

## **Importância dos sistemas agroflorestais para a fixação perene de carbono orgânico no solo**

*Importance of agroforestry systems for perennial fixation of organic carbon in the soil*

BALDI, Clara Glória Oliveira<sup>1</sup>, MOQUEDACE, Cássio Marques<sup>1</sup>; IMBANÁ, Rugana<sup>2</sup>; SILVA, Wagner Junior<sup>3</sup>; MAIA, Emanuel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Geoprocessamento e Pedometria (LabGeo) da Universidade Federal de Viçosa - UFV, clara.gloria.oliveira@gmail.com; cassiomoquedace@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratório de Física do solo e Recuperação Ambiental da Universidade Federal de Viçosa – UFV rugana.imbana@ufv.br

<sup>3</sup> Laboratório de Heurística de Sistemas Agroalimentares da Amazônia (LaHorTA) da Universidade Federal de Rondônia, wagnersilva.ifroagro@gmail.com; emanuel@unir.br

### **RESUMO EXPANDIDO TÉCNICO CIENTÍFICO**

#### **Eixo Temático: Crise ecológica e mudança climática: resistências e impactos na agricultura, nas águas e nos bens**

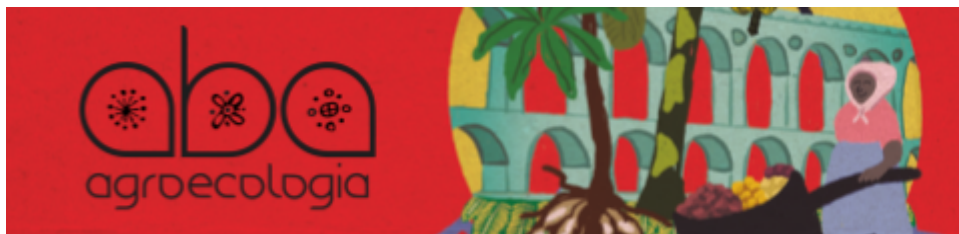
**Resumo:** Devido às lacunas científicas sobre a dinâmica das frações de C no solo, objetivou-se caracterizar as frações de carbono orgânico oxidável (FCO) do solo em diferentes sistemas agroflorestais (SAF) da Zona da Mata rondoniense. Sete SAF de base agroecológica foram selecionados. Coletou-se amostras de solo em profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm. O COT, NT, C/N e FCO foram determinadas, sendo os dados analisados mediante estatística descritiva com as medidas de tendência central. Os teores médios de COT, NT e C/N foram menores em profundidade. As FCO 1 e 2 foram maiores na superfície, enquanto as FCO 3 e 4 foram maiores na subsuperfície. As FCO menos estáveis (1 e 2) são importantes para a ciclagem de nutrientes, o que garante a sustentabilidade dos SAF. As FCO mais estáveis (3 e 4) evidenciaram a importância da SAF para mitigar as mudanças climáticas. A caracterização de FCO do solo favorece a compreensão da importância de agroecossistemas mais complexos para a fixação de C.

**Palavras-chave:** matéria orgânica do solo; carbono orgânico oxidável; Amazônia

#### **Introdução**

Os sistemas agroflorestais (SAF) proporcionam a produção de alimentos conjugado a práticas de manejo conservacionistas, o que contribui não somente para a preservação do meio ambiente, mas também propicia diversos serviços ecossistêmicos (SILVA-GALICIA et al., 2023). Destes serviços ecossistêmicos, a fixação de carbono (C) é de elevada importância dado seu papel central nas mudanças climáticas causadas pelo aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEE) (NAIR et al., 2009).

A principal contribuição do Brasil - cerca de 75% (SEEG, 2022) - para a emissão de GEE são advindos das atividades agropecuárias. O desmatamento causado pelo avanço da fronteira agrícola e a agricultura convencional baseada em insumos externos são os fatores preponderantes para este cenário (MILNE et al., 2010). Nesse sentido, os SAF sob os princípios da agroecologia se mostram promissores para alcançar agroecossistemas mais sustentáveis. Além da produção de alimentos,

