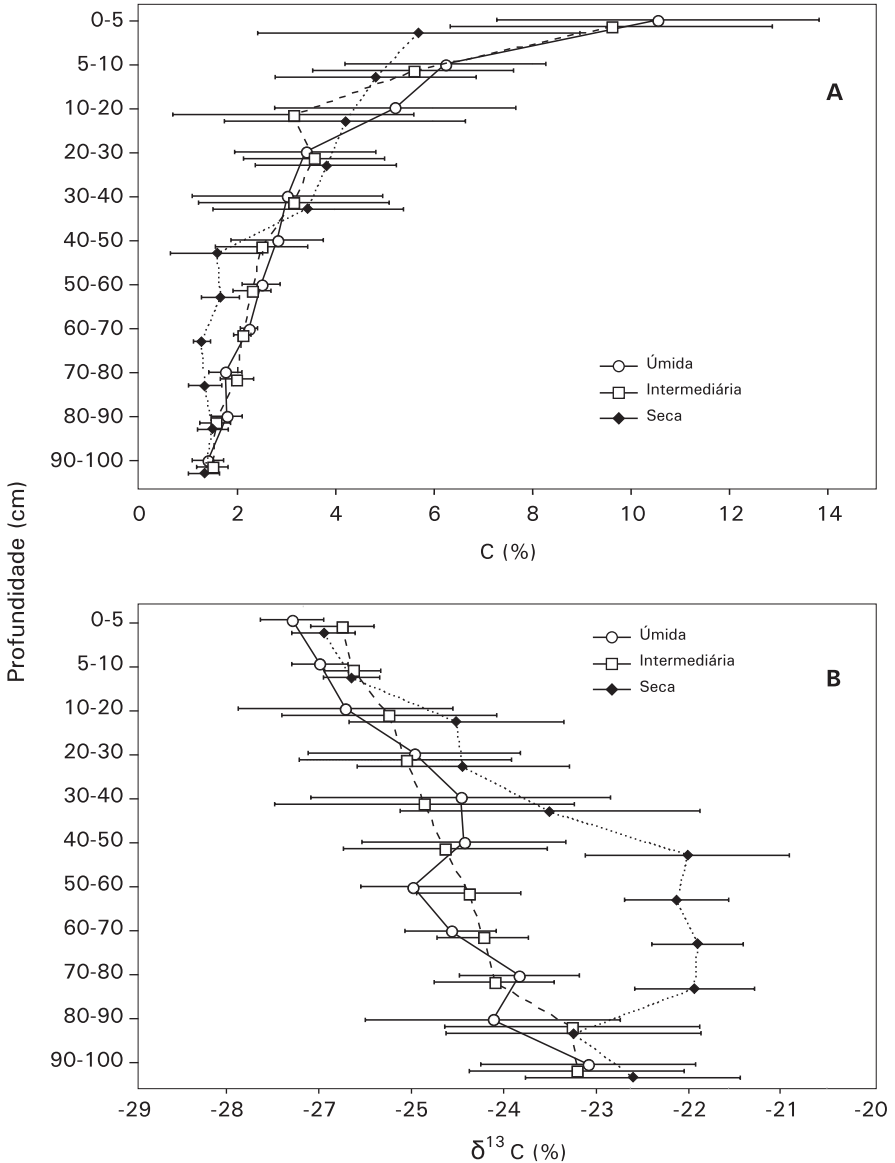


Figura 1. Carbono (A) e composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (B) em função da profundidade dos solos das comunidades úmida, intermediária e seca. Mata de Galeria do Córrego Pitoco, Reserva Ecológica do IBGE. ($n=3$, as barras indicam intervalos de confiança de 95%).

