

ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO SOB FLORESTA PRIMÁRIA (FP) E SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAF) EM ASSENTAMENTO RURAL NO SUL DO AMAZONAS

ORGANIC CARBON STOCK IN THE SOIL UNDER PRIMARY FOREST (PF) AND AGROFORESTRY SYSTEMS (AFS) IN RURAL SETTLEMENT IN SOUTHERN AMAZONAS

Joiada Moreira da Silva Linhares^{1*}; Wanderley Rodrigues Bastos²; Ângelo Gilberto Manzatto²; Ronaldo de Almeida³; Deborah Pereira Linhares da Silva⁴; Reginaldo Martins da Silva de Souza⁵

1. Instituto Federal do Amazonas - IFAM Campus Lábrea. Doutorado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.
2. Universidade Federal de Rondônia. Doutorado em Ciências Biológicas.
3. Universidade Federal de Rondônia. Doutorado em Ciências Biológicas.
4. Instituto Federal de Rondônia – IFRO Campus Cacoal. Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.
5. Instituto Federal de Rondônia – IFRO Campus Porto Velho. Doutorado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.

* Autor correspondente: e-mail: Joiada.silva@ifam.edu.br

RESUMO

O sistema agroflorestral (SAF) é o uso da terra que integra no mesmo espaço o cultivo de espécies agrícolas e silviculturais. O SAF é estratégico na mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO₂), causado pela mudança no uso e cobertura da terra. O estudo teve o objetivo de quantificar os estoques de carbono orgânico do solo (ECS) em diferentes classes e profundidades de solo em floresta primária (FP) e SAF na colônia agrícola do ramal do 12, zona rural do município de Lábrea, sul do Amazonas. Foram usados quatro métodos: elaboração de mapa temático e imagem digital, amostragem, análise físico-química e estatística de solo. Os Argissolos sob SAF's com três e dezenove anos de adoção apresentaram elevados ECS (50,22 e 51,75 Mg. C.ha⁻¹) na camada 80 – 100cm do solo. Estes resultados demonstram a capacidade do Argissolo sob SAF em estocar carbono orgânico nas camadas subsuperficiais.

Palavras chave: Uso e Cobertura da Terra. Estoque. Sistema Agroflorestral. Classes de Solo.

ABSTRACT

the agroforestry system (AFS) is the use of land that integrates in the same space cultivation of agricultural and forestry species. AFS is strategic in mitigating carbon dioxide (CO₂) emissions, caused by the change in land use / cover. The study objective to quantify soil organic carbon stocks (SOC) different soil classes and depths in primary forest (PF) and AFS in the agricultural colony of the road of the 12, rural area of the municipality of Lábrea, southern Amazonas. Four methods were used: thematic map and digital image, sampling, physicochemical analysis and soil statistics. The Ultisol under SAF's with three and nineteen years. adoption rates showed high SOC (50.22 and 51,75 Mg C ha⁻¹) in the 80 - 100cm layer of soil. These results demonstrate the ability of the Ultisol under AFS in stocking organic carbon in the subsurface layers.

Keywords: Land-use / Cover. Stocks. Systems Agroforestry. Class Soil.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a comunidade científica internacional tem dedicado esforços para encontrar as possíveis causas e consequências do aquecimento global. Apesar das divergências teóricas entre desenvolvimentistas e ambientalistas quanto às implicações ambientais inerentes à elevação da temperatura média dos oceanos e da atmosfera da Terra, atualmente, é consenso que, a partir da segunda metade do século XVIII, houve o aumento significativo nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, em especial de CO₂ e metano (CH₄). Dentre as causas que explicam a elevação de CO₂ e CH₄ estão: o crescimento secular da queima de combustíveis fósseis e as mudanças no uso da terra nas áreas temperadas e tropicais [1].

O carbono (C) em escala global é superior a 90.041.820 Pg de C (1 Pg = 10¹⁵g = 1 bilhão de toneladas). Este, na forma orgânica e inorgânica, encontra-se estocado em cinco compartimentos: oceânico, geológico, pedológico, biótico e atmosférico. Dentre esses, destaca-se o pedológico (solo), uma vez que armazena quase cinco vezes volume de C estocado na forma de biomassa e é três vezes superior ao total confinado na forma gasosa no ambiente atmosférico [2].

Na forma orgânica, o C estocado no solo é estimado em 1.576 Pg de C. Deste total, aproximadamente ≈50% está confinado em diferentes frações geoquímicas nos primeiros 30 cm de solo. Esse volume pode ser maior, uma vez que a maioria das informações publicadas, não levam em consideração o quantitativo de C armazenado entre 1 e 8 m de profundidade de solo [3].

O C orgânico estocado no solo em ecossistemas tropicais, tais como: Floresta Amazônica, Floresta do Congo, Savana Africana, Cerrado brasileiro, entre outros, representam aproximadamente 30% do estoque mundial. De 384 a 640 Pg de C encontram-se entre 0-200 cm de profundidade do solo. Assim, há um volume significativo de C orgânico depositado nos solos tropicais, quando comparado ao volume existente nos solos sob floresta na zona temperada [4].

Diversos fatores podem influenciar na variabilidade dos ECS no ecossistema florestal amazônico. Entre as variáveis ambientais destacam-se: as classes de solo e seus atributos físicos, químicos e biológicos; a morfologia do terreno; as práticas de manejo de solo e a mudança de uso e cobertura da terra [5].

No contexto da variabilidade do estoque de carbono em diferentes classes de solo, pesquisas realizadas na região Norte [6] com 1.162 perfis de solo, representando 5.560 horizontes, admitem que os Argissolos e os Latossolos são as principais classes de solo na Amazônia. Estas apresentam teores médios de C até 100 cm de profundidade entre 2,3 e 21,7 kg de C m² e um estoque de aproximadamente ≈ 47 Pg de C que representa 32% do ECS na América do sul.

Na Amazônia central [7], estudos sobre a quantificação dos ECS em diferentes ambientes morfológicos sob FP, registraram os maiores estoques de carbono (90 a 175,5 Mg ha⁻¹ de C) em Latossolo argiloso no platô e no Argissolo de textura média em vertente convexa. Os resultados demonstraram que os solos da floresta Amazônica têm potencial de estocar elevado volume de carbono no horizonte superficial, devido à entrada de resíduos orgânicos e substâncias húmicas, oriundas da decomposição da matéria orgânica (MO) presente na serapilheira.

No Sudoeste da Amazônia, pesquisa [8] referente aos impactos da mudança no uso da terra e no estoque de carbono em Argissolos Amarelo Distróficos, decorrentes da derrubada da FP para implantação de pastagem extensiva e SAF, observou que os ECS até a profundidade de 0,50 m foram maiores sob pastagem extensiva (34,40 Mg.ha⁻¹) e menores nos solos sob SAF (31,84 Mg/ha⁻¹).

A problemática que envolve a mudança de uso da terra, a liberação de GEE e a capacidade do solo em estocar C, não se restringe à Amazônia, porém, pode ser observada em outros biomas brasileiros. Estudos de avaliação dos ECS na zona da mata do sul da Bahia observaram que o estoque de carbono (FP = 28,30 Mg. ha⁻¹, SAF = 24,10 Mg. ha⁻¹ e 25,30 Mg. ha⁻¹) de 30 a 100 cm de profundidade de solo sob FP e SAF não apresentaram diferença significativa [9].

Vários estudos [10,11,12] têm demonstrado que determinados SAF's apresentam características ecológicas similares à FP. Em função dessa especificidade, o SAF foi escolhido na conferência das partes (COP-15), realizada na cidade de Copenhague (Dinamarca), como uma das tecnologias de produção agrícola capaz de minimizar as concentrações de CO₂ na atmosfera, devido à presença de espécies arbóreas e arbustivas. Além disso, dependendo da classe de solo, pode estocar um elevado volume de C por um longo período no horizonte superficial e subsuperficial do solo. Partindo dessa premissa, pressupõe-se que os SAF's da colônia agrícola do ramal do 12 promovem o incremento de carbono orgânico no solo sob SAF na mesma ordem de grandeza que os solos sob FP.

