



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Caracterização de solos arenosos em Campinaranas da região metropolitana de Manaus, Amazonas¹

Giulia Ketlen Sanches², Olendina da Silva Salviano³, Ítalo Gomes Braga⁴, Oloukemi Karmen Jocelyne Adjcran⁵, Rafael Koide Tavares⁶, Afrânio Ferreira Neves Junior⁷, Hedinaldo Narciso Lima⁸

¹Extraído de parte da dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (nível de mestrado) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) ²Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, UFLA, Autora correspondente: giuliaksanches@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0350-600X ³Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, olendina.salviano@posgrad.inpa.gov.br, ORCID ID: 0000-0002-9231-9451 ⁴Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Federal do Amazonas, UFAM, italo.k15@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5938-529X ⁵Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Universidade Estadual Paulista, UNESP, adjcranjocelyne@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-6559-8784 ⁶Engenheiro Agrônomo no Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas, IDAM, rafaelkoide@gmail.com, ORCID ID: 0009-0008-3269-7937 ⁷Professor Associado da Universidade Federal do Amazonas, UFAM, anevesjr@ufam.edu.br, ORCID ID: 0000-0003-4474-2332 ⁸Professor Titular da Universidade Federal do Amazonas, UFAM, hedinaldo@ufam.edu.br, ORCID ID: 0000-0002-2451-188X

Artigo recebido em 06/06/2023 e aceito em 22/01/2024

RESUMO

Solos arenosos que ocorrem próximo a centros urbanos são impactados pela atividade exploratória da mineração. No Amazonas essas áreas estão associadas a Campinaranas, cuja fragilidade do ecossistema torna importante a ampliação de conhecimento para compor planos de restauração eficientes. O objetivo deste estudo foi caracterizar e classificar solos arenosos sob Campinaranas de dois municípios da região metropolitana de Manaus. Foram selecionadas cinco áreas em Manaus e Presidente Figueiredo, onde perfis foram abertos para caracterização morfológica, química, física e mineralógica do solo. Os perfis 01, 02 e 03 foram classificados como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, o Perfil 4 como Espodossolo Humilúvico Órtico dúrico e o Perfil 5 como Neossolo Quartzarênico Órtico espodossólico. Os solos analisados apresentaram consistência solta a muito friável, com textura variando de franco arenosa a areia. Os teores de argila foram baixos, resultando em baixa densidade e alta porosidade. A acidez variou de fortemente ácida à extremamente ácida, com maiores concentrações de H+Al e Al³⁺ nos horizontes superficiais. O carbono orgânico total apresentou maiores concentrações nos horizontes superficiais e no horizonte Bh do P04. A capacidade de troca de cátions efetiva e total também foram maiores em superfície e nos horizontes Bh (P04) e C4 (P05). Em relação a mineralogia, foram encontradas maiores proporções de formas cristalinas de Al₂O₃ e Fe₂O₃ em comparação com as formas amorfas, principalmente no Bh (P04) e em agregados de matéria orgânica no P03, evidenciando o processo de podzolização e a influência do Al na formação desse solo.

Palavras-chave: Restauração de ecológica, Espodossolos, Neossolos Quartzarênicos.

Characterization of sandy soils in Campinaranas in the metropolitan region of Manaus, Amazonas¹

ABSTRACT

Sandy soils occurring near urban centers are impacted by mining activities. In Amazonas these areas are associated with the vegetation known as Campinaranas, which have an ecological importance, and makes it crucial to expand knowledge for development of restoration plans. This study aimed to characterize and classify sandy soils under Campinaranas in two cities in the metropolitan region of Manaus. Five areas of sandy soils were selected in Manaus and Presidente Figueiredo, where profiles were opened for morphological, chemical, physical, and mineralogical characterization. Profiles 01, 02, and 03 were classified as NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, 04 as ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, and 05 as NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico. These soils had very friable consistency and a texture ranging from sandy loam to sand, with a predominance of fine sand. Clay content was low, resulting in low density and high porosity. The acidity ranged from strongly acidic to extremely acidic, with higher concentrations of H+Al and Al³⁺ in the surface horizons. Total organic carbon was more concentrated in the surface horizons and in the spodic horizon of P04. Effective and

total cation exchange capacities (CEC) were also higher in the surface horizons and in the Bh (P04) and C4 (P05) horizons. Regarding mineralogy, higher proportions of crystalline forms of Al_2O_3 and Fe_2O_3 were found compared to amorphous forms, especially in the Bh (P04) horizon and in organic matter aggregates in P03, indicating the current process of podzolization and the influence of Al in the spodic formation in this soil.

