

Variação sazonal dos atributos químicos de Latossolos em uma área submetida ao estresse hídrico na Amazônia

Seasonal variation in chemical attributes of Latosols in an area submitted to water stress in the Amazon

Quêzia Leandro de Moura Guerreiro^I, Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo^{II}, Rosecélia Moreira Silva Castro^{II},
Cristine B. Amarante^{II}, Hernani Rodrigues^{III}, Oberdan Oliveira Ferreira^{II}

^IUniversidade Federal do Oeste do Pará. Santarém, Pará, Brasil

^{II}Museu Paraense Emílio Goeldi/MCTIC. Belém, Pará, Brasil

^{III}Universidade Federal do Pará. Belém, Pará, Brasil

Resumo: É possível que o equilíbrio da biosfera esteja sendo modificado pelas mudanças globais de origem natural e/ou antrópica. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a variação sazonal dos atributos químicos do solo em uma floresta amazônica. As amostragens do solo foram realizadas nos períodos chuvoso, de transição e menos chuvoso, em parcela de exclusão de água de experimento do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR) e na parcela 13 do plote do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) (área controle), na FLONA Caxiuanã (Pará). As amostras de solo para as análises químicas e para a determinação da umidade atual do solo foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com auxílio de trado holandês. Os maiores teores dos nutrientes foram encontrados na área do PPBio. Foi identificada diferença significativa entre as áreas, exceto para o magnésio, e entre a soma de bases. Houve diferença significativa entre os períodos sazonais no ESECAFLOR somente para o pH e para a saturação por bases, e no PPBio somente para o sódio. Também houve variação vertical em ambas as áreas. A área do ESECAFLOR apresentou as menores concentrações para a maioria dos nutrientes estudados, evidenciando a influência do processo de exclusão das águas pluviais na disponibilidade desses elementos no solo.

Palavras-chave: Solo. Atributos químicos. Floresta tropical.

Abstract: It is possible that the balance of the biosphere is modified by global changes of natural and/or anthropogenic origin. The aim of this research was to evaluate the seasonal variation in chemical attributes of soils in an Amazonian forest. Soil samples were taken in the rainy, transitional, and dry seasons in the ESECAFLOR experimental area where rainfall was excluded and in the Biodiversity Research Program (PPBio) area of the Caxiuanã National Forest (Pará, Brazil). The soil samples for chemical analyzes and soil humidity determination were collected at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm with a soil auger. The highest nutrient levels were found in the PPBio area. Significant differences were found between areas except for magnesium and the base sum. There were significant differences in the ESECAFLOR area only for pH and base saturation and in the PPBio area only for sodium. There was also vertical variation in both areas. The area that underwent anthropic alteration (ESECAFLOR) presented lower concentrations for most of the studied nutrients, demonstrating an influence of reduced rainwater on the availability of key elements in the soil.

Keywords: Soil. Chemical attributes. Tropical forest.

GUERREIRO, Q. L. M., M. L. PRUIVO, R. M. S. CASTRO, C. B. AMARANTE, H. RODRIGUES & O. O. FERREIRA, 2017. Variação sazonal dos atributos químicos de Latossolos em uma área submetida ao estresse hídrico na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 11(3): 329-342.

Autora para correspondência: Quêzia Leandro de Moura Guerreiro. Universidade Federal do Oeste do Pará. Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Avenida Mendonça Furtado, 2946 – Aldeia. Santarém, PA, Brasil. CEP 68040-050 (queziamoura@hotmail.com).

Recebido em 20/02/2015

Aprovado em 10/05/2017

Responsabilidade editorial: Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo e Rogério Rosa da Silva



INTRODUÇÃO

Os solos que sustentam as florestas tropicais da região amazônica, em geral, são profundos, bem drenados, ácidos e apresentam baixa fertilidade (Ferreira & Botelho, 1999; Ferreira *et al.*, 2006). O processo de ciclagem de nutrientes, oriundo da decomposição de produtos vegetais e animais do próprio sistema, realizado principalmente pelos micro-organismos do solo, é responsável pela manutenção dos diferentes ecossistemas desse bioma (Luizão, 2007). Assim, são de extrema relevância estudos que analisam a variação dos nutrientes responsáveis pela manutenção da floresta nesta região.

As variações dos fatores ambientais, como a sazonalidade da precipitação pluviométrica, podem causar alteração na disponibilidade de nutrientes para as plantas, pois a presença de água no solo influencia diversos processos que ocorrem na solução do solo, alterando também a atividade microbiana (Goberna *et al.*, 2005; Gonçalves, 2009; Oliveira, 2012) atuante no sistema serapilheira-solo. Lima *et al.* (2011) e Silva *et al.* (2014) identificaram alteração significativa em relação às concentrações de alguns atributos químicos do solo, entre diferentes períodos sazonais de precipitação. Em períodos de maior precipitação, pode ocorrer a saturação do solo e, conseqüentemente, a eliminação dos espaços com ar nele existentes; já nos períodos de estiagem, a pouca disponibilidade de água para as raízes das plantas altera o processo de absorção de nutrientes e afeta o transporte deles para todas as partes do vegetal (Costa *et al.*, 2007).

O regime pluviométrico da Amazônia, principalmente nos meses mais chuvosos, é fortemente influenciado pelo ciclo do *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS), que ocorre sobre o oceano Pacífico (Fearnside, 2009). Nos anos de *El Niño*, os índices pluviométricos da região são menores e as condições climatológicas são alteradas, podendo ocorrer perturbações nos diversos componentes da floresta; já nos anos de *La Niña*, o índice de precipitação é mais elevado (Marengo & Dias, 2006; Marengo & Nobre, 2009). Tais modificações

hídricas podem influenciar os processos que disponibilizam ou alteram as concentrações dos nutrientes do solo.

O experimento “O impacto da seca prolongada nos fluxos de água e dióxido de carbono em uma floresta tropical amazônica” (vinculado ao Projeto ESECAFLOR) integra o programa “Experimento de grande escala da biosfera-atmosfera na Amazônia” (LBA), e está instalado na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã, no estado do Pará. O ESECAFLOR constitui-se como uma proposta de avaliação das conseqüências provocadas por um longo período de exclusão das águas pluviais no ecossistema, simulando um tempo de seca anômalo (Costa *et al.*, 2007). Costa *et al.* (2006) evidenciaram que o estresse hídrico na área deste projeto causou alteração na temperatura e no conteúdo de água do solo, a qual pode estar influenciando os processos de decomposição da serapilheira que ocorrem ao longo do ano, responsáveis por disponibilizar nutrientes para o solo e, conseqüentemente, para as plantas.

A FLONA de Caxiuanã, localizada no leste da Amazônia, sofre anomalias causadas pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña* (Costa & Moraes, 2002; Moraes *et al.*, 2009). A área da FLONA apresenta diferentes tipos de solos (Simões *et al.*, 2009), evidenciando muitas espécies da flora (Trindade & Secco, 2009) e da fauna (Macambira, 2009) amazônicas. Muitos trabalhos desenvolvidos no sítio do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) – de âmbito nacional, instalado em diferentes regiões da Amazônia, localizado nesta FLONA – indicam a alta biodiversidade dessa área, bem como a necessidade do desenvolvimento de pesquisas para compreender o funcionamento dos ecossistemas dessa região, a fim de subsidiar futuras ações de manejo e de conservação de seus ecossistemas, em especial do componente edáfico, que sustenta a sua diversidade florística.

Este estudo avaliou as concentrações dos nutrientes em Latossolos Amarelos, em diferentes períodos sazonais, nas áreas do experimento do ESECAFLOR e do PPBio, ambas localizadas na FLONA de Caxiuanã.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Ocupando cerca de 70% do município de Melgaço e 30% do município de Portel, ambos no estado do Pará, a FLONA de Caxiuanã dista 400 km a oeste de Belém (Soares & Lisboa, 2009). Na FLONA, foram selecionadas duas áreas em floresta primária para a amostragem do solo, uma no espaço do PPBio e outra no do ESECAFLOR (Figura 1).