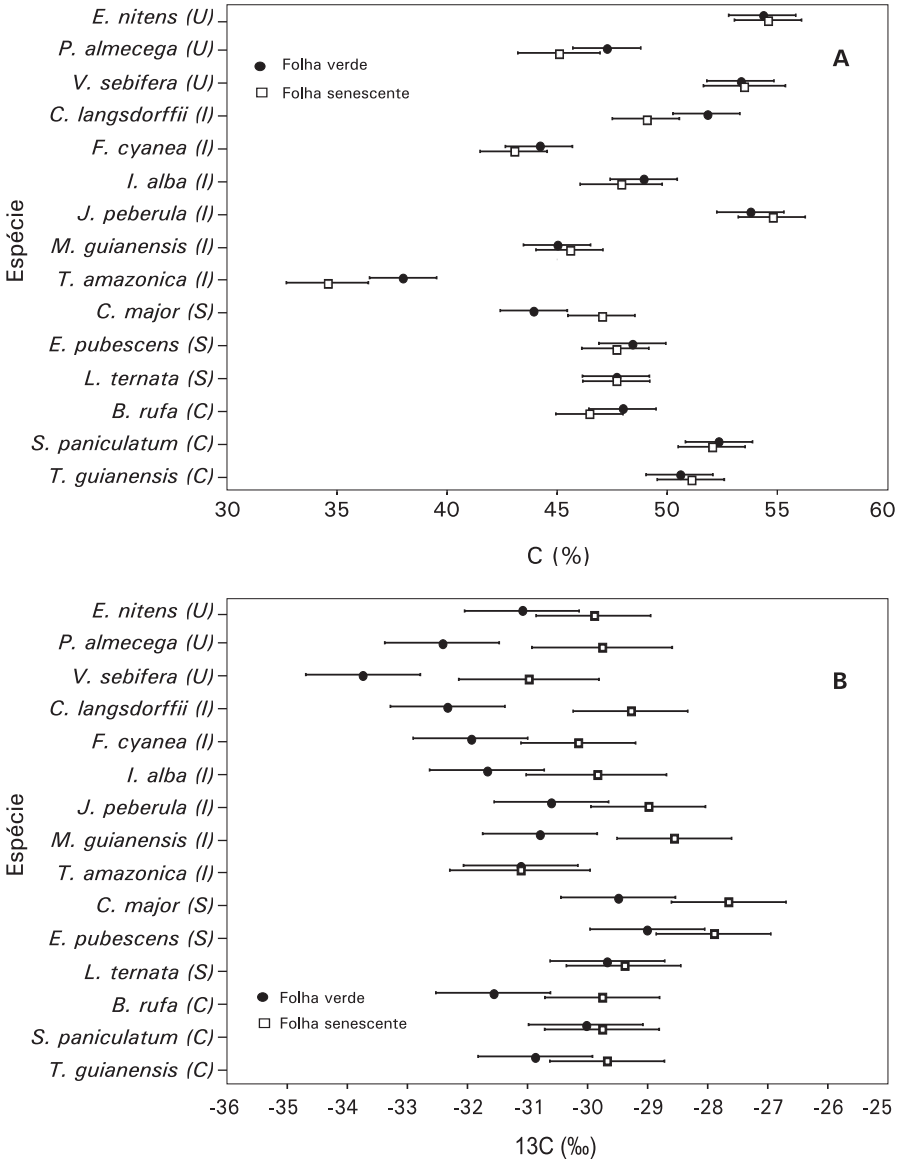


Figura 2. Carbono (%) e composição isotópica de $\delta^{13}C$ (‰) em folhas de 15 espécies vegetais lenhosas das comunidades úmida (U), intermediária (I), seca (S) e comum às três comunidades (C). Mata de Galeria do Córrego Pitoco, Reserva Ecológica do IBGE. (n=3, as barras indicam intervalos de confiança de 95%).

A abundância natural de ^{13}C nas folhas senescentes mostrou valores maiores que nas folhas verdes (Teste de Tukey, $MS = 1,82$, $p = 0,05$). Nas folhas senescentes, os valores $\delta^{13}\text{C}$ de *E. pubescens* ($\delta^{13}\text{C} = -27,83\%$; $ep = 0,42$) e *C. major* ($\delta^{13}\text{C} = -27,57\%$; $ep = 0,16$) também apresentaram valores maiores (Teste de Tukey, $MS = 0,93$, $p = 0,05$) que os de *V. sebifera* ($\delta^{13}\text{C} = -31,15\%$; $ep = 0,75$) e *P. almecega* ($\delta^{13}\text{C} = -30,84\%$; $ep = 1,14$) ([Figura 2b](#)).

Na Mata de Galeria, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ apresentam tendência de aumento na seqüência folhas verdes < folhas senescentes < superfície do solo < camadas mais profundas do solo. O enriquecimento em ^{13}C em direção às camadas mais profundas dos perfis de solos da Mata de Galeria pode ser explicado pela rápida mineralização de componentes que possuem pouco ^{13}C . As variações espaciais de umidade no solo em função da topografia são responsáveis pela variação na quantidade de matéria orgânica entre os solos das comunidades. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são mais distantes de zero nos solos da comunidade úmida, provavelmente, estão relacionados à maior quantidade de matéria orgânica, embora eles apresentem maiores taxas de mineralização de N ([PARRON et al., 2003](#)).