No final do século XX, com a finalidade de reduzir a pressão do desmatamento na microrregião do médio rio Purus, considerada a nova fronteira agropecuária brasileira, os governos Federal

e Estadual incentivaram a implantação de SAF no sul do Amazonas [13]. Vários SAF's foram implantados no ano de 1997 em diversos assentamentos rurais amazonenses, em que muitos já atingiram seu nível máximo de desenvolvimento produtivo, porém, as informações sobre o monitoramento e a recuperação da qualidade de solo, tendo como indicador ECS após a derrubada da FP e implantação do SAF e quintal agroflorestal (SQF) ainda é pouco compreendido. Neste contexto, o estudo teve o objetivo de quantificar os teores e estoques de carbono orgânico em diferentes classes de solo e uso da terra na colônia agrícola do ramal do 12, zona rural do município de Lábrea, sul do Amazonas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na colônia agrícola do ramal do 12 (CAR-12), localizada no município de Lábrea – AM, entre as coordenadas geográficas de longitude 64° 40' 14.4" e 64° 34' 26.0" W e latitude 07° 21' 16.5" e 07° 18' 06.4" S (Figura 01). Esse município integra a microrregião do médio rio Purus e a Amazônia Legal. A vegetação da área de estudo é constituída por floresta pluvial tropical perenifólia de planície, floresta pluvial tropical perenifólia de terra baixa de várzea e cobertura vegetal cultivada, originária de agricultura migratória e SAF [14].

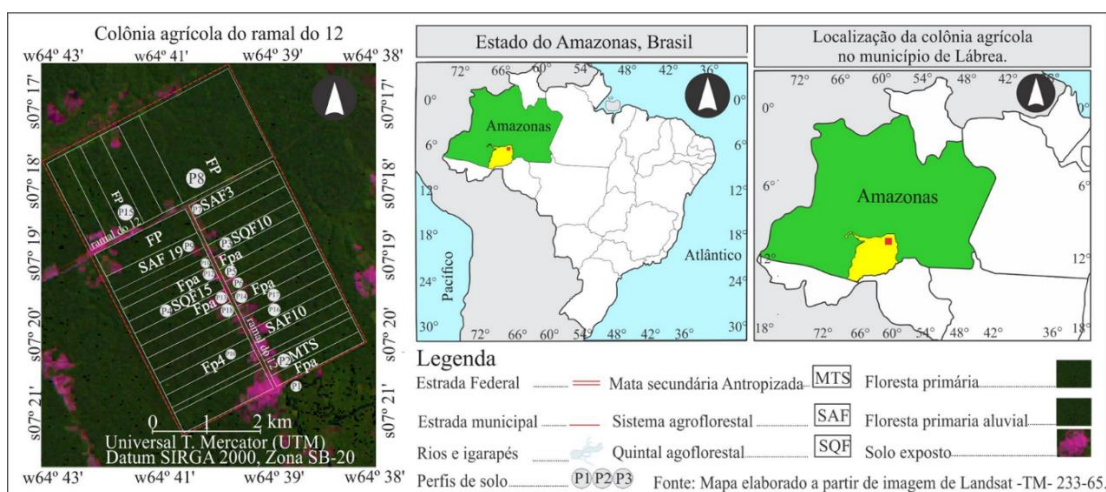


Figura 1: Mapa de localização da colônia agrícola do ramal do 12, uso e cobertura da terra e dos perfis do solo.

Fonte: Imagem LANDSAT / TM - 233/65 e mapa digital do município de Lábrea [15].

De acordo com a classificação de Köppen, o clima sul amazônico é do tipo equatorial chuvoso (Am), com um período seco que pode variar de 1 a 3 meses (julho a setembro). O período chuvoso ocorre entre os meses de novembro a março. Esse é caracterizado por elevadas precipitações anuais, com média superior a 2000 mm / ano. O mês de abril e outubro

caracterizam-se como os meses de transição. As temperaturas médias anuais permanecem entre 24 °C e 27 °C [16].

A geológica é composta por depósitos sedimentares da Formação Solimões do período Quaternário da Era Cenozoica. A partir do Pleistoceno estes depósitos passaram por um intenso processo de entalhamento, gerando vários níveis deposicionais. O relevo local pertence a três grupos morfológicos: i) Depressão do Ituxi–Jari (Dij); ii) Planície fluvial secundária do rio Pacia (Apf) ; iii) Formas de terraços fluviais (Atf) [17].

2.1 AMOSTRAGEM DE SOLO E DETERMINAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

Para o reconhecimento prévio do solo foi elaborado o mapa base da colônia agrícola do ramal do 12, a partir dos dados pedológicos do projeto RADAMBRASIL [18]. No detalhamento das informações de uso e cobertura da terra foi utilizada a imagem do satélite LANDSAT / TM – cena 233/65, com resolução espacial de 30 metros e composição colorida RGB (R= red, G = green e B = blue). Com base nestas informações espaciais foi produzido um mapa com a localização dos SAF's de dimensão maior 10.000 m². Este subsidiou a amostragem de solo em campo [19].

A identificação das classes de solo ocorreu a partir de descrição morfológica de 18 perfis pedológicos e 101 horizontes e / ou camadas (Tabela 01). O perfil 08 sob FP (P8/FP), por não ter recebido adubação química na correção de solo, nem apresentado corte raso e / ou seletivo de madeira, foi escolhido como referência para os atributos físicos, químicos e ECS.

Com a finalidade de padronizar os dados de ECS deste estudo, com os resultados obtidos em outras pesquisas realizadas na Amazônia, foram coletados próximos aos perfis de solo amostras extras de solo (1,0 kg), com auxílio de um trado holandês nas camadas de 0–20cm, 20–40cm, 40–60cm, 60–80cm e 80–100cm. No laboratório, as amostras foram peneiradas em malha de 2 mm para obtenção da terra fina, após seca ao ar (TFSA). As concentrações de Al, Ca, Mg, K, P e o pH / H₂O foram determinadas conforme procedimentos metodológicos analíticos laboratoriais de solo, no padrão Embrapa [20].

A matéria orgânica (MO) foi determinada a partir de amostras de TFSA, após combustão em forno mufla a 600° C por 6h. O teor de MO foi determinado por diferença de peso da massa; a granulometria, por meio do método de dispersão total [20].

O C orgânico do solo foi determinado pelo método de oxidação da MO, contida em 0,5 g de TFSA. As amostras foram acidificadas por solução de dicromato de potássio 0,4 N. Os teores C foram obtidos com base no volume da solução de sal Mohr de sulfato ferroso amoniacal (0.1 N) gasto na titulação da amostra [20].

Tabela 1: Localização dos pontos de coletas de solo na colônia agrícola do ramal 12.

Perfi l	Uso da Terra	Coordenadas geográficas		Código do I. rural	Quant. Hor.	Profundid. (cm)	Técnica de amostragem
		Long. W	Lat. S				
P 1	FPA	64° 39' 09"	7° 20' 42"	FPA	5	0-66	C. de barranco
P 2	MTS	64° 39' 11"	7° 20' 30"	Lt.62	7	0-160	Trincheira
P 3	SQF10	64° 40' 07"	7° 19' 10"	Lt.55	7	0-170	Trincheira
P 4	SQF15	64° 40' 48"	7° 19' 47"	Lt.37 ^a	8	0-205	Trincheira
P 5	FPA	64° 39' 47"	7° 19' 48"	Lt.33 ^a	5	0-100	Tradagem
P 6	FPA	64° 39' 46"	7° 19' 54"	FP	4	0-80	Tradagem
P 7	SAF3	64° 40' 16"	7° 18' 18"	Lt.54	6	0-140	Trincheira
P 8*	FP	64° 40' 17"	7° 18' 56"	Lt.44	6	0-157	Trincheira
P 9	SAF19	64° 41' 05"	7° 18' 53"	Lt.33	6	0-117	Trincheira
P 10	FP	64° 40' 05"	7° 21' 49"	Lt.43	5	0-130	Trincheira
P 11	FPA	64° 41' 11"	7° 19' 06"	Lt.55 ^a	4	0-80	Tradagem
P 12	FPA	64° 41' 17"	7° 20' 47"	FP	5	0-100	Tradagem
P 13	FPA	64° 40' 02"	7° 20' 36"	APP	5	0-100	Tradagem
P 14	FPA	64° 40' 07"	7° 20' 37"	APP	5	0-100	Tradagem
P 15	FPA	64° 38' 57"	7° 19' 35"	APP	5	0-100	Tradagem
P 16	FPA	64° 39' 01"	7° 20' 19"	APP	6	0-120	Tradagem
P 17	FPA	64° 39' 02"	7° 20' 27"	APP	6	0-120	Tradagem
P 18	FPA	64° 40' 01"	7° 20' 17"	APP	6	0-120	Tradagem
Total	-	-	-	-	101	-	-

Legenda: floresta primária (FP); floresta primária aluvial (FPA); sistema agroflorestal (SAF) e quintal agroflorestal (SQF); código do imóvel rural do INCRA (C.I.R); Latitude (Lat. S); Longitude (Long. W); Quantidade de horizontes (Quant. Hor.); profundidade (profund.).

