

Universidade de Brasília

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Relação entre o carbono e o nitrogênio no solo sob diferentes usos e aspectos geomorfológicos ao longo de uma catena na região de Cerrado no Brasil Central

Fábio Luís de Souza Santos

Brasília-DF

2017

Universidade de Brasília

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Relação entre o carbono e o nitrogênio no solo sob diferentes usos e aspectos geomorfológicos ao longo de uma catena na região de Cerrado no Brasil Central

Fábio Luís de Souza Santos

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Gabriela Bielefeld Nardoto

Brasília-DF

2017

Universidade de Brasília

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Relação entre o carbono e o nitrogênio no solo sob diferentes usos e aspectos geomorfológicos ao longo de uma catena na região de Cerrado no Brasil Central

Fábio Luís de Souza Santos

BANCA EXAMINADORA:

GABRIELA BIELEFELD NARDOTO

Presidente/Instituto de Ciências Biológicas - UnB

HELOÍSA SINATORA MIRANDA

Membro interno/Instituto de Ciências Biológicas - UnB

ROBÉLIO LEANDRO MARCHÃO

Membro externo/Embrapa Cerrados

LUDGERO CARDOSO GALLI VIEIRA

Suplente/FUP - UnB

Santos, Fábio Luís de Souza

Relação entre o carbono e o nitrogênio no solo sob diferentes usos e aspectos geomorfológicos ao longo de uma catena no Brasil Central, 2017.

95 f.

Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia,
Universidade de Brasília-DF.

Orientador: Gabriela Bielefeld Nardoto

1. Cerrado. 2. Latossolo. 3. Matéria orgânica do solo. 4. Relevo. 5. Usos da terra I. Santos, Fábio Luís de Souza. II. Título.

Ao saudoso e querido Apóstolo Doriel de Oliveira, pelo belo exemplo dedicação à obra do Senhor e pela realização do seu chamado com excelência,

Dedico.

Agradeço a Deus pela vida, pela salvação e pelo favor não merecido que me proporcionou chegar até aqui. Por me ajudar em todos os momentos, sou grato.

A toda minha família, especialmente à minha mãe Antonia e aos meus irmãos Gustavo e Caroline por nossa união, pelo incentivo, a paciência e pelo amor incondicional que têm para comigo.

A minha orientadora Dra. Gabriela Nardoto pela amizade, pela confiança em todos os momentos, pelos conselhos, ensinamentos e pela tamanha dedicação aos seus alunos e à sua profissão, que a fazem um brilhante profissional. Com admiração, a agradeço.

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida neste período, ao PPG em Ecologia da UnB pela estrutura e ensino, e à Embrapa Cerrados que possibilitou as coletas e análises do estudo. Sou muito grato à Dra. Adriana Reatto e ao Dr. Éder Martins pelo período de aprendizagem e por todas as contribuições que fizeram, e aos demais pesquisadores da Embrapa que cederam suas áreas de experimento para as coletas.

Ao NEAT (Núcleo de Estudos em Ambientes Tropicais) que me fez crescer em relação ao conhecimento científico e por todas as suas produções. Sou grato ao professor Antonio Felipe, à Juliana Ribeiro, Fábio Costa e Vinícius Vasconcelos por todas as contribuições que fizeram ao trabalho. Quero agradecer em especial aos meus amigos João Paulo, Ray Pinheiro, Tiago Kisaka, Vinícius Pompermaier, Giovana Gomes, Elisa Alvim e Diogo Rocha pela contribuição, pelas ideias, pelas conversas produtivas e pelas bobagens que aliviam a tensão e nos ajudam a seguir em frente. É um grupo realmente magnífico e qualificado, cujo me sinto orgulhoso de fazer parte.

Agradeço todos os meus amigos que me entenderam, respeitaram e apoiaram durante a construção desse trabalho, em especial à minha querida Luana, que deixou meus dias mais leves e bonitos justamente nos momentos de mais tensão que antecederam minha defesa.

Sou grato aos percalços que encontrei no caminho, pois me fizeram crescer.

A todos que tiveram a paciência de ler tudo isso. Obrigado a todos!

Que aproveita ao homem ganhar o mundo inteiro e perder a sua alma?

Marcos 8:36

Sumário

Resumo Geral	i
Abstract.....	ii
Lista de figuras	iii
Lista de tabelas	v
Introdução Geral	1
Referencial teórico.....	3
Relevo e formas de paisagem	3
Carbono e nitrogênio no solo.....	6
Mudanças no uso da terra	9
Cerrado	11
Uso de isótopos estáveis em estudos ecológicos	13
CAPÍTULO 1 - Relação entre o $\delta^{13}\text{C}$ e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo e os aspectos geomorfológicos ao longo de uma catena na região de Cerrado do Brasil Central	16
Resumo	17
Abstract.....	17
Introdução.....	18
Objetivo	20
Hipóteses	20
Material e métodos	20
Resultados.....	25
Discussão.....	34
Conclusões.....	39
Referências	40
CAPÍTULO 2 - Comparação do $\delta^{13}\text{C}$ e do $\delta^{15}\text{N}$ do solo em diferentes usos da terra ao longo de uma catena na região de Cerrado no Brasil Central	46
Resumo	47
Abstract.....	47
Introdução.....	48
Objetivo	50
Hipóteses	50
Material e Métodos.....	50

Resultados.....	56
Discussão	64
Conclusões.....	67
Referências	68
Conclusões Gerais	73
Considerações Finais	73
Referências	74

Resumo Geral

A posição na paisagem e as formas da superfície influenciam as propriedades do solo e, por consequência, a distribuição espacial do carbono orgânico e do nitrogênio do solo. Por sua vez, a dinâmica de C e N no solo são influenciadas pelo tipo e intensidade de manejo. Para traçar diferenças na dinâmica da matéria orgânica no solo sob diferentes usos em relação à posição na paisagem foi utilizada a metodologia isotópica (isótopos estáveis de C e N no solo) associada aos aspectos geomorfológicos de em uma catena no Planalto Central brasileiro. Diante deste contexto esse trabalho foi dividido em dois capítulos: no capítulo 1 o objetivo foi investigar a relação dos aspectos geomorfológicos com a dinâmica da matéria orgânica, através de razões isotópicas de C e N no solo, em uma catena no Planalto Central brasileiro. As razões isotópicas de C variaram entre -27,5‰ em de cerrado em Latossolo Vermelho (CrdLV) e -18,0‰ em cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho (CssLV). Os solos savânicos possuem maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ que os solos sob fisionomia florestal até 80 cm. o $\delta^{15}\text{N}$ variou entre 2,0‰ e 11,1‰, sendo que os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ estão nas áreas mais baixas, de cobertura florestal. Em todos os solos, porém há um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ até os 40 cm de profundidade. A regressão entre os valores de razão C/N e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo indicaram que nas áreas de CssLV e cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho-Amarelo (CssLVA) não há relação entre a razão C/N e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo, enquanto nas áreas de CrdLV e mata de galeria em Gleissolo (MgG) essas relações existem e a razão C/N diminui com a redução do $\delta^{15}\text{N}$ do solo, nas áreas florestais. No capítulo 2 o objetivo foi avaliar a dinâmica da matéria orgânica em solos com diferentes intensidades de manejo através de razões isotópicas de C e N no solo ao longo de uma catena no Planalto Central brasileiro. Os resultados mostraram que na baixada há uma redução no estoque de carbono nas áreas com mucuna em Latossolo Vermelho (McLV), plantio direto de milho em Latossolo Vermelho (PdLV) e plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho (PcLV) em relação à área (CrdLV). Na baixada também houve redução do estoque de nitrogênio com a substituição do CrdLV por PcLV, que obteve o menor estoque de N no solo. Além disso, o $\delta^{13}\text{C}$ é menor em CrdLV que em outras coberturas em todos os intervalos de profundidade, enquanto a McLV foi diferente dos outros tipos de uso e cobertura até 20 cm de profundidade. Em relação ao $\delta^{15}\text{N}$ não houve diferença entre os diferentes usos da terra na chapada e na frente de recuo ao longo de todo perfil de solo. Na baixada, foram encontradas diferenças no $\delta^{15}\text{N}$ entre CrdLV, braquiária em Latossolo Vermelho (BrLV) e PdLV até 20 cm de profundidade. As mudanças no uso da terra alteram a dinâmica de carbono e nitrogênio nas camadas mais superficiais do solo (até 20 cm de profundidade), principalmente nas regiões de baixada. O relevo e o tipo de solo podem explicar as diferenças na dinâmica de C e N entre os diferentes tipos de uso do solo ao longo da catena no Planalto Central brasileiro.

Palavras-chave: Cerrado, Latossolo, matéria orgânica do solo, relevo, usos da terra

Abstract

The position in the landscape and the forms of the surface influence the properties of the soil and, consequently, the spatial distribution of the organic carbon and the nitrogen of the soil. On the other hand, the dynamics of C and N in the soil are influenced by the type and intensity of management. The isotopic methodology (stable isotopes of C and N in the soil) associated to the geomorphological aspects of a catena in the Brazilian Central Plateau was used to draw differences in soil organic matter dynamics under different uses in relation to the position in the landscape. In this context, this work was divided in two chapters: in chapter 1 the objective was to investigate the relationship of geomorphological aspects with the organic matter dynamics, through isotopic ratios of C and N in the soil, in a catena in the Brazilian Central Plateau. The isotopic ratios of C ranged from -27.5‰ in cerrado on Rhodic Hapludox (CrdLV) and -18.0‰ in cerrado *sensu stricto* on Rhodic Hapludox (CsslV). Savanna soils have highest $\delta^{13}\text{C}$ values than soils under forest physiognomy up to 80 cm. The $\delta^{15}\text{N}$ ranged from 2.0‰ to 11.1‰, with the highest $\delta^{15}\text{N}$ values being in the lower forest cover areas. In all soils, however, there is an increase in the values of $\delta^{15}\text{N}$ to 40 cm in depth. The regression between the C/N ratio and the $\delta^{15}\text{N}$ of the soil indicated that in the areas of CsslV and cerrado *sensu stricto* on Typic Hapludox (CsslVA) there is no relation between the C/N ratio and the $\delta^{15}\text{N}$ of the soil, while in the Areas of CrdLV and gallery forest in Gleysol (MgG) these relations exist and the C/N ratio decreases with the reduction of the $\delta^{15}\text{N}$ of the soil, in the forest areas. In chapter 2 the objective was to evaluate the dynamics of organic matter in soils with different intensities of management through isotopic ratios of C and N in the soil along a catena in the Brazilian Central Plateau. The results showed that in the lowland there is a reduction in the carbon stock in the areas with mucuna on Rhodic Hapludox (McLV), no-tillage of corn on Rhodic Hapludox (PdLV) and conventional planting of corn on Rhodic Hapludox (PcLV) in relation to the area CrdLV). In the lowland, there was also a reduction of the nitrogen stock with the substitution of CrdLV for PcLV, which obtained the lowest N stock in the soil. In addition, the $\delta^{13}\text{C}$ is lower in CrdLV than other covers at all depth intervals, while the McLV was different from the other types of use and coverage up to 20 cm deep. In relation to $\delta^{15}\text{N}$ there was no difference between the different land uses in the plateau and in the recoil front along the whole soil profile. In the lowland, differences in $\delta^{15}\text{N}$ were found between CrdLV, Brachiaria in Red Latosol (BrLV) and PdLV up to 20 cm in depth. Changes in land use alter the dynamics of carbon and nitrogen in the more superficial layers of the soil (up to 20 cm deep), especially in the lowland regions. The relief and soil type can explain the differences in the dynamics of C and N among the different types of land use along the catena in the Brazilian Central Plateau.

Keywords: Brazilian savannah, Oxisol, soil organic matter, relief, land use

Lista de figuras

Figura 1: Elementos que compõem a paisagem. Adaptado de Martins et al. (2004) .	4
Figura 2: Esquema simplificado de entradas e saídas do carbono no solo. Adaptado de Chapin et al. (2011)	7
Figura 3: Esquema simplificado de entradas, saídas e transformações do nitrogênio no solo. Adaptado de Chapin et al. (2011)	8
Figura 4: Esquema representando as razões entre os isótopos mais leves e mais pesados no substrato e no produto. Adaptado de Fry (2006)	14
Figura 1.1: Localização da catena e dos pontos de coleta na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil, com tipos de solo e geologia da bacia	22
Figura 1.2: Mapa de solos da bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil (Lima et al. 2014)	23
Figura 1.3: Concentração de carbono (média±dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil	27
Figura 1.4: Estoque de carbono (média±dp) em intervalos de 20 cm de solo, nos perfis de 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil	28
Figura 1.5: Concentração de nitrogênio (média±dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil	29
Figura 1.6: Estoque de nitrogênio (média±dp) em intervalos de 20 cm de solo, nos perfis de 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias e posições na paisagem na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil	30
Figura 1.7: $\delta^{13}\text{C}$ do solo (média±dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	32
Figura 1.8: $\delta^{15}\text{N}$ no solo (média±dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	33
Figura 1.9: Distribuição do $\delta^{15}\text{N}$ na camada de solo até 100 cm de profundidade ao longo de uma catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	33

Figura 1.10: Relação entre o $\delta^{15}\text{N}$ do solo e a razão C/N do solo até 20 cm de profundidade, considerando todas as áreas de estudo de uma catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	34
Figura 2.1: Localização da catena e dos pontos de coleta na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	51
Figura 2.2: Mapa de solos da bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil (Lima et al. 2014)	53
Figura 2.3: Estoque de carbono (média \pm dp) até 40 cm de solo, calculados através de analisador elementar em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	59
Figura 2.4: Estoque de nitrogênio (média \pm dp) até 40 cm de solo, em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	60
Figura 2.5: $\delta^{13}\text{C}$ do solo (média \pm dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	61
Figura 2.6: $\delta^{15}\text{N}$ do solo (média \pm dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada numa catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	62
Figura 2.7: Regressão entre o $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N do solo do solo até 20 cm de profundidade em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada numa catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	63

Lista de tabelas

Tabela 1.1: Teores de argila, silte e areia e textura do solo até 20 cm de profundidade sob diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil	26
Tabela 1.2: Características químicas do solo (média±dp) até 20 cm de profundidade sob diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil	26
Tabela 1.3: Razão C/N (média±dp) ao longo do perfil do solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	31
Tabela 1.4: Valores médios de seis métricas de nitrogênio no solo em diferentes fitofisionomias: Cerrado <i>sensu stricto</i> , Cerradão e Mata de galeria. Dados registrados na literatura em perfis de solo com até 20 cm de profundidade	38
Tabela 2.1: Características das áreas de coleta numa catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	54
Tabela 2.2: Teores de argila, silte e areia e textura do solo (média±dp) até 20 cm de profundidade sob diferentes usos da terra numa catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	57
Tabela 2.3: Características físicas e químicas do solo até 20 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias e usos do solo na bacia do córrego Sarandi	58
Tabela 2.4: Discriminação isotópica (Δ) de ^{13}C e ^{15}N do solo (média±dp) sob diferentes usos do solo na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil	64

Introdução Geral

O planeta vive um momento de intensas mudanças ambientais, sendo as atividades humanas as grandes responsáveis nas últimas décadas, pelas principais alterações na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas que compõem a Terra (Rockstrom et al. 2009). Dentre os limites planetários globais avaliados a partir dessas modificações, os fluxos geoquímicos, especialmente o nitrogênio, apresentam um cenário de alto risco à manutenção do funcionamento dos ecossistemas, enquanto as mudanças no clima, relacionadas ao ciclo do carbono, estão numa faixa de incerteza (Steffen et al. 2015). Carbono (C) e nitrogênio (N) são elementos fundamentais para a fotossíntese e produtividade dos ecossistemas (Vitousek & Howarth 1991), e seus ciclos estão intimamente ligados nas mais diversas escalas de tempo (McLauchlan et al. 2013), já que o estoque de N disponível influencia a capacidade de um ecossistema tamponar aumentos no dióxido de carbono atmosférico, devido a maior produtividade e retenção de carbono (Oren et al. 2001).

Inúmeros estudos revelam a importância dos estoques de carbono e nitrogênio no solo frente às mudanças no uso da terra (Don et al. 2011, Parron et al. 2011), principalmente devido às perdas para a atmosfera, que interferem nas mudanças climáticas globais (Dalal et al. 2013, Houghton et al. 2012). Avaliar os estoques promove a possibilidade de usar a razão C/N como um indicador dos processos de decomposição que ocorrem no solo, que pode ser relacionado com outras variáveis, como os isótopos estáveis de nitrogênio (Clerq et al. 2015, Craine et al. 2015a), já que os isótopos de N são uma ferramenta integradora da dinâmica desse elemento (Amundson et al. 2003, Robinson 2001). Os isótopos de C também são utilizados nos estudos ambientais, onde serve principalmente para indicar a influência das mudanças no uso da terra para o ecossistema (Osher et al. 2003).

Atualmente é crescente a inserção dos aspectos geomorfológicos nos estudos com carbono e nitrogênio no solo, pois a posição na paisagem e as formas da superfície influenciam as propriedades do solo e, por consequência, a distribuição espacial do carbono orgânico e do nitrogênio do solo. Wang et al. (2009) encontraram uma correlação negativa entre a altitude e o carbono orgânico do solo; enquanto Hilton et al. (2013) e Weintraub et al. (2015) observaram que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ diminuem com o aumento da declividade.

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, e representa a maior parcela de savana neotropical das Américas (Eiten 1972) além de ser considerado um hotspot de biodiversidade (Myers et al. 2000, Mittermeier et al. 2005), por ser um ambiente com alto nível de endemismo e rápida perda de habitats, por causa do alto nível de endemismo e rápida perda de habitats devido a mudanças nos regimes de fogo e de conversão de Cerrado nativo para pastagens e terras cultiváveis (Bustamante et al. 2012). Engloba desde campos com predominância de espécies gramíneas a cerradões com extrato arbóreo compostos por espécies lenhosas. Por ser composto por esse mosaico de paisagens, inúmeros autores propuseram uma classificação das fitofisionomias do bioma. Em termos gerais, consideramos três principais fisionomias do cerrado como florestal, savânica e campestre (Ab'Saber & Costa-Júnior 1950, Oliveira-Filho & Ratter 2002, Ribeiro & Walter 1998).

Essa complexidade do Cerrado está intimamente ligada aos fatores que determinam a paisagem, que são clima, geologia, relevo, solo e organismos (Chapin et al. 2011), sendo que o relevo é o elemento central entre os fatores mais estáticos – clima e geologia – e os mais dinâmicos – solo e organismos. Sendo assim, o relevo é fundamental para a distribuição espacial das fisionomias do bioma (Arruda et al. 2015) e estão relacionados às características locais de solos e organismos (Martins et al. 2004). Já os solos são importantes compartimentos para o ciclo de carbono e nitrogênio, já que comportam a maior parte do carbono da superfície terrestre (Swift 2001) e é onde ocorrem transformações importantes no ciclo do nitrogênio, influenciando inclusive as questões de produtividade de agroecossistemas. Por isso é necessário considerar alguns aspectos que são responsáveis pela sua formação e, conseqüentemente, pela distribuição espacial de carbono e nitrogênio na paisagem. Para entender as causas da variabilidade do solo, é preciso conhecer os processos do solo que operam em locais específicos, pois os diferentes processos físicos, químicos e biológicos que regem sua formação, levam os solos a desenvolver características específicas, que influenciam os processos de decomposição da matéria orgânica, carbono orgânico no solo (Bronick & Lal 2005) e disponibilidade de nitrogênio (Smith et al. 2013).

No Cerrado, a decomposição da matéria orgânica e as taxas de mineralização de N se diferem de acordo com a fitofisionomia (Bustamante et al. 2006), que por sua vez está relacionada às posições na paisagem e aos tipos de solo (Arruda et al. 2015), trazendo diferenças intrínsecas naturais nos fluxos de carbono e nitrogênio desse bioma.

Entretanto, as mudanças no uso da terra também constituem um importante fator de contribuição para as iminentes alterações nos fluxos biogeoquímicos nos ecossistemas (Steffen et al. 2015) e para a emissão de CO₂ para a atmosfera (Rosendo & Rosa 2012), de forma que se faz necessário compreender tanto a dinâmica natural da matéria orgânica quanto as alterações causadas pela mudança no uso da terra. Portanto, a utilização da metodologia isotópica ao longo de uma unidade de estudo que comporte diferentes posições geográficas, como uma catena, são fundamentais para compreensão da dinâmica da matéria orgânica nos ecossistemas.

Referencial Teórico

Relevo e as formas de paisagem

Clima, geologia, relevo, solo e organismos são os elementos que compõem a paisagem (Figura 1), sendo que estão organizados de forma hierárquica e inter-relacionados, considerando o tempo e espaço (Martins et al. 2004). Esses elementos são chamados fatores de estado e determinam estrutura e funcionamento dos ecossistemas em níveis global, regional e local, seguindo a hierarquia dos elementos (Chapin et al. 2011). O estudo da paisagem constitui-se numa atividade fundamental no processo de análise e compreensão das inter-relações que ocorrem entre os fatores naturais e as ações humanas (Metzger 2001). A visão holística sobre a paisagem permite a avaliação dos processos naturais e antrópicos sobre o ambiente e pode subsidiar a gestão dos recursos naturais. Essa visão proporciona um entendimento integrado dos fenômenos naturais e suas relações com a estrutura e dinâmica ambiental, integrando seus elementos em diversas escalas (Martins et al. 2004). Elementos estes que são dinâmicos ao longo do tempo (mesmo com diferentes escalas), resultando nas características edáficas e pedológicas do solo bem como dos ecossistemas (Brady & Weil 2013).

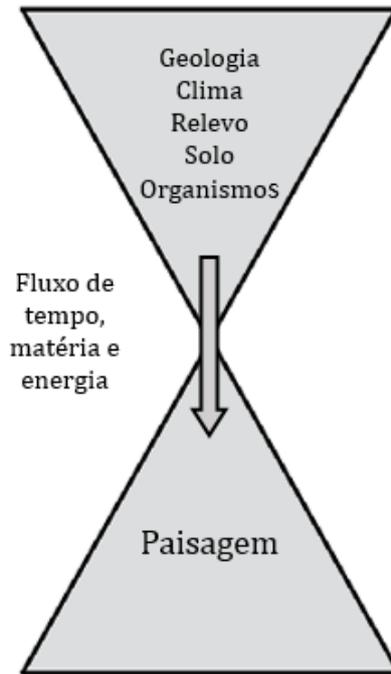


Figura 1: Elementos que compõem a paisagem. Adaptado de Martins et al. (2004).

Considerando essa hierarquia, a formação dos solos é determinada pelos fatores geologia, clima e relevo, além de receber influência dos organismos, ao longo de uma grande escala de tempo (Brady & Weil 2013). Os solos são locais onde ocorrem processos fundamentais de regeneração dos nutrientes, que são muito importantes para o desenvolvimento dos ecossistemas (Ricklefs 2011), portanto é essencial que esse compartimento seja estudado em conjunto com os aspectos da paisagem. Nesse contexto, os aspectos geomórficos permitem a identificação da topossequência típica e o entendimento da distribuição espacial e das características dos solos de uma região (Motta et al. 2002), por isso muitos autores os relacionam com a distribuição (Farpoor et al. 2012, Pennock 2003) e as características dos solos (Camargo et al. 2012, Papiernik et al. 2009).

Conceitualmente, superfícies geomórficas são porções de terra definidas por fronteiras geográficas e localizadas no tempo e no espaço (Daniels et al. 1971). Essas porções de terra possuem formas diferentes que sofrem alterações com o passar do tempo. Essa dinâmica é muito importante para o desenvolvimento do solo (Brady & Weil 2013) e, conseqüentemente, para a composição de fauna e flora de cada local. Dessa maneira, a identificação de superfícies geomórficas podem ser utilizadas para auxiliar no

mapeamento de solos, a fim de melhor mapear as fronteiras precisas entre os diferentes tipos de solo ou áreas, já que atributos do solo estão diretamente relacionados ao seu relevo e sua localização na paisagem (Campos et al. 2012) e que a topografia contribui para a variação dos ciclos de nutrientes na paisagem em ambientes tropicais (Weintraub et al. 2015).

Ao identificar formas similares no terreno, comprova-se que os fatores de gênese são comuns nesses pontos, e isso auxilia na formulação de modelos e compreensão dos sistemas presentes na paisagem (Vasconcelos et al. 2012). Por isso, as formas do terreno e sua localização na paisagem podem influenciar o fluxo de carbono e nitrogênio no solo, pois esses aspectos se relacionam com a vulnerabilidade à erosão e perda de água, facilitando ou dificultando a perda do carbono orgânico do solo (Lal 2014) e modificando o ciclo do nitrogênio (Weintraub et al. 2015). Gregorich et al. (1998) observaram uma relação em que os estoques de carbono em áreas de deposição eram mais elevados que em áreas mais susceptíveis à erosão, enquanto Vitousek et al. (2003) encontraram diferenças nas taxas de mineralização e nitrificação do nitrogênio em diferentes localizações na paisagem, já que existem diferenças nas formas de decomposição da matéria orgânica em posições distintas no relevo (Berhe 2012). Além disso, o relevo condiciona o tipo de solo, que por sua vez possuem características específicas de dinâmica de carbono (Lal 2014) e nitrogênio (Frazão et al. 2010).

De Gryze et al. (2008) perceberam diferenças nos estoques de carbono em áreas com formas distintas de acordo com a intensidade do uso agrícola e Moulin et al. (2012) sugerem o uso de elementos da paisagem para avaliar a necessidade de aplicação de nitrogênio em culturas agrícolas. Portanto, o relevo deve ser considerado tanto para escolha das áreas de cultivo e pastagem, quanto para avaliação dos atributos físicos e químicos do solo, além da análise da paisagem.

Dentre as unidades utilizadas para cada estudo, uma catena considera um perfil topográfico com diferentes tipos de solo em um nível de escala de paisagem. Esse perfil possui uma sequência unidirecional do material parental ou da hidrologia da região (Sommer & Schlichting 1997) que é dependente do material que fica na parte superior e desce conforme a declividade do perfil topográfico. Ao longo da catena o solo se comporta de forma diferente, principalmente em relação à movimentação da água, que altera as características morfológicas do solo de acordo com a posição na paisagem, e

consequentemente a distribuição de C e N na paisagem, por isso as catenas são utilizadas em estudos que avaliam a gênese e morfologia do solo (Macedo & Bryant 1987, Santos et al. 2010), além da fitossociologia de cada área (Arruda et al. 2015).

Carbono e nitrogênio no solo

A dinâmica de carbono e nitrogênio é regulada primariamente pela biota, sendo os processos fotossintéticos as principais ligações entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera (Colleta et al. 2009). Nas últimas décadas relata-se um aumento nos gases do efeito estufa na atmosfera principalmente relacionados ao carbono emitido na forma de CO₂. No entanto, algumas formas de nitrogênio também contribuem para as mudanças climáticas. Sendo assim, a manutenção dos ecossistemas terrestres é importante para a estabilidade do clima, pois eles podem reter esses gases em sua biomassa ou no solo.

O solo é um compartimento fundamental para o ciclo do carbono, pois armazena cerca de 1500 petagramas (Pg) nos primeiros 100 cm de profundidade (Lal 2002), sendo o maior reservatório desse elemento no ecossistema terrestre no planeta, compreendendo cerca de duas vezes a quantidade de C na atmosfera e na biomassa vegetal (Bruce et al. 1999, Swift, 2001). As plantas adquirem o carbono da atmosfera, por meio da fotossíntese e acumulam parte desse carbono em seus tecidos, que é passado ao longo da cadeia trófica (Odum & Barrett 2007). A entrada de carbono no solo se dá principalmente pela deposição da matéria orgânica gerada pelas plantas (Chapin et al. 2011); parte do carbono é devolvida à atmosfera no processo de decomposição e outra parte fica armazenada no solo, devido ao metabolismo microbiano e à interação com argilas que permitem seu acúmulo no solo. Uma vez no solo, o carbono pode reagir com outros elementos que o fazem mais ou menos solúvel, facilitando ou dificultando sua perda para a atmosfera, que ocorre por meio de CO₂ ou CH₄ (Figura 2), num processo que depende das características de cada solo (Brady e Weil, 2013).

