

Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem

Arcângelo Loss^{1*}, Marcos Gervasio Pereira², Thiago Andrade Bernini²,
Natália Pereira Zatorre², Paulo Guilherme Salvador Wadt²

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brazil.

*Autor correspondente, e-mail: arcangeloloss@yahoo.com.br

Resumo

Este trabalho avaliou as alterações ocorridas na fertilidade e nas frações da matéria orgânica do solo (MOS), decorrentes da retirada da cobertura vegetal de floresta e subsequente implantação de *Urochloa brizantha* sob Vertissolo e Argissolo no Acre. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, ambos sob coberturas de floresta e pastagem. Foi avaliado a fertilidade e os conteúdos de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo e das substâncias húmicas (humina, ácidos húmicos e fúlvicos). Quantificou-se o C orgânico particulado (COp), C orgânico associado aos minerais (COam) e C das frações oxidáveis. Foram encontrados maiores valores de Ca, Mg e P na área de floresta (Vertissolo) e pastagem (Argissolo). Os maiores teores de C e N foram verificados na pastagem (0-5 cm) e floresta (5-10 cm), independente do solo avaliado. A área de floresta apresentou os maiores teores de C e N da fração humina (Vertissolo). Sob Argissolo, este padrão foi observado na área de pastagem. A conversão da área de floresta em pastagem, mesmo com oito a dez anos de uso, ainda não restabeleceu um equilíbrio entre as frações oxidáveis do C e o COp quando comparado com os teores verificados na área de floresta, independente do solo avaliado.

Palavras-chaves: Vegetação nativa, Braquiária, Carbono orgânico particulado, Substâncias húmicas, Carbono orgânico oxidável.

Soil fertility and organic matter in Vertisol and Ultisol under forest and pasture coverage

Abstract

This study evaluated the changes in soil fertility and soil organic matter (SOM) fractions, after removal of the forest and establishment of *Urochloa brizantha* under Vertisol and Ultisol at Acre state, Brazil. Samples were collected from soil at depths of 0-5 and 5-10 cm, both under natural forest and pasture. We quantified soil testing fertility and carbon (C), nitrogen (N) and soil humic substances (humins, humic and fulvic acids) contents. We also quantified the particulate organic C (POC), organic carbon associated with soil minerals (OCAM) and carbon oxidizable fractions. Found higher values of Ca, Mg and P in the forest (Vertisol) and pasture (Ultisol). The highest levels of C and N were observed for (0-5 cm) and forest (5-10 cm), independent of the soil assessed. The area of forest showed higher levels of C and N of the humin fraction (Vertisol). Under Ultisol, this pattern was observed in the pasture. The conversion of the area of forest to pasture, even with eight to ten years old, have not restored a balance between the oxidizable fraction C and POC when compared with the levels recorded in the forest, independent soil evaluated.

Keywords: Native vegetation, Brachiaria, Particulate organic carbon, Humic substances, Oxidizable organic carbon.

Introdução

Os fluxos hidrológicos, energéticos, de oxigênio, dióxido de carbono e nutrientes na Amazônia são controlados por processos atmosféricos em larga escala, como também por processos locais em áreas afetadas por desflorestamentos e queimadas (Silva Júnior et al., 2009; INPE, 2011; Araújo & Lani, 2012; Orrutía et al., 2012). A conversão de extensas áreas da floresta tropical amazônica em áreas agrícolas, ocupadas principalmente por pastagens, provoca alterações no balanço de carbono e no ciclo hidrológico, nas trocas gasosas da atmosfera e na taxa de sobrevivência de espécies (Martinez et al., 2007; Araújo et al., 2011; Portugal et al., 2012).

Na Amazônia Legal a maior parte dos desmatamentos ocorridos resulta da conversão das áreas de floresta em pastagens cultivadas (Fearnside & Barbosa, 1998; Araújo & Lani, 2012). Mesmo padrão ocorre no Estado do Acre, onde embora apenas cerca 12,8% de sua área total esteja desflorestada, cerca de 80% deste montante são utilizadas com pastagens (Acre, 2010; INPE, 2011). A tendência de conversão de floresta em pastagens é generalizada entre pequenos produtores, trabalhadores extrativistas, populações ribeirinhas e proprietários latifundiários (Oliveira et al., 2009; Araújo, 2011).

Frequentemente tem sido abordado no estado do Acre o impacto que a conversão de áreas de floresta em ecossistemas de pastagem de gramíneas, em sua maioria de *Urochloa brizantha*, tem causado ao meio ambiente e à biodiversidade (Araújo et al., 2004; 2011; Araújo & Lani, 2012). A conversão de áreas de floresta em pastagem por meio de queimadas produz rápida oxidação da biomassa florestal, resultando em aporte de nutrientes mineralizados ao solo e na emissão de gases sulfatos e dióxido de carbono (gás de efeito estufa) (Luizão, 2007; Urquiaga et al., 2010; Araújo et al., 2011; Araújo & Lani, 2012). Vários estudos relataram mudanças nos valores de pH do solo, nos teores de cátions trocáveis e no conteúdo de C e N do solo decorrentes do desmatamento e queima da floresta natural (Desjardins et al., 2004; Moreira & Mallavolta, 2004; Artaxo et al., 2005; Silva et al., 2006; Fearnside, 2006; Salimon et al., 2009; Matos

et al., 2012).