Os ECS foram calculados a partir dos valores de carbono, de densidade aparente de solo e da espessura das camadas amostradas, considerando a equação 1 [21], em que “E” é o estoque de carbono convertido em Mg ha⁻¹; Ds, a densidade do solo (g. cm⁻³); A, a espessura da camada amostrada (cm); e CO, o teor de carbono orgânico do solo em g.kg¹.

$$E = Ds \times A \times CO \quad (\text{Eq. 1})$$

Os valores dos ECS foram corrigidos conforme método de massa de solo equivalente de referência [22-7], obtidos a partir da equação 2:

$$Cs = \sum_{i=1}^{n-1} Cti + \left[Mtn \left(\sum_{i=1}^n Mti - \sum_{i=1}^n Msi \right) \right] * Ctn \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: C_s = Estoque de carbono total ($Mg.ha^{-1}$), corrigido em função da massa do solo equivalente ao perfil de solo sob FP usado de referência na área estudada;

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{ti} +$ = Somatório dos estoques de carbono do solo da primeira (horizonte superficial) à penúltima camada amostrada de cada perfil de solo e tratamento (FP, FPa, SAF, MTS e SQF);

M_{tn} = Massa de solo da última camada amostrada em cada parcela sob FP de referência ($Mg.ha^{-1}$ FP);

$\sum_{i=1}^n M_{ti-}$ = Somatório da massa total de solo nas camadas superficiais (A_1) e subsuperficiais (B_3 e / ou C_3) amostradas sob FP de referência;

$\sum_{i=1}^n M_{si}$ = Somatório da massa total de solo ($Mg.ha^{-1}$) amostrado nas camadas superficiais (A_1) e subsuperficiais (B_3 e / ou C_3) dos perfis de solo sob diferentes tratamentos (FP, FPa, SAF, MTS e SQF);

CT_n = Concentração de carbono total do solo na camada mais profunda amostrada no perfil de solo sob diferentes tratamentos FP, FPa, SAF, MTS e SQF ($Mg C Mg^{-1}$ de solo).

2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento estatístico de análise dos atributos físicos, químicos, teores de CO e ECS foram inteiramente casualizados. Essas variáveis foram analisadas em duas etapas. A primeira constituiu da organização dos dados em um banco de dados (BD) destinados às variáveis quantitativas discretas e contínuas. A segunda, por meio do programa Past version 3.17c, em que foram aplicados testes de estatística descritiva (média, mediana, variância, desvio padrão, correlação de Person, entre outros) e o teste de média de Tukey $\alpha = 0,05$, na classificação da variabilidade dos atributos do solo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área da colônia agrícola do ramal do 12 apresenta uma predominância da unidade morfológica denudacional da Depressão Ituxi – Jarí (Dij), com platô rebaixado e topos planos, que representa 91,32% da área de estudo. Apenas 8,68% do assentamento é constituído por planície fluvial de rios secundários e efêmeros. A partir da cobertura da terra e da topografia do terreno foram identificadas três unidades pedo-geomorfológicas.

A planície (Apf) e os terraços fluviais recentes são formados por áreas planas resultantes da acumulação de materiais detríticos fluviais. São periodicamente inundadas, no período chuvoso

e água alta do rio Pacia. Às margens da Apf, há formação de terraços fluviais (Atf). Neste pedoambiente, há predominância da floresta ombrófila aberta aluvial com palmeiras. Em alguns trechos do curso principal e dos afluentes do rio Pacia existem áreas de lavoura (manutenção e comercial), SAF e pasto limpo formado até a beira por conta do curso d'água para possibilitar a dessedentação do rebanho bovino.

Os solos da Apf estão relacionados ao retrabalhamento de partículas sólidas inorgânicas (areia, silte e argila) que, por ação dos cursos d'água e variação do lençol freático, podem apresentar encharcamento permanente ou periódico, contribuindo na disposição das camadas dos perfis de solo, dependendo da dinâmica hidrológica local.

Nesta unidade pedo-geomorfológica, foi observada a formação de duas classes de solo, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo SiBCS [23]: a primeira, constituída pela associação de Gleissolos (P11, P12, P13 e P14) e Neossolos (P5, P6, P15, P16 P17 e P18) de maior representatividade em termos de dimensão espacial na Apf da colônia agrícola do ramal do 12, em que todos foram descritos no terço inferior da vertente. A segunda corresponde à ordem dos Plintossolos Háplicos (P1/FX) (Figura 2).



Figura 02: Perfis de solo construído na CAR-12. A: Corte de barranco (P1) realizado sob FP aluvial na planície fluvial de rio Pacia. B: Trincheira aberta (P10) sob FP de terra baixa e Atf.

Fonte: acervo dos autores.

A presença de mosqueado a partir de 25 cm de profundidade no P1 (10R 5/8, pouco, médio e difuso) e horizontes em diferentes estágios de gleização e plintização, são características típicas dos solos hidromórficos amazônicos [24].

No terraço fluvial recente (Atf) foram abertas duas trincheiras referentes aos perfis P2 e P3. A descrição morfológica possibilitou classificá-los em Argissolos Vermelhos (PV). Apesar dos perfis P2/PV e P3/PV estarem distantes da rede de drenagem e das depressões de inundação,

ambos apresentaram mosqueados (10R 5/8, pouco, muito pequeno a médios e distintos) a partir de 110 cm de profundidade (Tabela 2). A derrubada da floresta para construção da estrada de acesso ao assentamento causou uma maior exposição do solo à ação dos agentes climáticos apesar da pouca declividade do terreno.

Os tabuleiros de terra firme da Dij ocupam a porção central das terras da colônia agrícola do ramal do 12. Esse ambiente apresenta altimetria entre 71,2 e 83,3 m, onde predominam fisionomias aplainadas e geoformas retilíneas com ondulações suaves em pontos isolados. Nas zonas de contato com as unidades de Apf e Atf são observadas feições de rampas suavemente inclinadas. A cobertura vegetal é constituída por floresta ombrófila aberta. Nas áreas mais baixas sujeitas às inundações sazonais e às margens dos cursos d'água temporários e efêmeros, há diversas espécies de Arecaceae, tais como: *Euterpe precatória* Mart., *Oenocarpus bataua* Mart., *Attalea maripa* (Aubl) Mart., etc.

Foram identificados na Dij terrenos com declividades entre 0,22 e 4,1%, apresentando duas classes de solo: no terço superior da vertente, manchas de Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho (P8/PVA, P9/PV e P10/PV) (Figura 03); no terço médio sob terreno suave ondulado, manchas de Latossolo Amarelo (P4/LA).

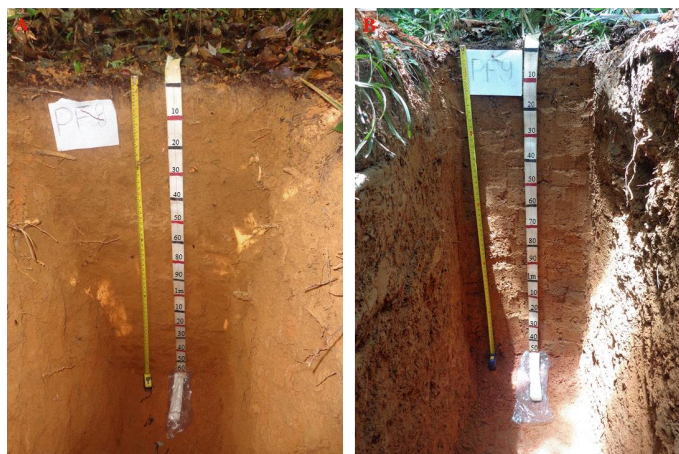


Figura 03: Perfis de solo construídos na CAR-12. A: Trincheira aberta (P8) sob FP de referência. B: Trincheira aberta (P9) sob sistema agroflorestal implantado há 19 anos (SAF19).

Fonte: acervo dos autores.

3.1 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS

A partir das descrições morfológicas dos perfis de solo e da análise dos atributos físicos e químicos, os solos foram classificados segundo o SiBCS [23], como: Plintossolo Háplico Distrófico típico (P1/FXd); Argissolos Vermelhos Distróficos plintossólicos (P2/PVd, P3/PVd

e P7/PVd); Latossolo Amarelo Distrófico típico (LAd); Neossolo Flúvico Distrófico gleissólico (P5/Rybd, P15/RyD, P16/RyD, P17/RyD e P18/RyD); Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico (P6/RQg); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (P8/PVAd); Argissolo Vermelho Distrófico típico (P10/PVd) e Gleissolos Háplicos Distróficos argissólicos, (P11/GXbd, P12/GXbd, P13/GXbd e P14/GXbd) (Tabela 02).