Keywords: Ecological restoration, Podzols, Arenosols.

Introdução

Os solos arenosos têm aptidão agrícola restrita em razão de atributos físicos que lhe conferem alta suscetibilidade à erosão, elevada capacidade de percolação de água e consequente lixiviação de nutrientes. Quando ocorrem em áreas com boa acessibilidade ganham importância do ponto de vista econômico por constituírem a principal fonte de areia para a construção civil.

Os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos são as classes de solos arenosos de maior ocorrência na região norte do Brasil, ocupando cerca de 8% da área total do estado do Amazonas (Teixeira et al., 2010), aos quais estão associadas a vegetação de Campinaranas (Mendonça et al., 2015; Schaefer et al., 2020). Estudos de Oliveira et al. (2021) mostram que mais de 60% dos processos minerários ativos para extração de areia junto aos órgãos ambientais do estado, são referentes à áreas nas proximidades da região metropolitana de Manaus, o que facilita o escoamento e comercialização do material.

As Campinaranas são áreas florestais de espécies endêmicas e suscetíveis a ação antrópica (Brito et al., 2017), o que lhes confere maior vulnerabilidade (Pinto et al., 2023) e dificuldade de recuperação. A vegetação, apesar de pouco diversa quando comparada à outros ambientes amazônicos (Brito et al., 2017), tem grande importância para conservação dos solos, uma vez que reduz a suscetibilidade à erosão e promove o aumento da capacidade de estoque de carbono em profundidade (Carvalho et al., 2010; Haruna et al., 2020; Farmaha et al., 2021). Em vista disso, atividades que promovam a retirada da cobertura vegetal, tal como a mineração, apresentam alto potencial de degradação, comprometendo não só a qualidade do solo, como também a conservação dos ecossistemas.

Existem poucas referências na literatura sobre campinas e Campinaranas amazônicas (Miranda et al., 2020), o que dificulta a criação de planos eficientes de restauração de áreas degradadas. Para tanto, é importante ampliar as pesquisas de base, tais como caracterizações dos diversos componentes desses ecossistemas (solos, flora e fauna), a fim de criar um conjunto robusto de dados e informações,

que possibilitem desenvolver tecnologias eficientes na restauração ecológicas de áreas degradadas.

Este trabalho teve por objetivo caracterizar solos arenosos sob Campinaranas em dois municípios da região metropolitana de Manaus (Manaus e Presidente Figueiredo) dando destaque à caracterização dos atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos. O estudo de atributos dos solos como indicadores de qualidade possibilita avaliar a situação atual e planejar estratégias que visem à manutenção do estado atual ou melhoria de uma área (Barbosa et al., 2020; Silva et al., 2020), possibilitando maior eficiência de manejo.

Material e Métodos

Seleção da área de estudo

Foram selecionadas cinco áreas de Campinaranas preservadas, com mínima interferência antrópica, localizadas em dois municípios da região metropolitana de Manaus (Manaus e Presidente Figueiredo) (Figura 1).

A seleção da área foi realizada em excursões de campo precedidas de análises exploratórias do mapa de pedologia do Estado do Amazonas (IBGE, 2010), levando em consideração a possibilidade de acesso e a conservação do ecossistema.

O acesso às áreas foi realizado por meio das rodovias BR174 nos Perfis 1 (P01), 2 (P02), 4 (P04) e 5 (P05), e AM010 para o Perfil 3 (P03).

Abertura dos perfis

Os perfis foram abertos em trincheiras seguindo as recomendações de Santos et al. (2015) para descrição dos atributos morfológicos e coleta de amostras para fins de caracterização física, química e mineralógica em laboratório.