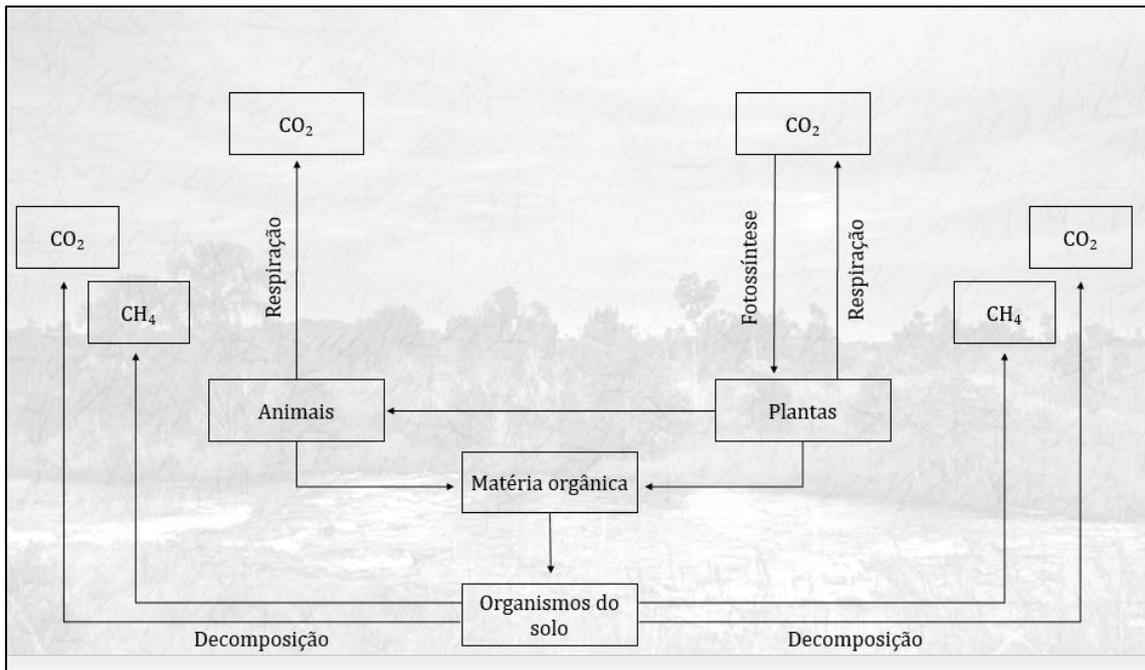


Figura 2: Esquema simplificado de entradas e saídas do carbono no solo. Adaptado de Chapin et al. (2011).

A entrada de nitrogênio no solo ocorre em geral de forma biológica, por meio de associações entre fungos às raízes de algumas plantas, fixando nitrogênio inorgânico no solo (Chapin et al. 2011). O nitrogênio também é depositado nos ecossistemas em formas particulada, dissolvida e em forma gasosa, através da precipitação, da sedimentação dos gases atmosféricos e pela deposição de resíduos de animais e plantas. Uma vez no solo, o nitrogênio pode passar por uma série de transformações, que irão facilitar a disponibilidade para as plantas transformando o nitrogênio orgânico dissolvido no solo em nitrogênio inorgânico ou converter os íons de nitrogênio inorgânico em formas orgânicas. No processo de nitrificação, o amônio (NH_4^+) é convertido em nitrito (NO_2^-), que por sua vez é convertido em nitrato (NO_3^-) (Chapin et al. 2011), enquanto a desnitrificação faz o caminho inverso. A imobilização é o processo mediado pelos organismos do solo que retém o nitrogênio, deixando-o indisponível para o sistema. As plantas adquirem o nitrogênio principalmente nas formas de amônio e nitrato. No entanto, este último é facilmente perdido por lixiviação, quando não utilizado pelas plantas (Brady & Weil 2013).

As saídas do nitrogênio do compartimento solo acontecem por meio de lixiviação, especialmente porque o nitrato não é adsorvido pelos colóides com cargas negativas que dominam a maioria dos solos, então, o que não é aproveitado pelas plantas é facilmente

lixividado. Além disso, algumas bactérias anaeróbicas atuam no processo de desnitrificação, que através de reduções bioquímicas liberam N_2O ou N_2 para a atmosfera (Figura 3). Outras perdas de N para atmosfera podem acontecer quando o amônio dissolvido entra em contato com íons OH^- e liberam gás amônia e água (Brady e Weil 2013).

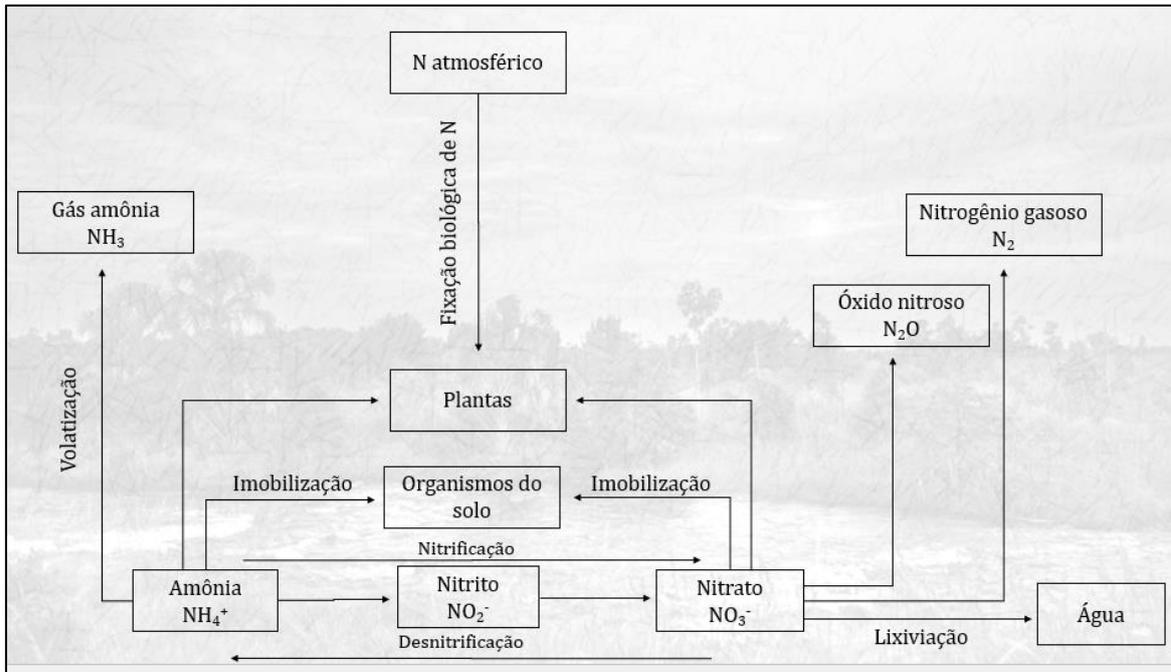


Figura 3: Esquema simplificado de entradas, saídas e transformações do nitrogênio no solo. Adaptado de Chapin et al. (2011).

Carbono e nitrogênio são elementos fundamentais para os ecossistemas e a razão entre os dois pode indicar a qualidade da matéria orgânica (Stevenson & Cole 1999), influenciando seus processos de decomposição. Além disso, essa relação pode fornecer informações sobre o ecossistema, já que elevadas razões C/N podem indicar que os ambientes estão limitados por nitrogênio (Sugihara et al. 2014). Os organismos do solo necessitam de uma mistura equilibrada de nutrientes, de forma que uma matéria orgânica com maior razão C/N é menos palatável para os organismos do solo do que uma com essa razão mais baixa. Dessa forma, solos com maior razão C/N tendem a possuir menores taxas de decomposição (Brady & Weil 2013).

Em geral, a razão C/N diminui com o aumento da profundidade do solo (Lilienfein et al. 2001, Schoenau & Bettany 1987), devido a redução das taxas de decomposição e, conseqüentemente, um menor uso do carbono (Brady & Weil 2013). No entanto, os

valores dessa relação são dependentes dos fatores de estado, principalmente do clima, que é fundamental para as taxas de decomposição. A cobertura da terra, que fornece o material para o solo, e o tipo de solo, que condiciona os processos ali existentes, também são fatores importantes para a razão C/N do solo (Lilienfein et al. 2001, Mu et al. 2014). A maior razão C/N da serapilheira provoca uma menor taxa de decomposição e faz com que os microrganismos imobilizem o nitrogênio no solo, sendo que uma razão C/N menor reduz as limitações do ambiente por N, aumentando as taxas de decomposição da matéria orgânica (Berhe 2012). Como a serapilheira está intimamente ligada à matéria orgânica do solo, a razão C/N do solo é um importante indicativo do comportamento da MOS, que relacionado ao tipo de manejo utilizado, contribui para os estudos de emissão de gases do efeito estufa (Lal 2014).

Mudanças no uso da terra

O período histórico em que nos encontramos retrata a grande interferência das ações humanas no planeta, o que leva alguns autores a concluir que esse é o início de uma nova era geológica, denominada Antropoceno (Crutzen & Stoermer 2000). Essa influência humana tem causado uma série de mudanças que podem desestabilizar o funcionamento do planeta, através da redução da resiliência dos ecossistemas. Dentre os principais motivos para essas constantes alterações estão as mudanças no uso da terra (Steffen et al. 2015). Portanto, dados de uso da terra são necessários para a análise dos problemas ambientais e proposição de medidas adequadas, que visam manter ou melhorar as condições de vida nos níveis atuais (Anderson et al. 1976).

Os ambientes tropicais têm altas taxas de conversão da cobertura da terra se comparados aos ambientes temperados (Lambin et al. 2003), e essa conversão tem um papel fundamental para os limites planetários globais (Rockstrom et al. 2009). Essa importância também é relatada por Sala et al. (2000), que demonstram a importância da mudança do uso da terra para a biodiversidade até o fim deste século, especialmente em ambientes savânicos.

O solo é um dos principais componentes do ciclo de carbono nos ecossistemas terrestres (Schimel et al. 2001), e suas relações com outros compartimentos que compõem o clima (atmosfera, hidrosfera e biosfera), são fundamentais para a manutenção desse ciclo e para as eminentes mudanças climáticas do cenário atual. Além disso, no solo acontecem diversos processos importantes para o ciclo do nitrogênio, que influenciam a

produtividade dos ecossistemas (Vitousek & Howarth 1991) e que também se relacionam às mudanças climáticas globais (Dalal et al. 2013).

Carbono

Cerca de 25% das emissões globais de dióxido de carbono são oriundas de alterações no uso da terra, especificamente da derrubada de florestas (Pimm & Jenkins 2005), entretanto, a história do uso da terra de cada bioma é inerente à sua complexidade e diferenças decorrentes da variação entre eles (Foster 1992). Enquanto nos países de clima temperado a maior fonte de emissão de gás carbônico são os combustíveis fósseis (veículos, sistemas de aquecimento e de refrigeração, indústrias), que geram os maiores volumes globais anuais de CO₂, nas regiões tropicais a maior fonte de CO₂ se deve aos desmatamentos e as mudanças de uso da terra (Rosendo & Rosa 2012).

As mudanças no uso da terra, com substituição da vegetação natural por agricultura e pastagem resultam numa modificação do conteúdo de carbono no solo (Houghton et al. 1999). Em geral, ocorre um decréscimo de carbono estocado na biomassa e no solo associado com as mudanças de uso da terra, causando um rápido declínio nos serviços ecossistêmicos (Batlle-Bayer et al. 2010, Brannstrom et al. 2008, Egoh et al. 2009), devido a substituição de vegetação nativa por plantios ou pastagem. Diversos autores apresentaram a conversão de vegetação nativa em lavouras e pastagens como um fator importante de diminuição do C no solo (Maia et al. 2009, Siqueira Neto et al. 2009), mas a conversão de áreas naturais para plantios apresenta uma perda ainda maior do carbono do solo que a transformação em pastagens (Don et al. 2011).

Nitrogênio

As mudanças no uso da terra trazem um possível aumento na perda de N do solo nos processos de mineralização e desnitrificação, emitindo mais N₂O e contribuindo para o quadro de mudanças climáticas (Dalal et al. 2013), já que a implantação de culturas anuais pode aumentar o teor de nitrato no solo (D'Andrea et al. 2004) e essa forma de nitrogênio é facilmente perdida para outros compartimentos do ecossistema (Brady & Weil 2013).

O crescente uso de fertilizantes nitrogenados comuns na agricultura e também utilizado em algumas pastagens, além do aumento do cultivo de leguminosas que fixam nitrogênio no solo (Odum & Barrett 2007), altera a dinâmica do nitrogênio nos

ecossistemas (Tilman et al. 1997), especialmente porque as formas utilizadas são facilmente lixiviadas ou perdidas para a atmosfera. De maneira geral, o enriquecimento excessivo de nitrogênio nos ecossistemas reduz a biodiversidade dos ecossistemas, pois deixa o ambiente mais vulnerável as invasões biológicas, pragas e doenças (Vitousek et al. 1997), frente às mudanças ambientais que o planeta sofre atualmente (Steffen et al. 2015).

Uma das maiores savanas do planeta, o Cerrado possui cerca de 90% da porção norte preservada enquanto restam apenas 15% na parte sul. Em contrapartida, é considerado a mais recente frente agrícola do Brasil e uma das últimas grandes fronteiras agrícolas mundiais (Helfand & Resende 2000, Brannstrom et al. 2008). Portanto, é necessário compreender a dinâmica do nitrogênio existente no Cerrado, onde as mudanças de uso da terra estão relacionadas às taxas aceleradas de desmatamento nas últimas décadas, à inserção de grandes culturas e ao uso intensivo de máquinas agrícolas, dentre outros motivos, o que faz com que esse bioma venha sofrendo grandes perdas de sua biodiversidade (Bustamante et al. 2012). Todas essas mudanças geram incertezas sobre a dinâmica de carbono e nitrogênio nos ecossistemas, as suas perdas por erosão, devido a vulnerabilidade do solo, e a estabilização da matéria orgânica no solo (Lal 2014).

Cerrado

O Cerrado é a savana mais biodiversa do planeta, por possuir uma grande heterogeneidade ambiental, além de fazer fronteiras com vários biomas, como Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Amazônia, formando ecótonos diversificados, que contribuem para a riqueza e importância do Cerrado (Silva et al. 2006). O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, e representa a maior parcela de savana neotropical das Américas (Eiten 1972).

O Cerrado é considerado um hotspot de biodiversidade (Myers et al. 2000; Mittermeier et al. 2005), por ser um ambiente com alto nível de endemismo e rápida perda de habitats, por causa do alto nível de endemismo e rápida perda de habitats devido a mudanças nos regimes de fogo e de conversão de Cerrado nativo para pastagens e terras cultiváveis (Bustamante et al. 2012). Engloba desde campos com predominância de espécies gramíneas a cerradões com extrato arbóreo compostos por espécies lenhosas. Por ser composto por um mosaico de paisagens, inúmeros autores propuseram uma

classificação das fitofisionomias do bioma. Em termos gerais, consideramos três principais fisionomias do cerrado como florestal, savânica e campestre (Ab'Saber & Costa-Júnior 1950, Oliveira-Filho & Ratter 2002, Ribeiro & Walter 1998).

A vegetação do Cerrado se desenvolveu através de queimadas frequentes, com solos de baixa fertilidade, lençóis freáticos profundos e duas estações bem definidas, seca e chuvosa (Eiten 1972). O Latossolo é o tipo de solo predominante cobrindo 46% da região do Cerrado, subdivididos em Latossolo Vermelho (LV) com 22,1%, Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), 21,6% e Latossolo Amarelo (LA) que ocupa 2% do Cerrado. Os Latossolos geralmente ocorrem em relevo plano a suave-ondulado e são altamente intemperizados, muito profundos, porosos, de textura homogênea ao longo do perfil. A maioria dos minerais que constituem os Latossolos são secundários, presentes na fração argila, que resultaram do intemperismo de minerais primários provenientes da rocha de origem. Dentre os minerais secundários presentes nos Latossolos destacam-se a caulinita (silicato), hematita (óxido de Fe e Al), goethita (hidróxido de Fe e Al) e a gibbsita (hidróxido de Al) (Reatto et al. 2008). Esses minerais estão relacionados à estabilidade da matéria orgânica, porque reagem química e fisicamente com outros elementos formando agregados, e são influenciados pelo teor de argila do solo. O Neossolo Quartzarênico e o Argissolo cobrem aproximadamente 15% do bioma cada um (Reatto et al. 1998). Os solos do Cerrado são, geralmente, ácidos, ricos em alumínio, têm de médios a baixos índices de Capacidade de Troca Catiônica (CTC), possuem baixa concentração de nutrientes e baixo teor de matéria orgânica (Goedert 1989, Faleiro & Farias Neto 2008). Os teores de nitrogênio também são baixos se comparados às florestas tropicais, devido à uma menor deposição de serapilheira (Viani et al. 2011a), por conta desses baixos valores de nitrogênio, os solos de Cerrado possuem alta razão C/N (Lilienfein et al 2001). A forma predominante de nitrogênio no Cerrado é o amônio, com baixas taxas de mineralização (Nardoto & Bustamante 2003) e, conseqüentemente, baixas concentrações de nitrato no solo (Frazão et al. 2010).

Utilizando-se dessas características e de avanços tecnológicos para correção do solo, houve um aumento de plantio e colheita de forma mecanizada, especialmente em Latossolos, o que proporcionou o avanço da agricultura em grandes áreas do bioma (Brannstrom et al. 2008). A ocupação do Cerrado, crescente nas últimas décadas, proporcionou um grande avanço do setor agropecuário na região, que acontece da porção sul para norte do bioma (Sano et al. 2009). Esta intensificação da ocupação humana

transformou o Cerrado em uma das regiões mais importantes do país em termos de produção agropecuária (Diniz-Filho et al. 2009).

Por ser a maior savana neotropical das Américas (Eiten 1972), o Cerrado representa uma parcela significativa dos ecossistemas tropicais do planeta e, portanto, tem um papel fundamental nos ciclos globais de carbono, atuando como grande assimilador e acumulador de carbono (Rezende et al. 2006), além de possível emissor, devido à remoção de sua vegetação natural; e de nitrogênio, devido às crescentes taxas de deposição de N por meio da adubação de áreas agrícolas (Tilman et al. 1997) e das possíveis perdas por lixiviação e para a atmosfera (Bustamante et al. 2006). Sendo assim, é essencial a análise de C e N em ecossistemas como o Cerrado para compreender os impactos humanos sobre o ciclo destes elementos ocasionados pelas mudanças no uso e cobertura da terra e as consequências disto para o funcionamento desse ecossistema (Miranda et al. 2014).

Uso de isótopos estáveis em estudos ecológicos

Uma ferramenta muito utilizada atualmente para compreender a dinâmica de carbono e nitrogênio nos ecossistemas são seus respectivos isótopos estáveis (Ehleringer et al. 2002), por ser uma ferramenta considerada integradora da dinâmica desses elementos (Amundson et al. 2003, Robinson 2001). Os isótopos são átomos do mesmo elemento químico que possuem número de nêutrons distintos em seus respectivos núcleos. Além de influenciar a massa do núcleo, o número de nêutrons é importante para a estabilidade do elemento. Isótopos estáveis não sofrem decaimento radioativo, por isso são mais utilizados em estudos ambientais. A notação isotópica (δ) indica a razão entre o isótopo mais pesado em relação ao mais leve, sendo que os substratos acumulam mais isótopos pesados e perdem mais facilmente os isótopos mais leves (Figura 4), ficando mais enriquecidos que os produtos (Fry 2006), o que possibilita uma maior compreensão da dinâmica dos elementos nos ecossistemas. Os valores apresentados na notação δ são relacionados a um padrão internacional conhecido (0‰), o PDB (Fóssil calcário Belemnita da formação rochosa PeeDee) para o carbono e o N₂ atmosférico para o nitrogênio (Fry 2006).

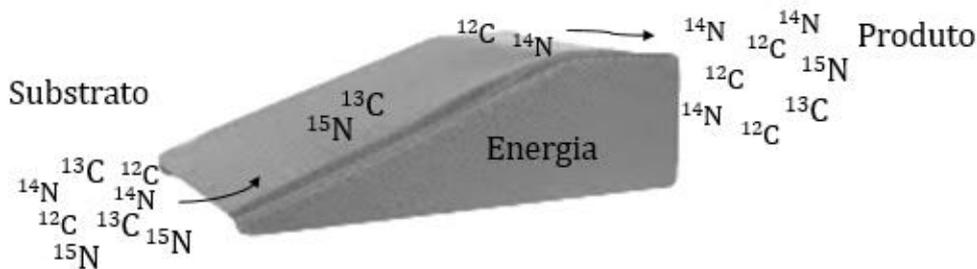


Figura 4: Esquema representando as razões entre os isótopos mais leves e mais pesados no substrato e no produto. Adaptado de Fry (2006).

Carbono

Por intermédio da razão isotópica de carbono é possível avaliar as influências da vegetação natural e da área modificada pelo homem, além de fornecer informações indiretas sobre a produtividade primária de uma determinada área (Osher et al. 2003). A origem do carbono no solo apresenta assinatura isotópica específica que reflete o tipo de fotossíntese empregado por uma planta, já que os diferentes tipos fotossintéticos (C3 e C4) exercem influência distinta sobre o processo de fracionamento isotópico observado entre o substrato (CO₂ atmosférico) e o produto final (matéria orgânica vegetal). Enquanto o fracionamento das plantas C3 varia entre -36‰ e -24‰ as do tipo C4 variam entre -13‰ e -11‰ (Farquhar et al. 1989). No Cerrado, as áreas naturais savânicas e florestais são predominantemente ocupadas por plantas do tipo C3 enquanto a maior parte das gramíneas usadas em pastagens e as principais culturas agrícolas são plantas C4, cujos ciclos fotossintéticos naturalmente se diferenciam isotopicamente. As plantas CAM, típicas de ambientes com secas severas, como os desertos, possuem valores intermediários, porque utilizam tanto o ciclo fotossintético C3 quanto o C4 de acordo com as condições ambientais em que se encontram. No entanto, isótopos de carbono no solo podem apresentar valores intermediários por conta da mistura da matéria orgânica proveniente de plantas C3 e C4. Sendo assim, valores entre -23‰ e -14‰ em regiões tropicais ocorrem quando há uma composição mista de espécies que cobrem o solo.

O uso dos isótopos estáveis de carbono permite a obtenção de informações de forma integrada em uma gama bastante variada de processos, como datação de fósseis e outros

materiais arqueológicos (Palmqvist et al. 2008) e compreensão da dinâmica do ciclo de carbono (Ehleringer et al. 2002). Estudos recentes indicam a utilização dos isótopos de carbono aliados aos isótopos de nitrogênio para determinar a dieta de diversos animais, por meio de modelos de mistura (Newsome et al. 2012, Phillips 2012) ou da estrutura da cadeia trófica (Boecklen et al. 2011), além de fornecer os valores de base dos ecossistemas (Brito et al. 2006), que diz respeito ao seu funcionamento.

Nitrogênio

O uso de isótopos estáveis de nitrogênio em estudos ecológicos tem crescido rapidamente nas últimas décadas, especialmente para determinação de estrutura de cadeias tróficas (Layman et al. 2012), porque existe um fracionamento na transferência, onde há um enriquecimento no seu isótopo mais pesado (^{15}N) em relação ao recurso alimentar que em média gira em torno de +2,3‰ (McCutchan et al. 2003), e isso permite determinar possíveis cadeias tróficas com maior acurácia.

No entanto, a assinatura isotópica de nitrogênio no solo também pode fornecer informações importantes sobre a ciclagem desse nutriente (Amundson et al. 2003, Martinelli et al. 1999), que está relacionado ao funcionamento do ecossistema. Compartimentos com maior $\delta^{15}\text{N}$ podem indicar maiores taxas de transformação e perdas de nitrogênio para a atmosfera, devido a maior facilidade em perder os isótopos mais leves e manter os mais pesados (Fry, 2006). Em geral, maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ ocorre em ecossistemas com menores limitações por N, pois neles existem maior disponibilidade de nitrogênio inorgânico e, conseqüentemente, maiores taxas de transformação (Houlton et al. 2006, Martinelli et al. 1999, Nardoto et al. 2008, Ometto et al. 2006). Em contrapartida, ambientes com maiores limitações por N tendem a ter menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ (Bustamante et al. 2004, Martinelli et al. 1999).

Capítulo 1

Relação entre o $\delta^{13}\text{C}$ e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo e os aspectos geomorfológicos ao longo de uma catena no Brasil Central

Resumo

Existe uma variação natural da matéria orgânica do solo no Cerrado, devido à heterogeneidade ambiental encontrada nesse bioma. Por isso é importante considerar alguns aspectos da paisagem nas análises da dinâmica da matéria orgânica no Cerrado, como o relevo e os tipos de solo. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar a relação dos aspectos geomorfológicos com a dinâmica da matéria orgânica, através de razões isotópicas de C e N no solo, em uma catena em uma catena no Planalto Central brasileiro. As razões isotópicas de C variaram entre -27,5‰ em cerrado em Latossolo Vermelho (CrdLV) e -18,0‰ em cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho (CssLV). Os solos sob vegetação savânica possuem maior $\delta^{13}\text{C}$ que os solos sob fisionomia florestal até 80 cm. o $\delta^{15}\text{N}$ variou entre 2,0‰ e 11,1‰, sendo que os solos com maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ estão nas áreas mais baixas, de fitofisionomia florestal. Em todos os solos, porém há um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ até os 40 cm de profundidade, quando há uma estabilização desses valores. A regressão entre os valores de razão C/N e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo indicaram que nas áreas de CssLV e cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho-Amarelo (CssLVA) não há relação entre a razão C/N e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo, enquanto nas áreas de CrdLV e mata de galeria em Gleissolo (MgG) essas relações existem e a razão C/N diminui com a redução do $\delta^{15}\text{N}$ do solo, R^2 de 0,69 em CrdLV e 0,70 em MgG. O relevo e o tipo de solo podem explicar as diferenças na dinâmica de C e N ao longo da catena na região do Cerrado e essa dinâmica pode ser avaliada de forma integrada por meio do uso de isótopos estáveis.

Palavras-chave: Isótopos estáveis, estoque de carbono, Cerrado, paisagem, matéria orgânica

Abstract

There is a natural variation of soil organic matter in the Cerrado due to the environmental heterogeneity found in this biome. Therefore, it is important to consider some aspects of the landscape in the analysis of organic matter dynamics in the Cerrado, such as relief and soil types. In this context, the objective of this work was to investigate the relation of topographic aspects with the organic matter dynamics, through isotopic ratios of C and N in the soil, in a catena in the Brazilian Central Plateau. The isotopic ratios of C ranged from -27.5‰ in cerrado on a Rhodic Hapludox (CrdLV) and -18.0‰ in cerrado *sensu stricto* on Rhodic Hapludox (CssLV). Soils under savanna vegetation have highest $\delta^{13}\text{C}$ values than soils under forest physiognomy up to 80 cm. The $\delta^{15}\text{N}$ varied between 2.0‰ and 11.1‰, with the highest $\delta^{15}\text{N}$ values soils being in the lower areas of forest phytobiogeography. In all soils, however, there is an increase in values from $\delta^{15}\text{N}$ to 40 cm depth, when there is a stabilization of these values. The regression between the C/N ratio and the $\delta^{15}\text{N}$ of the soil indicated that in the areas of CssLV and cerrado *sensu stricto* in on a Typic Hapludox - CssLVA there is no relation between the C/N ratio and the $\delta^{15}\text{N}$ of the soil, while in the CrdLV and gallery forest in Gleysol (MgG) these relationships exist and the C/N ratio decreases with the reduction of soil $\delta^{15}\text{N}$, R^2 of 0.69 in CrdLV and 0.70 in MgG. The relief and soil type can explain the differences in the dynamics of C and N along the catena in the Cerrado region and this dynamic can be evaluated in an integrated way through the use of stable isotopes.