O pH em água (pH / H₂O) não apresentou variações significativas entre os perfis de solo, exceto nos P1/FXd e P2/PVd, cuja acidificação exibiu pequena diferença numérica quando comparado ao P8/PVAd, usado como referência. A acidez elevada (≤ 5), que variou entre 4,1 e 4,9 está coerente de acordo com as concentrações de alumínio (Al³⁺) e a baixa disponibilidade de nutrientes do solo [25].

Em geral, os valores de pH / H₂O foram maiores nos horizontes subsuperficiais, exceto no P1/FXd e P2/PVd (Figura 04 / A). Ao que se pôde observar, a elevação da acidez em profundidade, registrada em todos os perfis de solo e uso da terra, pode estar relacionada ao teor de dióxido de carbono liberado no solo durante as transformações iniciais da rocha matriz e, por conseguinte, da maior percolação de carbono orgânico húmico, associado à melhoria das condições de drenagem no interior dos perfis P4/LAd, P5/Rybd e P6/RQg e P11/GXbd, aberto sob SAF e FP aluvial [26-27].

Os teores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) foram considerados baixos (< 1,08 e 2,02 Cmol / dm³), fato que representa déficit de nutrientes minerais nas espécies vegetais naturais e cultivadas na colônia agrícola do ramal do 12. Os teores de Ca²⁺ variaram de 0,40 a 1,12 Cmol / dm³, e os teores de Mg²⁺ 0,08 a 0,16 Cmol / dm³, tendo os perfis P1/FXd, P3/PVd, P5/Rybd, P6/RQg e P11/GXbd apresentado aumento sutil nos primeiros centímetros de solo (7,89 a 16,00 Cmol /dm³), sendo superiores ao perfil P8/PVAd usado como referência (Figura 04 / B). Isso indica que o desenvolvimento das espécies florestais e agroflorestais estão relacionadas ao eficiente processo de reciclagem de nutrientes, promovido pela própria FP e SAF's avaliados, conforme constatado em estudo realizado no ecossistema amazônico [28].

Tabela 02: Características morfológicas dos perfis de solo da colônia agrícola do ramal do 12.

Horiz.	Profund. (cm)	Cor munsell (úmida)		Textura ²	Granulometria (%)		
		Matriz	¹ Mosqueado		Areia	Silte	Argila
Perfil 01 – Planície fluvial de rio secundário / Plintossolo Háplico Distrófico (FXd)							
A	0-08	5YR 6/4		Fr-argiloarenosa	39,0	36,6	24,4
A ₂	8-25	5YR 5/4		Argiloarenosa	45,6	16,7	37,7
AB ₃	25-34	5YR 5/6	10R 5/8, po., méd. e dif.	Argilosa	40,7	17,9	41,4
BAf	34-47	5YR 5/6	10R 5/8, co., pq. e dif.	Argilosa	37,3	19,3	43,4
Bf	47-66+	5YR 5/6	10R 5/8, co., méd. e dif.	Argilosa	42,3	16,7	41,0
Perfil 02 – Terraço fluvial recente / Argissolo Vermelho Distrófico (PVd)							
Ap	0-13	10YR 4/4		Fr. Argiloarenosa	55,6	16,7	27,7

A ₂	13-30	10YR 5/4		Argiloarenosa	49,0	16,6	34,4
A ₃	30-43	7.5YR 6/6		Argilosa	39,0	17,6	43,4
AB	43-55	7.5YR 6/8		Argilosa	42,3	16,3	41,4
BA	55-74	7.5 YR 7/6		Argilosa	42,3	18,4	39,3
B _t	74-100	5YR 5/6	10R 5/8, po., mpeq. e dis	Argilosa	42,3	16,7	41,0
Perfil 3 – Terraço fluvial recente / Argissolo Vermelho Distrófico plintossólico (PVd)							
Ap	0-26	10YR 4/4		Fr. argiloarenosa	49,0	23,9	27,1
A ₂	26-45	7.5 YR 4/4		Franco argilosa	42,3	23,3	34,4
A ₃	45-70	7.5 YR 5/6		Argiloarenosa	49,0	13,3	37,7
AB	70-110	7.5YR 5/6		Argilosa	39,0	16,6	44,4
BA	110-130	5YR 5/6		Argilosa	35,6	16,7	47,7
B _{t1}	130-150	5YR 5/8	10R 5/8, po., mpq. e dis.	Argilosa	35,6	13,0	51,4
B _{t2}	150-170+	2.5YR 5/8		Argilosa	25,6	18,6	55,8
Perfil 05 - Planície fl. de rio secundário / Neossolo Flúvico Tb Distrófico Gleissólicos (RYbd)							
A	0-20	2,5Y 5/4		Francoarenosa	79,0	04,1	16,9
A ₂	20-40	10YR 5,4		Fr. argiloarenosa	59,0	13,3	27,7
Ag ₃	40-60	10YR 5,4	5Y 5/3, ab., pro., méd. e di.	Francoargilosa	42,3	23,3	34,4
A ₄	60-80	10YR 6/4		Francoargilosa	40,7	23,3	36,0
A ₅	80-100+	10YR 5/6		Francoargilosa	39,0	23,3	37,7
Perfil 07 – Terraço fluvial recente / Argissolo Vermelho Distrófico plintossólicos (PVd)							
Ap	0-10	10YR 6/6		Francoargilosa	42,3	18,4	39,3
A ₂	10-30	10YR 6/8		Argilosa	42,3	16,7	41,0
A ₃	30-52	7.5YR 6/8		Argilosa	39,0	17,6	43,4
AB	52-82	5YR 6/8		Argilosa	35,6	20,0	44,4
BA	82-110	5YR 6/6		Argilosa	35,6	18,7	45,7
B ₁	110-140+	2.5YR 7/8	10R 5/8, po., mméd. e dis.	Argilosa	35,6	16,7	47,7
Perfil 8 - Tabuleiros de terra fr. da dep. Ituxi-Jari / Argissolo Ver-Amarelo Distrófico (PVAd)							
A	0-23	10YR 6/8		Argiloarenosa	45,6	14,7	39,7
A ₂	23-44	10YR 6/8		Argilosa	39,0	20,0	41,0
A ₃	44-69	10YR 6/6		Argilosa	39,0	17,2	43,8
AB	69-100	10YR 7/8		Argilosa	35,6	20,0	44,4
BA	100-126	7.5YR 7/8		Argilosa	39,0	15,3	45,7
B ₁	126-157+	5YR 5/8		Argilosa	34,0	18,3	47,7
Perfil 09 - Tabuleiros de terra fr. da Dep. Ituxi-Jari / Argissolo Vermelho Distrófico (PVd)							
Ap	0-13	10YR 6/4		Fr. argiloarenosa	39,0	20,0	41,0
A ₂	13-25	10YR 6/6		Argilosa	39,0	17,2	43,8
A ₃	25-46	10YR 6/6		Argilosa	37,3	18,3	44,4
AB	46-56	7.5YR 6/6		Argilosa	35,6	18,7	45,7
BA	56-94	7.5YR 6/6		Argilosa	39,0	13,3	47,7
B	94-117	2.5YR 6/8		Argilosa	39,0	12,9	48,1
B ₂	117+	2.5YR 6/8		Argilosa	32,3	18,4	49,3

Legenda: po: pouco; co: comum; ab: abundante; pro: proeminente; dif: difuso; dis: distinto. mpeq.: manchas pequenas; mméd.: manchas médias; ²Ar: Areia; Ar-Fr: areia-franca; Fr-arg.: Franco-argiloarenosa; Fr-ar.: franco-arenosa; F: Franca; Fr-sil.: Franca- siltosa; Sil.: Silte; Fr-arg-sil.: Franco-argilo-siltosa; Arg-sil.: Argila-siltosa. Arg.: Argilosa. Arg-ar.: argila-arenosa. Mt-arg.: muito-argilosa.