A FLONA de Caxiuanã está localizada na Amazônia oriental, especificamente no estado do Pará, e abriga ecossistemas que são típicos da Amazônia, como terra firme, várzea e igapó, os quais são riquíssimos em espécies vegetais (Almeida *et al.*, 1993). De acordo com Moura *et al.* (2015, p. 266), "a região foi desenvolvida em baixo planalto formado durante o período Cretáceo e apresenta sedimentos quartzo-caoliníticos correlacionados à Formação Alter do Chão. O tipo de solo que ocorre com mais frequência são os Latossolos".

Com base na média feita a partir da série de dados coletados durante 28 anos (1980-2007) pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), definiu-se que os períodos chuvoso e seco representam 72,5% e 27,5% da precipitação da FLONA, respectivamente. A temperatura média anual neste local é de 26 °C e a umidade relativa média do ar é de cerca de 85%. Os menores valores de temperatura foram registrados, em geral, durante os meses de janeiro a março (Lisboa, 1997).

Este trabalho está inserido no âmbito do Experimento em Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), um programa interdisciplinar que visa explicar como funciona a Amazônia enquanto uma biosfera regional, como as mudanças nos usos da terra afetam o clima regional e global e de que forma as mudanças climáticas globais afetam o funcionamento biológico, químico e físico da floresta e a sua sustentabilidade, nos diversos subsistemas de um ecossistema de terra firme da floresta amazônica (Lisboa, 1997; Meir *et al.*, 2003).

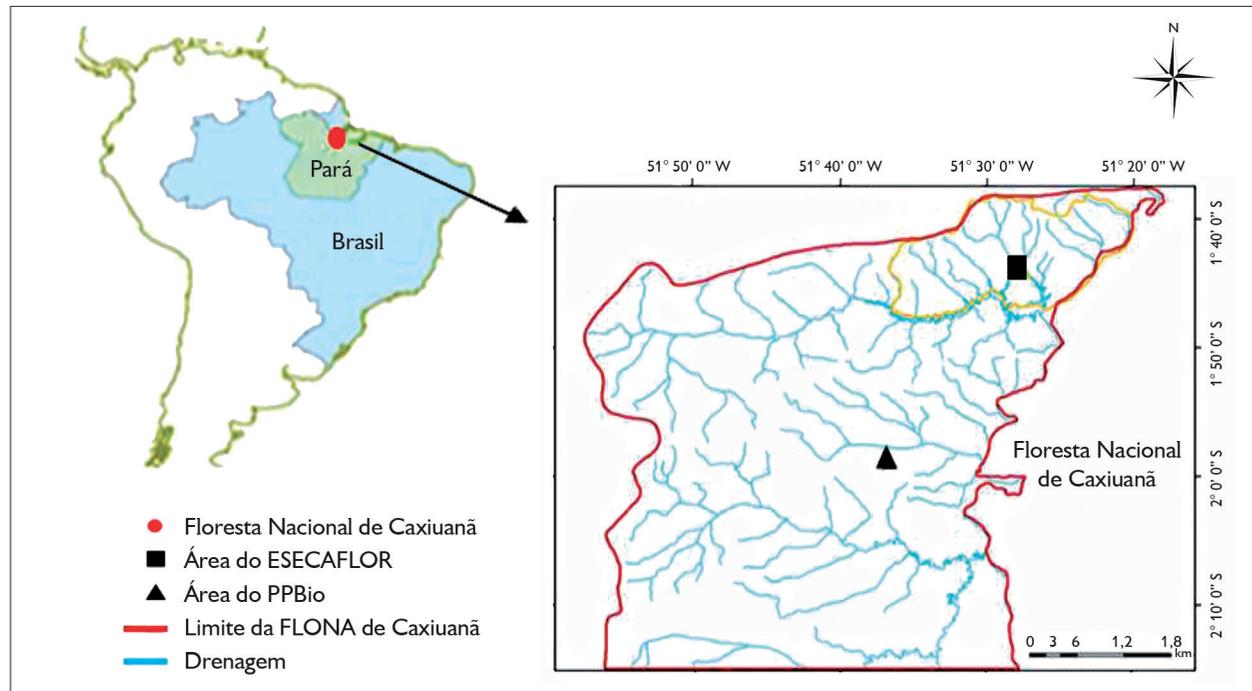


Figura 1. Localização da Floresta Nacional de Caxiuanã e das áreas experimentais do ESECAFLOR e do PPBio. Fonte: adaptado de Moura (2012).

A parcela submetida ao estresse hídrico do ESECAFLOR, onde foi realizada a amostragem do solo para este estudo, possui 1 ha e teve cerca de 90% das águas pluviais interceptadas por painéis de madeira, revestidos com plástico transparente, instalados a uma altura variando de 1,5 a 4 m acima do solo (Costa *et al.*, 2007). Também foram implantadas 20 calhas de madeira, com 0,3 x 0,3 m de largura e de profundidade, revestidas com lona plástica, que direcionaram as águas das chuvas às trincheiras laterais de escoamento. A serapilheira produzida na área, retida pelos painéis de interceptação da chuva, foi periodicamente transferida para a superfície do solo.

Os solos das parcelas do ESECAFLOR são ácidos, sendo registrados valores de pH entre 3,5 e 5,5. Eles são classificados como Latossolo Amarelo, com horizontes A, B e C bem drenados, cor bruno amarelo-escuro a vermelho-amarelado. A base do perfil é constituída por um horizonte de areia ou de argila caulínica, intercalada com um horizonte (Ruivo *et al.*, 2002). A floresta de terra firme do entorno desta área é constituída por árvores emergentes (40 a 50 m), dossel (30 a 35 m), subdossel (20 a 25 m) e piso (5 m); a diversidade varia entre 150 a 160 espécies ha⁻¹ e a densidade de indivíduos é de 450 a 550 árvores (Viana *et al.*, 2003). Ilkiu-Borges & Lisboa (2004) realizaram inventário florístico em 9 ha de terra firme na mesma área, onde identificaram 644 espécies; neste local, as árvores possuíam altura entre 10-49 m e diâmetro à altura do peito (DAP) entre 10-20 cm, salvo algumas exceções.

O sítio de pesquisa do PPBio foi instalado na FLONA de Caxiuanã no ano de 2004 e possui 25 km², divididos em 30 parcelas permanentes de 250 x 40 m, identificadas por números. A amostragem do solo nessa área foi realizada na parcela 13, a qual está localizada na área central da grade do PPBio. Os solos dessa área são classificados como Latossolo Amarelo, e apresentam valores de pH entre 4,2 e 6,4, textura variando de arenosa a muito argilosa, altos valores para saturação por alumínio (acima de 50%), baixos valores (4 a 12 cmol/dm³) de capacidade de troca catiônica (CTC), valores de soma de bases entre 0,15 e 1,15 cmol/dm³ e

teores de matéria orgânica oscilando de baixos a médios (Simões *et al.*, 2009). Nutrientes como cálcio, magnésio, potássio e fósforo apresentaram valores relativamente baixos nas primeiras profundidades do solo (0-5, 5-10 cm) (Simões *et al.*, 2009). As famílias mais representativas da flora fanerogâmica das parcelas, em número de espécies, são: Leguminosae (19 spp.), Euphorbiaceae, Rubiaceae e Sapotaceae (10 spp. cada), Annonaceae e Violaceae (8 spp. cada), Lecythidaceae (7 spp.), Burseraceae, Chrysobalanaceae e Lauraceae (6 spp. cada), Myrtaceae, Flacourtiaceae e Sapindaceae (5 spp. cada) e Boraginaceae (4 spp.) (Ilkiu-Borges & Lisboa, 2004).