Keywords: Stable isotopes, soil carbon stock, Cerrado region, functioning landscape, organic matter

Introdução

Os solos são importantes compartimentos para o ciclo de carbono e nitrogênio, por isso é necessário considerar alguns aspectos que são responsáveis pela sua formação e, conseqüentemente, pela distribuição espacial de carbono e nitrogênio na paisagem. Dois aspectos (clima e material de origem) determinam essa formação em uma escala de tempo e espaço globalmente, enquanto um terceiro aspecto (relevo), condicionado pelos dois anteriores, estão relacionados às características locais de solos e organismos (Chapin et al. 2011, Martins et al. 2004). Portanto, os aspectos geomorfológicos, de posição na paisagem e formas da superfície influenciam as propriedades do solo e, por consequência, a distribuição espacial do carbono orgânico e do nitrogênio do solo. No trabalho de Wang et al. (2009) os autores encontraram uma correlação negativa entre a altitude e o carbono orgânico do solo, enquanto Weintraub et al. (2015) observaram que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ diminuem com o aumento da declividade, assim como no trabalho de Hilton et al. (2013).

A mineralogia e a variabilidade do solo estão muito ligadas ao relevo e, conseqüentemente, ao fluxo de água na superfície, e possuem (Chagas et al. 2013, Souza et al. 2004). Esses fatores levam os solos a desenvolver características físicas e químicas específicas, que influenciam os processos de decomposição da matéria orgânica, carbono orgânico no solo (Bronick & Lal 2005) e disponibilidade de nitrogênio (Smith et al. 2013). Além disso, o uso dos aspectos morfológicos possibilita a extrapolação de informações disponíveis em mapas de solos em qualquer escala, para locais e objetivos mais específicos, implicando a redução de tempo e de custos para obtenção de dados ambientais básicos (Motta et al. 2002).

Dentre as regiões tropicais, a maior parte dos estudos se concentra nas florestas, mas é crescente as pesquisas nas savanas, devido a sua reconhecida importância para biodiversidade e ciclagem de nutrientes. A vegetação de Cerrado é composta por um mosaico de paisagens que compreende distintos tipos fisionômicos (Ribeiro & Walter 1998), determinados por clima, geologia, relevo, solos e organismos, criando características específicas. Portanto, é natural que exista uma diferença na dinâmica de nutrientes e na concentração de carbono e nitrogênio no solo e na vegetação para cada fitofisionomia. Além disso, devido as distintas formações do solo, tanto pelos atributos geomorfológicos, posição hidrográfica, como também pela deposição de materiais advindos de seres vivos (Eiten 2001), esse bioma comporta distintas taxas de

mineralização e nitrificação (Bustamante et al. 2006) refletido em diferentes concentração e disponibilidade de nitrogênio em suas diferentes fisionomias.

Por conta de sua heterogeneidade, o Cerrado é um ecossistema complexo (Eiten 1972, Ribeiro & Walter 1998), portanto, os estudos de seu funcionamento necessitam levar em consideração inúmeros fatores, inclusive para a compreensão da dinâmica de carbono e nitrogênio nesse ambiente. Por isso, novas metodologias estão sendo incorporadas às pesquisas com o intuito de integrar parte desses fatores. Dentre essas metodologias está o uso dos isótopos estáveis como um recurso de caráter integrador (Fry 2006, Robinson 2001), que consegue fornecer diversas informações sobre a dinâmica de determinados elementos.

Através do uso de isótopos de carbono é possível avaliar a contribuição da cobertura vegetal para o carbono do solo, além de ter possibilidades de fornecer informações indiretas sobre a produtividade primária (Osher et al. 2003). Considerando que a origem do carbono no solo apresenta assinatura isotópica específica, que reflete o tipo de fotossíntese empregado pelo conjunto de plantas num determinado local, os solos apresentam assinaturas específicas de acordo com sua cobertura vegetal. As plantas C3 variam entre -36‰ e -24‰, enquanto as do tipo C4 varia entre -13‰ e -11‰ (Farquhar et al. 1989). Dessa forma, esta metodologia pode estimar a taxa de incorporação do carbono proveniente da decomposição da serapilheira de diferentes fontes (Assad et al. 2013). Os isótopos estáveis de nitrogênio no solo, por sua vez, fornecem uma linha de base para estudos de cadeia trófica no ambiente (Brito et al. 2006) e indicam possíveis padrões de transformação mediados por microrganismos, como a decomposição, nitrificação e desnitrificação do nitrogênio, resultando na integração de vários elementos e, conseqüentemente, numa maior compreensão do funcionamento do ecossistema (Bustamante et al. 2004, Ehleringer et al. 2002).

Nesse contexto, a distribuição de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no solo podem contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica de carbono e nitrogênio no Cerrado, o que torna fundamental as pesquisas que utilizam essa ferramenta. Além disso, os estudos de Hilton et al. (2013) e Weintraub et al. (2015) mostraram a importância de relacionar esses elementos às diferentes posições na paisagem, para entender o funcionamento do ecossistema. Sendo assim este trabalho pretende investigar a relação dos aspectos

geomorfológicos com a dinâmica da matéria orgânica, através de razões isotópicas de C e N no solo, em uma catena no Planalto Central brasileiro.

Objetivo

Investigar a relação dos aspectos geomorfológicos com a dinâmica da matéria orgânica do solo, através de razões isotópicas de C e N no solo, em uma catena no Planalto Central brasileiro.

Hipóteses

i) Devido às maiores taxas de decomposição, as áreas florestais (áreas mais baixas e côncavas) apresentam maior variação entre as razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ ao longo do perfil de solo que as áreas savânicas (mais elevadas e convexas);

ii) As razões isotópicas de nitrogênio no solo variam de acordo com a localização na paisagem, sendo que as áreas florestais apresentam maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ que as áreas savânicas.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo compreende a bacia do Córrego do Sarandi, cuja nascente localiza-se na área da Embrapa Cerrados, em Planaltina, no Distrito Federal, dentro da ecorregião do Planalto Central (Figura 1.1). O clima predominante é Aw (Köppen), sendo observadas duas estações bem definidas. As chuvas mostram-se concentradas entre novembro e janeiro e a estiagem entre julho e agosto. A precipitação anual é superior a 1.500 mm, com temperatura variando entre 13 °C a 28 °C.

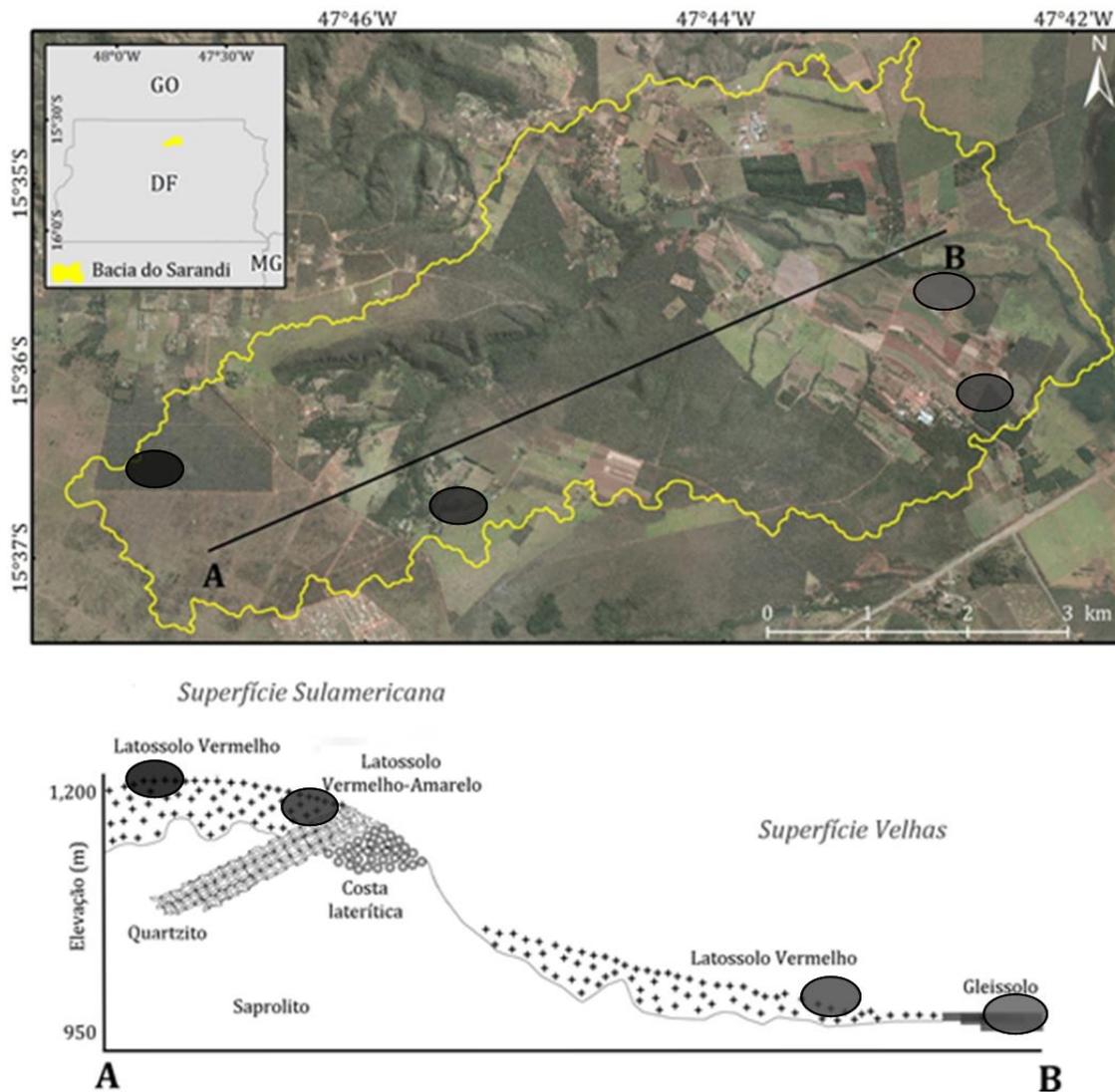


Figura 1.1: Localização da catena e dos pontos de coleta na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil, com tipos de solo e geologia da bacia.

O córrego Sarandi deságua no Ribeirão Mestre d'Armas que é um dos mais importantes afluentes do rio São Bartolomeu, o qual tem significativa contribuição para formação da Bacia do Rio Paraná (Martins et al. 2002). A bacia do córrego Sarandi está localizada no Alto São Bartolomeu (Sena-Souza et al. 2013). O solo predominante é o Latossolo, com presença de Cambissolo e Solo Hidromórfico, com características que variam de acordo com o tipo de relevo onde cada um está inserido.

A geologia da região é formada principalmente por rochas metassedimentares do Grupo Paranoá (Sena-Souza et al. 2013). A bacia apresenta as duas superfícies de aplainamento representativas do Planalto Central relacionadas aos ciclos Sul-Americano,

formadas por chapadas, e Velhas, relacionadas com as baixadas. Nas chapadas ocorrem solos muito antigos e intemperizados, ricos em gibbsita. Nas baixadas ocorrem solos mais jovens e menos intemperizados, ricos em caulinita (Reatto et al. 2004). As chapadas ocorrem em relevos planos e com predomínio das formas retilíneas e convexas, com altitudes que variam de 1100 e 1200 m. As baixadas ocorrem em relevos planos e com predomínio de formas retilíneas e côncavas, com altitudes que variam de 800 e 900 m. Entre as chapadas e baixadas ocorre uma ruptura de relevo definida por frentes de recuo erosivo (Messias et al. 2013).

O solo predominante é o Latossolo, com presença de Cambissolo e Solo Hidromórfico, com características que variam de acordo com o tipo de relevo onde cada um está inserido (Figura 1.2). Os solos presentes na bacia estão organizados em função de sua posição na paisagem: nas Chapadas, Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho Amarelos, Latossolos Amarelos e pequenas porções de Gleissolos Melânicos; nas Frentes de Recuo Erosivo, Cambissolos Hápicos e Plintossolos Pétricos; nas Rampas de Colúvio, Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho Amarelos, Latossolos Vermelhos, Plintossolos Hápicos e Gleissolos Hápicos, (Lima et al. 2014).

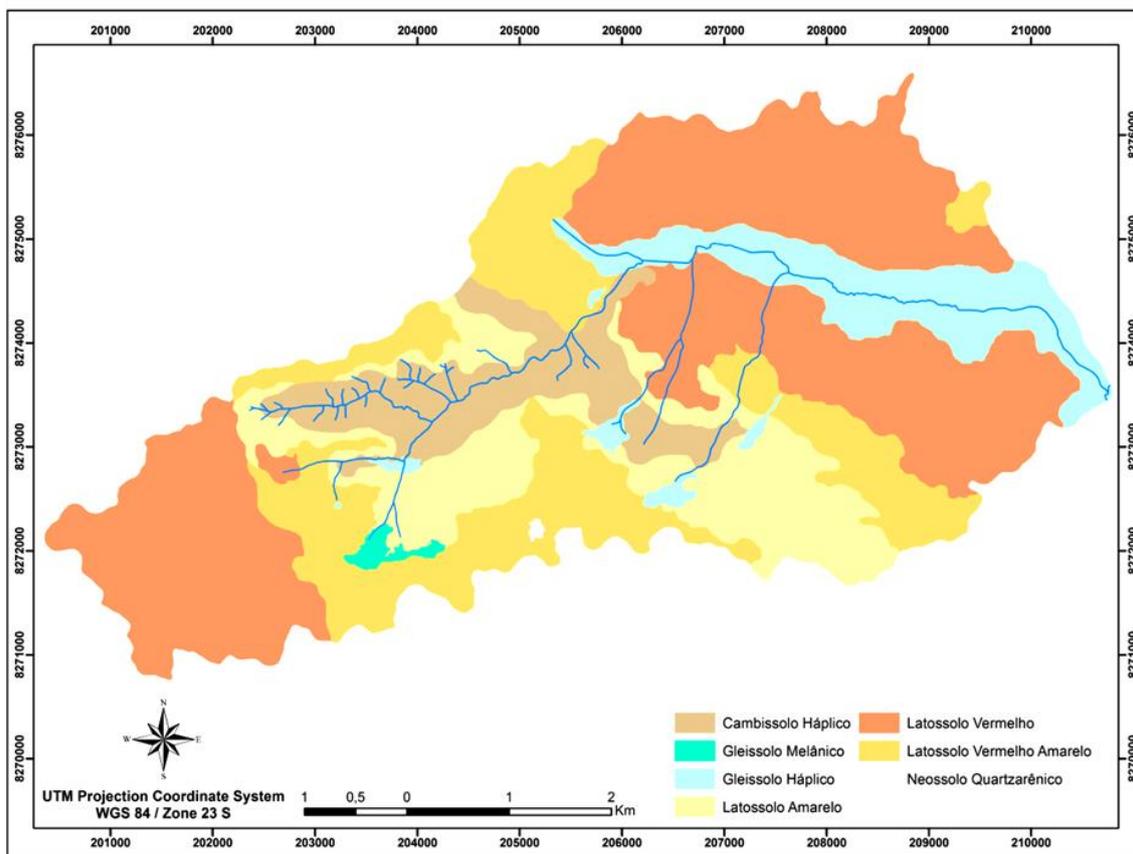


Figura 1.2: Mapa de solos da bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil (Lima et al. 2014).

A bacia possui 55% de cobertura antrópica, 44,7% cobertura natural e 0,3% de corpos d'água. A maior parte da área antropizada é ocupada por pastagem (28,7%) e agricultura (21,3%). Dentre as áreas naturais, predomina a fisionomia savânica com 27%, a formação florestal corresponde 7,4% e a campestre 8% do total da bacia (Neves et al. 2013).

Coletas e análises de solo

As coletas de solo foram realizadas entre julho e setembro de 2012. Foram selecionadas quatro áreas de vegetação natural: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho (CssLV) nas coordenadas -15,607 e -47,782, cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo (CssLVA) nas coordenadas -15,611 e 47,745, cerradão em Latossolo Vermelho (CrdLV) nas coordenadas -15,605 e -47,707, e mata de galeria em Gleissolo (MgG), coordenadas -15,592 e -47,705. A escolha dos pontos de coleta foi

baseada na topossequência da bacia do córrego Sarandi, com o intuito de comparar áreas com características semelhantes em relação ao relevo e ao tipo de solo, mas com diferentes fitofisionomias (Figura 1.1).

Em cada área foram coletadas três amostras simples de perfil de solo em oito intervalos de profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm). As coletas de solo foram feitas utilizando um trado de tipo japonês para amostras indeformadas e um trado de tipo holandês para amostras deformadas. As amostras de solo deformadas foram deixadas em local ventilado e seco até completa dessecação ao ar. Depois foram destorroadas manualmente com um rolo de madeira até os torrões maiores serem desfeitos. Em seguida as amostras de solo foram destorroadas em peneira com malha de 2 mm. Posteriormente, foram realizadas as análises físicas e químicas e de fertilidade. A textura foi calculada através do método da pipeta para solos normais, descrito pela Embrapa (1997), a acidez ativa foi calculada por pH em H₂O; foi calculada a capacidade de troca catiônica (CTC), o fósforo (P) por extrator Mehlich⁻¹ e o potássio (K) também pelo Extrator Mehlich⁻¹. Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) foram determinados por extrator KCl⁻¹ mol/L. Foram apresentados apenas valores de 0 a 20 cm de profundidade devido à não detecção de alguns elementos nas camadas mais profundas.

As concentrações de carbono e nitrogênio foram analisadas através de um analisador elementar, onde as amostras de solo secas foram moídas e pesadas sub-amostras entre 20 e 100 mg e acondicionadas em cápsulas de alumínio. Essas cápsulas foram colocadas num analisador elementar (Carlo Erba, modelo 1110, Milão, Itália), que determina a concentração de carbono e nitrogênio total por combustão, permitindo o cálculo da razão C/N, através da divisão entre as duas concentrações. As assinaturas isotópicas do N ($\delta^{15}\text{N}$) e do C ($\delta^{13}\text{C}$) foram fornecidas por um espectrômetro de massas para razões isotópicas (Thermo Quest-Finnigan Delta Plus), acoplado ao analisador elementar. O $\delta^{15}\text{N}$ e o $\delta^{13}\text{C}$ expressam a proporção de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ e $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ na amostra (R amostra), relativamente ao padrão internacional, a composição isotópica do N da atmosfera e do C de Pee dee Belamite (PDB; rocha calcária da região do Grant Canyon, EUA), em desvios por mil (‰): $\delta = (R \text{ amostra}/R \text{ padrão} - 1) \times 1000$. Estas análises foram realizadas no laboratório de Ecologia Isotópica, CENA/USP.

Os estoques de C de cada uma das camadas, em todas as áreas estudadas, são calculados pela expressão de Veldkamp (1994) - Equação 1. Os estoques de N foram calculados de forma similar.

$$\text{Estoque C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e)/10 \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

Estoque C = estoque de C orgânico em determinada profundidade ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

CO = concentração de C orgânico total na profundidade amostrada ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Ds = densidade do solo da profundidade ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$)

e = espessura da camada considerada (cm)

Para representação do comportamento do $\delta^{15}\text{N}$ do solo ao longo da catena, foi realizada uma interpolação utilizando os dados de $\delta^{15}\text{N}$ do solo até 100 cm de profundidade usando uma krigeagem ordinária que foi convertida em uma grade (100 colunas X 30 linhas) realizada no programa Surfer 9.0, considerando a distância entre os pontos de coleta na paisagem.

Análises estatísticas

Os resultados de estoque, concentração e razão isotópica de carbono e nitrogênio passaram pelo teste de normalidade Shapiro-Wilk. Após confirmar a normalidade dos dados dos dados de isótopos, foi utilizada a análise de variância ANOVA de medidas repetidas seguido do teste Tukey, que avaliou a significância das diferenças encontradas entre os diferentes intervalos de profundidade do solo e as fisionomias. Para os estoques de carbono e nitrogênio foi aplicado um teste de Kruskal Wallis, por conta da distribuição não-paramétrica dos dados. Os dados foram apresentados com valores de média \pm desvio padrão com intuito de padronizar as figuras. Diferenças a 5% foram consideradas significativas. Foi aplicada uma regressão linear para os dados de razão C/N e de $\delta^{15}\text{N}$, com significância $p \leq 0,05$. As análises estatísticas foram feitas usando o programa estatístico R (R Core Team 2015).

Resultados

Aspectos físicos e químicos e fertilidade do solo

Os solos encontrados na bacia do córrego Sarandi são muito argilosos nas áreas de fisionomia savânica, com teores de argila entre 64,7% em C_{ss}LVA e 67,3% (C_{ss}LV), argilosos em (C_{rd}LV), com 55,7% de argila, e têm textura média na MgG, onde o teor de argila foi de 32,3% (Tabela 1.1).

Tabela 1.1: Teores de argila, silte e areia e textura do solo até 20 cm de profundidade sob diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil.

Fitofisionomia	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Textura ¹
CssLV	67,3±2,8	13,1±2,8	19,6±3,7	Muito argilosa
CssLVA	64,7±5,4	12,5±4,9	22,8±3,0	Muito argilosa
CrdLV	55,7±5,5	13,4±5,1	30,9±4,9	Argilosa
MgG	32,2±8,0	18,1±2,2	49,6±9,3	Média

¹Classificação segundo Embrapa. CssLV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CssLVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

O pH variou entre 4,4 e 5,2 e foi maior nas áreas savânicas (CssLV e CssLVA) que em áreas florestais (CrdLV e MgG). Os teores de Al ficaram entre 0,32 cmol_c.dm⁻³ e 4,77 cmol_c.dm⁻³, com maiores valores nas áreas florestais. Todos os solos estudados são pobres em nutrientes, o P variou de 0,1 a 6,2 mg.dm⁻³, mais abundante nas áreas mais baixas e de fisionomia florestal, assim como o K que apresentou valores entre 0,1 e 0,2 cmol_c.dm⁻³, o Ca possui valores entre 0,0 e 0,2 cmol_c.dm⁻³, mas tem seus maiores valores nas áreas savânicas. O Mg ficou entre 0,1 e 0,2 cmol_c.dm⁻³, com teores mais altos nas áreas florestais. A CTC também apresentou maiores valores em áreas florestais que em áreas savânicas, variando entre 5,9 e 23,9 cmol_c.dm⁻³, padrão semelhante ao da matéria orgânica do solo (MOS) que variou entre 3,4% e 6,7% (Tabela 1.2).

Tabela 1.2: Características químicas do solo (média±dp) até 20 cm de profundidade sob diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil.

Fitofisionomia	pH H ₂ O	Al (cmol _c dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	K (cmol _c dm ⁻³)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg (cmol _c dm ⁻³)	CTC (cmol _c dm ⁻³)	MOS (%)
CssLV	5,2±0,1	0,32±0,21	0,1±0,1	0,1±0,0	0,1±0,1	0,1±0,0	5,9±1,0	3,4±0,6
CssLVA	5,1±0,2	0,58±0,33	0,8±0,3	0,1±0,0	0,2±0,2	0,1±0,0	6,7±1,4	3,2±0,9
CrdLV	4,7±0,2	2,99±0,82	1,9±1,3	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	13,3±4,6	5,12±2,0
MgG	4,4±0,2	4,77±0,80	6,2±3,3	0,2±0,0	0,1±0,1	0,2±0,1	23,9±5,8	6,7±1,9

pH em H₂O, fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica do solo (MOS). CssLV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CssLVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

A concentração de carbono variou entre $2,4 \pm 1,2\%$ em CssLVA e $5,5 \pm 0,8\%$ em MgG até 20 cm de profundidade (Figura 1.3). Em todas as áreas a concentração de carbono foi significativamente maior nas camadas superficiais do solo (até 20 cm) ($p \leq 0,05$).

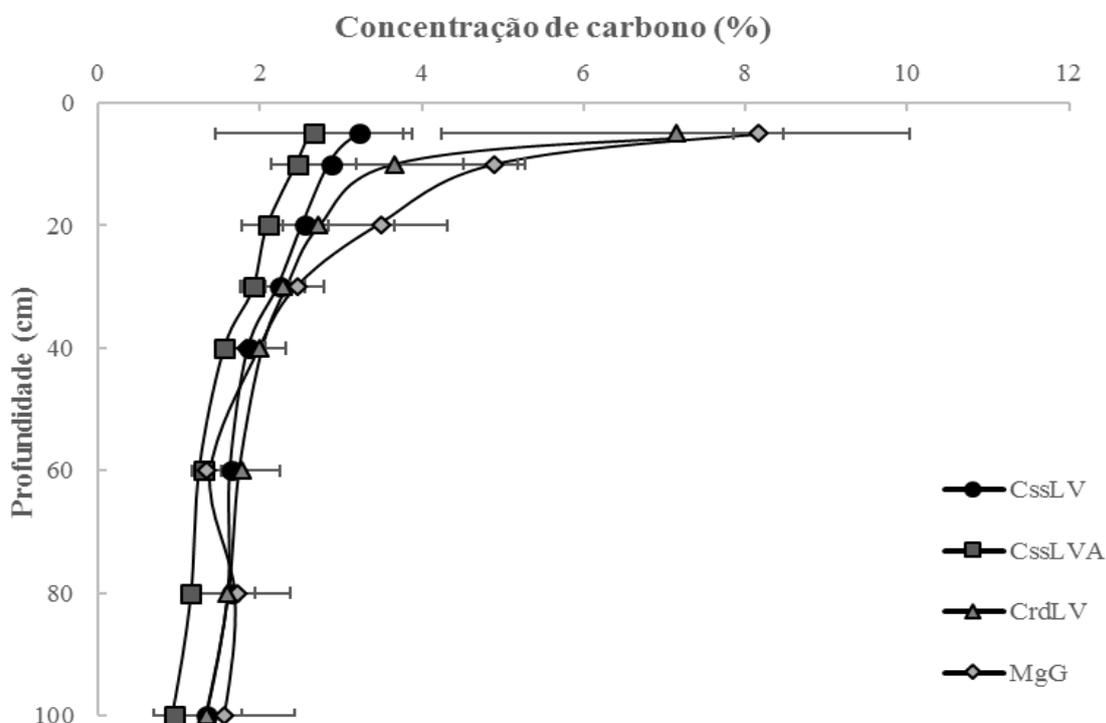


Figura 1.3: Concentração de carbono (média \pm dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil. CssLV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CssLVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

O estoque de carbono foi maior na MgG em relação às savânicas e ao CrdLV até 20 cm de profundidade, com valores entre $42,2 \pm 2,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em CssLVA e $94,6 \pm 8,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em MgG (Figura 1.4). Apenas nos intervalos superficiais do solo (até 40 cm) houve diferença ($p \leq 0,05$) dentro de cada fitofisionomia, a partir dessa profundidade não há diferença significativa entre as áreas. O estoque de carbono considerando o perfil de solo de 0 a 100 cm de profundidade foi de $183,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em CssLV, $141,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em CssLVA, $199,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em CrdLV e $237,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em MgG.