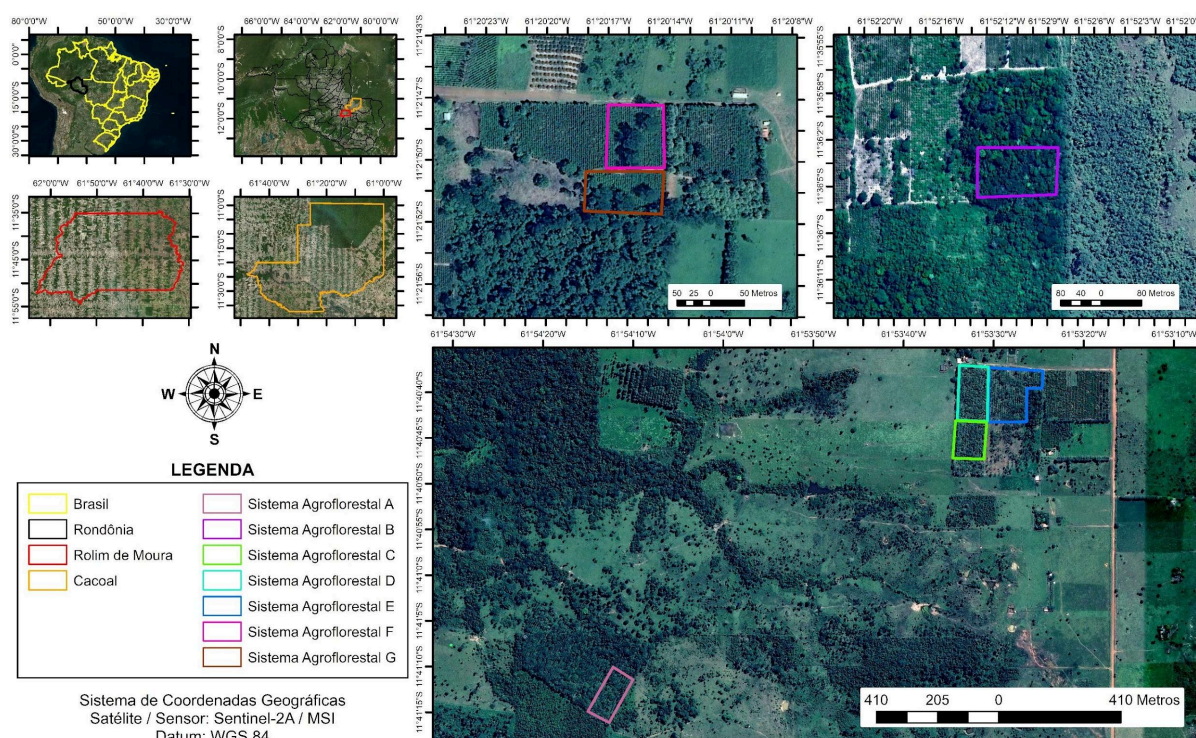


os SAF contribuem para fixação de C no solo, um serviço ecossistêmico de grande importância para a mitigação dos efeitos do aquecimento global (RAKOTOVAO et al., 2017).

Apesar do evidente potencial dos SAF para a fixação de C, este serviço ecossistêmico ainda é pouco compreendido nos trópicos, pois há lacunas na literatura científica sobre a dinâmica das frações mais ou menos facilmente decomponíveis de C no solo, sobretudo em profundidade (BARRETO et al., 2011). Nesse contexto, objetivou-se caracterizar as frações oxidáveis do carbono orgânico do solo e os teores de nitrogênio total em diferentes sistemas agroflorestais da Zona da Mata rondoniense.

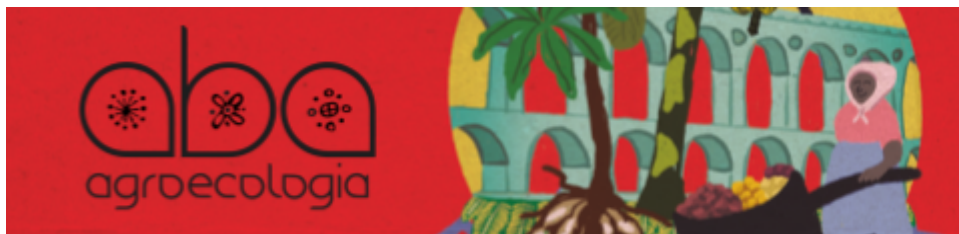
### Metodologia

A área do estudo situa-se na zona rural dos municípios de Rolim de Moura e Cacoal (Figura 1), no estado de Rondônia. O clima local é classificado como Am (tropical de monção), com temperatura média variando entre 28,5°C a 30°C e umidade média em volta de 85% (ALVARES et al., 2013). A tipologia florestal predominante é a Floresta Ombrófila Aberta Submontana e a Floresta Densa Submontana. (IVANAUSKAS, N. M.; ASSIS, 2012).