Ao se alcançar a profundidade aproximada de 200 cm houve necessidade de fazer uso de um trado holandês para aprofundar o perfil em busca de alteração nos horizontes (horizonte espódico) para fins de caracterização. Essa medida foi essencial para garantir uma descrição morfológica precisa dos horizontes, evitando comprometimentos causados por instabilidades ao longo dos perfis dos solos.

Descrição morfológica dos perfis

A descrição morfológica de cada perfil foi feita com base nos atributos morfológicos e físicos descritos em Santos et al. (2015). No campo foi possível fazer a descrição dos seguintes atributos: horizontes, transição, profundidade, presença ou ausência de raízes, grau de coesão, estrutura e

consistência. Os quais foram anotados na ficha de campo.

Para fins de análises laboratoriais foram coletados em média 2 kg de solo de cada horizonte. As amostras foram devidamente armazenadas, identificadas e transportadas para o laboratório.

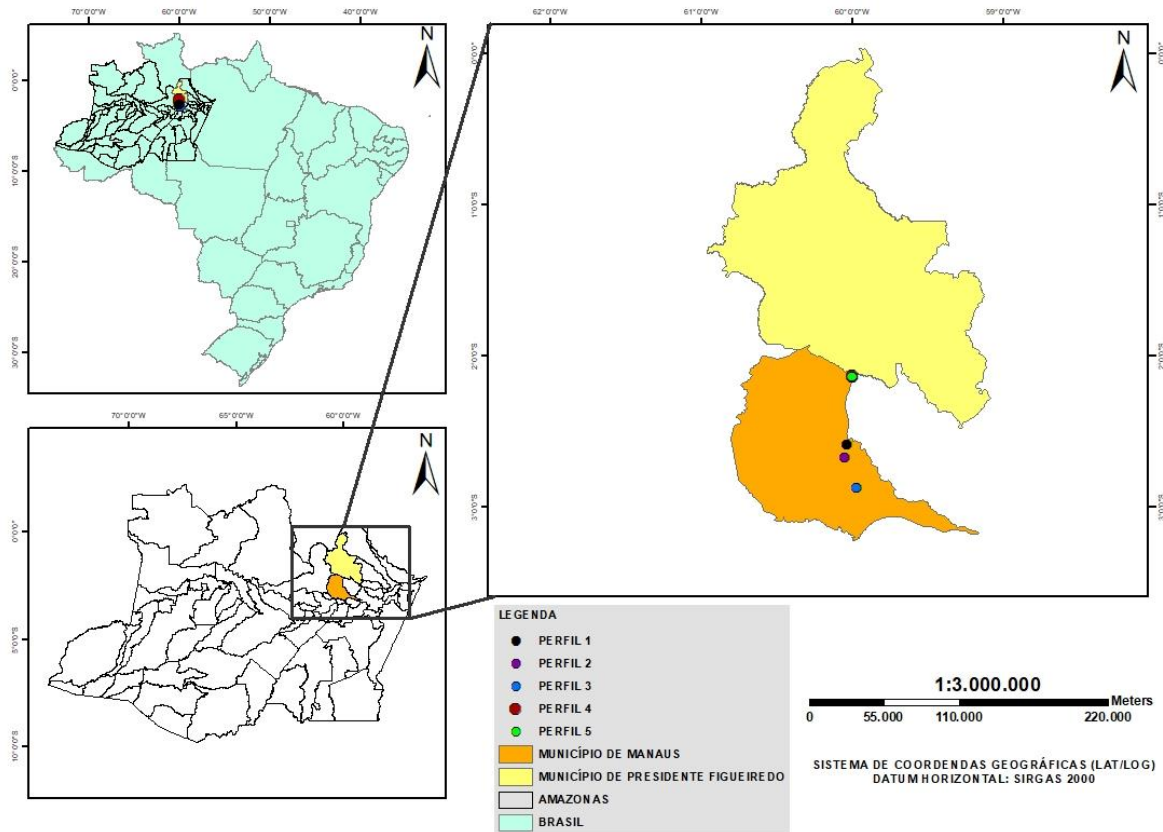


Figura 1. Mapa de localização dos perfis de solos arenosos sob vegetação de Campinaranas entre os municípios de Manaus e Presidente Figueiredo (AM)