DESENHO EXPERIMENTAL E AMOSTRAGENS DO SOLO

Os períodos de amostragem do solo foram determinados conforme a sazonalidade pluviométrica da região (Fisch *et al.*, 1998; Costa *et al.*, 2006). De forma geral, os maiores valores de precipitação foram registrados no mês de março; os menores, no mês de setembro; e os intermediários, em julho, conforme a média climatológica apresentada por Costa *et al.* (2006) e Rodrigues *et al.* (2011) (Figura 2).

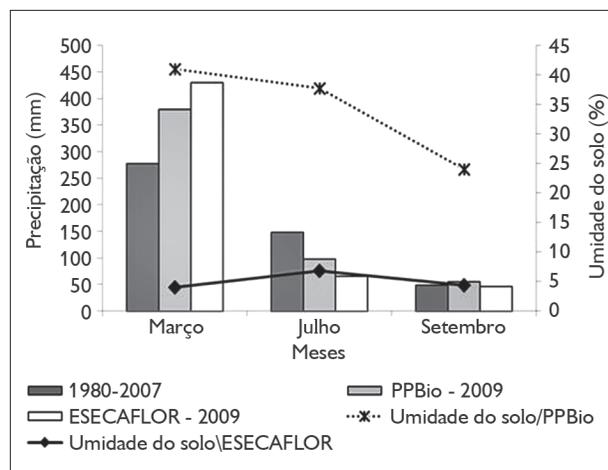


Figura 2. Totais mensais de precipitação pluvial no ano de 2009 registrados no ESECAFLOR e no PPBio, média dos totais mensais registrados entre 1980-2007 (na estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas – ANA, localizada na FLONA de Caxiuanã) e valores de umidade atual do solo obtidos para os meses de março, julho e setembro.

Os valores de precipitação obtidos para a área do ESECAFLOR no ano de 2009 são provenientes de uma estação meteorológica montada na torre do Programa LBA, e os valores de precipitação registrados no PPBio foram obtidos por meio de estação meteorológica montada em área de clareira próxima à parcela 13 e administrada pelo grupo Bioclima, do PPBio.

Os pontos de coleta das amostras de solo foram pré-estabelecidos pela equipe do grupo Bioclima (Rodrigues *et al.*, 2011; Moura *et al.*, 2015). Em cada área (parcelas PPBio e ESECAFLOR), foram selecionados, de forma aleatória, três pontos para a abertura de pequenas trincheiras, com 30 x 50 cm, onde foram coletadas amostras simples, com aproximadamente 300 g de solo, para as profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos estéreis, identificados conforme a parcela e o ponto de coleta, a profundidade amostrada e o período sazonal da amostragem. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em geladeira, a 18 °C. Antes dos procedimentos analíticos, exceto para a análise de umidade, as amostras de solo foram secadas em temperatura ambiente, destorroadas com rolo de madeira, passadas em peneira, com malha de 2 mm, e as raízes foram removidas manualmente, com auxílio de pinças.

ANÁLISES LABORATORIAIS

As análises químicas feitas para determinar as concentrações dos atributos químicos, os cálculos realizados com a finalidade de determinar a capacidade de troca de cátions (CTC), a soma de bases (s) e a saturação por bases (v) foram realizados conforme os métodos descritos no manual de análise do solo, produzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). Os reagentes utilizados foram de grau analítico e as soluções, preparadas com água deionizada de alta pureza (resistividade de 18,2 MΩ cm), obtida em sistema Milli-Q, Millipore. Todas as análises foram feitas em triplicatas e no Laboratório de Análises Químicas, do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG).

O pH foi determinado por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão de solo:água, com relação 1:2,5. O teor de carbono orgânico foi determinado pelo método Walkley-Black (volumetria de oxidação-redução) e o de nitrogênio, por digestão sulfúrica, destilação Kjeldhal e titulação. A acidez potencial foi determinada pelo método de volumetria de neutralização, com solução de acetato de cálcio (pH 7,0). A solução de cloreto de potássio (pH 7,0) foi utilizada para a extração do cálcio, do magnésio e do alumínio trocável. O fósforo, o potássio e o sódio foram extraídos com solução de Mehlich¹.

Um espectrômetro de absorção atômica com chama, de marca CG Thermo Scientific e modelo iCE Série 3000, equipado com corretor de fundo e com lâmpada de deutério, foi usado para determinar as concentrações de cálcio e de magnésio. Na determinação do teor de cálcio, foi adotada chama redutora de acetileno/óxido nítrico. Sódio e potássio foram quantificados pela técnica de fotometria de chama (fotômetro CORNING 400), com chama de ar-GLP e filtros de interferência específicos. O aparelho foi calibrado com padrões de 1, 5, 10 e 20 mg L⁻¹, obtidos pela diluição sucessiva de soluções estoque 1.000 mg L⁻¹ Titrisol (Merck KGaA, Darmstadt, Germany). Para a determinação do fósforo disponível, foi utilizado um espectrofotômetro UV/VIS DB1880S, no comprimento de onda $\lambda = 660$ nm. Soluções padrões de fósforo foram empregadas nas concentrações de 1 a 4 mg L⁻¹, preparadas a partir de uma solução padrão de fósforo (KH₂PO₄ p.a.) na concentração de 50 mg L⁻¹. As concentrações do alumínio foram determinadas por volumetria, utilizando NaOH 0,025N.

Também determinou-se o teor de umidade atual do solo, conforme os procedimentos descritos em EMBRAPA (1997). Dez gramas de solo úmido, de cada amostra, foram secadas em estufa, a 110 °C, por 24 horas. As amostras retiradas da estufa foram armazenadas em dessecador até apresentarem temperatura ambiente, sendo posteriormente pesadas novamente. Após o cálculo, utilizando os valores das pesagens, obteve-se, em percentual, a umidade do solo.

TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para determinar se houve diferença significativa ($p < 0,05$) de cada atributo químico entre os períodos sazonais estudados (chuvoso, de transição e menos chuvoso) e as parcelas amostradas (do PPBio e do ESECAFLOR), foi aplicado o teste de análise de variância (ANOVA) de dois critérios. Quando encontrada significância, as médias de cada parâmetro foram verificadas pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade. Nesta análise, foram utilizados somente os dados obtidos para a profundidade de 0 a 5 cm. Para verificar a existência de variação vertical de cada atributo dentro das parcelas em cada período sazonal, foi aplicado o teste ANOVA de um critério, também seguido pelo teste de Tukey a 5%. Todos estes testes foram realizados no ambiente computacional R, versão 3.2.2 (R-Development-Core-Team, 2015). A escolha deles foi baseada nos trabalhos de Silva *et al.* (2014) e Costa *et al.* (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os totais mensais da precipitação pluvial obtidos para as áreas do ESECAFLOR e do PPBio, bem como as normais climatológicas do período de 1980-2007, para os meses de amostragem do solo.

Na área do ESECAFLOR, o total mensal de precipitação para os meses de março, julho e setembro de 2009 foi, respectivamente, 420, 66,04 e 46,24 mm. Na área do PPBio, foi registrado 380, 97,30 e 54,75 mm para os mesmos meses, respectivamente. Considerando os dados da série climatológica para cada mês, identificou-se que os totais mensais, de ambas as parcelas, foram superiores no mês de março, inferiores no mês de julho e próximos da média climatológica no mês de setembro. Conforme Rodrigues *et al.* (2011), a estação chuvosa de 2009 estava sob a influência do fenômeno *La Niña*, iniciado no segundo semestre de 2008. Na época menos chuvosa, as condições termiais das águas do Pacífico central apontavam para o início do evento *El Niño*, que atingiu seu pico em dezembro

de 2009, influenciando a ocorrência de reduções de chuvas na Amazônia oriental.