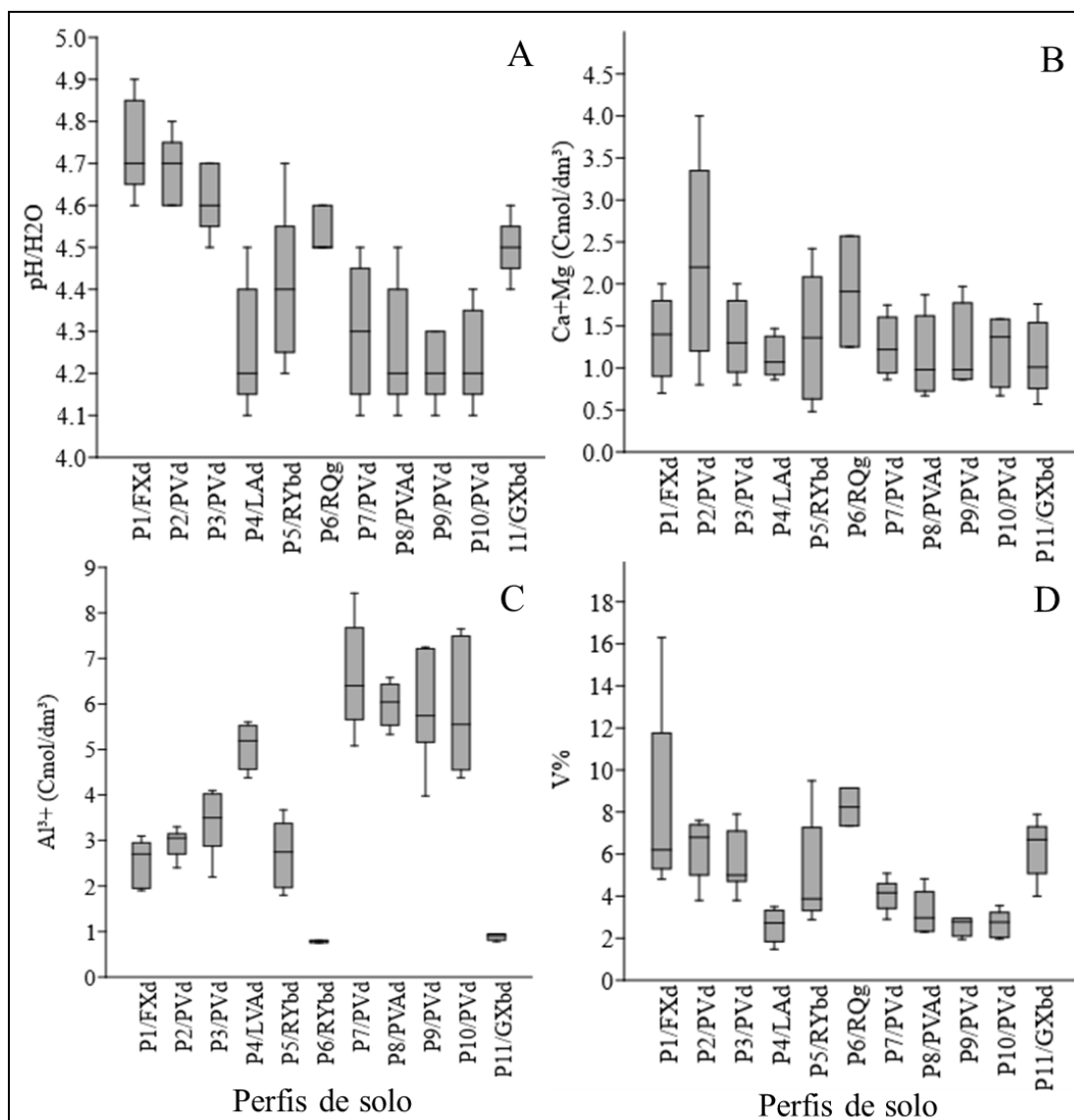


Figura 4: Estatística de atributos químicos de 0 - 100 cm de profundidade de solo. A: pH/H₂O em diferentes classes de solo; B: concentração de Cálcio + magnésios (Ca+Mg) em diferentes classes de solo. C: Teores de alumínio trocável Al³⁺ em diferentes classes de solo. D: Saturação por base (V%) das classes de solo avaliadas.

Legenda: P1/ FXd: Plintossolo Háptico Distrófico. P2, P3, P7, P9, P10/PVd: Argissolos Vermelho Distróficos.

P4/LAd: Latossolo Amarelo Distrófico. P5/RybD: Neossolo Flúvico Distrófico. P6/RQg: Neossolo Flúvico Quartizarênico Hidromórfico. P8/PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. P11/GXbd: Gleissolo Háptico Distrófico.

Em oposição aos valores de bases trocáveis, os teores médios de Al³⁺, que variaram > 1,8 e < 8,43 Cmol/dm³, se mantiveram significativamente altos em todos os perfis de solo. Observou-se entre as classes de solo estudadas, uma tendência de aumento crescente nos teores de Al³⁺ > 3,8 cmolc / dm³ em profundidade, exceto nos perfis P1/FXd, P2/PVd, P3/PVd, P5/RybD, P6/RQg e P11/GXbd, cujos teores de Al³⁺ foram inferiores aos registrados no P8/PVAd de

referência (Figura 04 / C). Neste estudo, o Al^{3+} apresentou características similares às outras pesquisas realizadas na Amazônia [27].

Os solos estudados apresentaram saturação por base inferior à 50%, o que confirma o caráter distrófico dos Argissolos, Latossolos, Gleissolos, Neossolos e Plintossolos identificados na colônia agrícola do ramal do 12 (Figura 04 / D). Entretanto, a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresentou valores expressivos no P4/LAd, P8/PVAd, P9/PVd e P10/PVd, com a média da CTC apresentando valores $\geq 10,00 \text{ Cmol}_c / \text{dm}^3$, assim como, nos demais perfis e usos da terra, em torno de $8,00 \text{ Cmol}_c / \text{dm}^3$.

3.2 TEORES DE CARBONO ORGÂNICO (CO) EM DIFERENTES CLASSES DE SOLO

Teores elevados de CO foram registrados na camada superficial (0 – 20 cm) em todos os perfis de solo, exceto nos P5/RYbd, P6/RQg e P11/GXbd sob FP. Os P4/LAd e P9/PVd apresentaram percentuais de CO entre 29,6 e 35%, em que a variabilidade de CO da mesma ordem de grandeza foi registrada no P8/PVAd de referência. Esses resultados corroboram com teores de CO em Argissolo sob FP na Amazônia central [29], porém, diferem dos teores determinados [30] em Argissolo Amarelo no município de Apuí / AM.

Na figura 05 / A e B é possível observar que as principais classes de solo da colônia agrícola do ramal do 12 agruparam-se conforme os percentuais de CO, assim como em função do grau de desenvolvimento pedogenético dos solos avaliados. As disparidades dos percentuais de CO em relação às classes de solo são efeito das características intrínsecas de cada ordem de solo, dos componentes mineralógicos, estrutura e classes de texturas dos solos [31]. A este respeito [32], os solos de textura argilosa apresentam correlação forte, significativa, positiva direta com os teores e estoques de carbono do solo, enquanto que em solos de textura média, a correlação é ínfima ou fraca, positiva indireta.

A influência da estrutura e da textura do solo em relação aos teores de CO foram observadas nos Neossolos Flúvicos, Neossolos Quartizarênicos (P5/RYbd e P6/RQg) e Gleissolos Háplicos (P11/GXbd), em que apresentaram teores de CO (9,7 e 20,1%) inferiores ao registrado no Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (P8/PVd) de referência. Os resultados contrastam com os observados em Neossolos Flúvicos identificados em Sabinópolis (MG) [33], cujos teores de CO variaram entre 11,69 e 23,56% de 0 – 20 cm de profundidade. A flutuação sazonal do lençol e a presença da fração de areia favorecem a percolação do CO na forma de substâncias húmicas para as camadas mais profundas do solo. Por outro lado, os baixos teores de CO em solos de

drenagem restrita, a exemplo dos Neossolos Flúvicos e Gleissolos Hápicos, podem ser reflexo do longo processo de decomposição do carbono em ambientes periodicamente inundados ou encharcados [34].

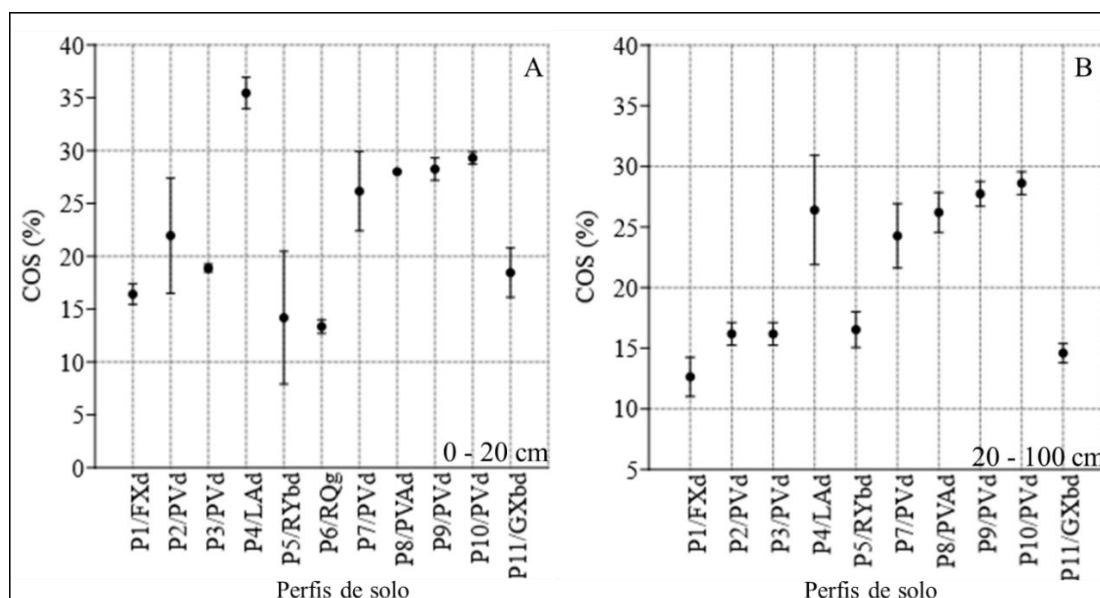


Figura 5: Percentuais de carbono orgânico em diferentes classes de solo (COS%). A: percentuais de COS na profundidade de 0 – 20 cm e B: 20 – 100 cm em diferentes classes de solo.