Dentre os atributos do solo que podem ser usados como indicadores de mudanças ocorridas com a conversão de áreas de floresta em pastagem, têm-se as mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS). Avaliando-se as frações químicas e físicas da MOS pode-se verificar como estão distribuídos os teores de C antes e após a conversão do sistema floresta-pastagem.

Os compartimentos da MOS que podem ser avaliados são as frações húmicas (humina, ácidos fúlvicos e húmicos) (Araújo et al., 2011), frações granulométricas (C orgânico particulado e C associado aos minerais) (Silva Junior et al., 2009; Martins et al., 2009), e as frações oxidáveis do C orgânico do solo (Delarmelinda et al., 2010).

O trabalho objetivou avaliar as alterações ocorridas na fertilidade e nas frações da MOS, decorrentes da retirada da floresta nativa e subsequente implantação de *Urochloa brizantha* sob Vertissolo e Argissolo no Estado do Acre, na Amazônia brasileira.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em dois municípios do estado do Acre: Sena Madureira e Feijó. No município de Sena Madureira, o solo amostrado localizou-se nas coordenadas geográficas de 9°3'57"S e 68°39'25"W e foi classificado como Vertissolo Hidromórfico (Embrapa, 2006), imperfeitamente drenado, textura franco siltosa nos primeiros dez centímetros, com 165, 547 e 288 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente. No município de Feijó, nas coordenadas geográficas de 8°9'50"S, 70°21'14"W identificou-se um Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006), moderadamente drenado, textura franco siltosa nos primeiros dez centímetros, com 241, 550 e 209 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente.

Em cada solo, foram amostradas áreas de floresta natural e de pastagem, sendo uma sucessão floresta-pastagem. As coberturas vegetais encontravam-se nas mesmas condições topográficas, sendo no Vertissolo, relevo plano sob topo de elevação, e no Argissolo, relevo suave ondulado a ondulado sob terço médio. A vegetação dominante em ambos os locais foi classificada como sendo

do tipo Floresta Ombrófila Aberta com Bambu e Palmeiras (Acre, 2010). Nestas florestas, o principal gênero de bambu é o *Guadua*, o qual é regionalmente denominado de taboca. A média anual da precipitação varia de 1.877 a 1.982 mm e a temperatura média anual é de 25 °C. A pastagem é formada por *Urochloa brizantha*, com idade entre 8 - 10 anos. O manejo para implantação da pastagem foi feito pela derrubada e queima da floresta, com posterior semeadura da *Urochloa brizantha* diretamente no roçado queimado, havendo uma segunda queima no segundo ano de implantação.

No processo de implantação, após a segunda queima, ocorre o estabelecimento da pastagem e o manejo posterior consistiu apenas da limpeza periódica da área, com a retirada de invasoras arbustivas. Os restos das árvores queimadas, não aproveitadas antes da queima e vários tocos de árvores são mantidos no local sofrendo lenta decomposição. Somente após 10 a 15 anos da implantação que há a completa eliminação desses restos da vegetação.

Normalmente, a entrada de animais ocorre após o segundo ano da queima e com baixa densidade animal (<0,5 UA ha⁻¹) (Wadt, 2005) nestes sistemas de baixa tecnologia adotado pelos pequenos produtores nas áreas de acesso mais difícil, como as duas áreas de estudo.

As amostras de solo foram coletadas em agosto de 2008, mês mais seco do ano, sendo tomado em cada solo sob floresta e pastagem sete amostras simples para formar uma composta, com três repetições, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm (Horizonte A). Foi avaliada a fertilidade do solo por meio da determinação do pH em H₂O, Al, Ca, Mg, K, Na, H+Al, P, segundo Embrapa (1997) e nitrogênio (N-Total) (Tedesco et al., 1995). Também foram quantificados os teores de carbono orgânico total (COT) do solo (Yeomans & Bremner, 1988) e em seguida, realizou-se análises para a caracterização da MOS através do fracionamento químico (Benites et al., 2003), das frações granulométricas da MOS (Cambardella & Elliott, 1992) e das frações oxidáveis do C orgânico do solo (Chan et al., 2001).

Para o fracionamento químico da

MOS, as substâncias húmicas foram separadas em: fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM). Em seguida foram quantificados os teores de C (Yeomans & Bremner, 1988) e de N (Tedesco et al., 1995) em cada fração, sendo C e N da fração humina (C-HUM/N-HUM), C e N da fração ácido húmico (C-FAH/N-FAH) e C e N da ácido fúlvico (C-FAF/N-FAF).

Para o fracionamento granulométrico da MOS quantificou-se o C orgânico particulado (CO_p) e o C orgânico associado aos minerais (CO_{am}), segundo metodologia de Yeomans & Bremner (1988).