Na área do PPBio, os valores de umidade atual do solo foram, respectivamente, 41,9, 38,2 e 23,8% nos meses de março, julho e setembro. Para a área do ESECAFLOR, foram obtidos os valores 4,3, 8,6 e 4,1, referentes aos mesmos meses, respectivamente. O percentual de umidade atual do solo acompanha a sazonalidade pluviométrica, no caso do PPBio; na parcela do ESECAFLOR, esses valores refletem a eficiência do processo de exclusão das águas pluviais. O maior valor de umidade registrado no período de transição, na área do ESECAFLOR, foi justificado por fortes chuvas e ventos, fenômenos comuns nessa época do ano, que acabam danificando a estrutura dos painéis, possibilitando a passagem de água para o solo.

O valor de pH dos solos variou entre 3,77 a 4,27, na área do PPBio, e entre 3,97 a 4,93, na área do ESECAFLOR (Tabela 1). Os baixos valores de pH obtidos neste estudo são compatíveis com os encontrados por Ruivo *et al.* (2002), também realizado na FLONA de Caxiuanã. Não houve variação vertical significativa entre as profundidades e entre os períodos sazonais para a área do PPBio. Entre os períodos sazonais, foi registrada diferença significativa somente para área do ESECAFLOR e na relação entre período chuvoso x de transição (Figura 3). Na área do ESECAFLOR, também foi registrada variação vertical significativa somente no período chuvoso (Tabela 1). De forma geral, houve tendência de aumento dos valores em direção às camadas de solo mais profundas em ambas as áreas. É possível que esteja ocorrendo a liberação de ácidos fracos, provenientes da decomposição da matéria orgânica, que se concentra mais nas primeiras camadas do solo (Braccini *et al.*, 1995).

Os maiores valores de carbono nas áreas do PPBio (27,4 g/kg) e do ESECAFLOR (14,9 g/kg) foram registrados na primeira camada do solo (0-5 cm) e, respectivamente, nos meses chuvoso e de transição (Tabela 1). Houve diferença significativa dos teores de carbono entre as áreas estudadas (Figura 3).

Tabela 1. Valores médios de pH e das concentrações dos atributos químicos obtidos para a área do PPBio e do ESECAFLOR nos períodos chuvoso (CH), de transição (TR) e menos chuvoso (MC), na FLONA de Caxiuanã, Pará, Brasil. Legenda: pH = potencial hidrogeniônico; C = carbono (g/kg); N = nitrogênio (g/kg); C/N = relação carbono/nitrogênio; Al = alumínio (cmol_c/kg); AP = acidez potencial (cmol_c/kg); CTC = capacidade de troca catiônica (cmol_c/kg); V = saturação por bases (%); P = fósforo (mg/kg); Na = sódio (cmol/kg); K = potássio (cmol/kg); Ca = cálcio (cmol/kg); Mg = magnésio (cmol/kg); S = soma de bases (cmol/kg). As letras minúsculas, na linha, comparam a variação entre as profundidades (0-5, 5-10 e 10-20) para cada período sazonal. Médias com letras iguais não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

	CH			TR			MC		
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
PPBio									
pH	3,94 a	3,77 a	3,91 a	4,06 a	3,95 a	4,09 a	4,07 a	4,26 a	4,27 a
C	26,9 a	15,7 b	10,9 b	27,4 a	18,5 b	12,1 c	25,9 a	14,3 b	10,1 c
N	1,52 a	1,31 a	0,96 b	1,24 ab	1,36 a	1,17 b	2,10 a	1,14 b	0,95 b
C/N	18,6 a	11,6 b	11,3 b	15,7 a	13,4 ab	10,1 b	12,2 ab	13,2 a	10,7 b
Al	2,09 a	2,11 a	1,89 a	1,64 a	1,77 a	1,72 a	1,83 a	1,74 a	1,74 a
AP	5,43 a	3,25 ab	2,48 b	4,96 a	3,13 ab	2,67 b	4,19 a	3,32 ab	2,36 b
CTC	6,70 a	4,07 ab	3,34 b	6,94 a	4,56 ab	3,73 b	5,77 a	4,43 ab	3,11 b
V	19,2 a	20,1 ab	21,5 b	28,9 a	29,7 a	27,6 a	27,8 a	24,8 a	25,2 a
P	10,19 a	5,34 b	4,30 b	10,55 a	5,89 b	5,25 b	10,83 a	4,89 b	5,23 b
Na	0,05 a	0,62 b	0,57 b	0,78 a	0,58 a	0,55 a	0,68 a	0,59 a	0,55 a
K	0,22 a	0,08 bc	0,06 b	0,16 a	0,08 b	0,06 b	0,13 a	0,07 b	0,05 b
Ca	0,59 a	0,03 b	0,02 b	0,54 a	0,45 a	0,21 b	0,33 a	0,23 a	0,02 b
Mg	0,42 a	0,09 b	0,06 c	0,51 a	0,32 ab	0,24 b	0,45 a	0,23 b	0,13 c
S	1,73 a	0,82 b	0,71 b	1,99 a	1,43 ab	1,07 b	1,59 a	1,11 ab	0,75 b
ESECAFLOR									
pH	4,93 a	4,16 b	3,97 b	4,34 a	4,08 a	4,02 a	4,58 a	4,28 a	4,40 a
C	14,3 a	9,9 a	10,2 a	14,9 a	7,1 b	9,0 ab	13,8 a	9,0 b	8,4 b
N	0,69 a	0,46 b	0,52 ab	0,75 a	0,55 a	0,59 a	0,67 a	0,38 a	0,50 a
C/N	21,0 a	26,0 a	20,0 a	19,7 a	13,2 a	16,6 a	20,2 a	15,7 a	16,8 a
Al	0,59 a	1,05 b	1,12 b	1,11 a	1,18 a	1,18 a	1,27 a	1,18 a	1,27 a
AP	1,74 a	1,33 a	1,61 a	2,17 a	1,83 a	1,83 a	1,71 a	2,23 a	1,83 a
CTC	3,58 a	2,12 a	2,26 a	2,99 a	2,40 a	2,41 a	2,74 a	2,92 a	2,46 a
V	50,5 a	37,2 ab	31,7 b	27,5 a	23,8 a	24,0 a	38,1 a	24,1 b	26,3 b
P	6,10 a	4,54 ab	3,17 b	4,92 a	4,66 a	3,43 a	5,41 a	3,66 a	3,22 a
Na	0,72 a	0,55 a	0,50 a	0,51 a	0,46 a	0,48 a	0,45 a	0,51 a	0,47 a
K	0,12 a	0,05 b	0,04 b	0,06 a	0,04 b	0,03 b	0,15 a	0,05 b	0,04 bc
Ca	0,40 a	0,04 b	0,01 c	0,12 a	0,01 b	0,01 b	0,19 a	0,04 b	0,04 b
Mg	0,61 a	0,14 b	0,09 c	0,13 a	0,06 b	0,05 b	0,25 a	0,09 b	0,08 bc
S	1,85 a	0,78 b	0,65 b	0,82 a	0,57 a	0,58 a	1,03 a	0,69 ab	0,63 ab