Tendências semelhantes foram observadas em vários outros ecossistemas onde as plantas C_3 são dominantes ([MORAES et al., 1996](#), [NEILL et al., 1996](#)). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em perfis de solo de florestas no sudoeste da Amazônia (Rondônia), mostraram uma variação de 1,5‰ entre a camada de solo da superfície e a 30 cm de profundidade em Latossolo podzólico (mais arenoso) e 2‰ em Podzólico Vermelho-Amarelo. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ de MO aumentaram entre 1‰ e 2‰ da superfície para o horizonte mediano (50 cm) ([MORAES et al., 1996](#)). Mesmo sob vegetação de Cerrado *stricto sensu* onde o estrato herbáceo é dominado por plantas C_4 , a composição isotópica da superfície dos solos ($\delta^{13}\text{C} = -25,29\%$) foi maior que na serapilheira ($\delta^{13}\text{C} = -27,81\%$) ([ROSCOE et al., 2000](#)).

O enriquecimento em ^{13}C , da superfície em direção camadas mais profundas dos perfis de solos pode estar relacionado à redução na disponibilidade hídrica no solo ([MEINZER et al., 1992](#)), à mineralização da MO ou à presença de MO antiga nas camadas mais profundas. A humificação diferencial em perfis de solos da floresta, a variação na concentração de CO_2 e mudanças na vegetação e seu ambiente (exceto mudanças na vegetação de C_3 para C_4), são os principais fatores que influenciam o $\delta^{13}\text{C}$ da MO de solos de floresta ([MORAES et al., 1996](#), [NEILL et al., 1996](#)). O aumento do $\delta^{13}\text{C}$ em direção às camadas mais profundas do solo pode ser explicado também pelas diferenças entre as taxas de

decomposição de compostos orgânicos, presentes nas folhas verdes, senescentes e superfície do solo, com diferentes assinaturas isotópicas. O fracionamento isotópico durante a decomposição microbiana de compostos orgânicos torna maiores os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para produtos microbianos comparados ao do material das plantas ([ROSCOE et al., 2000](#); [POWERS; SCHLESINGER, 2002](#)).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ maiores (mais próximos de zero) na comunidade seca podem estar relacionados ao aporte de matéria orgânica com valores mais altos de $\delta^{13}\text{C}$. Como o $\delta^{13}\text{C}$ é aproximadamente igual ao da vegetação que a originou, nesse caso, provavelmente, o material de origem seria plantas C_4 (gramíneas nativas) das áreas adjacentes de Cerrado. No sudeste da Amazônia (Paragominas) a diferença entre ecossistemas de pastagens (C_4) e floresta nativa (C_3) é evidente: a superfície do solo ($\delta^{13}\text{C} = -22,4\text{‰}$) sob pastagens antigas (15 anos) é mais enriquecida em ^{13}C que sob floresta ($\delta^{13}\text{C} = -27,7\text{‰}$) ([BERNOUX et al., 1999](#)).

Valores maiores de $\delta^{13}\text{C}$ nas folhas verdes de espécies da comunidade seca em relação a espécies da comunidade úmida parecem estar associados à redução na disponibilidade de água no solo ([MEINZER et al., 1992, 1993](#)). A estacionalidade que ocorre no Bioma Cerrado, com o período de 4 a 5 meses de seca, afeta mais fortemente as espécies da comunidade seca do que as espécies da comunidade úmida. Em plantas C_3 , a magnitude de discriminação contra o ^{13}C e a $\delta^{13}\text{C}$ resultante são determinadas pela razão pressão intercelular/pressão atmosférica parcial de CO_2 (p_i/p_a) que prevalece quando o carbono do tecido foliar é assimilado e pela $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 fonte ([FARQUHAR et al., 1982](#); [JACKSON et al., 1993](#)). A razão p_i/p_a é também diretamente relacionada à razão taxa de assimilação instantânea de CO_2 /condutância estomatal, uma medida intrínseca de eficiência de uso da água ([MEINZER et al., 1992](#)).

Composição isotópica do nitrogênio

Depois da disponibilidade de água, o N é o fator limitante mais importante da produtividade. A concentração de N total foi maior na superfície do solo (0 a 5 cm), com valores de 0,66% ($ep = 0,06$), 0,59% ($ep = 0,16$) e 0,39% ($ep = 0,03$) nas comunidades úmida, intermediária e seca, respectivamente, diminuindo com a profundidade, apresentando na camada 90 a 100 cm valores médios de 0,08% ($ep = 0,01$) ([Figura 3a](#)). Não houve diferença significativa entre as comunidades ($p > 0,05$). A variação entre o N da superfície e as camadas mais profundas do solo nas comunidades úmida, intermediária e seca foi 0,6%, 0,5% e 0,3% respectivamente.