O fracionamento do C oxidável foi realizado por graus decrescentes de oxidação (labilidade), sendo quantificado quatro frações: Fração 1 (F1): C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; Fração 2 (F2): diferença entre o C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 6 e 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; Fração 3 (F3): diferença entre o C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 9 e 6 mol L⁻¹ de H₂SO₄ e, Fração 4 (F4): diferença entre o C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 12 e 9 mol L⁻¹ de H₂SO₄.

Os dados foram analisados como delineamento inteiramente casualizado, sendo submetidos à aplicação do teste de normalidade (teste de Lilliefors), avaliação da homogeneidade da variância (teste de Cochran e Bartlett) e análise de variância com aplicação do teste F a 5%, utilizando o programa SAEG 9.1, da Fundação Arthur Bernardes, Universidade Federal de Viçosa (SAEG, 2007). Não foi necessário utilizar nenhuma transformação para os dados obtidos. O teste F exclui a necessidade de teste de médias em comparações com apenas duas médias, tornando-se conclusivo quando significativo.

Resultados e Discussão

Ocorreram diferenças significativas na fertilidade do solo nos dois solos avaliados (Tabela 1). No Vertissolo sob floresta verificaram-se maiores valores de Ca e P nas duas camadas avaliadas e de pH apenas na camada de 0-5 cm. Na pastagem foram verificados os maiores teores de K, nas duas profundidades, e os maiores teores de H+Al (0-5 cm) e Al (5-10 cm)

Solo e Água

quando comparada a área de floresta, ambas sob Vertissolo. Entretanto, no Argissolo, observou-se comportamento contrário ao verificado para o Vertissolo para os valores de pH, Ca e P, sendo

os maiores valores destes elementos encontrados sob a cobertura de pastagem. Nessa área também foram constatados os maiores teores de Mg e K, nas duas camadas.

Tabela 1. Atributos químicos do solo nas coberturas vegetais de floresta e pastagem em Vertissolo e Argissolo no Acre.

Coberturas vegetais	pH	Al	H+Al	-----cmol _c kg ⁻¹ -----				P mg kg ⁻¹
				Ca	Mg	K	Na	
Vertissolo Hidromórfico								
0 - 5 cm								
Floresta	5,84 a	0,13 a	4,13 b	17,10 a	5,30 a	0,21 b	0,07 a	3,65 a
Pastagem	5,09 b	0,30 a	8,86 a	7,00 b	6,20 a	0,63 a	0,04 b	1,59 b
C.V.(%)	9,12	28,12	13,01	14,15	31,02	19,22	9,25	21,05
5 - 10 cm								
Floresta	4,68 a	0,30 b	4,62 a	10,17 a	7,00 a	0,11 b	0,04 a	0,80 a
Pastagem	4,71 a	2,70 a	6,44 a	4,17 b	4,90 a	0,26 a	0,04 a	0,40 b
C.V.(%)	22,11	14,45	24,13	18,14	29,01	18,15	10,01	19,15
Argissolo Vermelho-Amarelo								
0 - 5 cm								
Floresta	5,93 b	0,17 a	4,18 a	11,33 b	4,57 b	0,42 b	0,04 b	7,28 b
Pastagem	7,71 a	0,00 b	1,10 b	20,17 a	6,13 a	0,85 a	0,08 a	7,63 a
C.V.(%)	12,01	17,01	15,07	16,11	17,19	14,01	11,45	12,15
5 - 10 cm								
Floresta	5,38 b	0,10 a	4,02 a	8,43 b	3,87 b	0,29 b	0,04 b	3,73 b
Pastagem	6,59 a	0,00 b	1,77 b	14,37 a	6,17 a	0,34 a	0,07 a	4,72 a
C.V.(%)	14,01	10,15	9,58	18,11	21,03	13,01	13,05	14,63

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5%. CV=Coefficiente de variação

Observa-se, portanto, um comportamento diferencial quanto a retenção dos nutrientes Ca e P nas camadas de 0-5 e 5-10 cm em relação ao Vertissolo e ao Argissolo. Essa diferença pode ser atribuída a fatores como o manejo realizado na formação das pastagens, que poderiam resultar em maior intensidade dos processos erosivos ou menor cobertura do solo no período de formação das pastagens, expondo-o aos processos erosivos e perda dos nutrientes mineralizados após a queima da floresta.

As áreas sob coberturas vegetais de floresta e pastagem, independente do solo avaliado, apresentaram elevados teores de Ca e Mg, nas duas profundidades, já que teores acima de 3 cmol_c kg⁻¹, são elevados para a grande maioria das culturas cultivadas (Wadt et al., 2005) e refletem o material de origem andina na formação destes solos (Schaefer, 2013). Araújo et al. (2004); Salimon et al. (2007); Silva Junior et al. (2009) e Araujo et al. (2011) atribuem os teores de nutrientes mais elevados em algumas áreas com cobertura florestal nativa, comparativamente a pastagens ou outros usos agrícolas, há maior ciclagem de nutrientes na floresta natural, o que

poderia ser também atribuído a esse trabalho para os resultados encontrados para Ca e P no Vertissolo.