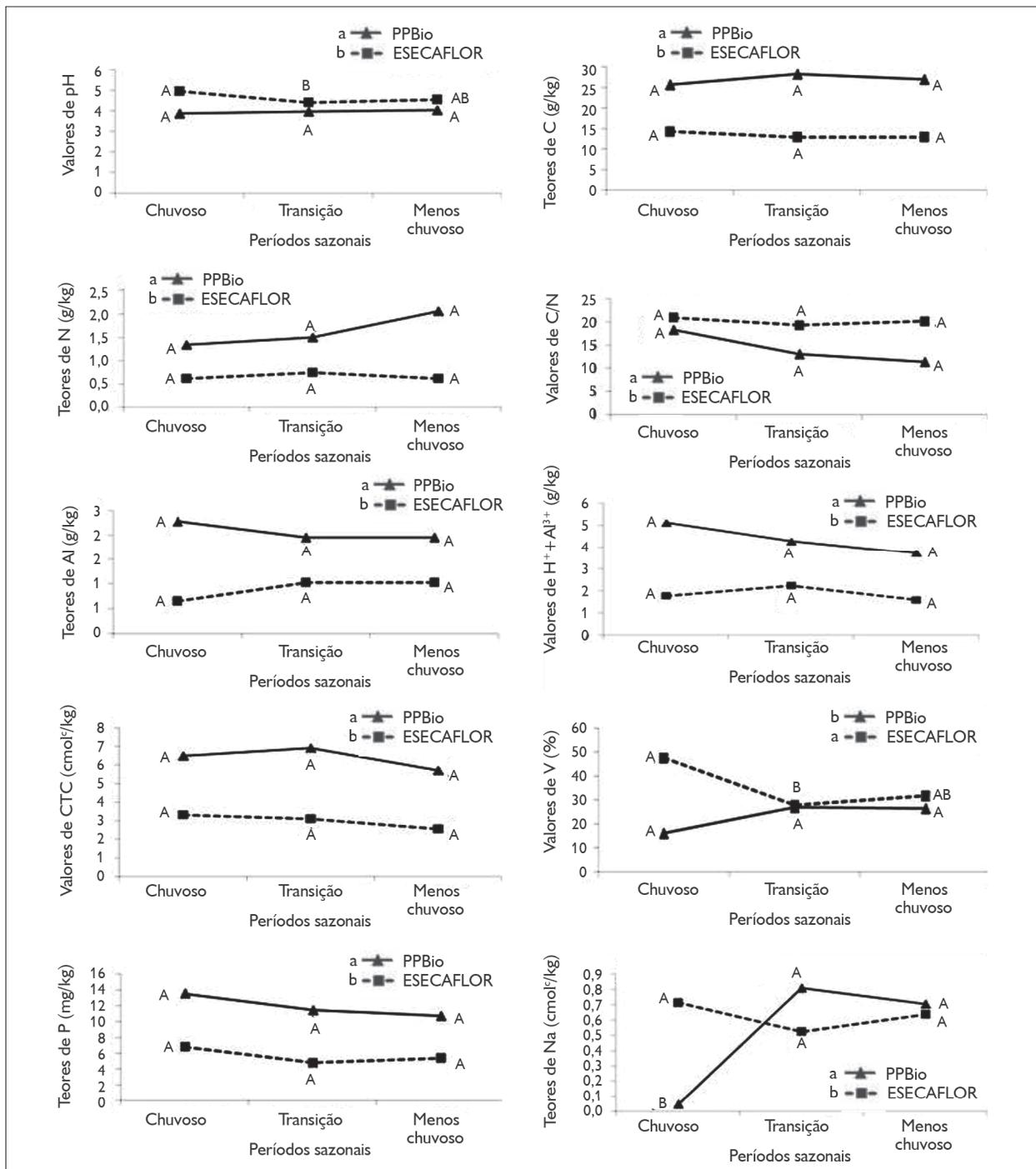


Figura 3. Comparação dos valores médios dos atributos químicos pH (potencial hidrogeniônico), C (carbono), N (nitrogênio), C/N (relação carbono/nitrogênio), Al (alumínio), H⁺ + Al³⁺ (acidez potencial), CTC (capacidade de troca catiônica), V (saturação por bases), P (fósforo) e Na (sódio) do solo, entre a área do PPBio e do ESECAFLOR, na FLONA de Caxiuanã, Pará, Brasil. As letras minúsculas, ao lado da legenda, comparam a variação entre as áreas (PPBio e ESECAFLOR) e as letras maiúsculas comparam a variância entre os períodos sazonais, para cada área. Letras iguais não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Isso pode ser justificado pela maior quantidade de serapilheira identificada no campo para a área do PPBio, em relação à quantidade depositada na área do ESECAFLOR. Apesar da realocação periódica da serapilheira, retida nos painéis de interceptação, para o solo, é possível que haja perda de parte desse material, por influência dos fatores intempéricos, como a chuva e o vento, e isso pode estar contribuindo para essa diferença entre as áreas. Outro fator que pode ter contribuído para este resultado está relacionado à atividade microbiana, menor em ambientes alterados (Rodrigues *et al.*, 2011; Moura *et al.*, 2015). No geral, a concentração de carbono diminui significativamente conforme o aumento da profundidade. Os maiores teores de carbono obtidos nos primeiros centímetros do solo são comuns, visto que a quantidade de material orgânico é maior nas primeiras camadas de solo (Sotta *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2011). Tal variação vertical também foi observada por outros autores, em vários tipos de solo da Amazônia (Vieira & Santos, 1987; Ruivo *et al.*, 2006; Potes *et al.*, 2010).

Os teores de nitrogênio do PPBio e do ESECAFLOR apresentaram diferença significativa (Figura 3). Assim como em relação ao carbono, é possível que o aporte de matéria orgânica seja o principal fator responsável por tal diferença. Para Ruivo *et al.* (2006), as variações de carbono e de nitrogênio dos solos da FLONA de Caxiuanã podem estar relacionadas à quantidade de matéria orgânica e à textura do solo, que, no caso do ESECAFLOR, é mais arenoso (Ruivo *et al.*, 2002) em comparação ao do PPBio (Simões *et al.*, 2009).

A relação C/N apresentou comportamento semelhante nas duas parcelas de estudo: os maiores valores foram registrados no período chuvoso e os menores, no período menos chuvoso (Tabela 1). Na área do PPBio, os valores variaram de 10,7 a 18,6, já no ESECAFLOR, a variação ficou entre 13,2 e 26,0. Houve diferença significativa entre as parcelas (Figura 3). Os valores identificados no ESECAFLOR podem justificar os baixos

teores de nutrientes nessas áreas, como cálcio, magnésio e sódio nessas áreas (Tabela 1).

De forma geral, os valores de C/N diminuíram com a profundidade. Não foi, no entanto, registrada variação vertical significativa. A relação C/N na área do PPBio mostrou-se mais estável (com menor amplitude de variação) em relação à área do ESECAFLOR. É possível que na área do PPBio a formação da matéria orgânica esteja mais equilibrada, em comparação com a área submetida ao estresse hídrico. Os maiores valores de C/N e, conseqüentemente, a diminuição da mineralização da matéria orgânica do solo do ESECAFLOR podem estar associados às condições ambientais adversas de temperatura, precipitação, umidade e radiação solar, estabelecidas após a instalação dos painéis bloqueadores das águas pluviais.

Os teores de alumínio no solo variaram entre 1,64 e 2,11 cmol_c/kg, para a área do PPBio, e entre 0,59 e 1,27 cmol_c/kg, para a parcela do ESECAFLOR (Tabela 1). Os maiores valores foram identificados nas primeiras camadas do solo, respectivamente no período chuvoso e menos chuvoso do PPBio e do ESECAFLOR. Em geral, os maiores valores foram registrados no PPBio, havendo diferença significativa desse elemento entre as áreas estudadas (Figura 3). Não houve variação vertical significativa do alumínio, exceto no período chuvoso do ESECAFLOR, quando foi obtida significância entre a camada 0-5 cm e as demais camadas. É possível que tenha ocorrido a entrada de água no sistema, uma vez que os painéis retêm cerca de 90% das águas pluviais, influenciando os maiores valores desse elemento nas primeiras profundidades do solo.