Classificação dos solos

Os solos foram classificados até o 4º nível categórico de acordo com suas características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas, seguindo as bases e critérios estabelecidos nas chaves de identificação de classes de solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

Caracterização química

Para fins de caracterização química, as amostras foram secas ao ar, submetidas a fragmentação manual (destorroamento) e peneiramento em peneira de malha 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

As análises foram realizadas segundo metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) para P disponível e K⁺ trocável (em Mehlich-1); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis (em solução KCl 1 mol L⁻¹), H+Al (em solução tampão SMP), pH (em água e solução KCl 1 mol L⁻¹) e carbono orgânico (por oxidação com dicromato de potássio).

Com base nos resultados analíticos foram calculados a soma de bases (SB), CTC efetiva (CTCe), CTC total (CTCt), saturação por bases (V%) e saturação por Al (m%).

Caracterização física

A granulometria foi determinada pelo método da pipeta, conforme descrito por

Donagemma et al. (2017). As frações de areia foram pesadas e separadas por peneiras de malha 2,00 mm, 0,420 mm, 0,120 mm e 0,05 mm. Adotou-se os critérios do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015) para definição das frações de areia fina (0,2 mm - 0,05 mm) e grossa (2,00 mm - 0,2 mm). A classe textural foi determinada com base no triângulo de classes texturais (Santos et al., 2015).

A densidade do solo (D_s) foi determinada na camada superficial, empregando o método do cilindro volumétrico para amostras de solo com estrutura indeformada (Almeida et al., 2017).

Para fins do cálculo da porosidade total do solo, considerando a riqueza das amostras em quartzo, adotou-se a densidade de partícula desse mineral ($2,65 \text{ g cm}^{-3}$) para aplicação na fórmula de determinação de porosidade pelo método indireto (Almeida et al., 2017).

Caracterização mineralógica

Os óxidos de Fe (Fe_2O_3) e Al (Al_2O_3) foram determinados em suas formas cristalinas por DCB (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) e em suas formas amorfas por oxalato de amônio, conforme descrito por Teixeira et al. (2017).

Resultados e discussão

Classificação dos solos

Os solos foram classificados como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO órtico típico (Perfis 01, 02 e 03), por atenderem aos seguintes critérios: insuficiência de expressão dos atributos, exígua diferenciação de horizontes com individualização do horizonte A seguido de C ou R, predomínio de características herdadas do material originário e textura arenosa em todos os horizontes por mais de 150 cm de profundidade (Santos et al., 2018) (Figura 2).



Figura 2. Perfis de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico sob vegetação de Campinaranas. Onde: A) P01; B) P02; C) P03.

O perfil de solo P04 foi classificado como ESPODOSSOLO HUMILÚVICO órtico dúbico por apresentar nítida diferenciação de horizontes, horizonte B espódico após a sequência de horizontes A e E e em profundidade menor que 200 cm, ausência de horizonte H ou Eg e caráter dúbico (Santos et al., 2018) (Figura 3).

O perfil P05 foi classificado como um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO órtico espodossólico por apresentar caráter espódico dentro da profundidade de 150 cm a partir da superfície.

Conforme definição do SiBCS (Santos et al., 2018), a classificação do 4º nível categórico se utiliza dos horizontes transicionais nas quais características de outra classe são associadas em expressão inferior para definir esse nível categórico (Figura 3).

Os solos arenosos da região amazônica são variáveis e nem sempre se enquadram exclusivamente na classificação de Espodossolos (Adeney et al., 2016), apesar destes ocuparem uma área oito vezes maior que os Neossolos Quartzarênicos (Teixeira et al., 2010) e serem

comumente classificados em estudos realizados em diferentes tipologias vegetais de Campinaranas

(Mendonça et al., 2017; Mendes et al., 2017; Schaefer et al., 2020).