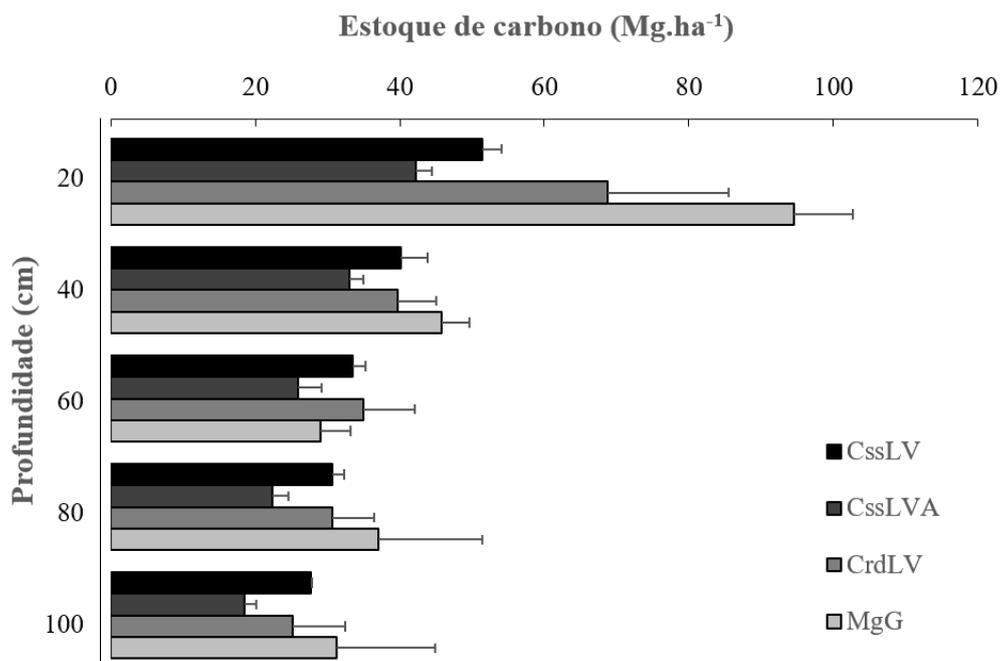


Figura 1.4: Estoque de carbono (média±dp) em intervalos de 20 cm de solo, nos perfis de 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil. CssLV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CssLVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

Os solos estudados possuem concentrações de nitrogênio entre $0,1 \pm 0,1\%$ em CssLVA e $0,3 \pm 0,1\%$ em MgG no intervalo de 0 a 20 cm de profundidade. Esse elemento está concentrado principalmente nas camadas mais superficiais do solo. Após 40 cm de profundidade os valores ficam abaixo de $0,1\%$. (Figura 1.5).

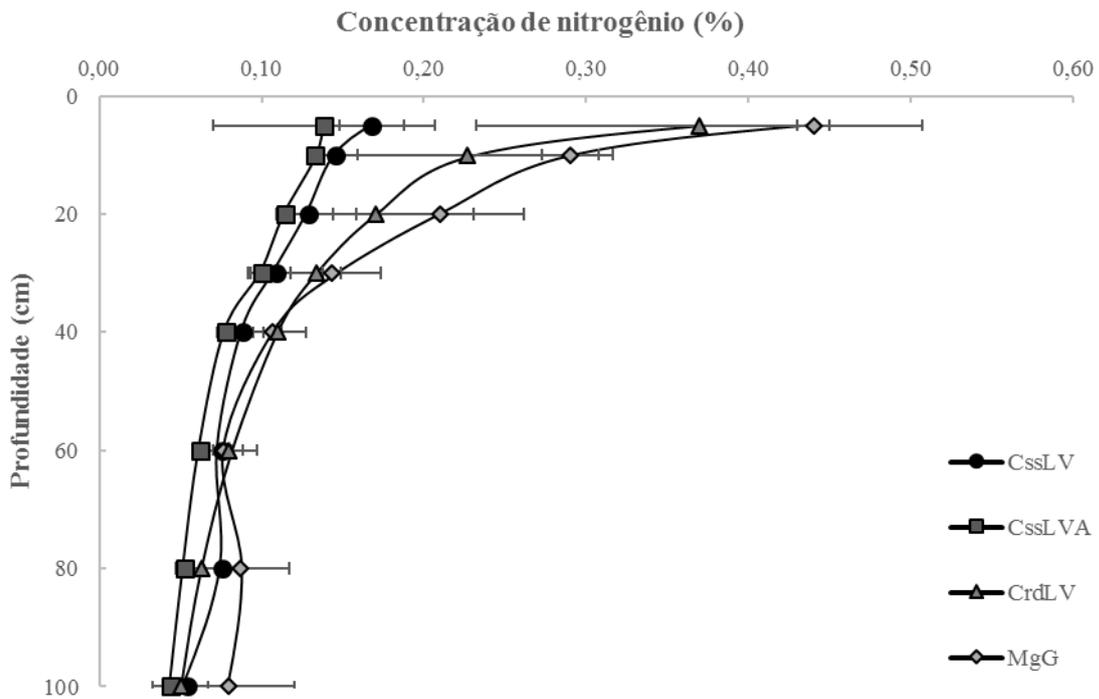


Figura 1.5: Concentração de nitrogênio (média±dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil. CssLV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CssLVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

Os estoques de N variaram entre $2,3 \pm 0,1\%$ em CssLVA e $5,4 \pm 0,5\%$ em MgG (até 20 cm de profundidade). Entre 20 e 40 cm houve diferença ($p \leq 0,05$) somente entre CssLVA e MgG (Figura 1.6). Após essa profundidade não há diferença entre nenhuma fitofisionomia. O estoque de nitrogênio considerando o perfil de solo de 0 a 100 cm de profundidade foi de $8,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em CssLV, $7,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em CssLVA, $10,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em CrdLV e $13,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em MgG.

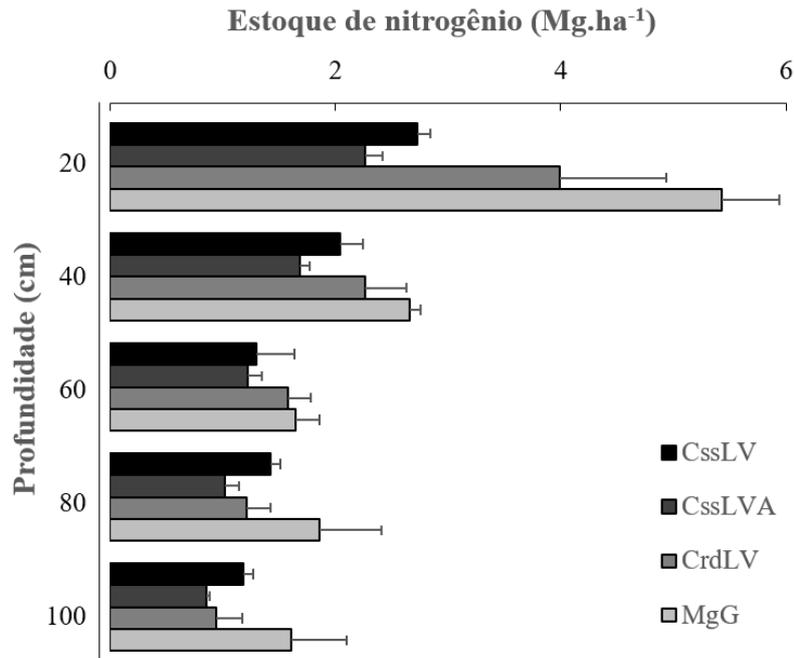


Figura 1.6: Estoque de nitrogênio (média±dp) em intervalos de 20 cm de solo, nos perfis de 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias e posições na paisagem na bacia do córrego Sarandi ao norte do Distrito Federal, Brasil. CcssLV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CcssLVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

A razão C/N variou entre 16,0 e 25,6 ambos em CrdLV. Até 5 cm de profundidade os valores foram maiores em CcssLVA (19,6) e menores em MgG (18,5), enquanto na profundidade entre 80 e 100 cm a razão C/N é maior em CrdLV, com 25,6 e menor em MgG, 18,8 (Tabela 1.3). De modo geral, os valores aumentam com a profundidade do solo e diminuem com a posição topográfica (menores nas áreas florestais, que são mais baixas).

Tabela 1.3: Razão C/N (média±dp) ao longo do perfil do solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. Letras minúsculas comparam as áreas amostradas para cada intervalo de profundidade e letras maiúsculas comparam os intervalos de profundidade em cada área amostrada, considerando diferenças significativas a 5% pelo teste Tukey.

Profundidade (cm)	Razão C/N			
	CssLV	CssLVA	CrdLV	MgG
0-5	19,2 ±1,4aA	19,6±1,4aAB	19,1±0,9aA	18,5±0,6aA
5-10	19,8 ±0,3aAB	18,5±0,5bA	16,1±0,3cB	16,7±0,4cA
10-20	19,9±0,5aAB	18,3±0,5bAB	16,0±0,4cB	16,5±0,4cA
20-30	20,6±0,4aAB	19,3±0,6aAB	17,0±1,1bBC	16,9±1,0bA
30-40	21,0±0,9aAB	20,0±0,5abAB	18,4±0,6bcAC	17,0±0,9cA
40-60	21,8±0,3aB	21,1±0,7aB	21,6±0,5aD	18,4±1,8bA
60-80	22,8±1,0aBC	22,0±1,1aB	24,4±0,6aE	19,4±1,0bA
80-100	24,8±0,6aC	21,5±1,3bB	25,6±0,5aE	18,2±1,4cA

CssLV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CssLVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

As razões isotópicas de C variaram entre -27,1‰ em CrdLV e -18,7‰ em CssLV. Os solos savânicos possuem maior $\delta^{13}\text{C}$ que os solos sob fisionomia florestal até 80 cm ($p \leq 0,05$). Não há diferença significativa entre as fitofisionomias entre 80 e 100 cm. As áreas savânicas não apresentaram diferenças entre as profundidades, enquanto as áreas florestais apresentaram apenas nos solos superficiais (até 5 cm), onde os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são menores que nos intervalos mais profundos (Figura 1.7).

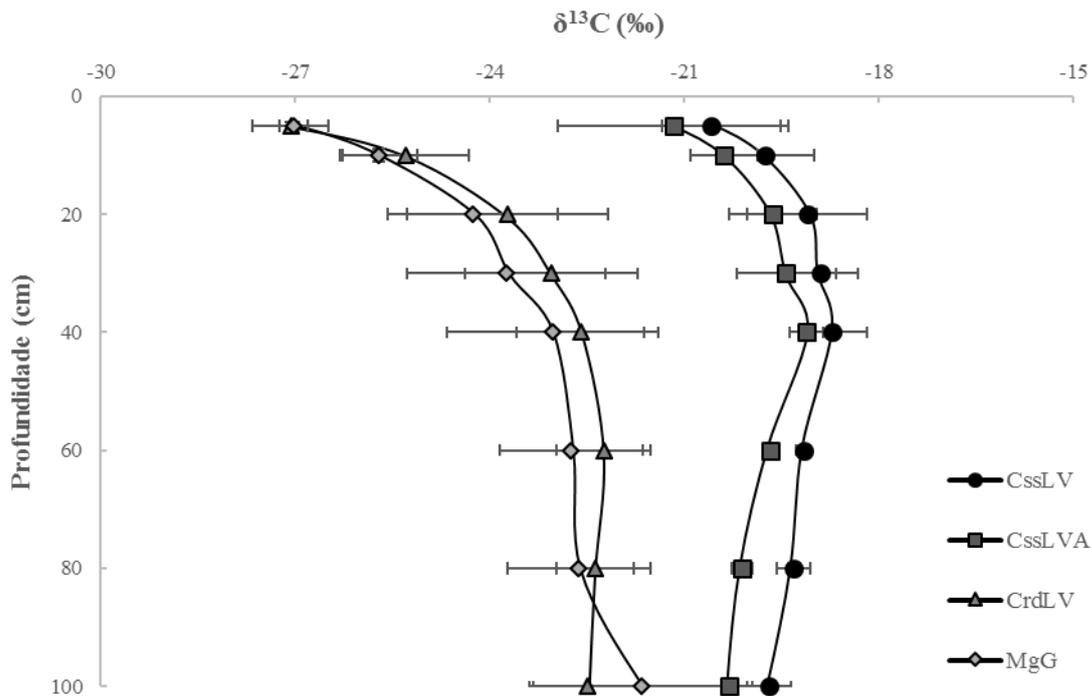


Figura 1.7: $\delta^{13}\text{C}$ do solo (média \pm dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. CcssLV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CcssLVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

Foram encontradas diferenças significativas entre as fitofisionomias apenas entre 5 e 10 cm de profundidade. A MgG apresentou diferenças significativas em relação às outras áreas a partir dos 40 cm ($p \leq 0,05$). Porém, o $\delta^{15}\text{N}$ variou entre 2,8‰ em CrdLV e 10,9‰ em CcssLVA, mostrando que os solos com maior $\delta^{15}\text{N}$ estão nas áreas mais baixas, de fisionomia florestal. Em todos os solos, porém há um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ até os 40 cm de profundidade, quando há uma estabilização desses valores. (Figura 1.8).

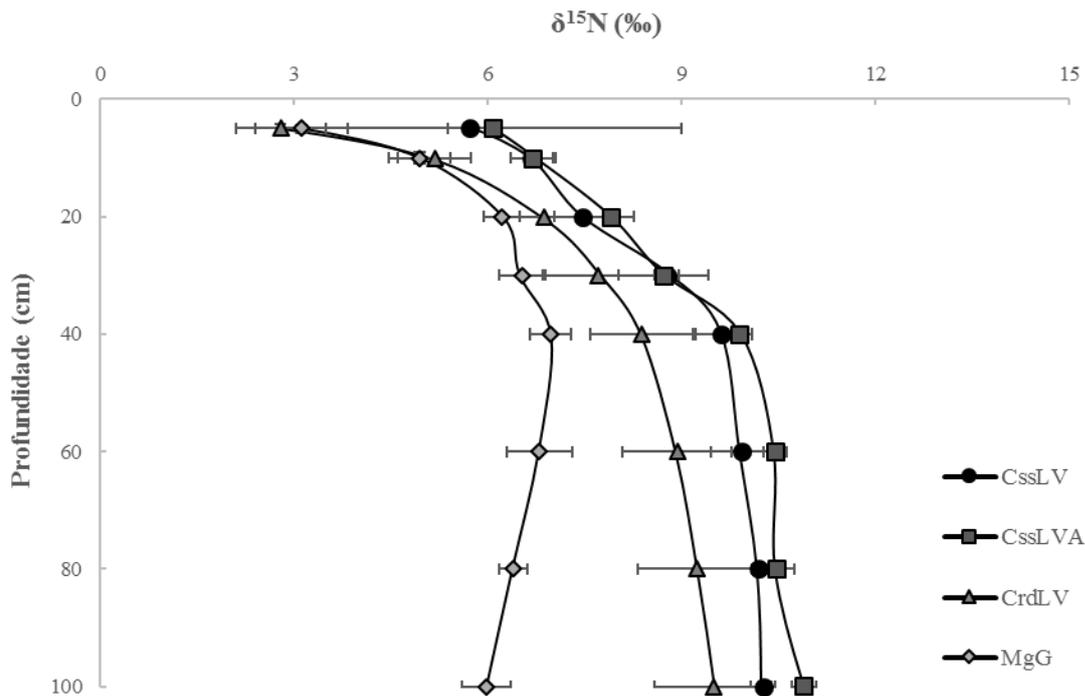


Figura 1.8: $\delta^{15}\text{N}$ no solo (média \pm dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. CsslV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CsslVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foram espacializados ao longo da catena (Figura 1.9), sendo que as áreas mais elevadas possuem maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ no solo do que nas áreas mais baixas.

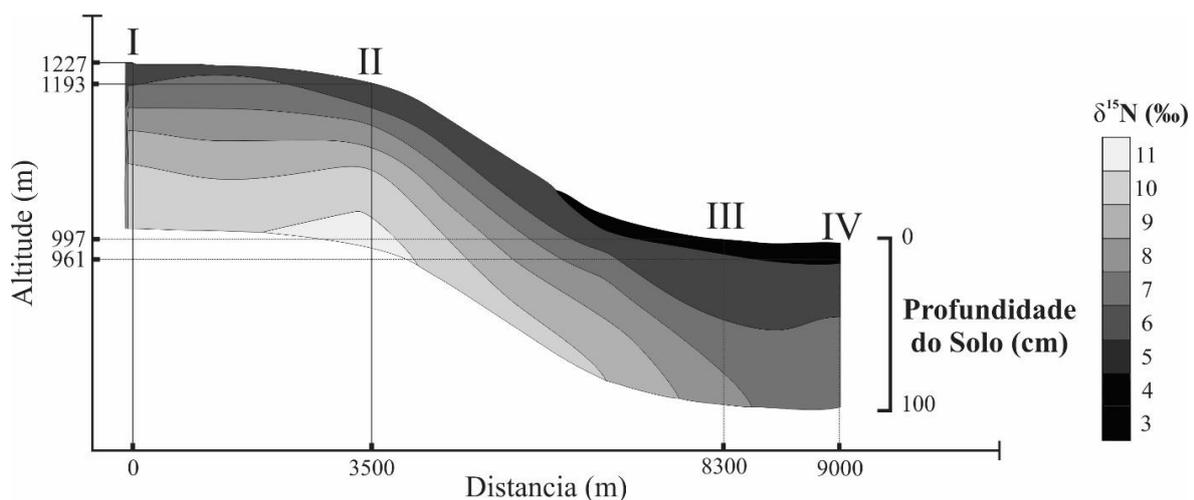


Figura 1.9: Distribuição do $\delta^{15}\text{N}$ na camada de solo até 100 cm de profundidade ao longo de uma catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. I: CsslV - cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; II: CsslVA - cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; III: CrdLV - cerradão em Latossolo Vermelho; e IV: MgG - mata de galeria em Gleissolo.

A variação entre o $\delta^{13}\text{C}$ do solo superficial (até 5 cm) e do solo mais profundo (entre 80 e 100 cm), calculado pela subtração de um valor pelo outro, é maior nas áreas florestais, MgG (5,4‰) e CrdLV (4,6‰) e menor nas áreas savânicas, 0,9‰ em CsslV e CsslVA. Já essa variação para o $\delta^{15}\text{N}$ é maior no CrdLV (6,7‰) e menor na MgG (2,9‰). Nas duas áreas savânicas, CsslV e CsslVA, essa diferença ficou em 4,5‰ e 4,8‰, respectivamente.

A regressão entre os valores de razão C/N e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo apresentaram R^2 de -0,08 em CsslV, 0,009 em CsslVA, 0,69 em CrdLV e 0,70 em MgG. Nas áreas de CsslV e CsslVA não foram encontradas relações significativas entre o $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N do solo, mas os valores daquela variável tendem a aumentar com o crescimento desta última. Nas áreas de CrdLV e MgG essas relações são significativas ($p \leq 0,05$) e a razão C/N diminui com a redução do $\delta^{15}\text{N}$ do solo (Figura 1.10).

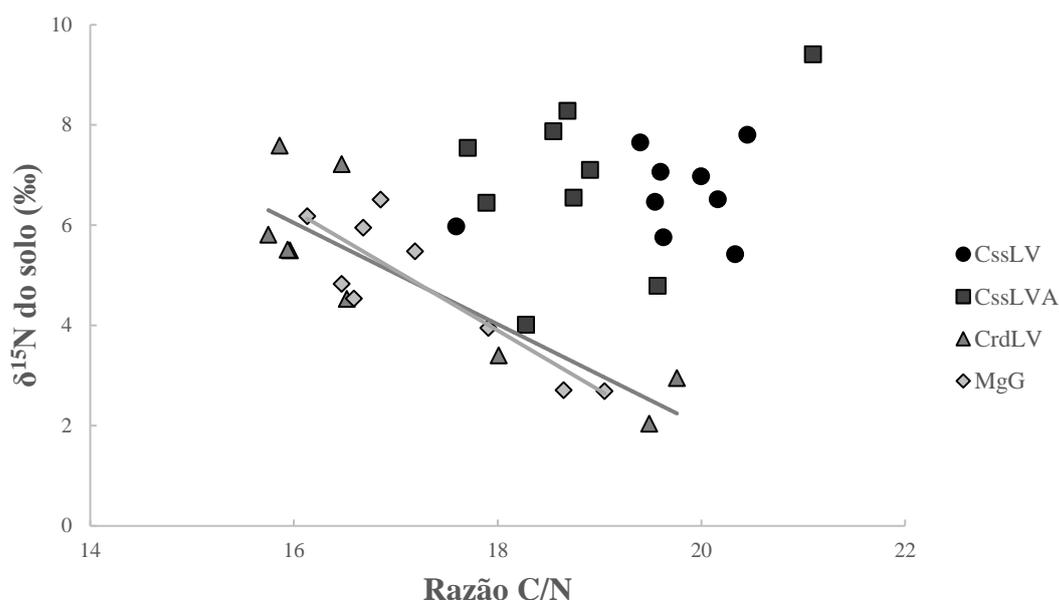


Figura 1.10: Relação entre o $\delta^{15}\text{N}$ do solo e a razão C/N do solo até 20 cm de profundidade, considerando todas as áreas de estudo de uma catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. CsslV: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho, CsslVA: cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo, CrdLV: cerradão em Latossolo Vermelho, e MgG: mata de galeria em Gleissolo.

Discussão

Os solos aqui estudados apresentam características físicas e químicas similares aos encontrados em outros no Cerrado, com baixo pH e pouca concentração de nutrientes

(Faleiro & Farias Neto 2008, Goedert 1989). No entanto, o Al é mais elevado nas áreas florestais, acompanhado pela redução do pH e pelo aumento da CTC. Isso ocorre principalmente devido à posição na paisagem onde estão localizadas, pois os diferentes estágios de intemperismo levam à maior concentração de Fe ou Al, sendo que nas áreas mais elevadas eles tendem a ser mais intemperizados e ter maiores teores de óxido de ferro (Reatto et al. 2004); além disso os teores mais elevados de matéria orgânica estão nas áreas florestais comparado às áreas savânicas (Giácomo et al. 2015). As diferenças no Ca estão ligadas aos diferentes ciclos geológicos existentes na chapada, onde estão as áreas savânicas, e na baixada, onde estão as áreas florestais (Martins et al. 2004).

O P apresentou maiores valores apenas em MgG, já que, além do maior percentual de matéria orgânica, essa área está localizada numa posição mais baixa, funcionando como uma zona de deposição desse nutriente (De Gryze et al. 2008). Os valores encontrados neste estudo são mais elevados que os encontrados por Parron et al. (2011) em Mata de Galeria, são próximos aos encontrados por Giácomo et al. (2015) para Cerradão, e são menores que os encontrados pelo mesmo autor em Cerrado *sensu stricto*.

Os estoques de carbono foram mais elevados em áreas florestais devido ao maior aporte de matéria orgânica nessas fitofisionomias (Giácomo et al. 2015), justamente nas áreas onde há uma maior CTC, o que favorece a atividade dos microrganismos do solo. Por esse motivo, essa variação no estoque de carbono ocorre principalmente nas camadas mais superficiais do solo, onde há maior atividade dos organismos do solo e decomposição da matéria orgânica (Dias et al. 1996). Os estoques de carbono encontrados nas áreas savânicas são maiores que os registrados na literatura, por d'Andrea et al. (2004), Pinheiro-Alves et al. (2016) e Pulrolnik et al. (2009) - Tabela 1.3.

O estoque de nitrogênio apresentou variação entre as profundidades em todas as fitofisionomias, ainda assim, os valores encontrados estão semelhantes aos de d'Andrea et al. (2004) e Rezende (2001). Apesar de valores maiores em fisionomias florestais, o estoque de nitrogênio é considerado baixo em todas as profundidades, padrão também encontrado no trabalho de Pulrolnik et al. (2009) em solos de Cerrado *sensu stricto*. Algumas características do Cerrado, como elevada razão C/N das plantas, baixas taxas de nitrificação e um predomínio de amônio (NH_4^+) em relação ao nitrato (NO_3^-), fazem desse bioma um sistema conservativo com baixa quantidade de N no solo (Bustamante et al. 2012).

As razões dos isótopos estáveis de carbono mostram o tipo fotossintético empregado pelas plantas que cobrem o solo, enquanto as razões dos isótopos de nitrogênio podem indicar as taxas de mineralização e decomposição. O $\delta^{13}\text{C}$ no solo das áreas florestas apresentaram valores típicos de plantas C3 nas, o que era esperado devido ao regime fotossintético predominante em espécies arbóreas (Guareschi et al. 2014, Parron et al. 2004) que dominam esses locais. Já as áreas savânicas possuem valores intermediários de $\delta^{13}\text{C}$, devido à mistura entre os processos fotossintéticos realizado pelas gramíneas, arbustos e espécies arbóreas que compõem essas regiões. Os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ ficaram nas áreas mais elevadas da catena, ou seja, nos solos localizados nas fitofisionomias savânicas (Figura 1.9). As fitofisionomias diferem em composição de espécies e nas estratégias utilizadas por elas em relação ao uso dos nutrientes do solo (Viani et al. 2011a). Áreas de fisionomia florestal possuem uma grande variação no $\delta^{15}\text{N}$ das plantas, variando de -6,4‰ e 5,9‰ em Cerradão (Viani et al. 2011b) e 0,4‰ a 3,9‰ em Mata de galeria (Parron et al. 2004). Tais diferenças podem explicar essa dinâmica de nitrogênio, já que a preferência das plantas por determinada forma de nitrogênio (NH_4^+ ou NO_3^-) influencia a composição isotópica das plantas (Nardoto 2005) e do solo, também influenciado pelas diferentes taxas de transformação do N entre as fitofisionomias.

A razão C/N também dá indicativos da variação no funcionamento do ecossistema, sendo que essa razão foi maior nas áreas savânicas, já que essas áreas possuem baixas taxas de mineralização e decomposição da matéria orgânica (Nardoto & Bustamante 2003) e isso implica no aumento da razão C/N no solo, indicando que estes são ambientes mais limitados por nitrogênio (Sugihara et al. 2014) se comparados as áreas florestais. Em todas as áreas existe um aumento na razão C/N com o aumento da profundidade do solo, explicado pela redução na concentração de nitrogênio nas camadas mais profundas. A razão C/N do solo está relacionada aos processos de decomposição da matéria orgânica, o que a torna importante nos padrões de $\delta^{15}\text{N}$. O modelo conceitual proposto por Conen et al. (2008) sugere uma possível relação negativa entre razão C/N e $\delta^{15}\text{N}$ do solo, isso se comprovou no padrão global mostrado por Craine et al. (2015a) e nas áreas florestais deste trabalho. Entretanto, a relação entre a razão C/N e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo apresentou padrão diferente entre as áreas florestais e as áreas savânicas, que não apresentaram um padrão, indicando que existe uma variação nos processos químicos e biológicos de cada fisionomia. A composição de espécies também é fundamental nesse comportamento, já que as gramíneas apresentam uma biomassa menor que as espécies

arbóreas ou arbustivas no Cerrado (Miranda et al. 2014) e contribuem menos para a composição da serapilheira do solo, já que suas folhas não chegam ao solo com a mesma quantidade das espécies arbóreas, devido à estrutura da vegetação. Além disso, existem diferenças na deposição da serapilheira entre os estratos relacionados à suscetibilidade às queimadas, que são comuns no Cerrado (Nardoto et al. 2006).