Os maiores teores de acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) foram identificados na área do PPBio, no período chuvoso (Tabela 1). A mineralização da matéria orgânica libera cátions nas camadas do solo, em especial os H⁺, que provocam redução no pH (Moreira *et al.*, 2008). Registrou-se variação significativa entre as profundidades somente na área do PPBio, entre os períodos sazonais (Figura 3). No período chuvoso do PPBio, a acidez

apresentou teor elevado, fato que pode ser reflexo da mineralização acentuada da matéria orgânica, devido ao favorecimento, pela entrada de água no sistema (Figura 2), da atividade microbiana e, conseqüentemente, da liberação de H^+ , causando a diminuição do valor do pH (Malavolta, 2006); neste estudo, isso pode ter elevado a acidez potencial.

Os maiores valores de CTC foram registrados nos períodos de transição, no PPBio, e no menos chuvoso, no ESECAFLOR (Tabela 1). Assim como com o alumínio e a acidez potencial, houve redução gradativa dos valores conforme o aumento da profundidade. Para Ruivo *et al.* (2002), o comportamento dessas variáveis provavelmente está ligado à matéria orgânica e, muito provavelmente, venha a ser o principal responsável pela variação vertical da CTC na área do ESECAFLOR. A diferença dos valores de CTC entre as áreas estudadas (Figura 3) deve-se ao fato de o ESECAFLOR possuir influência das argilas cauliniticas, presentes em maior quantidade na área de exclusão (Ruivo *et al.*, 2002), uma vez que estas, segundo Moreira & Malavolta (2004), são responsáveis pelos baixos valores de CTC dos solos tropicais. Além da composição geológica do local, a maior quantidade de material orgânico identificada na área do PPBio pode estar contribuindo para a elevação dos valores de CTC. Sobre isso, Pereira *et al.* (2000), em estudo sobre as variáveis químicas de Latossolo Amarelo na Amazônia, afirmam que a deposição de matéria orgânica no solo provoca aumento na CTC, promovendo melhor adsorção de cátions trocáveis, liberados pela decomposição da matéria orgânica.

O índice de saturação por bases (V%) variou de 14,78 a 28,95%, para a área do PPBio, e de 21,11 a 38,07%, para a área do ESECAFLOR (Tabela 1). As diferenças dos valores obtidos para ambas as áreas foram significativas principalmente no período chuvoso, quando também se observaram maiores valores para a área do ESECAFLOR.

O teor de fósforo variou de 4,3 a 10,83 mg/kg, na área do PPBio, e de 3,17 a 6,10 mg/kg, na área do ESECAFLOR (Tabela 1). Os maiores valores foram

identificados nos primeiros centímetros do solo, havendo diferença significativa entre as profundidades em ambas as áreas (Figura 3). É comum o acúmulo de fósforo na camada superficial dos solos, devido à pouca mobilidade e à baixa solubilidade de seus compostos, sobretudo em solos de natureza ácida, com altos teores de óxidos de ferro e de alumínio (Pereira *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2006), como é o caso dos solos estudados. No geral, o comportamento sazonal do fósforo no ESECAFLOR e no PPBio (Tabela 1) é semelhante ao descrito por Ferreira *et al.* (2006) e Simões *et al.* (2009), que estudaram Latossolo Amarelo na Amazônia central e oriental, respectivamente, e encontraram maiores valores de fósforo no período chuvoso. Os valores de fósforo geralmente são maiores no período chuvoso, pois a taxa de mineralização da matéria orgânica é mais elevada nessa época do ano (Malavolta, 2006). A diferença significativa dos elevados valores de fósforo na área do PPBio em relação à do ESECAFLOR, assim como no caso do carbono, pode ser associada ao maior aporte de serapilheira observado na primeira área. A disponibilidade de fósforo no solo é elevada devido ao processo de decomposição da matéria orgânica, no qual alguns compostos orgânicos ligam-se ao ferro e ao alumínio, restringindo a formação de compostos insolúveis de fósforo (Coelho & Verlengia, 1973). A decomposição da matéria orgânica também produz ácidos inorgânicos, que dissolvem compostos de fósforo encontrados em formas insolúveis na solução do solo (Malavolta, 2006).

Os valores obtidos para o sódio variaram entre 0,05 a 0,78 $cmol_c/kg$, na área do PPBio, e entre 0,45 a 0,72 $cmol_c/kg$, na área do ESECAFLOR. No caso do potássio, essa variação foi de 0,05 a 0,22 $cmol_c/kg$, no PPBio, e de 0,04 a 0,15 $cmol_c/kg$, no ESECAFLOR (Tabela 1). Houve diferença vertical significativa das concentrações obtidas para a área do PPBio no período chuvoso, no caso do sódio, e em todos os períodos, no caso do potássio. Na área do ESECAFLOR, foi observada diferença vertical significativa somente para o potássio, em todos os períodos sazonais. Os teores de sódio e

de potássio apresentaram diferença significativa entre as áreas (Figuras 3 e 4). Em ambas as áreas, os maiores valores de sódio e de potássio foram registrados no período chuvoso, semelhante ao observado no estudo de Ferreira *et al.* (2006), realizado em solos tropicais.

Os maiores teores de cálcio e de magnésio foram obtidos nos períodos de transição, na área do PPBio, e chuvoso, no ESECAFLOR (Tabela 1). Esses nutrientes não apresentaram diferenças significativas para a interação entre os períodos sazonais (Figura 4). Houve variação vertical significativa entre as profundidades estudadas em todos os períodos sazonais amostrados, não sendo registrada variação significativa entre os teores obtidos para cada parcela. Os altos teores de ambos nutrientes na área do PPBio estejam talvez relacionados ao maior acúmulo de

matéria orgânica nessa área, uma vez que o cálcio pode ser retido no complexo sortivo do solo.

Estudando os solos do experimento ESECAFLOR, Ruivo *et al.* (2006) encontraram valores semelhantes ao do presente estudo para os elementos fósforo, sódio, potássio, cálcio e magnésio. Segundo estes autores, a maior disponibilidade desses nutrientes nas camadas superiores dos solos ocorre em razão da deposição de material vegetal. Por outro lado, a variação vertical é influenciada principalmente pela drenagem, variação textural e porosidade, as quais limitam ou facilitam, dependendo do caso, o fluxo de nutrientes para o interior do perfil do solo (Brady & Weil, 2013). A maior concentração desses elementos no período chuvoso e de transição, conforme Luizão (2007), pode ser justificada pela lavagem, através das