Em relação ao N_2 atmosférico, o solo é enriquecido em $\delta^{15}N$. Esse enriquecimento aumentou significativamente com a profundidade (análise de medidas repetidas, $F = 35,24$; $p = 0,0$) (Figura 3b). O $\delta^{15}N$ da superfície do solo (0-5 cm) foi 4,07‰ (ep = 0,65), 3,95‰ (ep = 0,21), e 4,65‰ (ep = 1,42), nas comunidades úmida, intermediária e seca respectivamente. Na camada mais profunda (90 a 100 cm) o $\delta^{15}N$ foi em média 8,34‰ (ep = 0,21) (Figura 3b). A variação entre a composição isotópica de N da superfície e as camadas mais profundas do solo nas comunidades úmida, intermediária e seca foi, respectivamente, 4,85‰, 4,14‰ e 3,36‰. Os valores de $\delta^{15}N$ da comunidade úmida entre 5 e 40 cm foram maiores que os da comunidades intermediária e seca (análise de medidas repetidas, $F = 8,92$; $p = 0,01$).

Observa-se que valores de $\delta^{15}N$ do solo são inversamente relacionados à concentração de N total (Figura 3). Menores valores de $\delta^{15}N$ encontrados na superfície em relação às camadas mais profundas do solo estão associados a maiores concentrações de N_{total} .

A composição isotópica das folhas das plantas foi menor em *E. pubescens* ($\delta^{15}N = 0,94\%$ e ep = 0,01) e *L. ternata* ($\delta^{15}N = 0,97\%$ ep = 0,06), espécies da comunidade seca, e maior em *B. rufa* ($\delta^{15}N = 2,13\%$ e ep = 0,16), *C. langsdorffii* ($\delta^{15}N = 2,17\%$; ep = 0,29) e *I. alba* ($\delta^{15}N = 3,3\%$; ep = 0,11), as duas primeiras, leguminosas freqüentes na comunidade intermediária e a última, comum às três comunidades (Figura 4a). O padrão para o N das folhas senescentes foi o mesmo, variando de 0,53% (ep = 0,02) em *L. ternata* e 0,54% (ep = 0,04) em *E. pubescens* até 1,44% (ep = 0,0) em *I. alba*.

A abundância natural de ^{15}N , nas folhas verdes, mostrou o seguinte padrão: as espécies da comunidade seca apresentaram os valores de $\delta^{15}N$ mais reduzidos que os das demais comunidades (Teste de Tukey, $MS = 1,66$, $p = 0,05$), ou seja, menores que -2‰; quatro espécies da comunidade intermediária (sendo duas leguminosas, *C. langsdorffii* e *I. alba*) e *S. paniculatum*, leguminosa comum às três comunidades apresentaram $\delta^{15}N$ entre -1‰ e zero. Os maiores enriquecimentos em ^{15}N foram verificados em *V. sebifera* ($\delta^{15}N = 1,93\%$; ep = 0,52) da comunidade úmida e *T. amazonica* ($\delta^{15}N = 0,70\%$; ep = 0,75) da comunidade intermediária. As espécies da comunidade úmida não apresentaram um padrão definido (Figura 4b).