As diferenças no tipo de solo podem influenciar essa dinâmica do $\delta^{15}\text{N}$, devido aos diferentes teores de ferro (Reatto et al. 2004) e outros minerais presentes no solo. Parte da matéria orgânica tende a ficar retida nos minerais do solo, deixando essa matéria orgânica mais estável e com maior $\delta^{15}\text{N}$ (Clerq et al. 2015), enquanto os minerais do solo estão dispostos de maneira diferente ao longo da paisagem, condicionados pelos teores de argila no solo (Silva Junior et al. 2012). Portanto, a dinâmica da matéria orgânica está intimamente ligada aos teores de argila no solo, sendo que uma maior quantidade de argila proporciona um maior estoque de C (Bhering et al. 2016), quanto maior o teor de argila maior tende a ser o valor de $\delta^{15}\text{N}$ no solo (Luce et al. 2014), devido à maior estabilidade do nitrogênio nesses solos, o que retém os isótopos mais pesados, aumentando o $\delta^{15}\text{N}$ (Craine et al. 2015b). Apesar das maiores taxas de decomposição nas áreas florestais, as áreas savânicas possuem maior teor de argila (Tabela 1.1) e foram estas áreas que apresentaram as maiores razões de $\delta^{15}\text{N}$, corroborando a relação entre a argila e o $\delta^{15}\text{N}$.

Existem ainda diferenças nas associações entre espécies e no sistema radicular das plantas que influenciam essa dinâmica no solo. O Cerrado possui uma alta diversidade de leguminosas (Felfili et al. 1992), e isso afeta a incorporação de nitrogênio no solo, por meio de fixação biológica, que por sua vez, depende das proporções entre a comunidade de fungos e a de bactérias no solo (Bustamante et al. 2006), sendo que essas comunidades são influenciadas pelo pH do solo, que são menores nas áreas florestais e mais elevados nas áreas savânicas. Além disso, a decomposição da matéria orgânica varia de acordo com a posição na paisagem (Berhe 2012) e caracterizam diferenças importantes para a dinâmica do nitrogênio já que modificam os processos de nitrificação e de desnitrificação no solo, que por sua vez afetam o fracionamento do $\delta^{15}\text{N}$ no solo (Martinelli et al. 2009).

As áreas florestais, especialmente as matas de galeria, possuem maiores estoques de C e N, além de maiores teores de concentração de N total e inorgânico e taxas de transformação (Tabela 1.4). As maiores taxas de mineralização também estão nas áreas florestais (Parron 2004), e isso provoca perdas de nitrogênio para a atmosfera, por isso,

no Cerrado essas perdas ocorrem com duas vezes mais intensidade nas fisionomias florestais, e isso está refletido no $\delta^{15}\text{N}$ do solo da catena estudada.

Tabela 1.4: Valores médios de seis métricas de nitrogênio no solo em diferentes fitofisionomias: Cerrado *sensu stricto*, Cerradão e Mata de galeria. Dados registrados na literatura em perfis de solo com até 20 cm de profundidade.

Estoques e fluxos	Fitofisionomia		
	Cerrado <i>sensu stricto</i>	Cerradão	Mata de Galeria
Estoque C ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	49,6 ^{ab}	*	57,72 ^c
Estoque N ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	3,6 ^{bd}	*	4,45 ^c
N total (%)	0,142 ^{de}	0,12 ^f	0,46 ^c
Concentração de N (%)	0,16 ^g	*	1,0 ^c
NH_4^+ -N ($\text{mg}\cdot\text{kg}$)	3,55 ^h	3,9 ⁱ	21,1 ^c
NO_3^- -N ($\text{mg}\cdot\text{kg}$)	0,24 ^{hj}	2,5 ⁱ	0,6 ^c
Mineralização líquida ($\text{mg}\cdot\text{kg}$)	12,4 ^g	*	29,2 ^c
Emissão N_2O	0,023 ^k	0,132 ⁱ	*

*Valores não encontrados.

Referências: ^aPinheiro-Alves et al. (2016), ^bD'Andrea et al. (2004), ^cParron (2004), ^dPulrolnik et al. (2009), ^eLoss et al. (2011), ^fViani et al. (2011a), ^gNardoto & Bustamante (2003), ^hPinto et al. (2002), ⁱSantos et al. (2016), ^jLilienfein et al. (2001), ^kCarvalho et al. (2008).

As chapadas são compartimentos que sofrem pouca influência do intemperismo físico e perdem poucos nutrientes por meio da erosão, portanto, os processos químicos e biológicos podem ser mais importantes no controle da dinâmica de nitrogênio na região central do Cerrado brasileiro, já que nessas regiões predomina-se o intemperismo químico e há uma grande atividade dos organismos do solo. Apesar da importância do relevo para a região, os resultados são distintos aos do trabalho de Weintraub et al. (2015), que mostra a importância do relevo, através dos processos erosivos, para a dinâmica de nitrogênio na Costa Rica.

A discriminação isotópica mostrou que as maiores diferenças entre e $\delta^{15}\text{N}$ entre superfície e profundidade estão nas áreas florestais, especialmente em CrdLV. Isso indica que essas áreas possuem maiores taxas de decomposição ao longo do tempo se comparadas com as áreas savânicas, onde essas diferenças foram menores. Portanto, a

decomposição da matéria orgânica ocorre de forma diferente para cada tipo de solo (Reatto et al. 2004) e, por consequência, pela posição onde se encontra na paisagem (Arruda et al. 2015), devido às condições climáticas responsáveis pela formação desses solos e essencial para o processo de decomposição.

Conclusões

As diferenças nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ das áreas florestais foram maiores que das áreas savânicas, pois existem maiores taxas de mineralização nessas áreas, além da composição de espécies dessas áreas, que são predominantemente de plantas de ciclo fotossintético C3 e isso se reflete ao longo de todo o perfil de solo.

As áreas savânicas (mais elevadas e convexas) apresentaram maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ que as áreas florestais, refutando a segunda hipótese deste trabalho. Isso indica que para essas condições de relevo há um padrão peculiar da dinâmica de nitrogênio, que está relacionada aos processos químicos e biológicos que atuam no sistema solo-planta e que se diferem de acordo com a localização dos pontos na paisagem.

A posição onde se localizam as áreas florestais no Cerrado estão ligadas à manutenção de nutrientes e água que possibilita um maior crescimento da vegetação e modifica os processos de decomposição. Portanto, o relevo possui grande relevância na estrutura do Cerrado e no funcionamento da dinâmica de carbono e nitrogênio na paisagem, e essa dinâmica pode ser avaliada de forma integrada por meio do uso de isótopos estáveis.

Os estoques de carbono e nitrogênio estão relacionados aos atributos químicos do solo, de maneira que o comportamento da matéria orgânica é modificado pelas alterações desses atributos. Além disso, a textura do solo é fundamental para a dinâmica de C e N, pois influencia sua estabilidade, além da retenção de água e nutrientes no solo, que se modifica ao longo da paisagem.

Referências

- ARRUDA, D. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CORRÊA, G.R.; RODRIGUES, P. M. S.; DUQUE-BRASIL, R.; FERREIRA JR, W. G.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. Landforms and soil attributes determine the vegetation structure in the Brazilian semiarid. *Folia Geobot* 50:175–184. 2015.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey, *Biogeosciences*, 10, 6141-6160, doi:10.5194/bg-10-6141-2013, 2013.
- BERHE, A. A. Decomposition of organic substrates at eroding vs. depositional landform positions. *Plant Soil*. v. 350, p. 261-280, 2012.
- BHERING, S. B.; CHAGAS, C. S.; CARVALHO JUNIOR, W.; PEREIRA, N. R.; CALDERANO FILHO, B.; PINHEIRO, H. S. Mapeamento digital de areia, argila e carbono orgânico por modelos Random Forest sob diferentes resoluções espaciais. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1359-1370, 2016.
- BRITO, E. F.; MOULTON, T. P.; SOUZA, M. L.; BUNN, S. E. Stable isotope analysis indicates microalgae as the predominant food source of fauna in a coastal forest stream, south-east Brazil. *Austral Ecology* 31, 623–633. 2006.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124:3-22, 2005.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V. 15N natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savanas (cerrado). *Ecological Applications*, v.14. p. 200-213, 2004.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MEDINA, E.; ASNER, G. P.; NARDOTO, G. B.; GARCIAMONTIEL, D. C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savanas. *Biogeochemistry*. 79: 209-237, 2006.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. S.; REZENDE, J. C. F.; TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian Journal of Biology*, v.72, p.655-671, 2012.
- CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. M.; ALVES, B. J. R.; MOREIRA, J. A. A.; LEAL, W. G. O.; COSTA, A. R.; CUNHA, M. B.; SILVA, J. H.; SOUZA, D. M.; MACHADO, P. L. O. A. Emissão de óxido nitroso na produção de feijoeiro comum irrigado cultivado em plantio direto em Latossolo de Cerrado. *Documentos IAC*, Campinas, 85, p.1099-1102. 2008.
- CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; BHERING, S. B. Relação entre atributos do terreno, material de origem e solos em uma área no noroeste do estado do Rio de Janeiro. *Sociedade & Natureza*. v. 25, p. 147-162, 2013.

- CHAPIN III, F.S.; MATSON, P.A.; VITOUSEK, P. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer Science & Business Media, 2011.
- CLERQ, T.; HEILING, M.; DERCON, G.; RESCH, C.; AIGNER, M.; MAYER, L.; MAO, Y.; ELSÉN, A.; STEIER, P.; LEIFELD, J.; MERCKX, R. Predicting soil organic matter stability in agricultural fields through carbon and nitrogen stable isotopes. *Soil Biology & Biochemistry* 88, p. 29-38. 2015.
- CONEN, F.; ZIMMERMANN, M.; LEIFELD, J.; SETH, B.; ALEWELL, C. Relative stability of soil carbon revealed by shifts in $\delta^{15}\text{N}$ and C:N ratio. *Biogeosciences*, 5, 123–128, 2008.
- CRAINE, J. M.; ELMORE, A. J.; WANG, L.; AUGUSTO, L. BAISDEN, W. T.; BROOKSHIRE, E. N. J.; CRAMER, M. D.; HASSELQUIST, N. J.; HOBBIE, E. A.; KAHMEN, A.; KOBAYASHI, K.; KRANABETTER, J. M.; MACK, M. C.; MARIN-SPIOTTA, E.; MAYOR, J. R.; MCLAUCHLAN, K. K.; MICHELSEN, A.; NARDOTO, G. B.; OLIVEIRA, R. S.; PERAKIS, S. S.; PERI, P. L.; QUESADA, C. A.; RICHTER, A.; SCHIPPER, L. A.; STEVENSON, B. A.; TURNER, B. L.; VIANI, R. A. G.; WANEK, W.; ZELLE, B. Convergence of soil nitrogen isotopes across global climate gradients. *Scientific Reports* 5 :8280. 8p. 2015a.
- CRAINE, J. M.; BROOKSHIRE, E. N. J.; CRAMER, M. D.; HASSELQUIST, N. J.; KOBAYASHI, K.; MARIN-SPIOTTA, E.; WANG, L. Ecological interpretations of nitrogen isotope ratios of terrestrial plants and soils. *Plant Soil. Marschner review*, 26 p. 2015b.
- D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, L. N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004.
- De GRYZE, S.; SIX, J.; BOSSUYT, H.; OOST, K. V.; MERCKX, R. The relationship between landform and the distribution of soil C, N and P under conventional and minimum tillage. *Geoderma*. v, 144. [s.n] p 180-188, 2008.
- DIAS, V. S., BROSSARD, M. & LOPES-ASSAD, M. L. Macrofauna edáfica invertebrada em áreas de vegetação nativa da região de cerrados. Pp. 168–173 *Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado*. 1996.
- EHLERINGER, J. R., BOWLING, D. R.; FLANAGAN L., FESSENDER J., HELLIKER B., MARTINELLI L. A., OMETTO J. P. H. B. Stable isotopes and carbon cycle in forests and grasslands. *Plant Biology* 4: 181-189, 2002.
- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Central Brazil. *Botanical Review*, New York, v. 38, p.01-341, 1972.
- EITEN, G. *Vegetação natural do Distrito Federal*. Brasília: SEBRAE, 162 p., 2001.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. rev. e atual. 212p. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. *Embrapa Cerrados*, 1198 p. Planaltina-DF, 2008.

FARQUHAR G. D.; EHLERINGER, R.; HUBICK, K. T. Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40: 503-537. 1989.

FELFILI J. M.; SILVA M. C.; REZENDE A. V.; MACHADO J. W. B.; WALTER B. M. T.; SILVA P. E. N.; HAY, J. D. Análise comparativa da florística e fitossociologia da vegetação arbórea do cerrado sensu stricto na Chapada Pratinha-DF. *Brasil. Acta Bot. Brasilica* 6: 27–84. 1992.

FRY, B. *Stable Isotope Ecology*. Springer Science. 308 p. 2006.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; MACHADO, D. L. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. *Ciência Florestal*, Santa Maria v. 25, n. 3, p.617-631. 2015.

GOEDERT, W. J. Management of the Cerrado soils of Brazil: a review. *Journal of Soil Science*, v.34, n. 3, p. 405-428, 1983.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Carbono, nitrogênio e abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em uma cronosequência de agricultura sob plantio direto no Cerrado goiano. *R. Bras. Ci. Solo*, 38:1135-1142, 2014.

HILTON, R. G. GALY, A.; WEST, A. J.; HOVIUS, N.; ROBERTS, G. G. Geomorphic control on the $\delta^{15}\text{N}$ of mountain forests. *Biogeosciences*, 10, 1693–1705. 2013.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; THOMAS, R.; VILELA, L.; LIMA, S. C.; ZECH, W. Effect of *Pinus caribaea* forests on the C, N, P and S status of Brazilian savanna Oxisols. *Forest Ecology and Management* 147, p.171-182. 2001.

LIMA, L. A. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L. Soil Mapping of a Small Watershed in a Brazilian Savanna Biome: A Semi-Automatic Approach. *Journal of Geographic Information System*, 6, 79-87, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; CUNHA DOS ANJOS, L. H. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesq. agropec. bras.* v.46, n.10, p.1269-1276, Brasília, 2011.

LUCE, M. S.; WHALEN, J. K.; ZIADI, N.; ZEBARTH, B. J.; CHANTIGNY, M. H. Labile organic nitrogen transformations in clay and sandy-loam soils amended with ^{15}N -labelled faba bean and wheat residues. *Soil Biology and Biochemistry* 68, 208–218. 2014.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. *Soil and Tillage Research*, v. 103, n. 2, p. 442-450, 2009.

MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, L. R.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. Editora Oficina de Textos. p.144. 2009.

MARTINS, E. S. REATTO, A.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; BLOISE, G. L. F.; CARDOSO, E. A. Domínios hidrogeológicos da margem direita do Córrego Divisa, Bacia do São Bartolomeu-DF, escala 1:10.000. *Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento*, 68, 17 p. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2002.

- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. Ecologia de Paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil. Documentos-CPAC. n. 121, 33 p. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2004
- MESSIAS, A.; REATTO, A.; COUTO JÚNIOR, A. F.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; SENA-SOUZA, J. P. Caracterização Geomorfológica da bacia experimental do Sarandi - DF, escala 1:25.000. In: Encontro de iniciação científica da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF. 2012.
- MIRANDA, S. D. C.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PALACE, M.; HAGEN, S.; KELLER, M.; FERREIRA, L. G. Regional Variations in Biomass Distribution in Brazilian Savanna Woodland, *Biotropica*, v. 46, n. 2, p. 125–138, 2014.
- MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JUNIOR, W.; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 37, n. 6, p. 869-878, jun. 2002.
- NARDOTO G. B. Abundância natural de $\delta^{15}\text{N}$ na Amazônia e Cerrado – implicações para ciclagem de nitrogênio. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP. 100 p. 2005.
- NARDOTO G. B.; BUSTAMANTE M. M. C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.* 38(8): 955–962. 2003.
- NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S.; KLINK, C. A. Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. *Journal of Tropical Ecology*, vol. 22, no. 2. 191-201. 2006.
- NEVES, G.; COUTO JUNIOR, A. F.; MARQUES, T. A.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; SENA-SOUZA, J. P. Avaliação da fragmentação da cobertura natural em uma bacia experimental no Cerrado. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... p. 3062-3067. Foz do Iguaçu, INPE, 2013.
- OSHER, L. J.; MATSON, P. A.; AMUNDSON, R. Effect of land use change on soil carbon in Hawaii. *Biogeochemistry* 65: 213–232, 2003.
- PARRON L. M. Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico em uma mata de galeria no Distrito Federal. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, 187 p. 2004.
- PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CAMARGO, P. B. Composição isotópica de carbono e nitrogênio em solos e plantas de uma Mata de Galeria: Efeito do gradiente topográfico. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 127, 24p. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF. 2004.
- PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MARKEWITZ, D. Fluxes of nitrogen and phosphorus in a gallery forest in the Cerrado of central Brazil. *Biogeochemistry* 105:89–104. 2011.
- PINHEIRO-ALVES, R.; COUTO JÚNIOR, A. F.; MARTINS, E. S.; NARDOTO, G. B. Role of soil carbon in the landscape functioning of the Alto São Bartolomeu watershed

in the Cerrado region, Brazil. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1241-1251, set. 2016.

PINTO, A.S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; KISSELLE, K.; BURKE, R.; ZEPP, R.; VIANA, L.T.; VARELLA, R.F.M.; MOLINA, M. Soil emissions of N₂O, NO, and CO₂ in Brazilian Savannas: Effects of vegetation type, seasonality, and prescribed fires. *J Geophys Res* 107:1–9, 2002.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de Carbono e Nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1125-1136, 2009.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.Rproject.org/>. 2015.

REATTO, A.; MARTINS, E. S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Mapa Pedológico Digital - SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. Documentos Embrapa Cerrados, 2004.

REZENDE, J. C. F. A ciclagem de nutrientes em áreas de Cerrado e a influência de queimadas controladas. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, Brasil. 2001.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In : SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. (Ed.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, Embrapa-CPAC, p. 87-166. 1998.

ROBINSON, D. $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycle. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 153-162. 2001.

SANTOS, I. L.; OLIVEIRA, A. D.; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; FERREIRA, E. A. B.; SÁ, M. A. C.; CARVALHO, A. M. Soil N₂O emissions from long-term groecosystems: Interactive effects of rainfall seasonality and crop rotation in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 233, p.211-220. 2016.

SCHUMACHER, B. A. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. United States - Environmental Protection Agency, 2002. Disponível em <<http://www.epa.gov/esd/cmb/research/papers/bs116.pdf>> Acesso em 10 maio de 2016.

SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A.; VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P.; REIS, A. M.; SILVA, V. P. Utilização de variáveis morfométricas para a subdivisão de bacia hidrográfica no Cerrado. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... p. 3062-3067. Foz do Iguaçu, INPE, 2013.

SILVA JUNIOR, J. F.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T. Simulação geoestatística na caracterização espacial de óxidos de ferro em diferentes pedofomas. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1690-1703. 2012.

SMITH, J. G.; ELDRIDGE, D. J.; THROOP, H. L. Landform and vegetation patch type moderate the effects of grazing-induced disturbance on carbon and nitrogen pools in a semi-arid woodland. *Plant Soil*, 2012.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*. v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004.

SUGIHARA, S.; SHIBATA, M.; ZE, A. D. V.; ARAKI, S.; FUNAKAWA, S. Effect of vegetation on soil C, N, P and other minerals in Oxisols at the forest-savanna transition zone of central Africa. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60, p.45 –59, 2014.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.175-180, 1994.

VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; DAWSON, T. E.; OLIVEIRA, R. S. Savanna soil fertility limits growth but not survival of tropical forest tree seedlings. *Plant Soil* 349:341–353. 2011a.

VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; DAWSON, T. E.; OLIVEIRA, R. S. Functional differences between woodland savannas and seasonally dry forests from south-eastern Brazil: Evidence from ¹⁵N natural abundance studies. *Austral Ecology* 36, 974–982. 2011b.

WANG, Y. Q.; ZHANG, X. C.; ZHANG J. L.; LI, S. J. Spatial Variability of Soil Organic Carbon in a Watershed on the Loess Plateau. *Pedosphere* 19(4): 486–495, 2009.

WEINTRAUB, S. R.; TAYLOR, P G.; PORDER, S.; CLEVELAND, C. C.; ASNER, G. P.; TOWNSEND, A. R. Topographic controls on soil nitrogen availability in a lowland tropical forest. *Ecology*, 96(6), pp. 1561–1574. 2015.

Capítulo 2

Comparação do $\delta^{13}\text{C}$ e do $\delta^{15}\text{N}$ do solo entre diferentes usos da terra ao longo de uma catena na região de Cerrado no Brasil Central

Resumo

As mudanças no uso da terra contribuem para a alteração na dinâmica de matéria orgânica no solo, porém a localização das áreas modificadas na paisagem pode intensificar essas alterações. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as diferenças na dinâmica da matéria orgânica do solo entre áreas nativas e cultivadas, por meio de razões isotópicas de carbono (C) e nitrogênio (N), ao longo de uma em uma catena no Planalto Central brasileiro. Os resultados mostraram que na baixada há uma redução no estoque de carbono nas áreas com mucuna em Latossolo Vermelho (McLV), plantio direto de milho em Latossolo Vermelho (PdLV) e plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho (PcLV) em relação à área de cerrado em Latossolo Vermelho (CrdLV). Na baixada também houve redução do estoque de nitrogênio com a substituição do CrdLV por PcLV, que obteve o menor estoque de N no solo. Além disso, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ em CrdLV é menor que em outras coberturas em todos os intervalos de profundidade, enquanto a McLV foi diferente dos outros tipos de uso e cobertura até 20 cm de profundidade. Em relação ao $\delta^{15}\text{N}$ não houve diferença entre razões isotópicas nos diferentes usos da terra na chapada e na frente de recuo ao longo de todo perfil de solo. Na baixada, foram encontradas diferenças entre CrdLV, braquiária em Latossolo Vermelho (BrLV) e PdLV até 10 cm de profundidade. Sendo assim, as mudanças no uso da terra alteram a dinâmica de carbono e nitrogênio nas camadas mais superficiais do solo, mas essas mudanças ocorreram apenas na baixada, o que indica que o tipo de solo e, conseqüentemente, a posição na paisagem influenciam a intensidade dessas mudanças na dinâmica de C e N.

Palavras-chave: Isótopos estáveis, Cerrado, matéria orgânica, manejo do solo

Abstract

Land use changes contribute to variations in the dynamics of organic matter in the soil, but the location of the modified areas in the landscape can intensify these changes. Therefore, the aim of this work was to evaluate the differences in soil organic matter dynamics between native and managed areas, using carbon (C) and nitrogen (N) isotopic ratios, along a catena in the Cerrado region of the Central Brazil. The results showed that in the lowland there is a reduction in the carbon stock in the areas with mucuna on Rhodic Hapludox (McLV), no-tillage of corn on Rhodic Hapludox (PdLV) and conventional corn planting on Rhodic Hapludox (PcLV) in relation to the area CrdLV. In the lowland, there was also a reduction of the nitrogen stock with the substitution of CrdLV for PcLV, which obtained the lowest N stock in the soil. In addition, the $\delta^{13}\text{C}$ values are lower in CrdLV than in other covers at all depth intervals, while McLV was different from other types of use and coverage up to 10 cm depth. In relation to $\delta^{15}\text{N}$ there was no difference between isotopic ratios in the different land uses in the plateau and in the recoil front along all soil profile. In the lowland, differences were found between CrdLV, brachiaria on Rhodic Hapludox (BrLV) and PdLV up to 20 cm in depth. Changes in land use alter the dynamics of carbon and nitrogen in the more superficial layers of the soil, but these changes occurred mainly in the areas with higher land use intensity in the lowland, which indicates that the soil type and, consequently, the position in the landscape influence the intensity of these changes for dynamics of C and N.

Keywords: Stable isotopes, Brazilian savannas, soil organic matter, soil management, land uses

Introdução

Mudanças no uso da terra implicam alterações na ciclagem de nutrientes, assim como no estoque de carbono (C) na biomassa aérea e na matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, o funcionamento dos ecossistemas. De acordo com Fitzsimmons et al. (2003), depois da queima de carvão, petróleo e seus derivados, a mudança de uso da terra é a maior fonte de emissão de carbono antropogênico para a atmosfera. Mudanças no uso da terra também alteram a dinâmica de nitrogênio (N), elevando o teor de nitrato no solo e provocando elevadas perdas de N₂O para a atmosfera (Dalal et al. 2013, Vitousek et al. 1997).

A mudança no uso e cobertura do solo tem uma relação direta com a perda de biodiversidade, principalmente nas regiões com alto nível de endemismo e rápida perda de habitats, consideradas os hotspots globais de biodiversidade (Myers et al. 2000). O Brasil possui uma das maiores biodiversidades do planeta, englobando inclusive dois hotspots: Mata Atlântica e Cerrado. O Cerrado ocupa cerca de dois milhões de km² da região central do país e é considerada a savana mais biodiversa do planeta. Porém a inserção de grandes culturas e o uso intensivo de máquinas agrícolas, dentre outros motivos, faz com que esse bioma venha sofrendo grandes perdas de sua biodiversidade (Bustamante et al. 2012), especialmente na porção sul do bioma (Sano et al. 2009). As diferenças entre culturas e tipos de uso do solo associados à variação das condições microclimáticas podem gerar diferenças nas taxas de decomposição da matéria orgânica e na velocidade nas reações químicas em ocorrência no solo, conduzindo a diferentes teores de carbono orgânico no solo (Loss et al. 2010, Marchão et al. 2009) e diferentes concentrações de nitrogênio, com a modificação das taxas de mineralização e imobilização (Bustamante et al. 2006). Apesar de todas essas informações, ainda existe uma necessidade de compreender a dinâmica da matéria orgânica do solo frente às mudanças no uso da terra (Arora & Boer 2010).

Existem diversas ferramentas que podem contribuir para a compreensão da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) nos ecossistemas, como o uso de aspectos geomorfológicos, de posição na paisagem e formas da superfície, que influenciam as propriedades do solo e, por consequência, a distribuição espacial do carbono e do nitrogênio. Alguns autores já observaram uma relação entre os aspectos geomorfológicos

e a distribuição de carbono (Gregorich et al. 1998) e nitrogênio no solo (Weintraub et al. 2015), sendo que as mudanças no uso da terra podem condicionar a matéria orgânica a comportamentos diferentes de acordo com a posição na paisagem e as características do solo onde ocorrem, já que existem diferenças nas formas de decomposição da matéria orgânica em posições distintas no relevo (Berhe 2012).

As diferenças geradas pelas mudanças do uso da terra podem ocorrer por meio do aumento ou da redução dos estoques de C e N (Corazza et al. 1999), que variam com a intensidade das mudanças e o manejo aplicado em cada área (Don et al. 2011), e também com as mudanças na dinâmica de carbono e nitrogênio nos ecossistemas (Bustamante et al. 2012). É importante considerar o funcionamento dos ecossistemas frente à essas mudanças, por isso a utilização da metodologia isotópica passa a ser crescente em estudos ecológicos (Amundson et al. 2003, Ehleringer et al. 2002, Fry 2006).

Através do uso de isótopos estáveis de carbono é possível avaliar as influências das mudanças no uso da terra, além de ter possibilidades de fornecer informações indiretas sobre a produtividade primária (Osher et al. 2003). Considerando que a origem do carbono no solo apresenta assinatura isotópica específica, que reflete o tipo de fotossíntese empregado pelo conjunto de plantas num determinado local, os solos apresentam assinaturas específicas de acordo com sua cobertura vegetal. As plantas C3 variam entre -36‰ e -24‰, enquanto as do tipo C4 varia entre -13‰ e -11‰ (Farquhar et al. 1989). Dessa forma, esta metodologia pode estimar a taxa de incorporação do carbono proveniente da decomposição da serapilheira de diferentes usos da terra (Assad et al. 2013), já que valores intermediários, que estão entre a amplitude típica de C3 ou C4, refletem uma mistura de materiais com diferentes processos fotossintéticos.