Legenda: P1/ FXd: Plintossolo Háptico Distrófico P2, P3, P7, P9, P10/PVd: Argissolos Vermelho Distróficos.

P4/LAd: Latossolo Amarelo Distrófico. P5/RybD: Neossolo Flúvico Distrófico. P6/RQg: Neossolo Flúvico Quartizarênico Hidromórfico. P8/PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. P11/GXbd: Gleissolo Háptico Distrófico.

Os Argissolos (P2/PVd, P3/PVd, P7/PVd, P8/PVAd e P10/PVd) e os Latossolos (P4/LAd) são as classes pedológicas de maior representatividade em termos de dimensão espacial na colônia agrícola do ramal do 12. Nessas ordens de solo, os teores médios de CO variaram entre 17,16% a 28,88%. Porém, guardadas as especificidades pedogenéticas dos diferentes horizontes de diagnósticos, empregados na classificação das ordens pedológicas (SiBCS) estudadas, observou-se que os teores médios de CO em todos os perfis de Argissolos e Latossolos não apresentaram diferenças estatísticas significativas nas profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 100 cm. As semelhanças nos teores médios de CO evidenciam a influência exercida dos atributos geoquímicos e bioquímicos presentes na rocha matriz, uma vez que os solos avaliados são oriundos do mesmo grupo de rochas sedimentares da Formação do Solimões, de idade geológica do período Quaternário [35].

3.3 ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO (ESC) EM DIFERENTES USOS DA TERRA

Os ECS analisados em diferentes usos da terra nas profundidades 0 – 20 e 20 – 100 cm, apresentaram níveis máximos na FP variando de 51,00 a 59,52 Mg C ha⁻¹; nos SAF's com três e dezenove anos de adoção, de 49,00 a 56,52 Mg C ha⁻¹; nos quintais agroflorestais (SQF) com dez e quinze anos de implantação, entre 34,95 e 36,28 Mg C ha⁻¹; nos solos sob FP aluvial, de 33,63 a 35,17 Mg C ha⁻¹; e na mata secundária antropizada (MTS) de 21,04 a 30,97 Mg C ha⁻¹ (Figura 06). Os testes estatísticos apontaram que os solos na colônia agrícola do ramal do 12 apresentaram tendência de estocar um volume elevado de CO no solo sob SAF, com maior tempo de adoção e na FP.

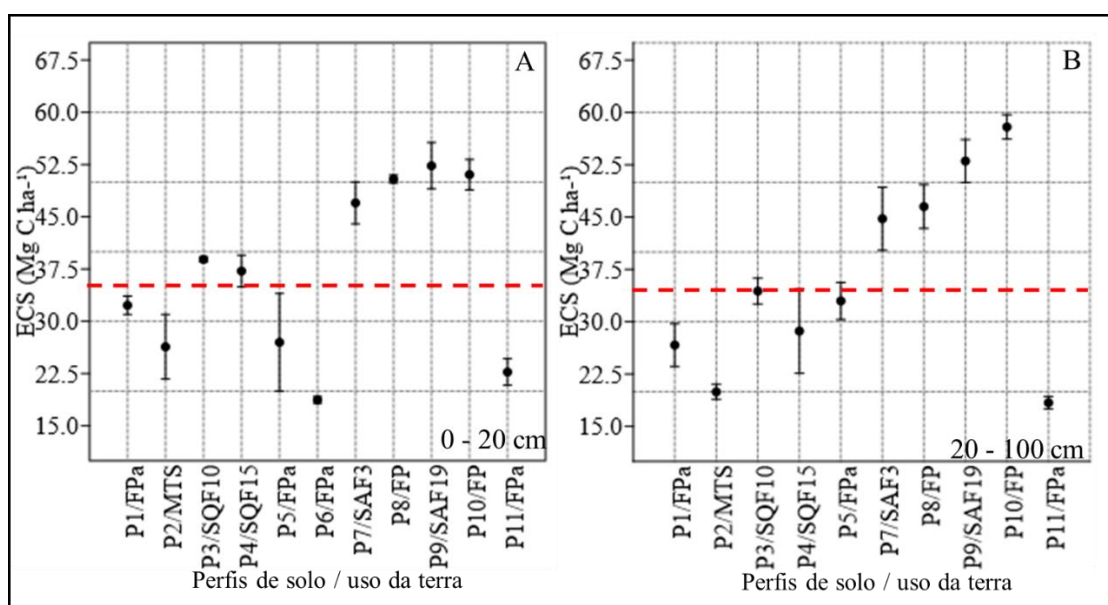


Figura 06: Estoque de carbono orgânico do solo (ECS / Mg ha⁻¹) em diferentes classes de uso e cobertura da terra. A: ECS na profundidade de 0 – 20 cm e B: 20 – 100 cm de profundidade de solo.

Legenda: FP e FPa: floresta primária aluvial. MTS: mata secundária antropizada. SQF: quintal agroflorestal com dez e quinze anos de implantação. SAF: sistema agroflorestal de três, dez e dezenove anos de adoção. A linha vermelha tracejada representa a média global de ECS.

Apesar dos teores de CO decrescerem com o aumento da profundidade, os valores de ECS não seguiram a mesma tendência em função do aumento da densidade aparente do solo (Ds) em profundidade, do tipo de uso e cobertura da terra, da classe de solo e do maior aporte de argila, com o aumento da profundidade. Estes resultados corroboram com os obtidos em estudo realizado em propriedades rurais do município de Capão Alto, Santa Catarina [36] e em sistemas agroflorestais de Ségou, região central de Mali (África do Sahel) [37].

Esperava-se que o ECS sob FP em todas as profundidades fosse apresentar valores superiores aos observados nos solos sob SAF3, SQF10, SQF15 e SAF19; uma vez que os SAF's da colônia agrícola do ramal do 12 foram implantados em antigas áreas de agricultura migratória (roça), portanto, tendem a ser mais perturbados devido ao manejo de corte e queima da biomassa florestal, que causa a redução da serapilheira e maior exposição do solo aos processos de lixiviação e erosão hídrica. Entretanto, estoques elevados de CO foram registrados na camada superficial de Argissolos Vermelho Distrófico nos SAF3, SQF10 e SAF19, cujos ECS variaram de 39,27 a 50,00 Mg C. ha¹ de 0 – 20 cm e na camada de 80 – 100 cm entre 32,61 e 56,52 Mg C. ha¹ (Figura 07). Estes resultados estão de acordo com os registrados em sistemas agroflorestais e florestas remanescentes no município de Itapuã do Oeste, Rondônia [38].