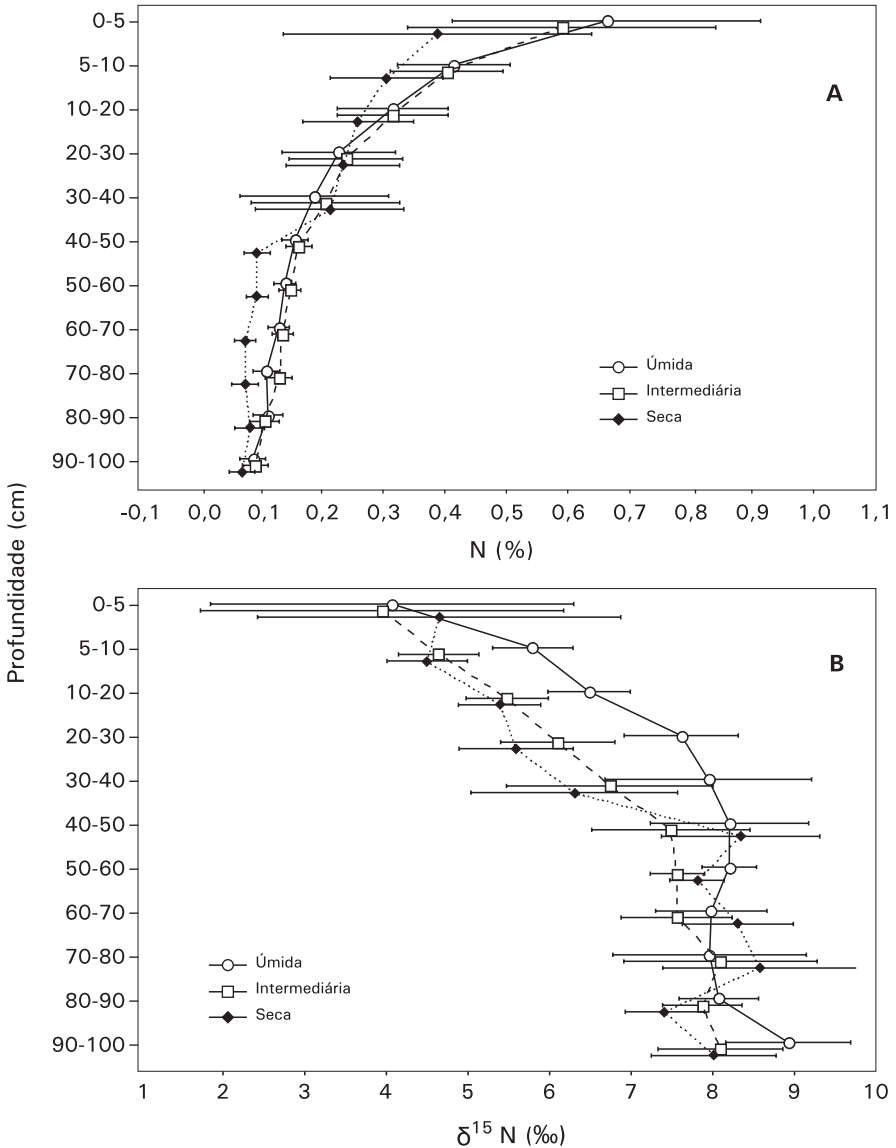


Figura 3. Nitrogênio total (A) e composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (B) em função da profundidade dos solos das comunidades úmida, intermediária e seca. Mata de Galeria do Córrego Pitoco, Reserva Ecológica do IBGE. ($n=3$, as barras indicam intervalos de confiança de 95%).

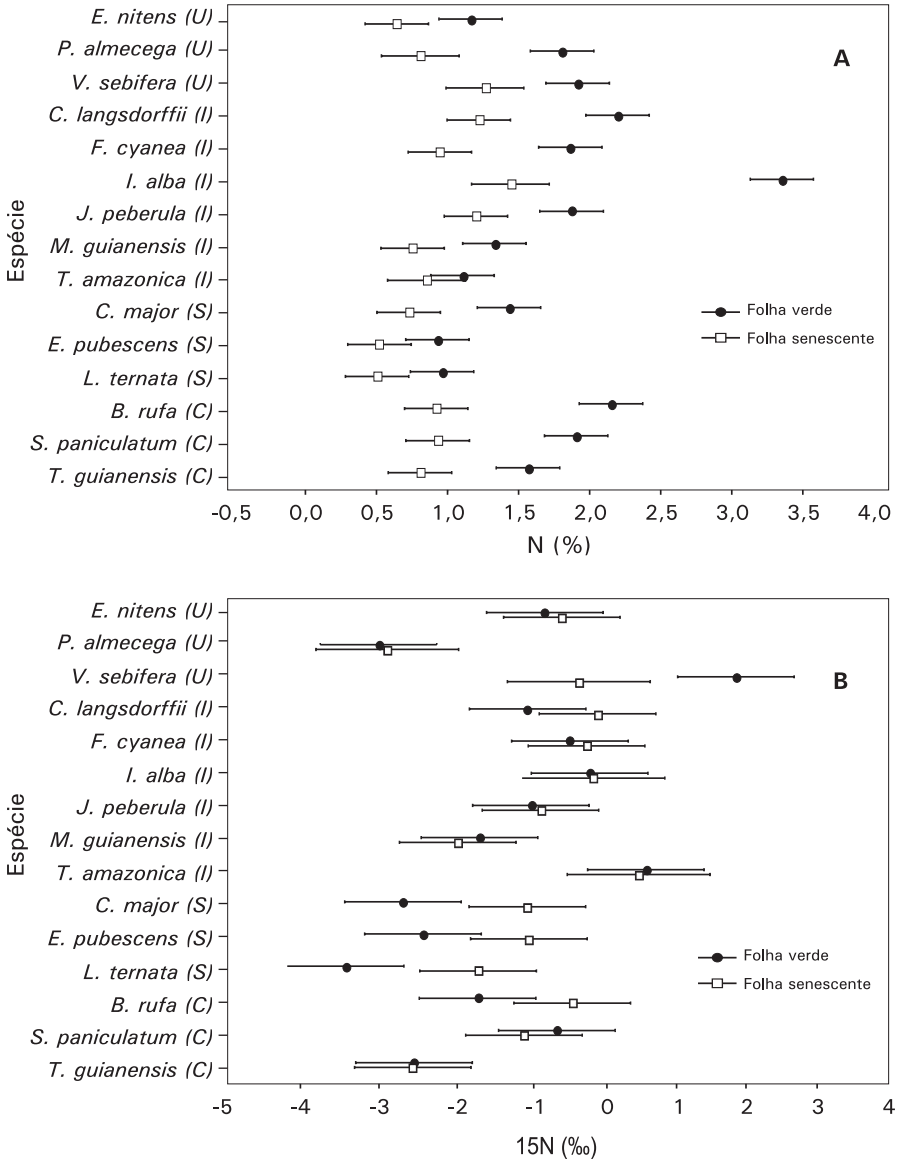


Figura 4. Nitrogênio (A) e composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (B) em folhas de 15 espécies vegetais lenhosas das comunidades úmida (U), intermediária (I), seca (S) e comum às três comunidades (C). Mata de Galeria do Córrego Pitoco, Reserva Ecológica do IBGE. (n=3, as barras indicam intervalos de confiança de 95%).