Por ter caráter integrador (Robinson 2001), os isótopos estáveis de nitrogênio podem indicar como as mudanças no uso do solo afetam a ciclagem desse elemento no solo e, conseqüentemente, em todo o ecossistema, já que os compartimentos com maior $\delta^{15}\text{N}$ podem indicar maiores taxas de transformação e perdas de nitrogênio para a atmosfera, devido a maior facilidade em perder os isótopos mais leves e manter os mais pesados (Fry 2006).

Avaliar os efeitos das mudanças no uso da terra utilizando os isótopos estáveis como ferramenta são importantes para compreensão da dinâmica da matéria orgânica nos agroecossistemas (Dalal et al. 2013, Mudge et al. 2012) e, por conseqüência, pode

subsidiar uma gestão adequada dos ecossistemas, assim como é fundamental considerar as diferentes posições na paisagem e tipos de solo que a compõem, já que são determinantes para estrutura e funcionamento dos ecossistemas (Arruda et al. 2015).

Objetivo

Avaliar as diferenças na dinâmica da matéria orgânica do solo entre áreas nativas e cultivadas localizadas numa mesma posição na paisagem, por meio das razões isotópicas de carbono (C) e nitrogênio (N), ao longo de uma catena no Planalto Central brasileiro.

Hipóteses

i) As razões isotópicas de carbono do solo na camada superficial entre 0-20 cm refletem a intensidade do manejo, uma vez que a maioria do carbono presente nas camadas mais profundas é oriundo do tipo anterior de uso do solo (vegetação natural).

ii) Os solos cultivados com culturas anuais possuem maior $\delta^{15}\text{N}$ que a pastagem, que por sua vez tem maiores valores que as áreas naturais, devido à intensificação dos processos de decomposição.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo compreende a bacia experimental do Córrego do Sarandi, cuja nascente localiza-se na área da Embrapa Cerrados, em Planaltina, no Distrito Federal, dentro da ecorregião do Planalto Central (Figura 2.1). O clima predominante é Aw (Köppen), sendo observadas duas estações bem definidas. As chuvas mostram-se concentradas entre novembro e janeiro e a estiagem entre julho e agosto. A precipitação anual é superior a 1.500 mm, com temperatura variando entre 13 °C a 28 °C.

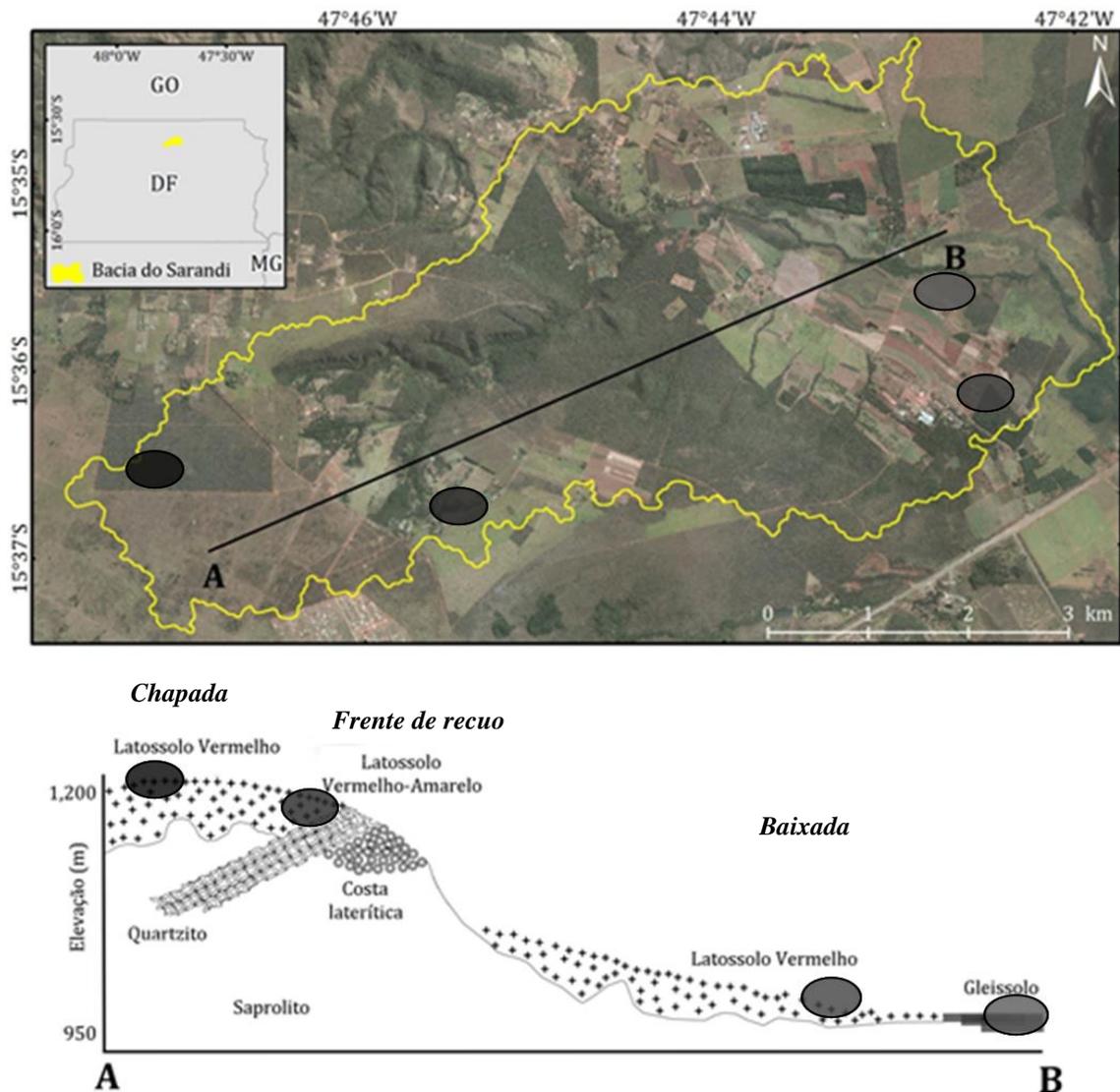


Figura 2.1: Localização da catena e dos pontos de coleta na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil.

O córrego Sarandi deságua no Ribeirão Mestre d'Armas que é um dos mais importantes afluentes do rio São Bartolomeu, o qual tem significativa contribuição para formação da Bacia do Rio Paraná (Martins et al. 2002). A bacia experimental do córrego Sarandi está localizada no Alto São Bartolomeu (Sena-Souza et al. 2013). O solo predominante é o Latossolo, com presença de Cambissolo e Solo Hidromórfico, com características que variam de acordo com o tipo de relevo onde cada um está inserido.

A geologia da região é formada principalmente por rochas metassedimentares do Grupo Paranoá (Sena-Souza et al. 2013). A bacia apresenta as duas superfícies de aplainamento representativas do Planalto Central relacionadas aos ciclos Sul-Americano, formadas por chapadas, e Velhas, relacionadas com as baixadas. Nas chapadas ocorrem

solos muito antigos e intemperizados, ricos em gibbsita. Nas baixadas ocorrem solos mais jovens e menos intemperizados, ricos em caulinita (Reatto et al. 2004). As chapadas ocorrem em relevos planos e com predomínio das formas retilíneas e convexas, com altitudes que variam de 1100 e 1200 m. As baixadas ocorrem em relevos planos e com predomínio de formas retilíneas e côncavas, com altitudes que variam de 800 e 900 m. Entre as chapadas e baixadas ocorre uma ruptura de relevo definida por frentes de recuo erosivo (Messias et al. 2013).

O solo predominante é o Latossolo, com presença de Cambissolo e Solo Hidromórfico, com características que variam de acordo com o tipo de relevo onde cada um está inserido (Figura 2.2). Os solos presentes na bacia estão organizados em função de sua posição na paisagem: nas Chapadas, Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho Amarelos, Latossolos Amarelos e pequenas porções de Gleissolos Melânicos; nas Frentes de Recuo Erosivo, Cambissolos Háplicos e Plintossolos Pétricos; nas Rampas de Colúvio, Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho Amarelos, Latossolos Vermelhos, Plintossolos Háplicos e Gleissolos Háplicos, (Lima et al. 2014).

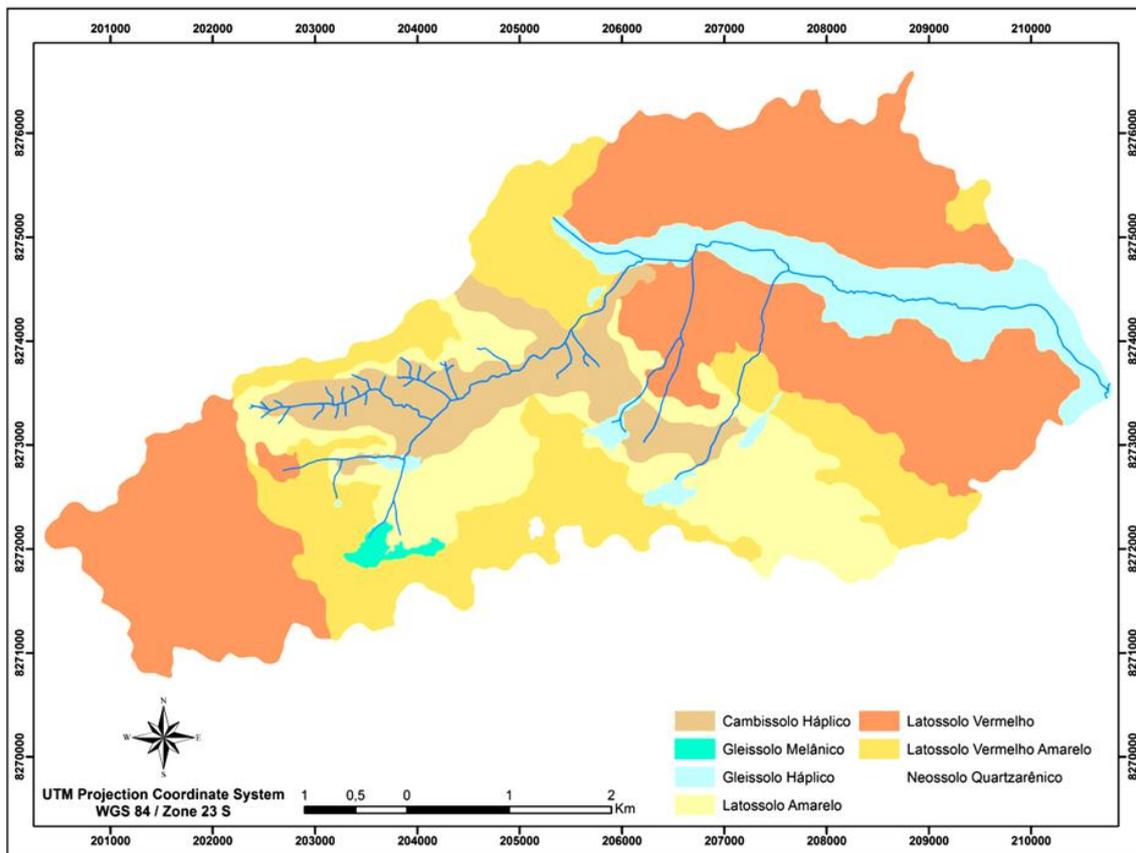


Figura 2.2: Mapa de solos da bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil (Lima et al. 2014).

A bacia possui 55% de cobertura antrópica, 44,7% cobertura natural e 0,3% de corpos d'água. A maior parte da área antropizada é ocupada por pastagem (28,7%) e agricultura (21,3%). Dentre as áreas naturais, predomina a fisionomia savânica com 27%, a formação florestal corresponde 7,4% e a campestre 8% do total da bacia (Neves et al. 2013).

Coletas e análises de solo

As coletas de solo foram realizadas entre julho e setembro de 2012. Foram selecionadas quatro áreas naturais, duas pastagens e seis áreas agrícolas, sendo estas divididas em plantio direto e plantio convencional. C_{ss}LV: Cerrado sensu stricto em Latossolo Vermelho; P_{st}LV: Pastagem em Latossolo Vermelho; C_{ss}LVA: Cerrado sensu stricto em Latossolo Vermelho Amarelo; P_dLVA: Plantio direto em Latossolo Vermelho Amarelo, com cobertura atual de milho; P_cLVA: Plantio convencional em Latossolo Vermelho Amarelo, com cobertura atual de milho; C_{rd}LV: Cerradão em Latossolo Vermelho; P_dLV: Plantio direto em Latossolo Vermelho, com cobertura atual de milho;

PcLV: Plantio convencional em Latossolo Vermelho, com cobertura atual de milho;
 McLV: Mucuna (*Mucuna pruriens*) em Latossolo Vermelho; BrLVd: Braquiária (*brachiaria*) em Latossolo Vermelho. Esses pontos estão ordenados de acordo com sua posição ao longo da catena (Tabela 2.1)

Tabela 2.1: Características das áreas de coleta numa catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil.

Sigla	Posição na paisagem	Cobertura atual	Tipo de solo	Coordenadas	
CssLV	Chapada	Cerrado <i>sensu stricto</i>	Latossolo Vermelho	-15,607	-47,782
PstLV	Chapada	Pastagem abandonada	Latossolo Vermelho	-15,613	-47,780
CssLVA	Frente de recuo	Cerrado <i>sensu stricto</i>	Latossolo Vermelho-Amarelo	-15,611	-47,745
PdLVA	Frente de recuo	Plantio direto	Latossolo Vermelho-Amarelo	-15,608	-47,742
PcLVA	Frente de recuo	Plantio convencional	Latossolo Vermelho-Amarelo	-15,609	-47,743
CrdLV	Baixada	Cerradão	Latossolo Vermelho	-15,605	-47,707
PdLV	Baixada	Plantio direto	Latossolo Vermelho	-15,605	-47,705
PcLV	Baixada	Plantio convencional	Latossolo Vermelho	-15,606	-47,706
McLV	Baixada	Mucuna	Latossolo Vermelho	-15,604	-47,708
BrLV	Baixada	Braquiária	Latossolo Vermelho	-15,593	-47,705

CssLV: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CssLVA: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; PDLVA: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; PcLVA: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; CrdLV: Cerradão em Latossolo Vermelho; PdLV: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho; PcLV: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho; McLV: Mucuna em Latossolo Vermelho; BrLVd: Braquiária em Latossolo Vermelho.

A escolha dos pontos de coleta foi baseada na topossequência da bacia do córrego Sarandi, com o intuito de comparar áreas com características semelhantes em relação ao relevo e ao tipo de solo, mas com diferentes usos da terra (Figura 2.1). Na chapada, a área de pastagem está abandonada há 20 anos, depois de um uso intensivo de pastejo. Na frente de recuo, tem sido usado um sistema de rotação de culturas com milho e soja há cerca de 25 anos, sem preparação do solo entre as culturas, num sistema de plantio direto (PdLVA) e com preparação do solo com aração e gradagem niveladora, plantio convencional (PcLVA). Na baixada, o plantio convencional também passou pela preparação do solo com aração e gradagem niveladora (PcLV) enquanto o solo no plantio direto (PdLV) não passou por essa preparação. O esquema de cultivo envolveu uma rotação anual de milho e soja, tendo-se, anualmente, o milho como planta de cobertura e possui cerca de 15 anos. A mucuna (McLV) foi usada como planta de cobertura após rotação de culturas

entre soja e milho, enquanto a braquiária (BrLV), também utilizada como planta de cobertura, é fertilizada com nitrogênio.

Em cada área foram coletadas três amostras de perfil de solo em oito intervalos de profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm). As coletas de solo foram feitas utilizando um trado de tipo japonês para amostras indeformadas e um trado de tipo holandês para amostras deformadas. As amostras de solo deformadas foram deixadas em local ventilado e seco até completa dessecação ao ar. Depois foram destorroadas manualmente com um rolo de madeira até os torrões maiores serem desfeitos. Em seguida as amostras de solo foram destorroadas em peneira com malha de 2 mm. Posteriormente, foram realizadas as análises físicas e químicas e de fertilidade. A textura foi calculada por meio do método da pipeta para solos normais, descrito pela Embrapa (1997), a acidez ativa foi calculada por pH em H₂O; foi calculada a capacidade de troca catiônica (CTC), o fósforo (P) por extrator Mehlich⁻¹ e o potássio (K) também pelo Extrator Mehlich⁻¹. Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) foram determinados por extrator KCl⁻¹ mol/L. Foram apresentados apenas valores de 0 a 20 cm de profundidade devido à não detecção de alguns elementos nas camadas mais profundas.

As concentrações de carbono e nitrogênio foram analisadas por meio de um analisador elementar, onde as amostras de solo secas foram moídas e pesadas sub-amostras entre 20 e 100 mg e acondicionadas em cápsulas de alumínio. Essas cápsulas foram colocadas num analisador elementar, que determina a concentração de carbono e nitrogênio, permitindo o cálculo da razão C/N, através da divisão entre as duas concentrações. As assinaturas isotópicas do N ($\delta^{15}\text{N}$) e do C ($\delta^{13}\text{C}$) foram fornecidas por um espectrômetro de massas para razões isotópicas (Thermo Quest-Finnigan Delta Plus), acoplado ao analisador elementar. O $\delta^{15}\text{N}$ e o $\delta^{13}\text{C}$ expressam a proporção de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ e $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ na amostra (R amostra), relativamente ao padrão internacional, a composição isotópica do N da atmosfera e do C de Pee dee Belamite (PDB; rocha calcária da região do Grant Canyon, EUA), em desvios por mil (‰): $\delta = (R \text{ amostra}/R \text{ padrão} - 1) \times 1000$. Estas análises foram realizadas no laboratório de Ecologia Isotópica, CENA/USP.

Os estoques de C e N foram calculados até 40 cm de profundidade por conta da influência das mudanças no uso da terra na camada mais superficial do solo. Os estoques de C de cada uma das camadas, são calculados pela expressão de Veldkamp (1994) -

Equação 2.1 utilizando as concentrações calculadas por meio do analisador elementar. Os estoques de N foram calculados de forma similar.

$$\text{Estoque C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) / 10 \quad \text{Eq.2.1}$$

Onde:

Estoque C = estoque de C orgânico em determinada profundidade ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

CO = concentração de C orgânico total na profundidade amostrada ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Ds = densidade do solo da profundidade ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$)

e = espessura da camada considerada (cm)

O estoque total, considerando todos os intervalos foram calculados de modo similar ao usado por Assad et al. (2013), que considera a diferença entre a massa da área de referência e a massa de áreas cultivadas para cada camada do solo.

Tanto os dados de isótopos quanto os de estoque de carbono e nitrogênio passaram pelo teste de normalidade Shapiro-Wilk. Após confirmar a normalidade dos dados de isótopos, foi utilizada a análise de variância ANOVA de medidas repetidas seguido do teste Tukey, que avaliou a significância das diferenças encontradas entre os diferentes intervalos de profundidade do solo e os tipos de cobertura da terra. Para os estoques de carbono e nitrogênio até 40 cm de profundidade foram aplicados os testes de Mann Whitney na chapada e Kruskal Wallis na frente de recuo e na baixada. Os dados foram apresentados com valores de média \pm desvio padrão com intuito de padronizar as figuras. As análises estatísticas foram feitas usando o programa estatístico R (R Core Team 2015). Foi aplicada uma regressão linear para os dados de razão C/N e de $\delta^{15}\text{N}$, também no programa R. Em todas as análises aplicadas as diferenças até 5% foram consideradas significativas.

Resultados

Os solos apresentaram textura muito argilosa em C_{ss}LV, P_{st}LV e C_{ss}LVA e textura argilosa em todas as outras áreas de estudo, segundo a classificação da Embrapa (Tabela 2.2).

Tabela 2.2: Teores de argila, silte e areia e textura do solo (média±dp) até 20 cm de profundidade sob diferentes usos da terra numa catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil.

Cobertura do solo	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Textura ¹
CssLV	67,3±2,8	13,1±2,8	19,6±3,7	Muito argilosa
PstLV	67,3±3,7	12,8±3,9	19,9±5,6	Muito argilosa
CssLVA	64,7±5,4	12,5±4,9	22,8±3,0	Muito argilosa
PdLVA	47,0±8,5	21,8±5,9	31,2±4,1	Argilosa
PcLVA	57,7±2,7	10,7±2,3	31,7±4,4	Argilosa
CrdLV	55,7±5,5	13,4±5,1	30,9±4,9	Argilosa
PdLV	50,9±3,4	7,9±2,9	41,2±3,6	Argilosa
PcLV	54,8±2,9	6,6±3,1	38,7±3,8	Argilosa
McLV	52,3±2,8	7,3±3,4	40,3±2,7	Argilosa
BrLV	60,0±2,9	8,8±1,6	31,2±1,9	Argilosa

¹Classificação segundo Embrapa. CssLV: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CssLVA: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; PDLVA: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; PcLVA: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; CrdLV: Cerradão em Latossolo Vermelho; PdLV: Plantio direto de milheto em Latossolo Vermelho; PcLV: Plantio convencional de milheto em Latossolo Vermelho; McLV: Mucuna em Latossolo Vermelho; BrLVd: Braquiária em Latossolo Vermelho.

O pH variou entre 4,7 em CrdLV e 5,7 no PdLVA. Os teores de P, Al, CTC e MOS foram maiores em CrdLV, enquanto os valores mais elevados de P, Ca e K foram encontrados nas áreas de plantio (Tabela 2.3).

Tabela 2.3: Características químicas do solo (média±dp) até 20 cm de profundidade sob diferentes usos da terra numa catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil.

Cobertura do solo	pH H ₂ O	P (Mg dm ⁻³)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg (cmol _c dm ⁻³)	K (cmol _c dm ⁻³)	Al (cmol _c dm ⁻³)	CTC (cmol _c dm ⁻³)	MOS (%)
CssLV	5,2±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,0	0,1±0,0	0,32±0,21	5,9±1,0	3,4±0,6
PstLV	5,0±0,1	0,2±0,4	0,2±0,2	0,1±0,0	0,0±0,0	0,28±0,11	5,4±0,6	2,6±0,3
CssLVA	5,1±0,1	0,7±0,3	0,2±0,2	0,1±0,1	0,1±0,0	0,58±0,33	6,7±1,4	3,2±0,9
PdLVA	5,9±0,4	11,6±10,2	2,7±1,2	0,1±0,4	0,2±0,1	0,02±0,06	7,5±0,8	3,1±0,6
PcLVA	5,7±0,2	13,5±6,5	1,7±0,4	0,4±0,1	0,2±0,1	0,02±0,06	6,3±1,3	2,6±0,6
CrdLV	4,7±0,2	1,9±1,3	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	2,99±0,82	13,3±4,6	5,2±2,0
PdLV	5,1±0,2	10,8±6,3	1,7±0,9	0,7±0,3	0,1±0,1	0,52±0,43	8,3±0,9	3,4±0,9
PcLV	5,1±0,2	16,8±20,5	1,8±0,7	0,6±0,2	0,1±0,0	0,34±0,25	8,2±1,3	3,32±0,8
McLV	4,9±0,2	25,9±22,8	2,2±0,9	0,4±0,2	0,2±0,1	0,68±0,35	9,9±1,4	3,4±0,71
BrLV	5,4±0,4	19,3±13,2	2,4±1,0	0,4±0,2	0,3±0,2	0,21±0,30	8,5±1,8	3,2±0,02

pH em H₂O, fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica do solo (MOS). CssLV: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CssLVA: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; PDLVA: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; PcLVA: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; CrdLV: Cerradão em Latossolo Vermelho; PdLV: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho; PcLV: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho; McLV: Mucuna em Latossolo Vermelho; BrLVd: Braquiária em Latossolo Vermelho.

Os estoques de carbono no solo até 40 cm de profundidade não apresentaram diferença significativa entre a área natural e a pastagem na chapada. Na frente de recuo também não houve diferença, enquanto na baixada há uma redução no estoque de carbono nas áreas com McLV, PdLV e PcLV ($p \leq 0,05$) em relação à área de CrdLV (Figura 2.3).

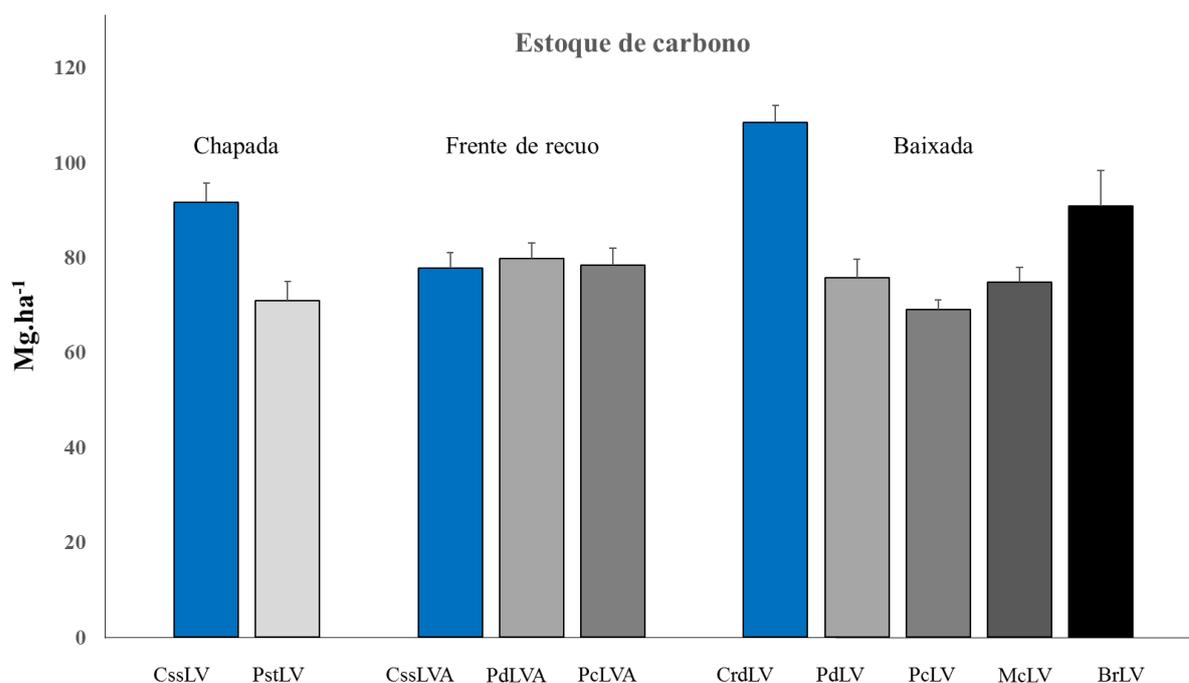


Figura 2.3: Estoque de carbono (média±dp) até 40 cm de solo, calculados através de analisador elementar em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. CcssLV: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CcssLVA: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; PdLVA: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; PcLVA: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; CrdLV: Cerradão em Latossolo Vermelho; PdLV: Plantio direto de milheto em Latossolo Vermelho; PcLV: Plantio convencional de milheto em Latossolo Vermelho; McLV: Mucuna em Latossolo Vermelho; BrLVd: Braquiária em Latossolo Vermelho.

Os estoques de nitrogênio no solo até 40 cm de profundidade não apresentaram diferença significativa entre a área natural e a pastagem na chapada. Na frente de recuo também não houve diferença entre a área de cerrado *sensu stricto* e as áreas de plantio convencional e direto. Na baixada houve redução do estoque de nitrogênio com a substituição do CrdLV por PcLV ($p \leq 0,05$), que obteve o menor estoque de N no solo (Figura 2.4).