Entretanto, vários outros processos podem responder por essas diferenças, como erosão diferencial entre os sistemas de uso e tempo entre a ocorrência do processo de queima da vegetação natural e o período da avaliação. Além da posição que cada solo encontra-se na paisagem (Vertissolo em topo de elevação e Argissolo em terço médio da encosta).

Por sua vez, nos sistemas de pastagens tem sido comum observar maiores teores de matéria orgânica quando a pastagem atinge a estabilidade do crescimento (acima de seis anos) (Wadt et al., 2005), o que é corroborado pelos dados deste trabalho, onde os teores COT e N-total foram maiores na cobertura de pastagem, tanto em Vertissolo quanto Argissolo, na camada de 0-5 cm. Na camada de 5-10 cm, a área sob cobertura florestal apresentou maiores teores de COT e N (Tabela 2).

Tabela 2. Carbono e nitrogênio do solo e das frações húmicas da matéria orgânica nas coberturas vegetais de floresta e pastagem em Vertissolo e Argissolo no Acre.

Coberturas vegetais	COT	C-HUM	C-FAH	C-FAF	N-Total	N-HUM	N-FAH	N-FAF
	g kg ⁻¹							
Vertissolo Hidromórfico								
0 - 5 cm								
Floresta	28,70 b	16,36 a	6,39 a	5,38 a	2,77 b	1,60 a	0,10 a	0,10 a
Pastagem	34,28 a	12,13 b	5,75 a	5,62 a	3,50 a	1,25 b	0,10 a	0,10 a
C.V.(%)	10,52	9,36	17,26	19,33	11,25	12,02	15,24	21,03
5 - 10 cm								
Floresta	17,33 a	9,96 a	2,56 a	3,47 a	2,39 a	0,77 a	0,10 a	0,10 a
Pastagem	14,58 b	6,07 b	2,98 a	3,51 a	1,31 b	0,64 b	0,10 a	0,10 a
C.V.(%)	9,25	8,69	16,26	18,36	9,55	13,88	16,36	19,58
Argissolo Vermelho-Amarelo								
0 - 5 cm								
Floresta	27,70 b	18,32 b	6,37 a	5,39 a	2,60 b	0,71 b	0,10 a	0,10 a
Pastagem	32,54 a	26,91 a	6,18 a	5,57 a	3,32 a	1,87 a	0,10 a	0,10 a
C.V.(%)	9,36	8,56	18,25	16,03	10,55	11,99	15,47	18,47
5 - 10 cm								
Floresta	17,95 a	10,35 b	3,77 a	3,36 a	2,37 a	1,21 a	0,10 a	0,10 a
Pastagem	16,59 b	12,77 a	3,80 a	3,23 a	1,71 b	1,00 b	0,10 a	0,10 a
C.V.(%)	8,36	9,16	15,21	15,09	9,66	10,88	19,12	20,77

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5%. CV=Coefficiente de variação; COT= Carbono orgânico total; C-HUM= carbono da fração húmica; C-FAH= carbono da fração ácido húmico; C-FAF= carbono da fração ácido fúlvico; N-total= nitrogênio total do solo; N-HUM= nitrogênio da fração húmica; N-FAH= nitrogênio da fração ácido húmico; N-FAF= nitrogênio da fração ácido fúlvico.

Estes resultados demonstram que a conversão da floresta em pastagem com 8 a 10 anos de uso com braquiária está aumentando os teores de COT e N-total na camada de 0-5 cm quando comparado com a área original de floresta. Isto tem sido atribuído ao sistema radicular fasciculado nas pastagens e ao ciclo mais intenso de renovação do sistema radicular devido à constante pastoreio (Salimon et al., 2007).

Os menores teores de COT e N observados na profundidade de 5-10 cm (Tabela 2), foram concordantes com os resultados de Salimon et al. (2007). Esses autores sugerem que o processo erosivo que ocorre no início da formação das pastagens expõe maior quantidade de solo sub-superficial, portanto, aparentemente diminuindo o teor de C; contudo a maior atividade biológica acumula C nas camadas mais superficiais (0-5 cm), mas sem recuperar o C perdido na camada de 5-10 cm.

Em relação ao C e N da fração húmica, verificaram-se maiores teores sob a cobertura florestal, no Vertissolo, e teores mais elevados para a área de pastagem, no Argissolo, com exceção da camada de 5-10 cm para N-HUM (Tabela 2).

Ambos os sistemas possuem elevados

teores de Ca trocável (maiores teores para floresta sobre Vertissolo e pastagem sobre Argissolo, Tabela 1), portanto a estabilização das frações húmicas da MOS (C-HUM e N-HUM) pode ser explicada pela disponibilidade do Ca em fazer pontes metálicas com grupamentos ácidos responsáveis pela estabilização da MOS, formando os humatos de Ca (Oades, 1988).