**Figura 1.** Localização de sete sistemas agroflorestais localizados na microrregião de Cacoal

Realizou-se o levantamento de sete sistemas agroflorestais de base agroecológica com área aproximada de 1 ha (Tabela 1), cultivados com as seguintes culturas de



interesse econômico: i. cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*); ii. cacauzeiro (*Theobroma cacao*); iii) açaizeiro (*Euterpe oleracea*) e iv. cafeeiro (*Coffea sp.*).

O solo predominante em Rolim de Moura é o CAMBISSOLO HÁPLICO, enquanto o de Cacoal é o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (SANTOS et al., 2011). Os SAF foram divididos em 4 quadrantes de mesmas dimensões para delimitação da amostragem de solo. Foram coletadas 4 amostras compostas em quatro profundidades em cada SAF utilizando um trado do tipo holandês: i. 0-5 cm; ii. 5-10 cm; iii. 10-20 cm e iv. 20-40 cm. As amostras coletadas foram analisadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Rondônia, campus Rolim de Moura de acordo com metodologia proposta por (DONAGEMA et al., 2011).

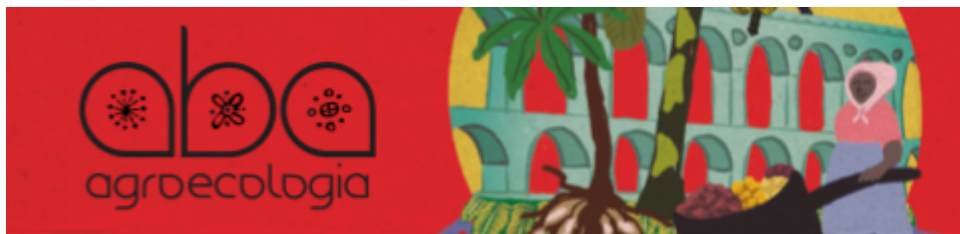
A determinação do carbono oxidável foi realizada a partir de uma adaptação do procedimento proposto por (CHAN et al., 2001), sendo as frações: i. fração 1 (FCO 1): C orgânico oxidável a 3 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; ii. fração 2 (FCO 2): diferença do C orgânico oxidável a 6 e 3 L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; iii. fração 3 (FCO 3): diferença do C orgânico oxidável a 9 e 6 L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e; iv. fração 4 (FCO 4): diferença entre o C orgânico total e o C oxidável a 12 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. O carbono orgânico total (COT) foi determinado com a partir de metodologia adaptada para as condições amazônicas (RODRIGUES et al., 2016). Determinou-se também N total do solo. Com exceção do COT todas as análises foram realizadas de acordo com as metodologias sugeridas por Mendonça e Matos (2005). Os dados foram analisados em ambiente R a partir de estatística descritiva com as medidas de tendência central (R CORE TEAM, 2023).

**Tabela 1.** Descrição das características, manejo e composição de sete sistemas agroflorestais na Zona da Mata Rondoniense.

SAF	Descrição
A	Introdução do cupuaçuzeiro no seringal; com espaçamento padronizado; manejo esporádico; 10 anos
B	Introdução do cupuaçuzeiro em fragmento de floresta secundária; sem espaçamento padronizado; baixa intensidade de manejo; 27 anos
C	Introdução do cupuaçuzeiro e cacauzeiro no seringal; com espaçamento padronizado; alta intensidade de manejo; 24 anos (O SAF E é teve a inserção do cupuaçuzeiro e açaizeiro no
D	
E	21º ano)
F	Cafeeiro com espécies florestais; intensidade frequente de manejo no café e baixa nas
G	árvores; 14 anos

## Resultados e Discussão

Os valores médios de COT, N total e relação C/N de todos os sistemas decresceram profundidade (5-10 a 20-40 cm) em diferentes intensidades (Figura 2). Esses resultados eram esperados, uma vez que o material orgânico é acumulado na superfície do solo oriundo da deposição de material vegetal proporcionado pelas árvores dos SAF, que quando decomposto contribui para incremento de COT, N total e relação C/N em superfície. O N do solo em sua maioria é oriundo da matéria