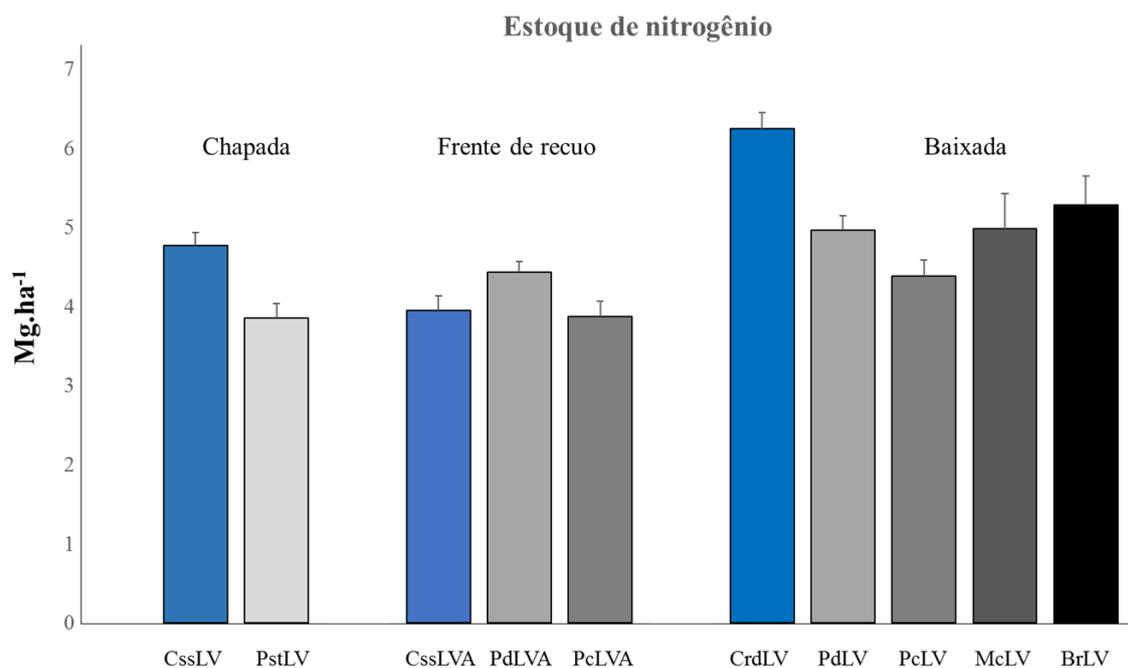


Figura 2.4: Estoque de nitrogênio (média±dp) até 40 cm de solo, em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. CsslV: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CsslVA: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; PdLVA: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho; PcLVA: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; CrdLV: Cerradão em Latossolo Vermelho; PdLV: Plantio direto de milheto em Latossolo Vermelho; PcLV: Plantio convencional de milheto em Latossolo Vermelho; McLV: Mucuna em Latossolo Vermelho; BrLVd: Braquiária em Latossolo Vermelho.

As razões isotópicas de C variaram entre -27,1‰ em CrdLV e -16,5‰ em BrLV até 5 cm de profundidade e entre -23,4‰ em CrdLV e -19,1‰ em BrLV entre 80 e 100 cm de profundidade. Não houve diferença entre razões isotópicas nos diferentes usos da terra na chapada e na frente de recuo ao longo de todo perfil de solo. Na baixada, o CrdLV possui menor valor de $\delta^{13}\text{C}$ que as outras coberturas em todos os intervalos de profundidade ($p \leq 0,05$). A McLV foi diferente dos outros tipos de uso e cobertura até 10 cm de profundidade ($p \leq 0,05$). (Figura 2.5).

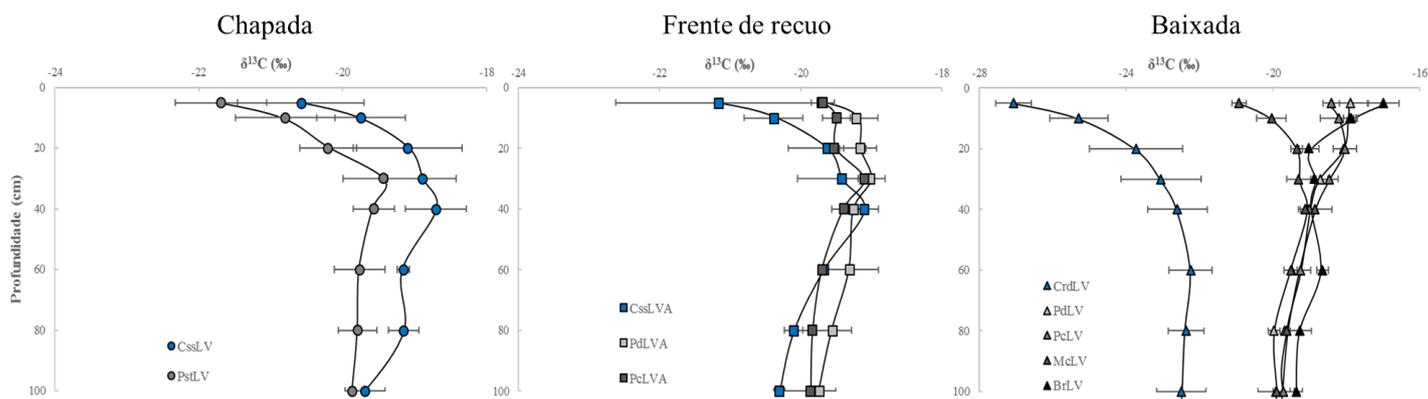


Figura 2.5: $\delta^{13}\text{C}$ do solo (média \pm dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. ● CrrLV: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; ● PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; ■ CrrLVA: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; ■ PDLVA: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho; ■ PcLVA: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; ▲ CrrDLV: Cerradão em Latossolo Vermelho; ▲ PdLV: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho; ▲ PcLV: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho; ▲ McLV: Mucuna em Latossolo Vermelho; ▲ BrLVd: Braquiária em Latossolo Vermelho.

As razões isotópicas de N variaram entre 2,1‰ em CrrDLV e 9,1‰ em CrrLVA na camada superficial do solo e entre 8,6‰ e 11,1‰ em CrrDLV e CrrLVA, respectivamente. Não houve diferença entre razões isotópicas nos diferentes usos da terra na chapada e na frente de recuo ao longo de todo perfil de solo. Na baixada, foram encontradas diferenças entre CrrDLV, BrLVd e PdLV até 20 cm de profundidade ($p \leq 0,05$). (Figura 2.6).

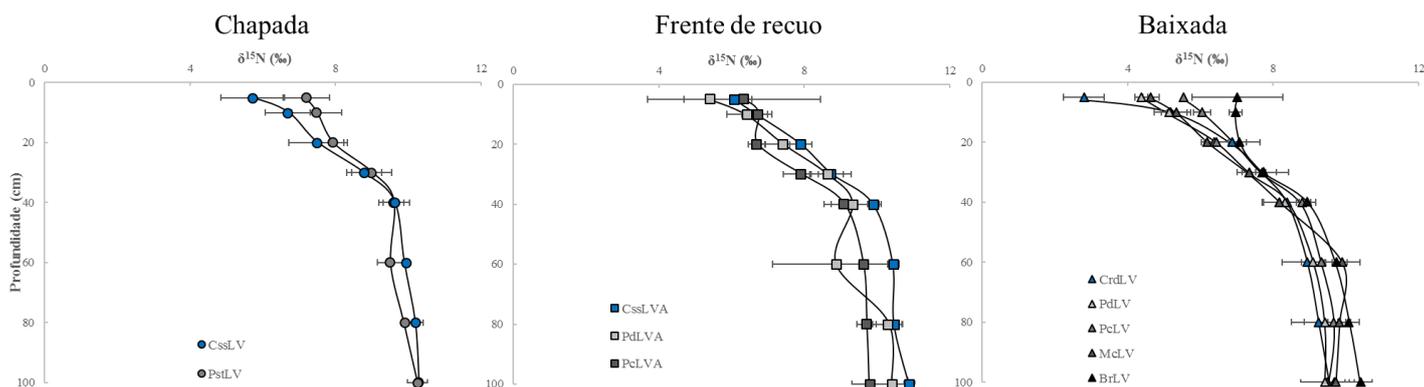


Figura 2.6: $\delta^{15}\text{N}$ do solo (média \pm dp) nos perfis de solo até 100 cm de profundidade em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada numa catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. ● CsslV: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; ● PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; ■ CsslVA: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; ■ PdLVA: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho; ■ PcLVA: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; ▲ CrdLV: Cerradão em Latossolo Vermelho; ▲ PdLV: Plantio direto de milheto em Latossolo Vermelho; ▲ PcLV: Plantio convencional de milheto em Latossolo Vermelho; ▲ McLV: Mucuna em Latossolo Vermelho; ▲ BrLVd: Braquiária em Latossolo Vermelho.

A regressão entre os valores de razão C/N e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo na chapada apresentaram R^2 de -0,08 em CsslV e 0,03 em PstLV, sem relação significativa em ambas as áreas. Na frente de recuo o R^2 foi de 0,009 em CsslVA, 0,70 em PdLVA e -0,10 em PcLVA, sendo que apenas em PdLVA se encontrou uma relação significativa ($p \leq 0,05$). Já na baixada a regressão entre os valores de razão C/N e o $\delta^{15}\text{N}$ obtiveram R^2 de 0,69 em CrdLV, 0,89 em PdLV, 0,59 em PcLV, 0,83 em McLV e -0,14 em BrLV. Na baixada houve relação significativa em todos os usos da terra, exceto em BrLV ($p \leq 0,05$). (Figura 2.7).

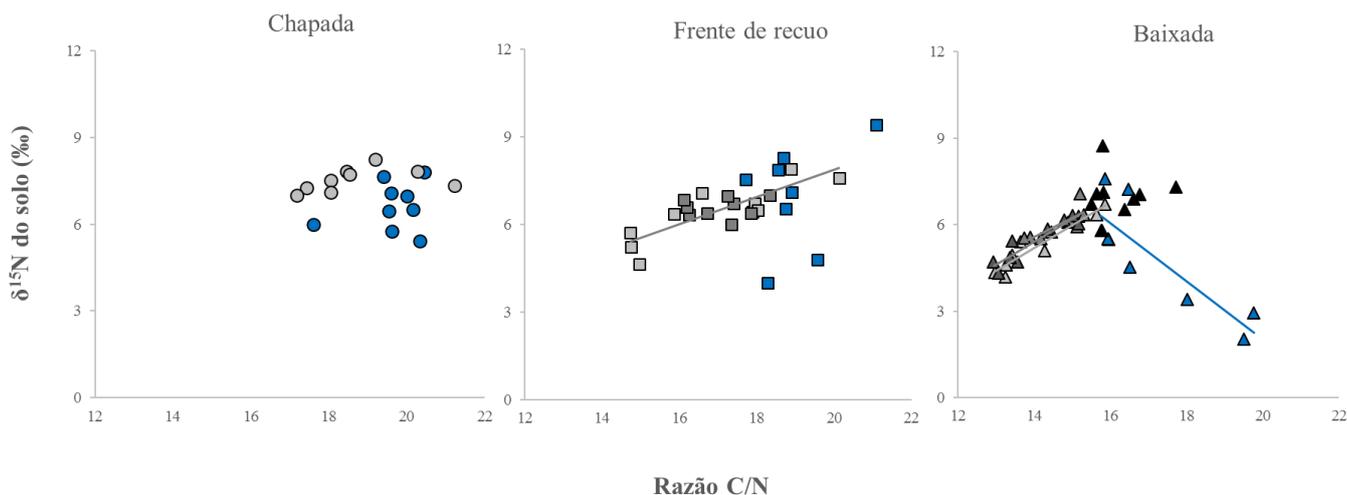


Figura 2.7: Regressão entre o $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N do solo do solo até 20 cm de profundidade em diferentes usos da terra na chapada, frente de recuo erosivo e baixada numa catena na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil. ● CssLV: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; ● PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; ■ CssLVA: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; ■ PDLVA: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho; ■ PcLVA: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; ▲ CrdLV: Cerradão em Latossolo Vermelho; ▲ PdLV: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho; ▲ PcLV: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho; ▲ McLV: Mucuna em Latossolo Vermelho; ▲ BrLVd: Braquiária em Latossolo Vermelho.

Na chapada a discriminação isotópica (Δ), que é a diferença entre o $\delta^{13}\text{C}$ ou o $\delta^{15}\text{N}$ do solo superficial e do solo mais profundo é maior em PstLV, enquanto o $\Delta^{15}\text{N}$ é maior em CssLV. Na frente de recuo, CssLVA e PcLVA têm valores similares de $\Delta^{13}\text{C}$ e são maiores que os valores encontrados em PcLVA; não houve diferença para $\Delta^{15}\text{N}$. Já na chapada, a BrLV apresentou a maior variação e a McLV a menor, tanto para isótopos de C quanto para isótopos de N (Tabela 2.4).

Tabela 2.4: Discriminação isotópica (Δ) de ^{13}C e ^{15}N do solo (média \pm dp) sob diferentes usos do solo na bacia do córrego Sarandi, ao norte do Distrito Federal, Brasil.

	Chapada		Frente de recuo		Baixada			
	$\Delta^{13}\text{C}$	$\Delta^{15}\text{N}$	$\Delta^{13}\text{C}$	$\Delta^{15}\text{N}$	$\Delta^{13}\text{C}$	$\Delta^{15}\text{N}$		
CssLV	1,1 \pm 0,6	4,5 \pm 0,3	CssLVA	1,5 \pm 0,7	4,8 \pm 2,4	CrdLV	1,4 \pm 0,8	4,2 \pm 2,2
PstLV	1,8 \pm 0,7	3,1 \pm 0,2	PdLVA	0,8 \pm 0,3	5,0 \pm 0,8	PdLV	0,8 \pm 0,3	4,6 \pm 1,2
			PcLVA	1,8 \pm 0,7	4,3 \pm 1,5	PcLV	0,8 \pm 0,3	4,5 \pm 1,2
						McLV	0,4 \pm 0,2	3,5 \pm 0,4
						BrLV	4,6 \pm 0,7	6,7 \pm 1,2

CssLV: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem em Latossolo Vermelho; CssLVA: Cerrado *sensu stricto* em Latossolo Vermelho Amarelo; PDLVA: Plantio direto de milho em Latossolo Vermelho; PcLVA: Plantio convencional de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; CrdLV: Cerradão em Latossolo Vermelho; PdLV: Plantio direto de milheto em Latossolo Vermelho; PcLV: Plantio convencional de milheto em Latossolo Vermelho; McLV: Mucuna em Latossolo Vermelho; BrLVd: Braquiária em Latossolo Vermelho

Discussão

Na chapada, o estoque de C variou entre 70,9 Mg.ha⁻¹ em PstLV 91,7 Mg.ha⁻¹ em CcssLV, mas os dados não apresentaram diferença significativa, devido a variabilidade dos estoques de carbono encontrados no Cerrado. A manutenção do estoque de carbono em pastagens também ocorreu nos estudos de Pinheiro-Alves et al. (2016) e Salton et al. (2008). Porém pastagens bem manejadas podem até aumentar o estoque de carbono no solo (D'Andrea et al. 2004, Marchão et al. 2009). Na frente de recuo não houve diferenças no estoque de carbono entre a área natural e as áreas de plantio, assim como no trabalho de D'Andrea et al. (2004), tampouco diferenças entre os manejos, como no estudo de Nunes et al. (2011), embora a substituição da vegetação natural por plantio direto possa aumentar o estoque de carbono no solo e o plantio convencional tende a reduzir esse estoque (Corazza et al. 1999). Na baixada apenas a BrLV não apresentou diferença no estoque de carbono comparado ao CrdLV, isso porque as gramíneas possuem altas taxas fotossintéticas, e no processo de decomposição incorporam carbono no solo (Montero 2008), ainda que em gramíneas a biomassa seja menor em relação às espécies arbóreas.

Assim como no estoque de carbono, não houve diferença no estoque de nitrogênio na chapada, que possui 4,8 Mg.ha⁻¹ em CcssLV e 3,8 Mg.ha⁻¹ em PstLV, tendência semelhante foi obtida por D'Andrea et al. (2004) e Frazão et al. (2010), e distinta à encontrada por Pulrolnik et al. (2009) que obteve 4,2 Mg.ha⁻¹ no Cerrado e 4,7 Mg.ha⁻¹

na pastagem, também explicado pela diferença no manejo de cada pastagem. Na frente de recuo também não há diferenças entre os plantios convencional e direto, assim como no trabalho de D'Andrea et al. (2004). Enquanto na baixada apenas o PcLV apresentou estoque de nitrogênio menor que a área natural, devido ao menor aporte de matéria orgânica advinda da biomassa das plantas de cobertura se comparado aos outros usos da terra (Maltas et al. 2007). Valores de nitrogênio similares ao CrdLV foram encontrados no PdLV, fator que ocorre pela contribuição dos resíduos da cultura anterior, que aumentam a entrada de matéria orgânica no sistema (Corazza et al. 1999); o estoque de N na McLV pode ser explicado pela fisiologia da mucuna, que fixa nitrogênio no solo e eleva a concentração desse elemento nas camadas superficiais (Nunes et al. 2011); já a BrLV tem estoque de N similar devido ao grande aporte de matéria orgânica gerada pela Braquiária (Montero 2008) e a diferença nas taxas de decomposição das gramíneas em relação às espécies arbustivas e arbóreas (Torres et al. 2011).

O cerrado *sensu stricto* apresenta mistura entre espécies arbóreas, arbustivas e gramíneas, por isso tem um sinal de $\delta^{13}\text{C}$ que fica entre valores típicos de C3 e valores típicos de plantas C4. Gramíneas e arbóreas possuem diferentes taxas de decomposição, e os valores de $\delta^{13}\text{C}$ no solo refletem as contribuições de plantas com diferentes processos fotossintéticos. Na chapada da catena estudada, tanto o CssLV quanto a PstLV apresentaram valores similares, provenientes de mistura entre plantas C3 e C4. No entanto, a pastagem possui apenas gramíneas com ciclo fotossintético C4 e deveria apresentar um sinal de $\delta^{13}\text{C}$ mais elevado na camada superior do solo, tais como os valores encontrados em trabalhos como de Osher et al. (2003), onde há uma marcação mais acentuada do sinal C4 proveniente das plantas de cobertura. Isso não acontece devido à intensidade do manejo que é superior no plantio em relação à pastagem, sendo assim, a intensidade da mudança e do uso da terra são fundamentais para as diferenças na dinâmica e conseqüentemente no estoque de carbono no solo (Don et al. 2011). No entanto, esses estoques também estão relacionados à mineralogia, pois os minerais que compõem o solo contribuem para o grau de estabilidade da matéria orgânica e, conseqüentemente, a dinâmica de carbono no solo.

Valores típicos de cerrado *sensu stricto* também ocorrem na frente de recuo ao longo de todo perfil de solo, já que a rotação de culturas promove uma mistura entre fontes C3 e C4 também nas áreas de plantio. Já a fitofisionomia Cerradão tem razão isotópica típica de plantas C3 (Loss et al. 2011), por isso, na baixada, o CrdLV é tem

menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ em que as outras coberturas em todos os intervalos de profundidade. O solo sob McLV apresentou valor de $\delta^{13}\text{C}$ diferente dos outros tipos de uso e cobertura até 10 cm de profundidade, e tal solo tem pH menor semelhante ao do CrdLV, indicando que a cobertura por mucuna pode alterar a dinâmica do carbono do solo, já que se trata de uma planta leguminosa e apresenta diferenças a utilização dos nutrientes (Nunes et al. 2011).

Não houve diferença no $\delta^{15}\text{N}$ do solo ao longo de todo o perfil tanto no CsslV e PstLV, situadas na chapada, embora a implantação de pastagens costuma enriquecer o solo com ^{15}N (Mudge et al. 2014). Na baixada, CrdLV foi similar ao PdLV e a McLV em todo o perfil, e ambas foram diferentes de BrLV e PdLV até 10 cm de profundidade, por conta das diferenças entre as plantas que compõem cada área e da taxa de mineralização do N no solo. O milho apresenta uma alta taxa de produtividade, que aumenta o teor de N no solo, aumentando também os processos de mineralização e o fracionamento contra o ^{15}N , por isso o PdLV apresenta diferenças no valor de $\delta^{15}\text{N}$ em relação às outras culturas. Quando a planta tem capacidade de realizar fixação biológica de N, o valor do $\delta^{15}\text{N}$ tende a ficar próximo a 0‰, pois esse processo fraciona pouco contra o ^{15}N (Ehleringer & Rundell 1989), e é justamente o que acontece com a mucuna, que apresenta valores similares aos do CrdLV e do PdLV. Além disso, essas diferenças fisiológicas modificam a fauna do solo, Benito et al. (2004) encontraram diferença na composição e biomassa de macro invertebrados do solo ao substituir a vegetação nativa por pastagem, o que modifica a ciclagem do nitrogênio no solo, refletido no $\delta^{15}\text{N}$ das camadas superficiais.

A ciclagem do nitrogênio também está relacionada à mineralogia do solo (Reatto et al. 2004), por conta da maior estabilidade da matéria orgânica nas frações minerais do solo que nas frações particuladas (Conen et al. 2008), que reflete não somente nas razões de $\delta^{15}\text{N}$ no solo mas também nos estoques de C e N. Alguns autores sugerem que existe uma relação negativa entre $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N do solo (Conen et al. 2008, Craine et al. 2015a), no entanto a ausência de relação entre razão C/N e $\delta^{15}\text{N}$ encontrada na chapada e na frente de recuo demonstra a diferença existente no comportamento da matéria orgânica entre áreas florestais e savânicas. Enquanto isso, nas áreas de baixada essa relação existe, mas é inversa à encontrada por Craine et al. (2015a), por conta das áreas agrícolas que apresentam comportamento distinto às áreas florestais, indicando as diferenças químicas e biológicas existentes entre as áreas estudadas. Para essas áreas, as diferenças na textura

do solo podem causar maior influência na dinâmica de carbono e nitrogênio, especialmente o teor de argila que condiciona tanto a capacidade de estocar C e N (Bhering et al. 2016) quanto as taxas de decomposição e mineralização (Bruun et al. 2010). As diferenças também podem se relacionar à estabilidade da chapada, a susceptibilidade à erosão da frente de recuo e ao comportamento das plantas de cobertura na baixada, já que este também é um local estável.

A discriminação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ mostrou diferenças entre as áreas naturais e antropizadas devido à mudança de plantas C3 para C4. Os minerais presentes no solo, especialmente os óxidos de ferro, aliados ao tipo de argila permitem a formação de agregados, que podem favorecer a manutenção do carbono orgânico no solo (Six et al. 2000) e essa relação é alterada pelas mudanças no uso da terra. As diferenças no $\delta^{15}\text{N}$ indicam maiores taxas de mineralização e decomposição nas áreas com maior $\Delta^{15}\text{N}$, no entanto não foi encontrado um padrão para essas mudanças, o que sugere que a dinâmica da matéria orgânica está intimamente ligada à textura do solo (Bruun et al. 2010) e à intensificação do manejo (Don et al. 2011). Portanto, a mineralogia também é fundamental para essas diferenças, pois está ligada a forma como os minerais se associam com a matéria orgânica do solo.

As principais diferenças aqui encontradas foram registradas na baixada, mostrando que essa posição da paisagem deixa o solo mais sensível às mudanças no uso e cobertura, no que diz respeito à dinâmica da matéria orgânica. Ainda assim, a mudança na cobertura da terra e a intensidade do uso foi primordial para as diferenças encontradas, especialmente nas razões isotópicas de N da camada superficial do solo.

Conclusões

As mudanças no uso da terra alteram a dinâmica de carbono e nitrogênio nas camadas mais superficiais do solo, mas a intensidade dessas alterações é determinada pelo manejo do novo uso.

As mudanças ocorreram apenas na baixada, o que indica que a posição na paisagem e o tipo de solo e, condicionados por clima e material de origem, influenciam a intensidade dessas mudanças na dinâmica de C e N.

Referências

- AMUNDSON, R.; AUSTIN, A. T.; SCHUUR, E.A.G.; YOO, K.; MATZEK, V.; KENDALL, C.; UEBERSAX, A.; BRENNER, D.; BAISDEN, W. T. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. *Global Biogeochemical Cycles* 17: 1031-1035. 2003.
- ARORA, V. K.; BOER, G. J. Uncertainties in the 20th century carbon budget associated with land use change. *Global Change Biology*. 16 (12), 3327-3348. 2010.
- ARRUDA, D. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CORRÊA, G.R.; RODRIGUES, P. M. S.; DUQUE-BRASIL, R.; FERREIRA JR, W. G.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. Landforms and soil attributes determine the vegetation structure in the Brazilian semiarid. *Folia Geobot* 50:175–184. 2015.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey, *Biogeosciences*, 10, 6141– 6160, 2013.
- BENITO, N. P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M. D. F.; BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *European Journal of Soil Biology* 40:147–154. 2004.
- BERHE, A. A. Decomposition of organic substrates at eroding vs. depositional landform positions. *Plant Soil*. v. 350, p. 261-280, 2012.
- BHERING, S; B.; CHAGAS, C. S.; CARVALHO JUNIOR, W.; PEREIRA, N. R.; CALDERANO FILHO, B.; PINHEIRO, H. S. Mapeamento digital de areia, argila e carbono orgânico por modelos Random Forest sob diferentes resoluções espaciais. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1359-1370, set. 2016.
- BRUUN, T. E.; ELBERLING, B.; CHRISTENSEN, B. T. Lability of soil organic carbon in tropical soils with different clay minerals. *Soil Biology & Biochemistry* 42 888-895. 2010.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MEDINA, E.; ASNER, G. P.; NARDOTO, G. B.; GARCIAMONTIEL, D. C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savanas. *Biogeochemistry*. 79: 209-237, 2006.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. S.; REZENDE, J. C. F.; TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian Journal of Biology*, v.72, p.655-671, 2012.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:425-432, 1999.

CONEN, F.; ZIMMERMANN, M.; LEIFELD, J.; SETH, B.; ALEWELL, C. Relative stability of soil carbon revealed by shifts in $\delta^{15}\text{N}$ and C:N ratio. *Biogeosciences*, 5, 123–128, 2008.

CRAINE, J. M.; ELMORE, A. J.; WANG, L.; AUGUSTO, L. BAISDEN, W. T.; BROOKSHIRE, E. N. J.; CRAMER, M. D.; HASSELQUIST, N. J.; HOBBIE, E. A.; KAHMEN, A.; KOBALI, K.; KRANABETTER, J. M.; MACK, M. C.; MARIN-SPIOTTA, E.; MAYOR, J. R.; MCLAUCHLAN, K. K.; MICHELSEN, A.; NARDOTO, G. B.; OLIVEIRA, R. S.; PERAKIS, S. S.; PERI, P. L.; QUESADA, C. A.; RICHTER, A.; SCHIPPER, L. A.; STEVENSON, B. A.; TURNER, B. L.; VIANI, R. A. G.; WANEK, W.; ZELLE, B. Convergence of soil nitrogen isotopes across global climate gradients. *Scientific Reports* 5:8280. 8p. 2015a.

DALAL, R. C.; THORNTON, C. M.; COWIE, B. A. Turnover of organic carbon and nitrogen in soil assessed from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ changes under pasture and cropping practices and estimates of greenhouse gas emissions. *Science of the Total Environment* 465, 26 – 35. 2013.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, L. N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. *Global Change Biology* 17, 1658–1670. 2011.