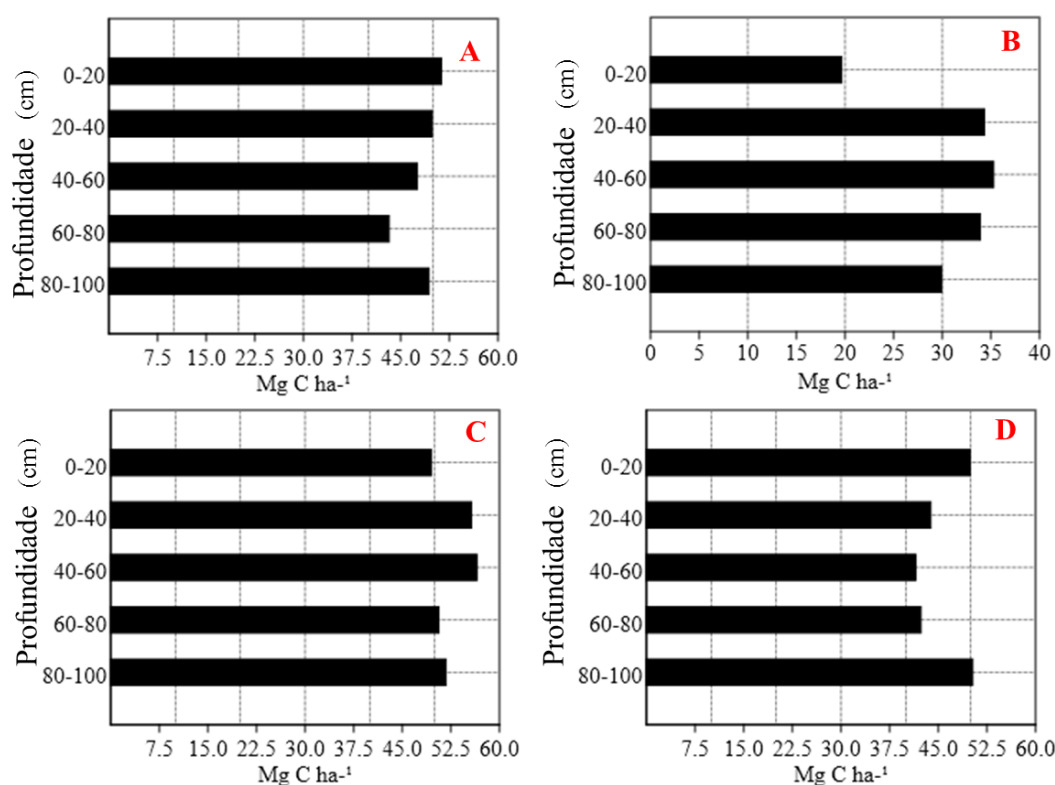


Figura 07: Estoque de carbono orgânico até 1,0 m de profundidade em diferentes classes de solo, uso e cobertura da terra. A: P1/FPa – Plintossolo Háplico Distrófico. B: P5/FPa – Neossolo Flúvico Distrófico gleissólico. C: P9/SAF19 – Argissolo Vermelho Distrófico. D: P7/SAF3 – Argissolo Vermelho Distrófico. Houve pequena diferença numérica nos ECS no Argissolo Vermelho-Amarelo sob FP usados como referência em relação aos Argissolos Vermelho sob SAF3 e SAF19, conforme figura 07 / C e D. Os SAF's são sistemas mais conservacionistas, se comparados à agricultura de corte e queima, portanto, os SAF's demonstraram maior eficiência em manter e propiciar incremento dos ECS [39], fato observado na camada superficial (0 – 20cm) do Argissolo Vermelho sob

SAF e Argissolo Vermelho-Amarelo sob FP, quando comparado aos ECS registrados no Plintossolos Háplicos e Neossolos Flúvicos sob FPa.

O desempenho favorável em armazenar C, apresentado pelos Argissolos sob SAF, em especial nos SQF10 e SAF19, pode estar associado a dois fatores: i) à ausência de revolvimento do solo e da serapilheira, sendo mais espessa no FP, quando comparado à liteira observada no SAF19, em que favorece maior atuação dos organismos responsáveis pela fragmentação e transformação do tecido vegetal em compostos orgânicos, dentre outras substâncias essenciais ao solo no agroecossistema [40]. ii) O outro fator que melhor explica o estoque de carbono armazenado no Argissolo sob SAF19, é a presença de MO viva e morta no solo, que proporciona menor perda de solo e C por erosividade no período chuvoso. A esse respeito, agricultores do assentamento Sepé-Tiarujú (Ribeirão Preto – SP) ressaltaram que o SAF promove maior controle da erosão e a manutenção constante da MO viva e morta sob o solo [41].

Os ECS sob SAF3, SQF10, SAF19 e FP apresentaram correlação significativa positiva, com a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), teores de alumínio trocável (Al^{3+}) e densidade aparente do solo (Ds) ($r = 0,99 / P^v \leq 0,05$) na camada de 0 – 20 cm de profundidade e com os teores de argila, correlação forte significativa positiva ($r = 0,99 / P^v \leq 0,05$). De 80 a 100 cm profundidade, houve correlação significativa positiva do ECS com os teores de silte, CTC e Al^{3+} ($r = 0,94$, $r = 0,99$ e $r = 0,98 / P^v \leq 0,01$, respectivamente). As demais variáveis testadas (argila, areia, pH / H_2O , MO e Ds) apresentaram correlação variando de forte à moderada, com significância estatística superior à 5% de confiança ($P^v > 0,05$). Este comportamento geoquímico encontra-se relacionado com os fatores pedogenéticos que originam os Argissolos Vermelho Distróficos e o grau de intemperismo desta ordem de solo. Estes resultados estão de acordo com os obtidos em fragmentos de floresta tropical remanescente na zona da mata do litoral brasileiro [42].

Os testes de significância da média de Tukey ($P^v \leq 0,05$) demonstram que os solos de textura argilosa sob SAF e FP no assentamento avaliado têm grande capacidade de retenção de C. Elevados ECS foram observados nas camadas 0 – 20 e 80 – 100 cm de profundidade nos Argissolos Vermelho Distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico sob SAF19 e FP ombrófila de terra firme. Na figura 0.8, é possível perceber que os ECS sob SAF's e FP não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Porém, houve distinção entre as médias de ECS sob FPa e MTS em relação à média de ECS sob P8/FP de referência e ao SAF19 com maior tempo de implantação.

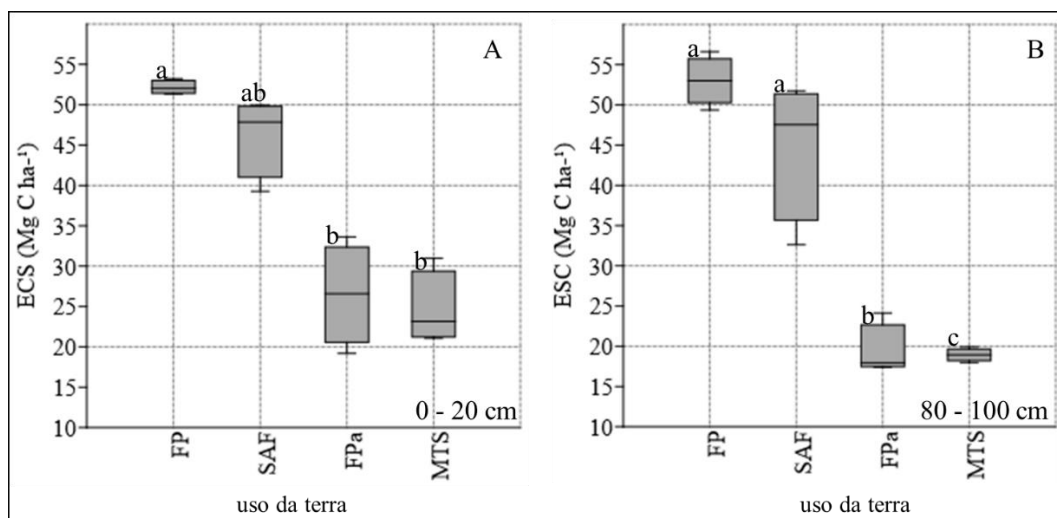


Figura 08: Média dos ECS de 0 – 20 e 80 – 100 cm do solo sob SAF e FP e teste de significância de Tukey.

Legenda: FP: floresta primária. SAF: sistema agroflorestal. FPa: floresta primária aluvial. MTS: mata secundária antropizada.

Há possibilidade do sistema radicular de espécies arbóreas (*Bertholletia excelsa* Bonpl, *Carapa guianensis*, entre outras) dos SAF's, ao extraírem água e nutrientes do lençol freático, fornecerem carbono ao solo, fato que pode explicar um volume maior de carbono do solo abaixo de 1,0 de profundidade nos Argissolos sob FP e SAF no sul da Amazônia [43].

A mudança de uso e cobertura da terra, a elevada pluviosidade (chuva) e o relevo plano da área de estudo favorece o deslocamento por gravidade de C adsorvido na fração argila do horizonte "A" que se acumula no horizonte B, fato que explica o aumento do ECS de 80-100 cm de profundidade no Argissolo Vermelho sob SAF03, SQF10 e SAF19 e no Argissolo Vermelho-Amarelo sob FP, usado como referência [44, 25, 31].

Por analogia, os SAF's podem apresentar funções ecológicas semelhantes à FP [45-46]. Essa afirmação é uma das teorias que pode explicar a razão pela qual os Argissolos Vermelho Distróficos sob SAF's, da colônia agrícola do ramal do 12, terem apresentado estoques de carbono orgânico na camada de 0 – 20 e 80 – 100 cm de profundidade, proporcionais aos valores médios de ECS registrados no Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico da FP ombrófila aberta sul amazônica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os teores de carbono orgânico usados na quantificação dos ECS em diferentes usos e coberturas da terra, classes e profundidades de solo indicaram que os Argissolos Vermelho sob SAF's, implantados há mais de dez anos, apresentaram elevada capacidade para estocar carbono orgânico, semelhante aos Argissolos Vermelho-Amarelo sob floresta primária (FP).