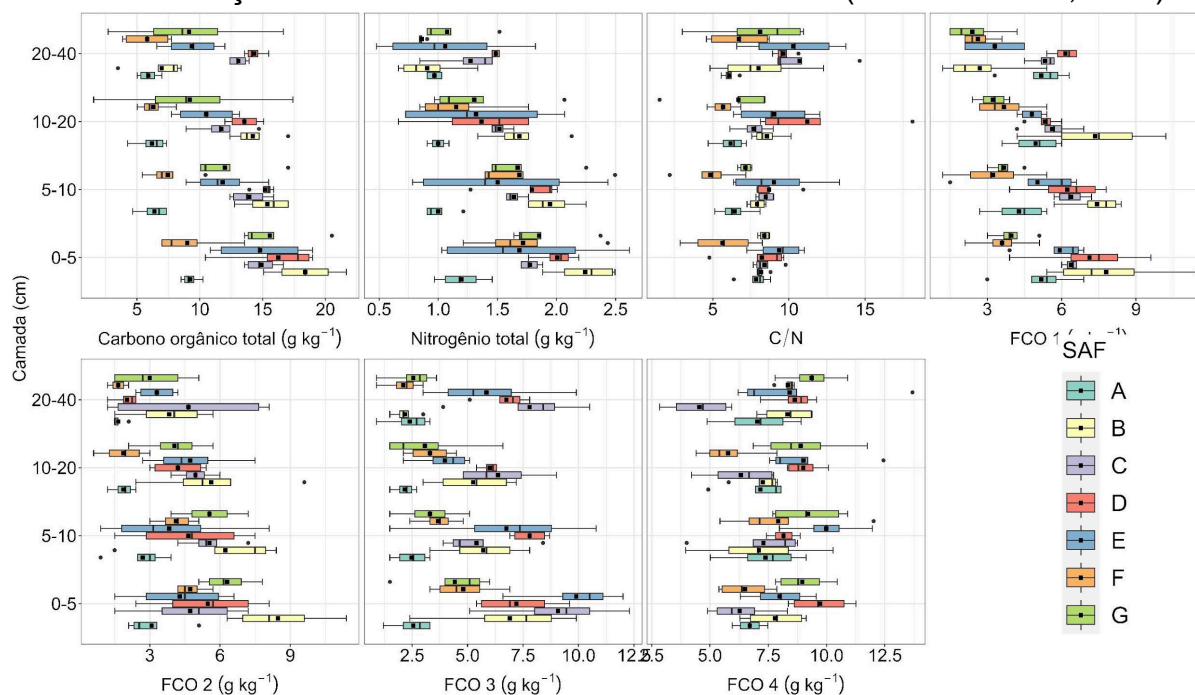


orgânica do solo o que torna inexpressivo os valores de N associado a parte mineral que compõe o N total do solo.

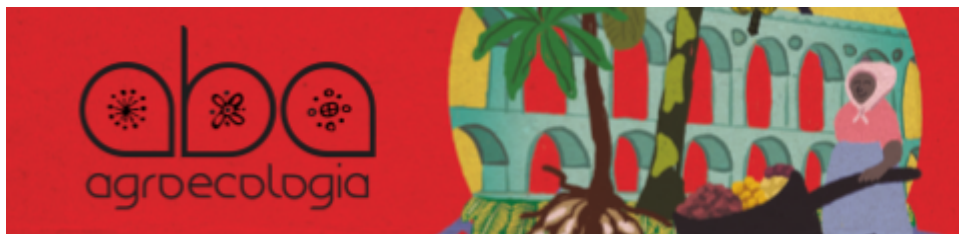
Observou-se redução dos valores de carbono oxidável na ordem: FCO 4 > FCO 3 > FCO 1 > FCO 2. Este resultado corrobora a importância dos SAF no armazenamento de carbono em formas mais perenes (JUNGKUNST et al., 2023). Isso se deve aos maiores quantitativos na FCO 4 serem menos acessíveis a decomposição e evolução na forma de CO<sub>2</sub>. Este carbono geralmente é de maior massa molecular e possui ligações organometálicas com a fração mineral do solo. Tal resultado reafirma a importância dos SAF na mitigação das mudanças climáticas (NAIR et al., 2009).

As frações 1 e 2 apesar de expressarem menores valores são de elevada importância em solos tropicais, pois a MOS nos trópicos é muito dinâmica e o C é o combustível para a ciclagem rápida de nutrientes. Esta ciclagem rápida, quando há abundância de umidade e temperatura, características essas comuns na Amazônia. A presença destas frações colabora para que as porções mais perenes de C (FCO 3 e FCO 4) não sejam decompostas e emitidas em forma de CO<sub>2</sub> (SAYER et al., 2020).