EHLERINGER, J. R.; RUNDEL, P. W. Stable isotopes: history, units, and instrumentation. In: RUNDEL, P. W.; EHLERINGER, J. R.; NAGY, K. A. (Eds.). *Stable isotopes in ecological research*. Ecological Studies 68. New York: Springer-Verlag. P-1-15, 1989.

EHLERINGER, J. R.; BOWLING, D. R.; FLANAGAN, L.; FESSENDER J.; HELLIKER B.; MARTINELLI L. A.; OMETTO J. P. H. B. Stable isotopes and carbon cycle in forests and grasslands. *Plant Biology* 4: 181-189, 2002.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. rev. e atual. 212p. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

FARQUHAR G. D.; EHLERINGER, R.; HUBICK, K. T. Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40: 503-537. 1989.

FITZSIMMONS, M. J.; PENNOCK, D. J.; THORPE, J. Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. *Forest Ecology and Management*, v.188, p.349-361, 2003.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. S.; CAMPOS, D. V.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.10, p.1198-1204, 2010.

FRY, B. *Stable Isotope Ecology*. Springer Science. 308 p. 2006.

- GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S.; VILLANI, E. C. M. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:735-740, 2009.
- GREGORICH, E. G.; GREER, K. J.; ANDERSON, D. W.; LIANG B. C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil Tillage Res.* 47: 291 – 302. 1998.
- LIMA, L. A. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L. Soil Mapping of a Small Watershed in a Brazilian Savanna Biome: A Semi-Automatic Approach. *Journal of Geographic Information System*, 6, 79-87, 2014.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. *Bragantia*, 69 (4), p. 913-922, 2010.
- MALTAS, A.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; OLIVER, R.; DOUZET, J.; SILVA, F. A. M.; WERY, J. Long-term effects of continuous direct seeding mulch-based cropping systems on soil nitrogen supply in the Cerrado region of Brazil. *Plant Soil* 298:161–173. 2007.
- MARCHÃO, R. L., BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L., BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year 88 effects of integrated crop–livestock management systems. *Soil and Tillage Research*, v. 103, n. 2, p. 442-450, 2009.
- MARTINS, E. S. REATTO, A.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; BLOISE, G. L. F.; CARDOSO, E. A. Domínios hidrogeológicos da margem direita do Córrego Divisa, Bacia do São Bartolomeu-DF, escala 1:10.000. *Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento*, 68, 17 p. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2002.
- MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, L. R.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. *Editora Oficina de Textos*. p.144. 2009.
- MESSIAS, A.; REATTO, A.; COUTO JÚNIOR, A. F.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; SENA-SOUZA, J. P. Caracterização Geomorfológica da bacia experimental do Sarandi - DF, escala 1:25.000. In: *Encontro de iniciação científica da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF*. 2012.
- MONTERO, I. L. Carbono em solos do Cerrado: efeitos do uso florestal. Tese de Doutorado. 130 p. Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, 2008.
- MUDGE, P. L.; SCHIPPER, L. A.; BAISDEN, W. T.; GHANI, A.; LEWIS, R. W. Changes in soil C, N and d15N along three forest–pasture chronosequences in New Zealand. *Soil Research*, 52, 27 –37. 2014.
- MYERS, N. R. A.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hot spots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p.853-858, 2000.
- NEVES, G.; COUTO JUNIOR, A. F.; MARQUES, T. A.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; SENA-SOUZA, J. P. Avaliação da fragmentação da cobertura natural

em uma bacia experimental no Cerrado. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... p. 3062-3067. Foz do Iguaçu, INPE, 2013.

NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; MENDES, I. C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. R. Bras. Ci. Solo, 35:1407-1419, 2011.

OLIVEIRA, O. C.; OLIVEIRA, I. P.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. Agriculture, Ecosystems and Environment, 103, p. 289–300. 2004.

OSHER, L. J.; MATSON, P. A.; AMUNDSON, R. Effect of land use change on soil carbon in Hawaii. Biogeochemistry 65: 213–232, 2003.

PINHEIRO-ALVES, R.; COUTO JÚNIOR, A. F.; MARTINS, E. S.; NARDOTO, G. B. Role of soil carbon in the landscape functioning of the Alto São Bartolomeu watershed in the Cerrado region, Brazil. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.51, n.9, p.1241-1251, 2016.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de Carbono e Nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. R. Bras. Ci. Solo, 33:1125-1136, 2009.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.Rproject.org/>. 2015.

REATTO, A.; MARTINS, E. S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Mapa Pedológico Digital - SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. Documentos Embrapa Cerrados, 2004.

ROBINSON, D. $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycle. Trends in Ecology and Evolution 16: 153-162. 2001.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.11-21, 2008.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G.; BEZERRA, H. S. Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens LANDSAT ETM+. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2009, Natal. Anais... p. 1199-1206. Natal, INPE, 2009.

SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A.; VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P.; REIS, A. M.; SILVA, V. P. Utilização de variáveis morfométricas para a subdivisão de bacia hidrográfica no Cerrado. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... p. 3062-3067. Foz do Iguaçu, INPE, 2013.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 624 p. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2009.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal*, v.64, p.681-689, 2000.

TORRES, J. L. S.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:609-618, 2005.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.175-180, 1994.

VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, vol. 277, p. 494-499. 1997.

WEINTRAUB, S. R.; TAYLOR, P. G.; PORDER, S.; CLEVELAND, C. C.; ASNER, G. P.; TOWNSEND, A. R. Topographic controls on soil nitrogen availability in a lowland tropical forest. *Ecology*, 96(6), pp. 1561–1574. 2015.

Conclusões Gerais

As diferenças em estoque e fluxo de carbono nas áreas naturais estão ligadas à composição florística de cada área, sendo que a biomassa influencia diretamente o estoque e o ciclo fotossintético das plantas influenciam o $\delta^{13}\text{C}$ do solo.

A posição na paisagem altera a dinâmica de nitrogênio no solo nas áreas naturais e está relacionada ao tipo de solo e à vegetação predominante em cada local da catena.

A quantidade e a qualidade da matéria orgânica oriundas da vegetação influenciam o comportamento dos nutrientes no solo.

As mudanças no uso da terra podem alterar os estoques e os fluxos de carbono e nitrogênio nas camadas superficiais do solo, mas a intensidade do uso, as plantas que cobrem o solo e o manejo de cada área determinam a intensidade dessas alterações.

A posição menos elevada da catena (Baixada) apresentou maiores modificações com as mudanças no uso da terra, indicando a sensibilidade dessa área em relação ao uso e cobertura do solo.

Considerações Finais

Este trabalho mostrou a importância de se considerar geologia e relevo nos estudos de dinâmica de nutrientes no solo, pois esses fatores contribuem para a formação dos solos e, conseqüentemente, as características físicas, químicas e biológicas que determinam o comportamento da matéria orgânica. Além disso, é fundamental utilizar o relevo e as formas de terreno para manejar ecossistemas, pois a distribuição de água e nutrientes e a sensibilidade às mudanças no uso da terra estão relacionados a esses aspectos da paisagem.

O trabalho realizado pode ser utilizado em um amplo contexto, como em questões climáticas, devido à relação dos estoques de C e N com a liberação de gases do efeito estufa frente às mudanças do uso da terra, além de ser relevante para a cadeia de produção de alimentos, já que indica diferenças na ciclagem de nitrogênio em distintas posições na paisagem e esse elemento além de fundamental para a produtividade primária, é limitado no Cerrado.

É importante observar relações entre a matéria orgânica com a textura e a mineralogia do solo, especialmente com os óxidos de ferro, pois alguns estudos recentes mostram que esses óxidos podem ter relação com a ciclagem de nutrientes e contribui para compreender a dinâmica da matéria orgânica no solo. A textura também é importante para a estabilidade da matéria orgânica no solo, que por sua vez, está ligada às taxas de decomposição.

As diferenças entre as fitofisionomias na região central do Cerrado, mostram que as áreas possuem características intrínsecas, por isso é recomendável expandir a área de estudo, para verificar se há relação entre matéria orgânica e relevo em regiões com diferentes condições ambientais, como em outras áreas de Cerrado e em outros biomas.

Referências

- AB'SABER, A. N.; COSTA-JUNIOR, M. Contribuição ao estudo do sudoeste goiano. Boletim Paulista de Geografia, n.4 p. 3-26, 1950.
- AMUNDSON, R.; AUSTIN, A. T.; SCHUUR, E.A.G.; YOO, K.; MATZEK, V.; KENDALL, C.; UEBERSAX, A.; BRENNER, D.; BAISDEN, W. T. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. *Global Biogeochemical Cycles* 17: 1031-1035. 2003.
- ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. US geological Survey Professional Paper 964, Washington, DC. 1976.
- ARRUDA, D. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CORRÊA, G.R.; RODRIGUES, P. M. S.; DUQUE-BRASIL, R.; FERREIRA JR, W. G.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. Landforms and soil attributes determine the vegetation structure in the Brazilian semiarid. *Folia Geobot* 50:175–184. 2015.
- BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. *Agriculture, ecosystems & environment*, v.137, n.1, p.47–58, 2010.
- BERHE, A. A. Decomposition of organic substrates at eroding vs. depositional landform positions. *Plant Soil*. v. 350, p. 261-280, 2012.
- BOECKLEN, W. J.; YARNES, C. T.; COOK, B. A.; JAMES, A. V. On the Use of Stable Isotopes in Trophic Ecology. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 42:411–40. 2011.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3ª ed. Bookman, 2013.

BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A.M.; REDO, D.; XU, Z.W.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986–2002: comparative analysis and implications for land-use policy. *Land Use Policy*, v. 25, n. 4, p. 579-595, 2008.

BRITO, E. F.; MOULTON, T. P.; SOUZA, M. L.; BUNN, S. E. Stable isotope analysis indicates microalgae as the predominant food source of fauna in a coastal forest stream, south-east Brazil. *Austral Ecology* 31, 623–633. 2006.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124:3-22, 2005.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R.; PAUSTIAN, K. Carbon sequestration in soils. *Journal Soil Water and Conservation*, v.54, p.382-389, 1999.

BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V. N15 natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savannas (Cerrado). *Ecological Applications* 14: 200-213. 2004.

BUSTAMANTE, M. M. C.; MEDINA, E.; ASNER, G. P.; NARDOTO, G. B.; GARCIAMONTIEL, D. C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. *Biogeochemistry*. 79: 209-237, 2006.

BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. S.; REZENDE, J. C. F.; TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian Journal of Biology*, v.72, p.655-671, 2012.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; ALLEONI, L. R. F. Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. *Catena* 100, 100-106. 2012.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. Discrimination of geomorphic surfaces with multivariate analysis of soil attributes in sandstone - basalt lithosequence. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 3, p. 429-438, jul-set, 2012.

CHAPIN III, F.S.; MATSON, P.A.; VITOUSEK, P. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer Science & Business Media, 2011.

CLERQ, T.; HEILING, M.; DERCON, G.; RESCH, C.; AIGNER, M.; MAYER, L.; MAO, Y.; ELSER, A.; STEIER, P.; LEIFELD, J.; MERCKX, R. Predicting soil organic matter stability in agricultural fields through carbon and nitrogen stable isotopes. *Soil Biology & Biochemistry* 88, p. 29-38. 2015.

COLETTA, L. D.; NARDOTO, G. B.; AIDAR, S. R. L.; ROCHA, H. R.; AIDAR, M. P. M.; OMETTO, J. P. isotopic view of vegetation and carbon and nitrogen cycles in a Cerrado ecosystem, southeastern Brazil. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.66, n.4, p.467-475, 2009.

CRAINE, J. M.; ELMORE, A. J.; WANG, L.; AUGUSTO, L. BAISDEN, W. T.; BROOKSHIRE, E. N. J.; CRAMER, M. D.; HASSELQUIST, N. J.; HOBBIE, E. A.;

KAHMEN, A.; KOBAL, K.; KRANABETTER, J. M.; MACK, M. C.; MARIN-SPIONTA, E.; MAYOR, J. R.; MCLAUCHLAN, K. K.; MICHELSEN, A.; NARDOTO, G. B.; OLIVEIRA, R. S.; PERAKIS, S. S.; PERI, P. L.; QUESADA, C. A.; RICHTER, A.; SCHIPPER, L. A.; STEVENSON, B. A.; TURNER, B. L.; VIANI, R. A. G.; WANEK, W.; ZELLE, B. Convergence of soil nitrogen isotopes across global climate gradients. *Scientific Reports* 5:8280. 8p. 2015a.

CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E. F. The Anthropocene. *Global Change Newsletter*, Vol. 41, pp. 17-18. 2000.

DALAL, R. C.; THORNTON, C. M.; COWIE, B. A. Turnover of organic carbon and nitrogen in soil assessed from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ changes under pasture and cropping practices and estimates of greenhouse gas emissions. *Science of the Total Environment* 465, 26 – 35. 2013.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, L. N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004.

DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. F.; CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. *Advances in Agronomy*, v.23, p.51-87, 1971.

De GRUYZE, S.; SIX, J.; BOSSUYT, H.; OOST, K. V.; MERCKX, R. The relationship between landform and the distribution of soil C, N and P under conventional and minimum tillage. *Geoderma*. v, 144. p 180-188, 2008.

DINIZ FILHO, J. A. F.; OLIVEIRA, G.; LOBO, F.; FERREIRA, L. G.; BINI, L. M.; RANGEL, T. F. Agriculture, habitat loss and spatial patterns of human occupation in a biodiversity hotspot. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)* vol.66 no.6 Piracicaba. 2009.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. *Global Change Biology* 17, 1658–1670. 2011.

EITEN, G. The Cerrado Vegetation of Brazil. *Botanical Review*, Vol. 38, No. 2, The Cerrado Vegetation of Brazil, pp. 201-341. 1972.

EGOH, B.; REYERS, B.; ROUGET, M.; BODE, M.; RICHARDSON, D. M. Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa. *Biological Conservation*, vol. 142, p. 553-562, 2009.

EHLERINGER, J. R., BOWLING, D. R.; FLANAGAN L., FESSENDER J., HELLIKER B., MARTINELLI L. A., OMETTO J. P. H. B. Stable isotopes and carbon cycle in forests and grasslands. *Plant Biology* 4: 181-189, 2002.

FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. *Embrapa Cerrados*, 1198 p. Planaltina-DF, 2008.

- FARPOOR, M. H.; NEYESTANI, M.; EGHBAL, M. K.; BORUJENI, I. E. Soil-geomorphology relationships in Sirjan playa, south central Iran. *Geomorphology* 138, 223-230. 2012.
- FARQUHAR G. D.; EHLERINGER, R.; HUBICK, K. T. Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40: 503-537. 1989.
- FOSTER, D. R. Land-Use History (1730-1990) and Vegetation Dynamics in Central New England, USA. *Journal of Ecology*, Vol. 80, n. 4, pp. 753-771. 1992.
- FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. S.; CAMPOS, D. V.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.10, p.1198-1204, 2010.
- FRY, B. *Stable Isotope Ecology*. Springer Science. 308 p. 2006.
- GOEDERT, W. J. Região dos cerrados: potencial agrícola e política para o seu desenvolvimento. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 24(1): 1-17, 1989.
- GREGORICH, E. G.; GREERB, K. J.; ANDERSON, D. W.; LIANG B. C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil & Tillage Research* 47, 291-302. 1998.
- HILTON, R. G. GALY, A.; WEST, A. J.; HOVIUS, N.; ROBERTS, G. G. Geomorphic control on the $\delta^{15}\text{N}$ of mountain forests. *Biogeosciences*, 10, 1693–1705. 2013.
- HELFAND, S. M.; RESENDE, G. C. Padrões Regionais de Crescimento da Produção de grãos e o Papel da Região Centro-Oeste. IPEA. Texto para Discussão nº 731. Rio de Janeiro, 2000.
- HOUGHTON, R. A.; HOUSE, J. I.; PONGRATZ, J.; VAN DER WERF, G. R.; DEFRIES, R. S.; HANSEN, M. C. LE QUÉRE, C.; RAMANKUTTY, N. Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9, 5125–5142, 2012.
- HOULTON, B. Z.; SIGMAN, D. M.; SCHUUR, E. A. G.; HEDIN, L. O. A climate driven switch in plant nitrogen acquisition within tropical forest communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, EUA 104: 8902-8906. 2007.
- LAL, R. Soil carbon dynamic in cropland and rangeland. *Environmental Pollution*, Massachusetts, v. 116, p. 353-362. 2002.
- LAL, R. Soil carbon management and climate change. *Carbon Management*, 4:4, 439-462. 2014.
- LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28:205–41. 2003.
- CRAIG A. LAYMAN, C. A.; ARAUJO, M. S.; BOUCEK, R.; PEYER, C. M. H.; HARRISON, E.; JUD, Z. R.; MATICH, P.; ROSENBLATT, A. E.; VAUDO, J. J.; YEAGER, L. A.; POST, D. M.; BEARHOP, S. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools. *Biological Reviews* 000–000. 2011.

- LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; THOMAS, R.; VILELA, L.; LIMA, S. C.; ZECH, W. Effect of *Pinus caribaea* forests on the C, N, P and S status of Brazilian savanna Oxisols. *Forest Ecology and Management* 147, p.171-182. 2001.
- MACEDO, J.; BRYANT, R. B. Morphology, Mineralogy, and Genesis of a Hydrosequence of Oxisols in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:690-698. 1987.
- MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, 149:84-91, 2009.
- MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. R.; 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* 46: 45-65. 1999.
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. *Ecologia de Paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 121, 35 p. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF. 2004.
- McCUTCHAN, J. H.; LEWIS JR, W. M.; KENDALL, C.; MCGRATH, C. C. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos* 102:378–390. 2003.
- McLAUHLAN, K; K; WILLIAMS, J. J.; CRAINE, J. M.; JEFFERS, E. S. Changes in global nitrogen cycling during the Holocene epoch. *Nature*, 495,352–355. 2013.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? *Biota neotropica*, v. 1, n. 1-2, p. 1-9, 2001.
- MIRANDA, S. D. C.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PALACE, M.; HAGEN, S.; KELLER, M.; FERREIRA, L. G. Regional Variations in Biomass Distribution in Brazilian Savanna Woodland, *Biotropica*, v. 46, n. 2, p. 125–138, 2014.
- MITTERMEIER, R. A. GIL, P. R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G. A. B.; SELIGMANN, P. A.; FORD, H. Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. CEMEX. Conservation International, 2005.
- MOTTA, P. E. F; CARVALHO FILHO, A; KER. J. C; PEREIRA, N. R; CARVALHO JUNIOR, W; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 37, n. 6, p. 869-878, jun. 2002.
- MOULIN, A. P.; COHEN, Y.; ALCHANATIS, V.; TREMBLAY, N.; VOLKMAR, K. Yield response of potatoes to variable nitrogen management by landform element and in relation to petiole nitrogen: A case study. *Canada. J. Plant Sci.* 92: 771-781. 2012.
- MU, Z.; HUANG, A.; NI, J.; XIE, D. Linking Annual N₂O Emission in Organic Soils to Mineral Nitrogen Input as Estimated by Heterotrophic Respiration and Soil C/N Ratio. *Plos ONE* vol. 9, 6 p. 2014.

- MYERS, N. R. A.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hot spots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p.853-858, 2000.
- NARDOTO, G. B.; OMETTO, J. P. H. B.; EHLERINGER, J. R.; HIGUCHI, N.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A. Understanding the influences of spatial patterns on N availability within the Brazilian Amazon Forest. *Ecosystems* 11: 1234-1246. 2008.
- NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 38, 955-962, 2003.
- NEWSOME, S. D.; YEAKEL, J. D.; WHEATLEY, P. V.; TINKER, M. T. Tools for quantifying isotopic niche space and dietary variation at the individual and population level. *Journal of Mammalogy*, 93(2):329–341, 2012.
- ODUM, E. P.; BARRET, G. W. *Fundamentos de Ecologia*. 5. ed., Editora Thomson Pioneira, 616 p. 2007.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUES, R. J. (ed.). *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, p. 91-120, 2002.
- 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 region, Brazil. *Biogeochemistry* 79: 251-74. 2006.
- OREN, R.; ELLSWORTH, D. S.; JOHNSEN, K. H.; PHILLIPS, N.; EWERS, B. E.; MAIER, C.; SCHAEFER, K. V. R.; MCCARTHY, H.; HENDREY, G.; MCNULTY, S. G.; KATUL, G. G. Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO₂-enriched atmosphere. *Nature*, vol. 411. 469-472. 2011.
- OSHER, L. J.; MATSON, P. A.; AMUNDSON, R. Effect of land use change on soil carbon in Hawaii. *Biogeochemistry* 65: 213–232, 2003.
- PALMQVIST, P.; PÉREZ-CLAROS, J. A.; JANIS, C. M.; GRÖCKE, D. R. Tracing the ecophysiology of ungulates and predator–prey relationships in an early Pleistocene large mammal community. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 266, 95–111. 2008.
- PAPIERNIK, S. K.; SCHUMACHER, T. E.; LOBB, D. A.; LINDSTROM, M. J.; LIESER, M. L.; EYNARD, A.; SCHUMACHER, J. A. Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform. *Soil & Tillage Research*. v. 10, p. 67-77, 2009.
- PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MARKEWITZ, D. Fluxes of nitrogen and phosphorus in a gallery forest in the Cerrado of central Brazil. *Biogeochemistry* 105:89–104. 2011.

- PENNOCK, D. J. Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. *Soil & Tillage Research* 69, 15–26. 2003.
- PHILLIPS, D. L. Converting isotope values to diet composition: the use of mixing models. *Journal of Mammalogy*, 93(2):342–352, 2012.
- PIMM, S. L.; JENKINS, C. Sustaining the variety of life. *Sci Am* 293(3):66–73. 2005.
- REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed). *Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC*, p.47-83. 1998.
- REATTO, A.; BRUAND, A.; MARTINS, E. S.; MULLER, F.; SILVA, E. M.; CARVALHO JR., O. A.; BROSSARD, M. Variation of the kaolinite and gibbsite content at regional and local scale in the Latosols of the Brazilian Central Plateau. *C. R. Geoscience* 340, 741–748. 2008.
- REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FILHO, A. F.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. *Scientia Forestalis* n. 71, p. 65-76, agosto 2006.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In : SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. (Ed.). *Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, Embrapa-CPAC*, p. 87-166. 1998.
- RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. 6ª edição. Editora Guanabara Koogan. 2011.
- ROBINSON, D. $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycle. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 153-162. 2001.
- ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; WIT, C. A.; HUGHES, T.; LEEUW, S.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P.; FOLEY, J. A. A safe operating space for humanity. *Nature*, v. 461, p. 472-475. Setembro, 2009.
- ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa do Cerrado. *Sociedade & Natureza*, ano 24 n. 2, 359-376, maio/agosto. Uberlândia, 2012.
- SALA, O. E.; CHAPIN, F. S.; ARMESTO, J. J.; BERLOW, E.; BLOOMFIELD, J.; DIRZO, R.; HUBER-SANWALD, E.; HUENNEKE, L. F.; JACKSON, R. B.; KINZIG, A.; LEEMANS, R.; LODGE, D. M.; MOONEY, H. A.; OESTERHELD, M.; POFF, N. L.; SYKES, M. T.; WALKER, B. H.; WALKER, M.; WALL, D. H. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* 287:1770–1774. 2000.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G.; BEZERRA, H. S. Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens LANDSAT ETM+. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2009, Natal. Anais... p. 1199-1206. Natal, INPE, 2009.

SANTOS, A. C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, H. C.; BERNINI, T. A.; COOPER, M.; NUMMER, A. R.; FRANCELINO, M. R. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. R. Bras. Ci. Solo, 34:1297-1314, 2010.

SCHIMEL, D. S.; HOUSE, J. I.; HIBBARD, K. A.; BOUSQUET, P.; CIAIS, P.; PEYLIN, P.; BRASWELL, B. H.; APPS, M. J.; BAKER, D.; BONDEAU, A.; CANADELL, J.; CHURKINA, G.; CRAMER, W.; DENNING, A. S.; FIELD, C. B.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GOODALE, C.; HEIMANN, M.; HOUGHTON, R. A.; MELILLO, J. M.; MOORE III, B.; MURDIYARSO, D.; NOBLE, I.; PACALA, S. W.; PRENTICE, I. C.; RAUPACH, M. R.; RAYNER, P. J.; SCHOLLES, R. J.; STEFFEN, W. L.; WIRTH, C. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*, 414. 2001.

SCHOENAU, J. J.; BETTANY, J. R. Organic Matter Leaching as a Component of Carbon, Nitrogen, Phosphorus, and Sulfur Cycles in a Forest, Grassland, and Gleyed Soil. *Soil Science Society of America*. Vol. 51 No. 3, p. 646-651. 1987.

SILVA, J. F.; FARIÑAS, M. R.; FELFILI, J. M.; KLINK, C. A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography* 33, 536–548, 2006.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Science Agronomical*, v.31, p.709-717, 2009.

SMITH, J. G.; ELDRIDGE, D. J.; THROOP, H. L. Landform and vegetation patch type moderate the effects of grazing-induced disturbance on carbon and nitrogen pools in a semi-arid woodland. *Plant Soil*, 2012.

SOMMER, M.; SCHLICHTING, E. Archetypes of catenas in respect to matter a concept for structuring and grouping catenas. *Geoderma* 76, 1-33. 1997.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J.; CORNELL, S. E.; FETZER, I.; BENNETT, E. M.; BIGGS, R.; CARPENTER, S. R.; DE VRIES, W.; DE WIT, C. A.; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G. M.; PERSSON, L. M.; RAMANATHAN, V.; REYERS, B.; SÖRLIN, S. “Planetary boundaries: Guiding.” *Science*, 13 de Fevereiro de 2015.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 427p. 1999.

SUGIHARA, S.; SHIBATA, M.; ZE, A. D. V.; ARAKI, S.; FUNAKAWA, S. Effect of vegetation on soil C, N, P and other minerals in Oxisols at the forest-savanna transition zone of central Africa. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60, p.45 –59, 2014.

SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soil. *Soil Science*, vol. 166, p. 858-871, 2001.

TILMAN, D.; NAEEM, S.; KNOPS, J.; REICH, P.; SIEMANN, E.; WEDIN, D.; RITCHIE, M. LAWTON, J. Biodiversity and ecosystems properties. *Science* 12, Vol. 278. no. 5345, pp. 1865 - 1869 December 1997.

VASCONCELOS, V.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Sistema de classificação geomorfométrica baseada em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional da Serra da Canastra. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 13, p. 171-186, 2012.

VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; DAWSON, T. E.; OLIVEIRA, R. S. Savanna soil fertility limits growth but not survival of tropical forest tree seedlings. *Plant Soil* 349:341–353. 2011a.

VITOUSEK, P. M.; HOWARTH, R. W. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry* 13: 87-115, 1991.

VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, vol. 277, p. 494-499. 1997.

VITOUSEK, P.; CHADWICK, O.; MATSON, P.; ALLISON, S.; DERRY, L.; KETTLEY, L.; LUERS, A.; MECKING, E.; MONASTRA, V.; PORDER, S. Erosion and the rejuvenation of weathering-derived nutrient supply in an old tropical landscape. *Ecosystems* 6: 762–772. 2003.

WANG, Y. Q.; ZHANG, X. C.; ZHANG J. L.; LI, S. J. Spatial Variability of Soil Organic Carbon in a Watershed on the Loess Plateau. *Pedosphere* 19(4): 486–495, 2009.

WEINTRAUB, S. R.; TAYLOR, P. G.; PORDER, S.; CLEVELAND, C. C.; ASNER, G. P.; TOWNSEND, A. R. Topographic controls on soil nitrogen availability in a lowland tropical forest. *Ecology*, 96(6), pp.1561–1574. 2015.