No presente estudo não foi possível atribuir com absoluta certeza que maiores teores de Ca encontrados para floresta sobre Vertissolo e pastagem sobre Argissolo favoreceram o aumento no conteúdo dos complexos húmicos mais estáveis e o aumento do C e N na fração húmica; assim como relatado por Fernandes et al., (1999), uma vez que nenhum ambiente avaliado foi pobre em Ca. A possibilidade do Ca como estabilizante da MOS não pode ser, contudo, descartada. Correa et al. (2003), encontraram correlação significativa com os teores de Ca e as substâncias húmicas, formando humatos de Ca.

Para as frações ácidos húmicos e fúlvicos, tanto para o C quanto para o N, não foram verificadas significância pelo teste F. Entretanto, quando se compara os teores de C entre as frações húmicas, verificaram-se maiores teores de C-HUM seguidos de C-FAH

(0-5 cm), independente da cobertura vegetal e solo avaliado (Tabela 2). Estes resultados são corroborados por Cunha et al. (2007), avaliando o C das frações húmicas da MOS em solos antropogênicos da Amazônia. Os autores encontraram maiores teores de C-HUM seguido da fração ácido húmico.

Avaliando a qualidade do solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Araújo et al. (2011) verificaram que a área de mata apresentou maiores valores de C-HUM que as áreas de pastagem, indicando que a MOS proveniente do ecossistema de mata possui maior estabilidade estrutural que da área de pastagem.

Os teores de COT foram mais elevados na camada de 0-5 cm em relação à camada de 5-10 cm, sendo semelhantes entre solos (Vertissolo e Argissolo) e coberturas vegetais (floresta e pastagem) (Tabela 2). Essa distribuição é corriqueira, onde quanto mais próximo da superfície do solo, maior o aporte de restos vegetais pela cobertura florestal, seja nas áreas

sob cobertura florestal como queda de folhas e galhos, seja nas pastagens pela contribuição dada pelo sistema radicular do tipo fascicular e morte das hastas das gramíneas sob baixa intensidade luminosa. Este padrão também foi verificado para a fertilidade do solo, com destaque para as bases trocáveis (Tabela 1).

O fracionamento granulométrico da MOS indicou menores teores de COp na área de pastagem, em ambos os solos avaliados, com exceção da camada de 0-5 cm, no Argissolo (Tabela 3).

Possivelmente isto ainda é um reflexo do manejo adotado na área pelos pequenos agricultores, onde tem-se a queima da vegetação de floresta para implantação da pastagem. E, após o segundo ano de implantação, novamente tem-se outra queima da pastagem. Portanto, todo material vegetal prontamente decomponível (restos vegetais em diferentes estádios de decomposição) que está associado a fração do COp é facilmente queimado.

Tabela 3. Frações granulométricas e oxidáveis da matéria orgânica do solo nas coberturas vegetais de floresta e pastagem em Vertissolo e Argissolo no Acre.

Coberturas vegetais	COp	COam	F1	F2	F3	F4
-----g kg ⁻¹ -----						
Vertissolo Hidromórfico						
0 - 5 cm						
Floresta	24,19 a	4,17 b	3,5 (12) ^b	4,3 (15) ^a	3,2 (11) ^b	3,7 (13) ^a
Pastagem	15,07 b	19,88 a	7,5 (22) ^a	3,5 (10) ^a	7,3 (21) ^a	1,2 (4) b
C.V.(%)	13,79	16,48	9,08	11,71	14,25	15,19
5 - 10 cm						
Floresta	13,18 a	3,26 b	2,0 (12) ^b	3,7 (21) ^a	2,0 (12) ^b	1,3 (9) a
Pastagem	6,71 b	6,59 a	4,2 (29) ^a	0,7 (5) b	3,3 (23) ^a	1,0 (7) a
C.V.(%)	14,25	17,32	10,01	12,09	10,29	17,56
Argissolo Vermelho-Amarelo						
0 - 5 cm						
Floresta	25,75 b	5,82 a	4,8 (17) ^b	3,5 (13) ^a	8,5 (17) ^a	1,9 (7) b
Pastagem	27,41 a	7,88 a	10,5 (32) ^a	2,0 (6) b	8,3 (13) ^a	4,5 (14) ^a
C.V.(%)	12,78	22,77	8,22	14,14	16,88	16,01
5 - 10 cm						
Floresta	16,38 a	1,69 a	4,6 (26) ^a	2,2 (12) ^a	4,6 (11) ^a	2,2 (12) ^a
Pastagem	15,24 b	1,61 a	3,2 (19) ^b	2,2 (13) ^a	4,2 (27) ^a	2,2 (13) ^a
C.V.(%)	11,96	15,44	9,32	13,77	18,41	15,28

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5%. CV=Coefficiente de variação; COp= carbono orgânico particulado; COam= carbono orgânico associado aos minerais silte+argila; F1= C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido de 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; F2= diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 6 e 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; F3= diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 9 e 6 mol L⁻¹ de H₂SO₄; F4= diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 12 e 9 mol L⁻¹ de H₂SO₄. Valores entre parênteses representam a proporção de cada fração (F1, F2, F3, F4) em relação ao COT.