As frações 1, 2 e 3 apresentaram uma tendência em decrescer em profundidade em todos os SAF, exceto para o SAF A. Este sistema se manteve estável em profundidade nas frações 1 e 3. Isso pode ser explicado pela textura do solo, pois o solo do SAF A é o mais arenoso (82% de areia) entre os analisados, portanto seu déficit de saturação de carbono é naturalmente mais baixo (ANGERS et al., 2011).



**Figura 2.** Carbono orgânico total do solo, nitrogênio total do solo, relação C/N do solo e diferentes frações oxidáveis (FCO) do carbono orgânico do solo de sete sistemas agroflorestais da Zona da Mata Rondoniense.



A fração 4 apresentou uma tendência de aumentar para a maioria dos SAF, exceto para os SAF C e D, que expressaram comportamento oposto. Esse sistema é o que contém a menor riqueza do componente arbóreo e os menores valores de percentual de leguminosas, o que pode explicar tal comportamento, pois as árvores, sobretudo da família das leguminosas são mais efetivas na contribuição de C para o solo (GRAHAM e VANCE, 2003).

O decaimento em profundidade das frações 1, 2 e 3 e o aumento da fração 4, pode ser explicado pela maior presença frações mais facilmente decomponíveis do C advindo do acúmulo de material orgânico em superfície e sequencial redução em profundidade.

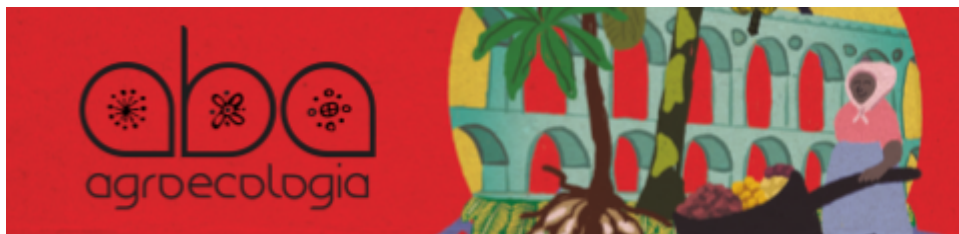
O maior valor médio entre as profundidades de COT foi encontrado no SAF B. Esse resultado pode estar associado a idade do sistema, uma vez que o SAF B é o sistema que vem sendo manejado a mais tempo e a deposição de material vegetal seguida pela decomposição e ciclagem acontecem em mais ciclos que nos demais sistemas. Além disso, os maiores valores nas frações 1 e 2 do SAF B, apontam a importância em manter o C compartimentado. Sugerindo que, uma vez que há C para a microbiota do solo em frações acessíveis, o C com associações mais complexas não é decomposto para a ciclagem de nutrientes, contribuindo para que os valores da FCO 4 permaneçam relativamente estáveis ou aumentando. Os menores valores médios de COT foram encontrados no SAF A. O que reforça o tempo de manejo como fator importante para o acúmulo do COT, pois esse SAF é o mais jovem dentre os analisados, além de possuir solo mais arenoso.

## **Conclusões**

As diferentes frações do carbono orgânico do solo e N total variaram de acordo com a complexidade estrutural, idade, manejo e tipo de solos dos agroecossistemas. As maiores concentrações de COT foram associadas a sistemas mais complexos, antigos e de solos argilosos. O predomínio da fração de C mais perene nos solos na maioria dos SAF de base agroecológica evidencia a importância destes agroecossistemas como prática agrícola potencial na mitigação das mudanças do clima. O fracionamento do C é uma ferramenta potencial para avaliar a dinâmica do carbono em sistemas mais complexos como nos SAF.

## **Agradecimentos**

As famílias dos agricultores que permitiram a realização da pesquisa e ao Laboratório de Heurística de Sistemas Agroalimentares da Amazônia (LaHorTA).



## Referências bibliográficas

ALVARES, Clayton A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Acesso em: 10 jul. 2023.

ANGERS, Denis A. et al. Estimating and mapping the carbon saturation deficit of French agricultural topsoils. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 4, p. 448–452, 2011. DOI: 10.1111/J.1475-2743.2011.00366.X. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-2743.2011.00366.x>. Acesso em: 15 jul. 2023.