As composições isotópicas das folhas das espécies leguminosas ($\delta^{15}\text{N} = -0,78\%$; $ep = 0,25$; $n = 4$) e não leguminosas ($\delta^{15}\text{N} = -1,33\%$; $ep = 0,30$; $n = 11$), independentemente de comunidades não apresentaram diferença significativa entre si (ANCOVA, $F = 2,64$; $p = 0,11$), assim como espécies leguminosas ($\delta^{15}\text{N} = -0,49\%$; $ep = 0,37$) e não leguminosas ($\delta^{15}\text{N} = -0,52\%$; $ep = 0,32$; $n = 2$) da comunidade intermediária (ANCOVA, $F = 0,41$; $p = 0,53$; $n = 4$). No entanto, entre as espécies comuns às três comunidades, leguminosas ($\delta^{15}\text{N} = -1,06\%$; $ep = 0,32$; $n = 2$) apresentaram $\delta^{15}\text{N}$ maior que a não leguminosa ($\delta^{15}\text{N} = -2,47\%$; $ep = 0,08$; $n = 1$) (ANCOVA, $F = 30,99$; $p = 0,0$).

A composição isotópica de ^{15}N nas folhas senescentes segue um padrão semelhante ao das folhas, porém, com valores mais próximos de zero. Os maiores valores foram apresentados por *T. amazonica* ($\delta^{15}\text{N} = 0,6\%$; $ep = 0,3$), da comunidade intermediária ([Figura 4b](#)).

Quando as composições isotópicas das folhas senescentes de espécies leguminosas ($\delta^{15}\text{N} = 0,004\%$; $ep = 0,06$; $n = 2$) e não leguminosas ($\delta^{15}\text{N} = -0,48\%$; $ep = 0,32$; $n = 4$) da comunidade intermediária foram comparadas, verificou-se que não houve diferença significativa entre esses dois grupos (ANCOVA, $F = 0,005$; $p = 0,94$), no entanto, quando a mesma comparação é feita entre as folhas senescentes das espécies leguminosas ($\delta^{15}\text{N} = -0,64\%$; $ep = 0,25$; $n = 2$) e da espécie não leguminosa ($\delta^{15}\text{N} = -2,49\%$ e $ep = 0,08$; $n = 1$) comum às três comunidades a diferença foi significativa (ANCOVA, $F = 76,51$; $p = 0,0$).

Conseqüentemente, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ apresentam tendência de aumento na seqüência folhas verdes < folhas senescentes < superfície do solo < camadas mais profundas do solo. Esse padrão de enriquecimento em $\delta^{15}\text{N}$ é comum à maioria dos trabalhos ([PICOLLO et al., 1994](#); [MARTINELLI et al., 1999](#); [NEILL et al., 1999](#)).

O enriquecimento em ^{15}N com a profundidade do solo é uma característica comum à maioria dos solos e suas causas são relativamente bem conhecidas ([NADELHOFFER; FRY, 1994](#); [PICCOLO et al., 1994, 1996](#)). Dois processos geralmente contribuem para esse padrão: entradas de serapilheira que possui menos ^{15}N que o solo e fracionamento de N durante a decomposição da serapilheira que resulta na produção de amônio isotopicamente leve e o gradual enriquecimento da matéria orgânica do solo. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ da matéria orgânica na superfície são mais próximos dos encontrados nas folhas

senescentes que nas camadas mais profundas do solo, porque uma grande proporção da MO perto da superfície do solo foi recentemente formada a partir da decomposição da serapilheira (PICCOLO et al., 1994). Embora $\delta^{15}\text{N}$ geralmente aumente com a profundidade do solo, os valores podem reduzir novamente nos horizontes subsuperficiais que foram expostos à erosão (NADELHOFFER; FRY, 1994). Na comunidade seca da Mata de Galeria, houve redução na camada 5 a 10 cm, contudo, não há evidências de erosão ou escoamento subsuperficial.