Os resultados encontrados para o COp indicam que esta fração é altamente sensível frente a mudanças de uso do solo, tais como as queimadas, além de fatores ambientais. Assim, o COp pode ser utilizado como indicador de mudança na qualidade do solo em função de indicar as mudanças no C lábil oriundas de modificações no uso do solo, corroborando com outros trabalhos na literatura (Araujo et al., 2011; Loss et al., 2012).

Dessa forma, os menores teores de COp na pastagem podem resultar em modificações na estabilidade dos macroagregados (> 250 mm), e refletir negativamente na resistência do solo às pressões externas (Blair, 2000). Assim, o solo pode ficar mais sensível à compactação e mais susceptível aos processos erosivos.

Na área de floresta (nos dois solos, exceção ao Argissolo, 0-5 cm), os maiores teores de COp estão relacionados, além da ausência de queimadas, à presença de material vegetal (folhas, galhos e ramos) com maior resistência frente a decomposição se comparado com a área de pastagem (Moreira & Costa, 2004).

O COam apresentou maiores valores na área de pastagem sobre Vertissolo. Este resultado pode ser decorrente do aumento relativo do COam em relação à diminuição dos valores de COp. Segundo Figueiredo et al. (2010), existe uma correlação negativa entre COp e COam, ou seja, para que se tenha maiores teores de COam deve-se ter maior decomposição dos teores de COp para posterior associação com os minerais de argila no solo.

Portanto, a maior parte do COT do solo, na área de pastagem sobre Vertissolo, seria composto por COam devido sua maior interação com as partículas de argila do tipo 2:1 (Christensen, 1996).

A diminuição dos teores de COp afeta principalmente a fração do C dependente do aporte de resíduos vegetais em diferentes estágios de decomposição e daquele vinculado as hifas de fungos (Golchin et al., 1994). Dessa forma, a retirada da cobertura florestal, com uso de queimadas e posterior implantação da pastagem, diminuiu principalmente o conteúdo de COp, que está associado a fração leve da MOS e possui maior labilidade.

Comparando-se os teores de C das frações granulométricas em relação ao COT, verificou-se que na área de floresta, independente do solo avaliado, as maiores proporções são referentes ao COp. Este padrão também foi observado para a cobertura de pastagem sobre Argissolo. Entretanto, no Vertissolo, verificaram-se maiores teores de COam (0-5 cm) e teores semelhantes entre as duas frações para a camada de 5-10 cm (Tabela 3).

Avaliando os teores de COp e COam em diferentes ordens de solos no estado do Acre, com coberturas de floresta e pastagem, Delarmelinda et al. (2010) encontraram resultados semelhantes, com maiores proporções do COp em comparação ao COam e concluíram que a maior parte da MOS encontra-se nas formas mais lábeis, ou seja, facilmente mineralizáveis.

Em relação às frações oxidáveis do COT, no Vertissolo, sob cobertura de pastagem, verificaram-se maiores teores de C nas frações F1 e F3, nas duas camadas avaliadas. Já para as frações F2 (5-10 cm) e F4 (0-5 cm), verificaram-se maiores teores de C na cobertura de floresta. No Argissolo a pastagem apresentou maiores teores de C na fração F1 e F4 (0-5 cm), enquanto que a cobertura de floresta apresentou maiores teores na F2 (0-5 cm) e F1 (5-10 cm) (Tabela 3).

As frações F1 e F2 estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e com a formação de macro-agregados (Blair et al. 1995, Chan et al. 2001), sendo a F1 a de maior labilidade no solo e altamente correlacionada com a fração leve livre da MOS (Maia et al., 2007). Dessa forma, este indicador sugere que a área de pastagem apresentaria matéria orgânica de maior labilidade, uma vez que possui maiores teores de C na fração F1, nas duas áreas avaliadas, com exceção da profundidade de 5-10 cm, para o Argissolo.

Já as frações F3 e F4 estão relacionadas a compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Stevenson, 1994). A fração F4 é a mais resistente no solo, sendo denominada de "compartimento passivo" nos modelos de simulação da MOS, com tempo de reciclagem de até 2.000 anos (Chan et al., 2001). Portanto,

no Vertissolo a cobertura de floresta apresenta matéria orgânica de maior estabilidade química (maiores teores de C na F4), enquanto que no Argissolo a pastagem apresentou matéria orgânica de maior labilidade e estabilidade química, com maiores teores de C nas frações F1 e F4, ambos na camada de 0-5 cm.

Quando se observa a proporção de cada fração (F1, F2, F3, F4) em relação ao COT, verificou-se que a cobertura de floresta, apresentou a distribuição das frações mais homogênea quando comparada à cobertura de pastagem, nas duas camadas e solos avaliados. Este padrão indica que há um maior equilíbrio entre as frações mais biodisponíveis (F1 e F2) e as frações mais resistentes (F3 e F4), na área de floresta quando comparada à área de pastagem. Portanto, a ciclagem que ocorre na área sob floresta esta sendo mais eficiente que a área de pastagem. Este padrão demonstra que, mesmo com oito a dez anos de conversão da área de floresta em pastagem, ainda não se restabeleceu um equilíbrio entre as frações oxidáveis do C orgânico na área de pastagem.