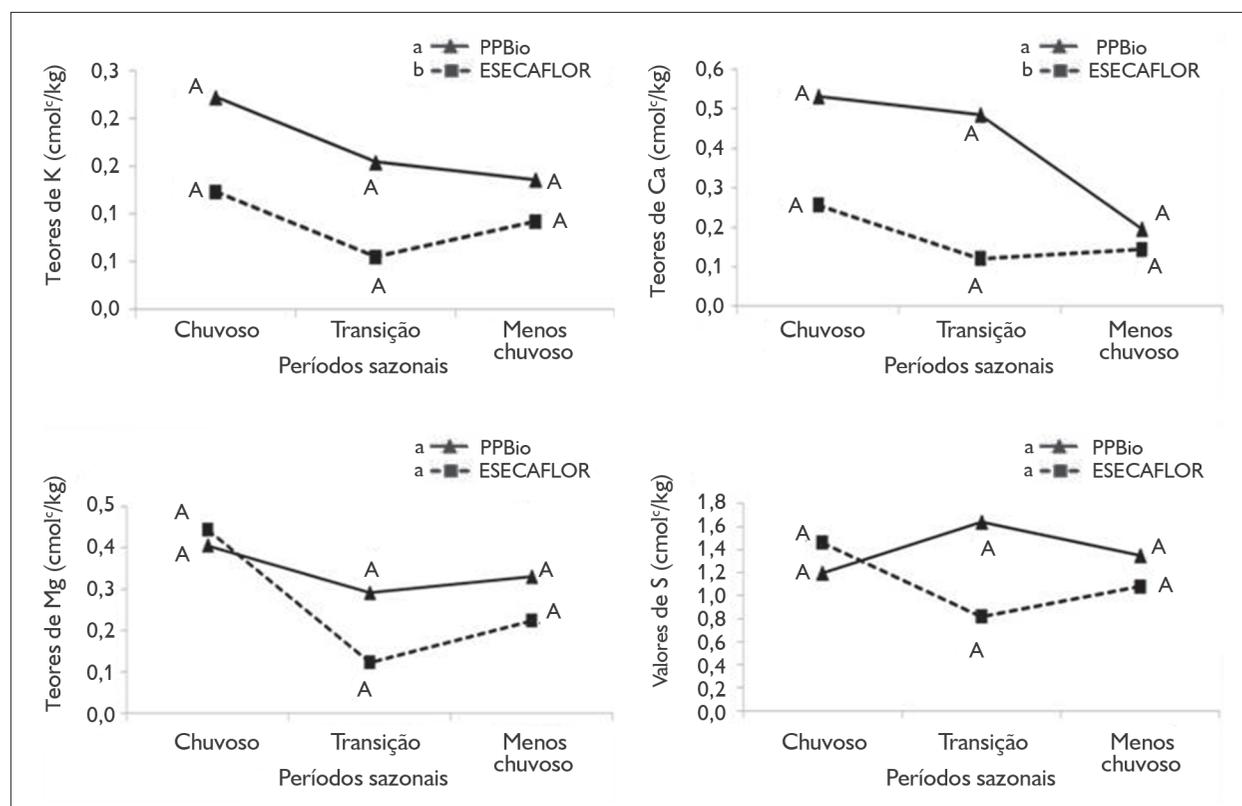


Figura 4. Comparação dos valores médios dos atributos químicos K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e S (soma de bases) entre a área do PPBio e do ESECAFLOR, na FLONA de Caxiuanã, Pará, Brasil. As letras minúsculas, ao lado da legenda, comparam a variação entre as áreas (PPBio e ESECAFLOR) e as letras maiúsculas comparam a variância entre os períodos sazonais, para cada área. Letras iguais não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

águas pluviais, das copas de árvores que produzem fluxos de magnésio e principalmente de potássio, como é o caso da área do PPBio. Na área do ESECAFLOR, os maiores teores desses nutrientes podem estar sendo influenciados pela umidade do solo (Figura 2), proporcionada pelo percentual de água da chuva que não é retida pelos painéis instalados na parcela de tratamento do ESECAFLOR.

No geral, os valores de soma de bases diminuiram significativamente conforme o aumento da profundidade em ambos os períodos e áreas estudadas (Tabela 1), o que pode estar relacionado à diminuição do teor de matéria orgânica em relação ao aumento da profundidade (Silva *et al.*, 2006). Não foi registrada diferença significativa dessa variável entre os sítios e os períodos sazonais estudados.

CONCLUSÃO

A entrada ou a ausência de água no sistema de solo alteram a disponibilidade do nutriente sódio na área do PPBio e dos valores de pH e de saturação por bases na área do ESECAFLOR.

As concentrações químicas registradas para as áreas de estudo apresentaram diferença significativa, sendo que, na área do ESECAFLOR, foram registradas as menores concentrações para a maioria das variáveis analisadas. As condições de estresse, ocasionadas pela ausência de água no sistema, podem ter alterado os processos de decomposição que ocorrem no sistema serapilheira-solo, restringindo a disponibilidade dos nutrientes para a solução do solo.

A exclusão parcial de águas pluviais refletiu diretamente na ocorrência de menores concentrações da maioria dos nutrientes do solo nas plantas, as quais diminuiram de modo significativo de acordo com a profundidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. S., P. L. B. LISBOA & A. S. L. SILVA, 1993. Diversidade florística de uma comunidade arbórea na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica** 9(1): 99-105.

BRACCINI, A. L. E., C. H. BRITO, J. B. PÔNZIO, C. L. MORETTI & E. G. LOURES, 1995. Efeito da aplicação de resíduos orgânicos com diferentes relações C/N sobre algumas características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Ceres** 42(244): 671-684.

BRADY, N. C. & R. R. WEIL, 2013. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**: 3. ed.: 1-704. Bookman, Porto Alegre.

COELHO, F. S. & F. VERLENGIA, 1973. **Fertilidade do solo**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas.

COSTA, A. C. L., A. P. BRAGA, P. H. L. GONÇALVES, R. F. COSTA, J. A. SILVA JÚNIOR, Y. S. MALHI, L. E. O. E. C. ARAGÃO & P. MEIR, 2006. Estudos hidrometeorológicos em uma floresta tropical chuvosa na Amazônia – PROJETO ESECAFLOR. **Revista Brasileira de Meteorologia** 21(3b): 283-290.

COSTA, J. P. R. & J. C. MORAES, 2002. Médias mensais de variáveis meteorológicas. In: P. L. B. LISBOA (Org.): **Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica**: 225-232. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.

COSTA, R. F., V. P. R. SILVA, M. L. P. RUIVO, P. MEIR, A. C. L. COSTA, Y. S. MALHI, A. P. BRAGA, P. H. L. GONÇALVES, J. A. SILVA JR. & J. GRACE, 2007. Transpiração em espécie de grande porte na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 11(2): 180-189. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000200008>.

COSTA, M. C. G., A. A. MIOTTI, T. O. FERREIRA & R. E. ROMERO, 2016. Teor de nutrientes e viabilidade da bananicultura em Cambissolos com diferentes profundidades. **Bragantia** 75(3): 335-343. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.359>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1997. **Manual de métodos de análise de solo**: 2. ed.: 1-212. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1), Rio de Janeiro.

FEARNSIDE, P. M., 2009. A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas. **Oecologia Brasiliensis** 13(4): 609-618. DOI: <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2009.1304.05>.

FERREIRA, W. A. & S. M. BOTELHO, 1999. **Efeito da inundação sobre as propriedades de um Gleissolo Sálco Sódico de várzea do rio dos Morcegos no município de Primavera, PA**: 1-24. EMBRAPA Amazônia Oriental (Boletim de Pesquisa, 21), Belém.

FERREIRA, S. J. F., F. J. LUIZÃO, S. A. F. MIRANDA, M. S. R. SILVA & A. N. T. VITAL, 2006. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração de madeira. **Acta Amazonica** 36(1): 59-68. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000100008>.

FISCH, G., J. A. MARENGO & C. A. NOBRE, 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica** 28(2): 101-126. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921998282126>.