BARRETO, Patrícia A. B. et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 81, n. 3, p. 213–220, 2011. DOI: 10.1007/S10457-010-9300-4/TABLES/3. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-010-9300-4>. Acesso em: 13 jul. 2023.

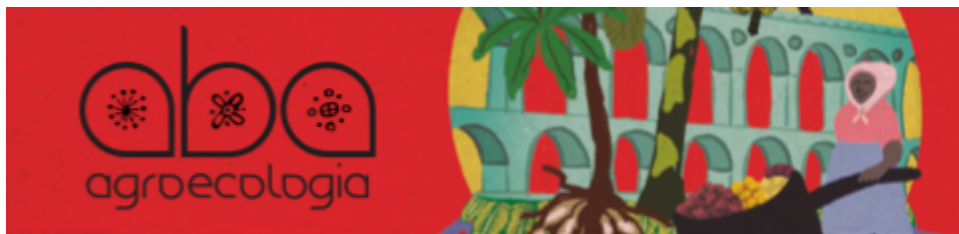
CHAN, Kwong Y. et al. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v. 166, n. 1, p. 61–67, 2001. Disponível em: [https://journals.lww.com/soilsci/Fulltext/2001/01000/OXIDIZIBLE\\_ORGANIC\\_CARBON\\_FRACTIONS\\_AND\\_SOIL.9.aspx](https://journals.lww.com/soilsci/Fulltext/2001/01000/OXIDIZIBLE_ORGANIC_CARBON_FRACTIONS_AND_SOIL.9.aspx).

DONAGEMA, Guilherme K. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, n. October 2014, p. 230, 2011. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/>.

GRAHAM, Peter H.; VANCE, C. P. Legumes: Importance and constraints to greater use. **Plant Physiology**, v. 131, n. 3, p. 872–877, 2003. DOI: 10.1104/pp.017004. Disponível em: [www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.017004](http://www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.017004). Acesso em: 31 mar. 2021.

IVANAUSKAS, Natália M.; ASSIS, M. C. **Formações florestais brasileiras**. 2. ed. Viçosa.

JUNGKUNST, Hermann F. et al. Land-use induced soil carbon stabilization at the expense of rock derived nutrients: insights from pristine Andean soils. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 1–10, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-30801-x. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-30801-x>. Acesso em: 13 jul. 2023.



MENDONÇA, Eduardo; MATOS, E. S. **MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: MÉTODOS DE ANÁLISES. Viçosa - UFV**, 107 p. 2005.

MILNE, Eleanor et al. Agricultural expansion in the Brazilian state of Mato Grosso; implications for C stocks and greenhouse gas emissions. **Environmental Science and Engineering**, p. 447–460, 2010. DOI: 10.1007/978-3-642-00493-3\_21. Acesso em: 13 jul. 2023.

NAIR, P. K. Ramachandran et al. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 1, p. 10–23, 2009. DOI: 10.1002/JPLN.200800030. Acesso em: 13 jul. 2023.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.

RAKOTOVAO, Narindra H. et al. Carbon footprint of smallholder farms in Central Madagascar: The integration of agroecological practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1165–1175, 2017. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.10.045. Acesso em: 13 jul. 2023.

RODRIGUES, Maria J. M. et al. Espectroscopia no Infravermelho Próximo para a Quantificação de Carbono em Solos da Bacia do Acre. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 1, p. 119–124, 2016. DOI: 10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n1p119-124. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/2013-02-07-03-03-11/1778-biota/v06n01/18715-espectroscopia-no-infravermelho-proximo-para-a-quantificacao-de-carbono-em-solos-da-bacia-do-acre.html>.

SANTOS, Humberto G. et al. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. - **Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/920267/o-novo-mapa-de-solos-do-brasil-legenda-atualizada>. Acesso em: 13 jul. 2023.

SAYER, Emma J. et al. Revisiting nutrient cycling by litterfall—Insights from 15 years of litter manipulation in old-growth lowland tropical forest. **Advances in Ecological Research**, v. 62, p. 173–223, 2020. DOI: 10.1016/BS.AECR.2020.01.002. Acesso em: 15 jul. 2023.

SEEG. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**, 2022. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>.

SILVA-GALICIA, Ana, et al. Weight-of-evidence approach for assessing agroforestry contributions to restore key ecosystem services in tropical dry forests. **Agroforestry Systems**, v. 97, n. 2, p. 151–161, 2023. DOI: 10.1007/S10457-022-00794-Z. Acesso em: 13 jul. 2023.