Dentre todos os atributos mensurados, evidenciou-se por meio do COp e da distribuição das frações de C oxidável, que a remoção da cobertura florestal para implantação de pastagens no Acre, altera a dinâmica dessas frações da MOS. Assim evidenciou-se a diminuição dos teores de COp e C oxidável nos dois solos avaliados.

Em relação à fertilidade do solo e as substâncias húmicas, verificou-se que os teores de Ca e P, C-HUM e N-HUM também indicaram alterações mediante a remoção da cobertura florestal. Entretanto, a diminuição desses atributos foi observada apenas no Vertissolo. Isto pode ser devido à posição que os solos encontram-se na paisagem. O Vertissolo situa-se em relevo plano sob topo de elevação, e o Argissolo, em relevo suave ondulado a ondulado sob terço médio. Dessa forma, pode-se ter a deposição de sedimentos das partes mais altas da paisagem (terço superior), ocasionando em um aumento relativo desses parâmetros no Argissolo em relação ao Vertissolo.

No terço médio da paisagem, a intensidade dos processos erosivos, a lixiviação

e a translocação de argilas também afetam a distribuição dos parâmetros avaliados quando comparado com a posição de topo de elevação.

Conclusões

O Vertissolo e o Argissolo estudados no Estado do Acre apresentaram elevada fertilidade natural e riqueza em bases trocáveis.

A pastagem no Vertissolo indicou redução no teor de Ca trocável e de P disponível.

As pastagens, com até dez anos de formação, apresentaram menor equilíbrio entre as frações oxidáveis do carbono orgânico e o carbono particulado.

O carbono orgânico particulado e a distribuição do carbono das frações oxidáveis foram eficientes para evidenciar que a remoção da cobertura florestal para implantação de pastagens no Acre, diminui o conteúdo dessas frações da MOS no Vertissolo e no Argissolo.

Referências

- ACRE. Governo do Estado do Acre. 2010. *Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000): Documento Síntese*. 2.ed. SEMA, Rio Branco, Brasil. 356 p.
- Araújo, E.A. 2011. *Degradação de pastagens na Amazônia ocidental - Avaliação e Alternativas de Recuperação*. 1. ed. Mogi Mirim, São Paulo, Brasil. 92 p.
- Araújo, E.A., Ker, J.C., Mendonça, E.S., Silva, I.R., Oliveira, E.K. 2011. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazônica*, 41: 103-114.
- Araújo, E.A., Lani, J.L. 2012. *Uso sustentável de ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental*. Secretaria Estado de Meio Ambiente, Rio Branco, Brasil. 148 p.
- Araújo, E.A., Lani, J.L., Amaral, E.F., Guerra, A. 2004. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de um Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 307-315.
- Artaxo, P., Gatti, L.V., Leal, A.M.C., Rizzo, L.V., Procópio, A.S. 2005. Química Atmosférica na Amazônia: A Floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazônica* 35: 185-198.
- Benites, V.M., Madari, B., Machado, P.L.O.A. 2003. *Extração e fracionamento quantitativo de*

- substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 7p. (Embrapa solos. Comunicado Técnico, 16).
- Blair, G.J., Lefroy, R.D.B., Lisle, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 1459-1466.
- Blair, N. 2000. Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. *Soil & Tillage Research* 55:183-191.
- Cambardella, C.A., Elliott, E.T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* 56: 777-783.
- Chan, K.Y., Bowman, A., Oates, A. 2001. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. *Soil Science* 166: 61-67.
- Christensen, B.T. 1996. Structure and organic matter storage in agricultural soils. In: Carter, M.R., Stewart, B.A. (Ed.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton: CRC Press, p. 97-165.
- Correa, M.M., Ker, J.C., Mendonca, E.S., Ruiz, H.A., Bastos, R.S. 2003. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Souza-PB. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27: 311-324.
- Cunha, T.J.F., Madari, B.E., Benites, V.M., Canelas, L.P., Novotny, E.H., Moutta, R.O., Trompowsky, P., Santos, G.A. 2007. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazônica* 37: 91-98.
- Desjardins, T., Barros, E., Sarrazin, M., Girardin, C., Mariotti, A. 2004. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonian. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 103: 365-373
- Delarmelinda, E.A, Loss, A., Anjos, L.H.C., Pereira, M.G., Wadt, P.G.S. 2010. Fracionamento físico e frações oxidáveis da matéria orgânica em solos sob pastagens no Estado do Acre. In: IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos. Resumos... Rio Branco, Brasil. p.73-78.
- Embrapa. 1997. *Manual de métodos de análises de solos*. Embrapa-CNPS, Rio de Janeiro, Brasil. 212 p.
- Embrapa. 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação* de Solos. 2.ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 312 p.
- Fearnside, P.M. 2006. Desmatamento na Amazônia: Dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica* 36: 395-400.
- Fearnside, P.M., Barbosa, R.I. 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazônia. *Forest Ecology Management* 108: 147-166.
- Figueiredo, C.C., Resck, D.V.S., Carneiro, M.A.C. 2010. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34: 907-916.
- Fernandes, F.A., Cerri, C.C., Fernandes, A.B.M. 1999. Alterações na matéria orgânica do solo pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34: 1943-1951.
- Golchin, A. 1994. Soil structure and carbon cycling. *Australian Journal of Soil Research* 32: 1043-1068.
- INPE. 2011. *Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia. Desflorestamento nos Municípios da Amazônia Legal Relatório 1998-2007*. <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. <Acesso em 01 de Jun. 2013>
- Loss, A., Pereira, M.G., Perin, A., Coutinho, F.S., Anjos, L.H.C. 2012. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. *Soil Research* 50: 685-693.
- Luizão, F.J. 2007. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência e Cultura* 59: 31-36.
- Maia, S.M.F., Xavier, F.A.S., Senna, O.T., Mendonca, E.S., Araujo, J.A. 2007. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry Systems* 71: 127-138.
- Martinez, L.L., Fiedler, N.C., Lucatelli Junior, G.J. 2007. Análise das relações entre desflorestamentos e focos de calor. Estudo de caso nos municípios de Altamira e São Félix do Xingu, no Estado do Pará. *Revista Árvore* 31: 695-702.
- Martins, E.L., Coringa, J.E.S., Weber, O.L.S. 2009. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico - LVAd sob diferentes agrossistemas. *Acta Amazônica* 39: 665-660.
- Moreira, A., Costa, D.G. 2004. Dinâmica da

- matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 1013-1019.
- Matos, F.O., Castro, R.M.S., Ruivo, M.L.P., Moura, Q.L. 2012. Teores de nutrientes do solo sob sistemas agroflorestais manejado com e sem queima no estado do Pará. *Floresta e Ambiente* 19: 257-266.
- Moreira, A., Malavolta, E. 2004. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 1103-1110.
- Oades, J.M. 1988. The retention of soil organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5: 35-70.
- Oliveira, T.K., Amaral, E.F., Valentin, J.F., Lani, J.L., Araújo, E.A., Bardales, N.G. 2009. Práticas agrícolas sustentáveis para o Acre. *Ação Ambiental* 42: 35-43.
- Orrutêa, A.G., Melo, V.F., Motta, A.C.V., Lima, V.C. 2012. Mineralogia e reserva de K de Cambissolos submetidos a diferentes manejos após derrubada e queima da floresta na Amazônia Meridional. *Acta Amazônica* 42: 461-470.
- Portugal, A.F.; Fontes, L.E.F.; Lani, J.L.; Schaefer, C.E.R.G. 2012. Condição química, carbono e nitrogênio do solo e seus compartimentos em ecossistemas de floresta após a implantação de pastagens na região ocidental do Acre. In: Araújo, E.A., Ker, J.C., Neves, J.C.L (Org.). *Uso sustentável de ecossistemas de pastagens cultivadas. Uso sustentável de ecossistemas de pastagens cultivadas*. SEMA, Rio Branco, Brasil. p. 87-99.
- Saeg. 2007. Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.
- Salimon, C.I., Wadt, P.G.S., Melo, A.W.F. 2007. Dinâmica do Carbono na Conversão de Floresta para Pastagens em Argissolos da Amazônia Ocidental. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 7: 29-38.
- Salimon, C. I., Wadt, P.G.S., Alves, S.S. 2009. Decrease in carbon stocks in an oxisol due to land use and cover change in southwestern Amazon. *Revista Ambiente & Água* 4: 57-65.
- Schaefer, C.E.G.R. 2013. Clima e Pleoclima do Acre: Memórias e cenários da aridez quaternária na Amazônia e implicações pedológicas. In: Anjos, L.H.C., Silva, L.M., Wadt, P.G.S., Lumberras, J.F., Pereira, M.G. *Guia de Campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*. 1. ed. Embrapa / SBCS, Rio Branco, Brasil. p. 59-80.
- Silva Júnior, M.L., Desjardins, T., Sarrazin, M., Melo, V.S., Martins, P.F.S., Santos, E.R., Carvalho, C.J.R. 2009. Carbon content in Amazonian oxisols after forest conversion to pasture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33: 1603-1611.
- Silva, G.R., Silva Junior, M.L., Melo, V.S. 2006. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo Amarelo do Estado do Pará. *Acta Amazônica* 36:151-158.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. John Wiley and Sons: New York. 345 p.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J. 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 174 p. (Boletim técnico, 5).
- Wadt, P.G.S., Dias Filho, M.B., Soares, J.P.G. 2005. Manejo do Solo em Pastagens Plantadas. In: Wadt, P.G.S. (Org.). *Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre*. Embrapa Acre, Rio Branco, Brasil. p. 459-490.
- Urquiaga, S., Jantalia, C.P., Alves, B.J.R., Boddey, R.M. 2010. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica. *Informações Agronômicas*, n.130, p.12-21.
- Yoemans, J.C., Bremner, J.M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science Plant Analysis* 19: 1467-1476.