Apesar de os valores de $\delta^{15}\text{N}$ no solo serem muito maiores que o $\delta^{15}\text{N}$ do N_2 atmosférico, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar da maioria das espécies foram menores que 0‰ (Figura 4b). Como o fracionamento e a discriminação isotópica podem ocorrer durante a absorção, assimilação e transporte de N, a depleção em $\delta^{15}\text{N}$ verificada nas folhas pode ser atribuída à absorção de N do solo resultante da decomposição da matéria orgânica reduzida em $\delta^{15}\text{N}$ (NADELHOFFER; FRY, 1994).

Por serem comumente fixadoras de N, é esperado que as espécies leguminosas tenham menos ^{15}N e apresentem valor teórico de $\delta^{15}\text{N}$ em torno de 0‰. O presente estudo indica que *C. langsdorffii*, *I. alba* e *S. paniculatum* são plantas fixadoras de N_2 .

As variações encontradas entre as espécies, quanto à abundância natural de $\delta^{15}\text{N}$ em tecidos vegetais, também podem ser atribuídas a vários outros fatores além da fixação de N_2 , incluindo (1) transformações de N (ciclagem por mineralização/imobilização microbiana); (2) a profundidade do solo do qual o N é assimilado; (3) a forma de N do solo utilizada ($\text{N}_{\text{orgânico}}$, NH_4^+ , NO_3^-); e/ou influências de simbiose micorrízica (HÖGBERG, 1997; GEBAUER; EHLERINGER, 2000). Por causa da complexidade nos mecanismos de assimilação de N e interações entre esses fatores, freqüentemente, é difícil relacionar as variações observadas nos valores de abundância natural de ^{15}N a mecanismos específicos. Entradas de N por espécies fixadoras de N_2 e outras fontes, como deposição atmosférica, também poderiam modificar as concentrações de $\delta^{15}\text{N}$ do solo para valores próximos ao do N_2 atmosférico (CHOI et al., 2003). Nessa Mata de Galeria, identificou-se deposição atmosférica de $12,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que representa apenas 0,9% do estoque total de N na superfície (PARRON, 2004).

O método da abundância natural de ^{15}N mostrou ser uma boa ferramenta para avaliar a atividade de fixação de N_2 por espécies leguminosas em Matas de Galeria. Entretanto, estudos adicionais são necessários para determinar as taxas de fixação de N_2 nesse ecossistema.

Conclusões

1. Na Mata de Galeria, as composições isotópicas (δ) de ^{13}C e $\delta^{15}\text{N}$ apresentam a seqüência de aumento: folhas verdes < folhas senescentes < superfície do solo < camadas mais profundas do solo.
2. A maior $\delta^{13}\text{C}$ dos solos na comunidade seca em relação aos da úmida, indica aporte de matéria orgânica com maior $\delta^{13}\text{C}$ ou maior contribuição de gramíneas C_4 no passado.
3. Na comunidade seca, maior $\delta^{13}\text{C}$ no solo e folhas verdes das espécies, indica menor disponibilidade hídrica no solo e razão concentração de CO_2 intercelular/ atmosférico nas folhas.
4. Espécies lenhosas da comunidade úmida apresentaram maior $\delta^{15}\text{N}$ e concentração de N em relação às espécies da comunidade seca.

Referências Bibliográficas

- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; GUILLET, B. Natural ^{13}C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 25-30, 1987.
- BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronosseqüência de floresta tropical - pastagem de Paragominas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 777-783, 1999.
- BUCHMANN, N.; KAPLAN, J. O. Carbon isotope discrimination of terrestrial ecosystems - how well do observed and modeled result match? In: SCHULZE, E. D.; HEIMANN, M.; HARRISON, S.; HOLLAND, E.; LLOYD, J.; PRENTICE, I. C.; SCHIMMEL, D. (Ed.). **Global biogeochemical cycles in the climate system**. San Diego: Academic Press, 2001. p. 253-266.
- CHOI, W. J.; RO, H. M.; HOBBI, E. A. Patterns of natural ^{15}N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 35, n. 11, p. 1493-1500, 2003.

FARQUHAR, G. D.; BALL, M. C.; VON CAEMMERER, S.; ROKSANDIC, Z. Effect of salinity and humidity on delta ^{13}C values of halophytes-evidence for diffusional isotope fractionation determined by the ratios of intercellular/atmospheric CO_2 under different environmental conditions. **Oecologia**, New York, v. 52, n. 1, p. 121-137, 1982.

GEBAUER, R. L. E.; EHLERINGER, J. R. Water and nitrogen uptake patterns following moisture pulses in a cold desert community. **Ecology**, New York, v. 81, n. 5, p. 1414-1424, 2000.

GRIFFITHS, H.; BORLAND, A.; GILLON, J.; HARWOOD, K.; MAXWELL, K.; WILSON, J. Stable isotopes reveal exchanges between soil, plants and the atmosphere. In: PRESS, M. C.; SCHOLLES, J. D.; BARKER, M. G. (Ed.). **Physiological plant ecology**. Oxford: Blackwell Science, 1999. p. 415-441.