O Argissolo Vermelho sob sistema agroflorestal com dezenove anos de implantação (SAF19) apresentou elevado potencial de estocagem de carbono orgânico nas camadas / horizontes de 0 – 20 e 80 – 100 cm de profundidade do solo, quando comparado ao volume de carbono orgânico estocado nos Neossolos, Plintossolos e Gleissolos sob floresta primária aluvial (FPa), Latossolos Amarelo de textura média (argila-arenosa) sob FP e Argissolos Vermelho sob mata secundária antropizada (MTS).

Estes resultados expressam com muita clareza a capacidade que os sistemas agroflorestais têm de promover a recuperação a médio e longo prazo da qualidade do solo, assim como de estocar carbono. Neste sentido, fortalece a hipótese de que os SAF's são tecnologias de produção agrícola com potencial para mitigar as emissões do dióxido de carbono (CO₂) e, ao mesmo tempo, produzir alimentos e matéria-prima de origem vegetal de forma sustentável.

AGRADECIMENTOS

A instituição financiadora deste estudo: Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa Proc. nº. 23381000235/2018-37 e aos grupos de Pesquisa: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer (UNIR) e Desenvolvimento Regional do Médio Purus IFAM campus Lábrea.

REFERÊNCIAS

- [1] WMO, World Meteorological Organization. **Statement on the status of the global climate in 2009**. Geneva, 2010. 13p.
- [2] CARVALHO, J.L.N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes Biomas no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34. 277-289. 2010.
- [3] FEARNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, p. 147-166, 1998.
- [4] JIMÉNEZ, J. J.; LAL, R. **Mechanisms of C sequestration in soils of Latin America**. Columbia (USA): SENR IMPRESS, 2006. 79p.

- [5] OLIVEIRA, E.S.; REATTO, A.; ROIG, H.L. Estoque de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n ½, p. 71-93, 2015.
- [6] CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J.L. Dinâmica do Carbono nos Solos da Amazônia. In: ALVARES, V.H.V.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento Sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996, p. 61-69.
- [7] MARQUES, J.D.O.; LUIZÃO, F.J.; TEIXEIRA, W.G.; Araújo, E. M. **Carbono orgânico em solos sob floresta na Amazônia central**. In: Congresso Norte Nordeste de pesquisa e Inovação, 7., 2013 Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1002068/1/CONNENPI1>. Acesso em: 06 dez. 2018.
- [8] BRITO, E.S. et al. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de uso e manejo de solos do Acre: sudoeste da Amazônia. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 19, 2012, Lages. **Anais...** Lages, 2012. 1 CD-ROM.
- [9] GAMA-RODRIGUES, E.F. et al. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, v. 45, n. 2, p. 274–283, 2010.
- [10] SILVA, D.C. et al. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais**, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.
- [11] TORRES, C.M.M.E. et al. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Revista pesquisa floresta brasileira**, v. 34, n. 79, p. 235-244, 2014.
- [12] LUIZÃO, R.C.C. et al. A manutenção da fertilidade do solo em Sistemas manejados na Amazônia. **Geophysical Monograph**, n. 186, p. 1-31, 2009. Disponível em: https://daac.ornl.gov/LBA/Ibaconferencia/amazonia_global_change/20_A%20Manutencao_Fertilidade_Luizao.pdf. Acesso em: 12 de jun. de 2020.
- [13] LINHARES, J. M. S. et al. Variabilidade de atributos físico-químicos e dos estoques de carbono orgânico em Argissolo Vermelho sob sistemas agroflorestais no assentamento Umari sul do Amazonas. **Revista de Geografia Acadêmica**, v. 10, n. 01, p. 93-116, 2016.
- [14] IBGE – Instituto Brasileira de Geografia e Estatística. **Manual técnico de vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271p.
- [15] SISTEMA DE PROTEÇÃO DE AMAZONIA (Sipam) **Imagens Base Digital dos municípios de Lábrea /AM**. Amazonas. Manaus: SIPAM, 2015. CD-ROM - Vol. 1.
- [16] SILVA, A.E.; ANGELIS, C.F.; MACHADO, L.A.T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus, **Revista Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p.733-742, 2008. DOI. 10.1590/S0044-59672008000400017.
- [17] DANTAS, M.E.; ARMESTO, R.C.G. Origem da paisagem. In: SILVA, C. R. (ed.) **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 34-56.

- [18] IBGE – Instituto Brasileira de Geografia e Estatística. Projeto RADAMBRASIL, In: **Levantamento de recursos naturais** folha SB. 20 Purus. Ed. fac-similiar. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. CD ROM – Vol. 17.
- [19] MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto**: e metodologias de aplicação. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.
- [20] EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos 1).
- [21] FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: 2008. p. 4. (EMBRAPA-CNPS. Comunicado técnico, 69). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT69>. Acesso em: 6 fev. 2013.
- [22] SISTI, C.P.J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v 76, p. 39–58, 2004.
- [23] EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: 2018. 353 p.
- [24] ROSOLEN, V.; HERPIN, U. Expansão dos solos hidromórficos e mudanças na paisagem: um estudo de caso na região Sudeste da Amazônia Brasileira. **Revista Acta Amazônica**, v. 38, n. 3, p. 483-490, 2008.
- [25] ARAÚJO, E.A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo Distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 307-315, 2004.
- [26] MELO, V.F. et al. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 38, p. 1039-1050, 2006.
- [27] CAMPOS, M.C.C. et al. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Revista Acta Amazônica**, v. 42, n. 3, p. 387-398, 2012.
- [28] SANTIAGO, W.R. et al. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Revista Acta amazônica**, v. 43, n. 4, p. 395-406, 2013.
- [29] LUIZÃO, R.C.C.; LUIZÃO, F.J.; PAIVA, R. Q.; MONTEIRO, T. F.; SOUSA, L. S.; KRUIJT, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. **Global Change Biology**, V. 10, p. 592–600, 2004 x
- [30] AQUINO, R.E. et al. Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region, southern Amazonas. **Geoderma**, v.262, p. 35-
- [31] SCHAEFER, C.E.G.R. et al. Solos da Região Amazônica. In: CURI N.; KER, J. C.; NOVAIS R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER C. E. G. R, **Solos dos Biomas Brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2017. p. 112-153.

- [32] ZINN, Y.L. et al. Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões sul e serra do espinhaço meridional, minas gerais: modelagem em profundidade. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1395-1406, 2012.
- [33] GATTO, A. et al. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências de solo**, v. 34, p. 1069-1079, 2010.
- [34] MARQUES, J.J.; TEIXEIRA W.G.; SCHULZE D.G.; CURI N. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. **Journal Clay Miner**, v. 37, p. 651-661, 2002.
- [35] CHIG, L.A. et al. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Revista Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 715-722, 2008.
- [36] SANTOS, K.F. et al. Teores e estoques de carbono orgânico do solo em diferentes usos da terra no Planalto Sul de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 222-229, 2019.
- [37] TAKIMOTO, A.; NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D. carbon stock and sequestration potential traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. **Agriculture Ecosystems environment**, v. 125, p. 159-166, 2009.
- [38] MENEZES, J.M.T. et al. Comparação entre solos sob uso agroflorestais e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 893-898, 2008.
- [39] IWATA, B.F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.7, p. 731-738.
- [40] RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoque de Carbono e Nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e Manejo. **Revista brasileira de Ciências do solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.
- [41] JUNQUEIRA, A.C. et al. Sistemas agroflorestais e mudança na qualidade do solo em assentamento de reforma agrária. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 1, p. 102-115, 2013.
- [42] GOMES, J. B.V. et al. Carbon Stocks and Pools in Relation to the Texture of Kaolinitic Soils from the Brazilian East Coast. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-15, 2018.
- [43] NEPSDAT, D.C. et al. The role of deep Roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, v. 372, n. 15, p.666-669.
- [44] SILVA, L. F. **Solos tropicais aspectos pedológicos e de manejo**. São Paulo: Terra Brasilis, 1996.
- [45] ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3 ed. São Paulo: expressão popular, 2012. 400 p.

[46] RODRIGUEZ, C.A.S. **Serviços ambientais em sistemas agroflorestais**. In: CIRO, A. R.; BERNARDES, M. S. Caderno da disciplina de sistemas agroflorestais. Piracicaba: ESALQ/USP, 2015, 79p.