- GOBERNA, M., H. ISAM, S. KLAMMER, J. A. PASCUAL & J. SÁNCHEZ, 2005. Microbial community structure at different depths in disturbed and undisturbed semiarid Mediterranean forest soil. **Microbial Ecology** 50(3): 315-326. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00248-005-0177-0>.
- GONÇALVES, P. H. L., 2009. **Influência de variáveis biofísicas nas taxas de respiração de solos em floresta tropical da Amazônia oriental**: 1-54. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ILKIU-BORGES, A. L. & R. C. L. LISBOA, 2004. Os gêneros *Lejeunea* e *Microlejeunea* (Lejeuneaceae) na Estação Científica Ferreira Penna, estado do Pará, Brasil, e novas ocorrências. **Acta Amazonica** 32(4): 541-554. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43922002324553>.
- LIMA, S. S., L. F. C. LEITE, F. C. OLIVEIRA & D. B. COSTA, 2011. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore** 35(1): 51-60. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000100006>.
- LISBOA, P. L. B., 1997. A Estação Científica Ferreira Penna/ECFPn. In: P. L. B. LISBOA (Org.): **Caxiuanã**: 23-49. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- LOPES, E. L. N., A. R. FERNANDES, M. L. P. RUIVO, J. H. CATTANIO & G. F. SOUZA, 2011. Microbial biomass and soil chemical properties under different land use systems in northeastern Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35(4): 1127-1139. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000400006>.
- LUIZÃO, F. J., 2007. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura** 59(3): 31-36.
- MACAMBIRA, M. L. J., 2009. Riqueza de colêmbolos (*Ellipura*: *Hexapoda*) em área de mata primária da Estação Científica Ferreira Penna. In: P. L. B. LISBOA (Org.): **Caxiuanã**: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia: 409-420. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- MALAVOLTA, E., 2006. **Manual de nutrição mineral de plantas**: 1-638. Editora Agronômica Ceres, São Paulo.
- MARENGO, J. A. & P. L. S. DIAS, 2006. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. In: A. C. REBOUÇAS, B. BRAGA & J. G. TUNDISI (Ed.): **Águas doces do Brasil**: capital ecológico, uso e conservação: 3. ed.: 63-109. Escrituras, São Paulo.
- MARENGO, J. A. & C. A. NOBRE, 2009. Clima da região amazônica. In: I. F. A. CAVALCANTI, N. J. FERREIRA, M. G. A. J. DA SILVA & M. A. F. SILVA DIAS (Org.): **Tempo e clima no Brasil**: 197-212. Oficina de Textos, São Paulo.
- MEIR, P., A. C. L. COSTA, R. F. COSTA, J. A. SILVA JÚNIOR, M. L. P. RUIVO, J. M. N. COSTA, Y. MALHI, J. GREICE, E. D. SOTTA & R. L. VALE, 2003. Effects of experimental drought on carbon cycling in an Eastern Amazon rain forest. **Proceedings LBA-ECO Science Team Business Meeting 7**: 1 CD-ROM.
- MORAES, B. C., R. M. SILVA, J. B. RIBEIRO & M. L. P. RUIVO, 2009. Variabilidade da precipitação na Floresta Nacional de Caxiuanã. In: P. L. B. LISBOA (Org.): **Caxiuanã**: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia: v. 3: 91-98. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- MOREIRA, A. & E. MALAVOLTA, 2004. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 39(11): 1103-1110. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100008>.
- MOREIRA, F. M. S., J. O. SIQUEIRA & L. BRUSSAARD, 2008. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**: 1-768. UFLA, Lavras.
- MOURA, Q. L., 2012. **Influência da variação sazonal sobre os atributos químicos e biológicos do solo nos sítios do LBA e PPBIO em Caxiuanã/PA, Amazônia oriental**: 1-92. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém.
- MOURA, Q. L., M. L. P. RUIVO, H. J. B. RODRIGUES, E. J. P. ROCHA, J. A. SILVA JÚNIOR, S. S. VASCONCELOS, M. C. ANDRADE & C. L. O. MANES, 2015. Variação sazonal da população de bactérias e fungos e dos teores de nitrito e amônio do solo nos sítios do LBA e PPBIO, na Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia** 30(3): 265-274. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620140104>.
- OLIVEIRA, A. R., 2012. **Estudo de respiração do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Projeto ESECAFLOR/LBA**: 1-74. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém.
- OLIVEIRA, F. M., R. L. ARAÚJO, J. S. CARVALHO & S. S. COSTA, 2008. Determinação da variação no microclima de Manaus-AM por atividades antropogênicas e modulações climáticas naturais. **Acta Amazonica** 38(4): 687-700. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000400012>.
- PEREIRA, W. L. M., C. A. C. VELOSO & J. R. N. F. GAMA, 2000. Propriedades químicas de um Latossolo Amarelo cultivado com pastagens na Amazônia Oriental. **Scientia Agricola** 57(3): 531-537. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162000003000025>.
- POTES, M. L., D. P. DICK, R. S. D. DALMOLIN, H. KNICKER & A. S. ROSA, 2010. Matéria orgânica em Neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34(1): 23-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100003>.

- R-DEVELOPMENT-CORE-TEAM, 2015. **R**: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 2015.
- RODRIGUES, H. J. B., L. D. A. SÁ, M. L. P. RUIVO, A. C. L. COSTA, R. B. SILVA, Q. L. MOURA & I. F. MELLO, 2011. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical úmida. **Revista Brasileira de Meteorologia** 26(4): 629-638. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000400012>.
- RUIVO, M. L. P., S. B. PEREIRA, E. P. C. BUSSETI, R. F. COSTA, B. QUANZ, T. Y. NAGAISHI, P. J. OLIVEIRA, P. MEIR, Y. MALHI & A. C. L. COSTA, 2002. Propriedades do solo e fluxo de CO₂ em Caxiuanã, Pará: experimento LBA-ESECAFLOR. In: E. L. KLÉIN, M. L. VASQUEZ & M. L. ROSA-COSTA (Org.): **Contribuições à Geologia da Amazônia**: v. 3: 291-299. SBG-Núcleo Norte, Belém.
- RUIVO, M. L. P., C. B. AMARANTE, M. L. S. OLIVEIRA, I. C. M. MUNIZ & D. A. M. SANTOS, 2006. Population and biodiversity in Amazon dark earths soils. In: G. M. RIOS & S. M. CAMARGO (Ed.): **Pueblos y paisajes antiguos de la selva amazónica**: 284-291. Universidade Nacional da Colombia/Taraxacum, Bogotá.
- SANTOS, M. L., N. F. BARROS & A. C. GAMA-RODRIGUES, 2003. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27(6): 1021-1031. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600006>.
- SILVA, G. R., M. L. SILVA JR. & V. S. MELO, 2006. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo Amarelo do estado do Pará. **Acta Amazonica** 36(2): 151-157. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000200004>.
- SILVA, R. M., J. M. N. COSTA, M. L. P. RUIVO, A. C. L. COSTA & S. S. ALMEIDA, 2009. Influência de variáveis meteorológicas na produção de liteira na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. **Acta Amazonica** 39(3): 573-582. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000300012>.
- SILVA, S. A. S., A. C. M. SILVA, D. B. GONÇALVES & F. M. LEÃO, 2014. Avaliação da matéria orgânica e pH do solo em sistemas agroflorestais localizados na região de Altamira-PA. **Agrarian Academy** 1(2): 15-25. DOI: http://dx.doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2014_026.
- SIMÕES, L. H. R., M. L. P. RUIVO, S. A. SILVA, J. A. COSTA, J. L. PICCININ, R. D. OLIVEIRA & U. S. SILVA, 2009. Caracterização e classificação de três unidades de solo da grade amostral do Programa de Pesquisa em Biodiversidade - PPBio. In: P. L. B. LISBOA (Org.): **Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia**: v. 3: 135-146. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- SOARES, A. C. L. & P. B. LISBOA, 2009. Estação Científica Ferreira Penna/ECFPN (2002-2008). In: P. L. B. LISBOA (Org.): **Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia**: v. 3: 23-42. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- SOTTA, E. D., E. VELDKAMP, L. SCHWENDENMANN, B. R. GUIMARÃES, R. K. PAIXÃO, M. L. P. RUIVO, A. C. L. COSTA & P. MEIR, 2007. Effects of an induced drought on soil carbon dioxide (CO₂) efflux and soil CO₂ production in an Eastern Amazonian rainforest, Brazil. **Global Change Biology** 13(10): 2218-2229. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01416.x>.
- TRINDADE, M. J. S. & R. S. SECCO, 2009. Notas adicionais sobre *Mabea angularis* Hollander (Euphorbiaceae), primeira ocorrência para o estado do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 4(2): 197-200.
- VIANA, J. S., S. S. ALMEIDA, C. CONCEIÇÃO, E. FERREIRA, N. E. ALVES & R. SILVA, 2003. Comparação estrutural e florística entre os ambientes de Terra-Firme e Igapó do entorno da Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn. **Resumos do Seminário de 10 anos de atividades da ECFPn, Caxiuanã** 1: 1 CD-ROM.
- VEIRA, L. S. & P. C. T. C. SANTOS, 1987. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**: 1-416. Editora Agronômica Ceres, São Paulo.