HÖGBERG, P. ^{15}N abundance natural in soil-plant systems. **New phytologist**, New York, v. 137, n. 2, p. 179-203, 1997.

JACKSON, P. C.; MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; HOLBROOK, N. M.; CAVELIER, J.; RADA, F. Environmental and physiological influence on carbon isotope composition of gap and understory plants in a lowland tropical forest. In: EHLERINGER, J. R.; HALL, A. E.; FARQUHAR, G. D. (Ed.). **Stable isotopes and plant carbon-water relations**. San Diego: Academic Press, 1993. p. 131-139.

MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; TOWNSEND, A. R.; VITOUSEK, P. M.; CUEVAS, E.; McDOWELL, W.; ROBERTSON, G. P.; SANTOS, O. C.; TRESEDER, K. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: tropical versus temperate forests. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 46, n. 1/3, p. 45-65, 1999.

MEINZER, F. C.; GOLSDTEIN, G.; GRANTZ, D. A. Carbon isotope discrimination and gas exchange in coffee during adjustment to different soil moisture regimes. In: EHLERINGER, J. R.; HALL, A. E.; FARQUHAR, G. D. (Ed.). **Stable isotopes and plant carbon-water relations**. San Diego: Academic Press, 1993. p. 327-345.

MEINZER, F. C.; RUNDEL, P. W.; GOLDSTEIN, G.; SHARIFI, M. R. Carbon isotope composition in relation to leaf gas exchange and environmental conditions in Hawaiian *Metrosideros polymorpha* populations. **Oecologia**, New York, n. 3, v. 91, p. 305-311, 1992.

MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon Forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, Netherlands, v. 70, n. 1, p. 63-81, 1996.

NADELHOFFER, K. J.; FRY, B. Nitrogen isotope studies in forest ecosystems. In: LATHJA, K.; MICHENER, R. (Ed.). **Stable isotopes in ecology and environmental science**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994. p. 22-44.

NEILL, C.; FRY, B.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; MORAES, J. F. L.; CERRI, C. C. Forest and pasture-derived carbon contributions to carbon stocks and microbial respiration of tropical pasture soils. **Oecologia**, New York, v. 107, n. 1, p. 113-119, 1996.

NEILL, C.; PICCOLO, M. C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C. Nitrogen dynamics in Amazon forest and pasture soils measured by ^{15}N pool dilution. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 567-572, 1999.

PARRON, L. M. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico, em uma Mata de Galeria no Distrito Federal**. 2004. 181 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília.

PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PRADO, C. L. **Mineralização de nitrogênio e biomassa microbiana em solos de Mata de Galeria: efeito do gradiente topográfico**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 25 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 88).

PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Natural abundance of ^{15}N in soils along forest-to-pasture chronosequences in the western Brazilian Amazon. **Oecologia**, New York, v. 99, n. 1/2, p. 112-117, 1994.

PICOLLO, M. C.; NEILL, C.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C.; STEUDLER, P. A. ^{15}N Natural abundance in forest and pasture soils of the Brazilian Amazon Basin. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 182, p. 249-258, 1996.

POWERS, J. S.; SCHLESINGER, W. H. Geographic and vertical patterns of stable carbon isotopes in tropical rain forest soils of Costa Rica. **Geoderma**, Netherlands, v. 109, n. 1/2, p. 141-160, 2002.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; PEREIRA, J. A. A. Effects of fire on soil organic matter in a 'cerrado sensu-stricto' from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}\text{C}$. **Geoderma**, Netherlands, v. 95, n. 1/2, p. 141-160, 2000.

SILVA JÚNIOR, M. C. **Tree communities of the gallery forests of the IBGE Ecological Reserve, Federal District, Brazil.** 1995. 257 f. Thesis (Ph.D) - University of Edinburg, Edinburg, UK.

STATSOFT. **Statistica:** data analysis software system: version 6, 2001. Disponível em < <http://www.statsoft.com> > Acesso em: dez. 2002.

SYLLA, S. N.; NDOYE, I.; GUEYE, M.; BA, A. T.; DREYFUS, B. Estimates of biological nitrogen fixation by *Pterocarpus lucens* in a semi arid natural forest park in Senegal using ¹⁵N natural abundance method. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 1, n. 2, p. 50-56, 2002.

VITORELLO, V. A.; CERRI, C. C.; ANDREUX, F.; FELLER, C.; VICTORIA, R. L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n. 3, p. 773-778, 1989.

VIVALDI, L. J. **Análise de experimentos com dados repetidos ao longo do tempo ou espaço.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 52 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 8).