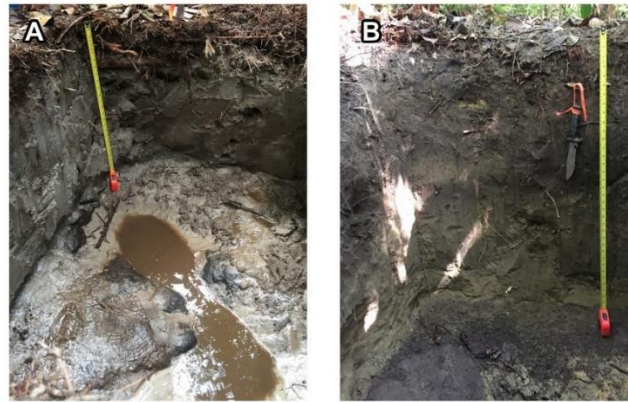


Figura 3. Perfil de ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico sob vegetação de Campinaranas. Onde: A) P04; B) P05

Os Neossolos Quartzarênicos estão relacionados com a paisagem predominantemente plana da região do Alto Rio Negro (Mafra et al., 2002; IBGE, 2010), mas com menor representatividade quando comparados aos solos predominantes na região (Latosolos e Argissolos) e até mesmo à outra classe de solo arenoso de ocorrência (Espodossolos).

O levantamento de solos sob Campinaranas realizado por Mendonça et al. (2015) na região do alto Rio Negro mostrou a predominância de Espodossolos, enquanto o levantamento de Falcão (2019) na região metropolitana de Manaus aponta a ocorrência mais frequente de Neossolos Quartzarênicos, o que corrobora os resultados encontrados neste estudo.

Dados do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1977; 1978), o maior levantamento de solos realizado na região, indica a diferença de classes de solos arenosos nas áreas de Campinaranas da região do Alto Rio Negro e dos arredores de Manaus. Neste trabalho o único Espodossolo foi classificado em uma área de hidromorfismo (próximo à incidência de água) em Presidente Figueiredo, bem como a maioria dos perfis dessa classe no projeto RADAMBRASIL e na topossequência estudada por Pereira et al. (2020) na região do Vale do Juruá.

Os Espodossolos são encontrados, principalmente, em grandes extensões sobre os baixos platôs (Mendes et al., 2017) e áreas alagadas da região do alto Rio Negro. De acordo com Menezes et al. (2022) o nível das águas exercem papel fundamental para formação do horizonte espódico

desses solos. Já os Neossolos são considerados solos jovens e pouco evoluídos (Santos et al., 2018), normalmente descritos nas partes mais altas de topossequências e associados ao material de origem (Andrade et al., 2020; Pereira et al., 2020; Issiné et al., 2023).

Atributos morfológicos

Os solos apresentaram consistência úmida solta (P01 e P02), muito friável (P03 e P04) e friável (P05). A consistência molhada não plástica e não pegajosa predominou em todos os perfis, com exceção do P05, onde se observou a ocorrência da consistência ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa nos dois últimos horizontes (Tabela 1).

Os dados são semelhantes àqueles obtidos por Falcão (2019) em Neossolos Quartzarênicos da região de Manaus, e por Trindade et al. (2020) em solos da mesma classe em Cruzeiro do Sul. Em Espodossolos a consistência com o solo seco pode ser dura, macia ou solta; com o solo úmido varia de friável a firme; e no solo molhado normalmente é não plástica e não pegajosa (Silva et al., 2020).

A diferença na consistência e estrutura nos horizontes subsuperficiais de P05 estão associados a presença de argila como agentes cimentantes nessas camadas. Observa-se que este perfil foi o único a apresentar ocorrência homogênea dos teores de argila, especialmente nos horizontes C2, C3 e C4, o que colaborou não só para a plasticidade e pegajosidade na consistência, como também na formação de estruturas em blocos. Nos demais perfis a agregação de partículas foi ausente (grão simples)

nos horizontes superficiais e subsuperficiais, o que condiciona a consistência solta e elevada capacidade de drenagem que são característicos desses solos.

Tabela 1. Atributos morfológicos dos solos arenosos sob vegetação de Campinaranas

Perfil	Horizonte	Profundidade	Pedregosidade	Estrutura	Consistência		
		Cm			Úmida	Molhada	
						Plasticidade	Pegajosidade
P01	O	14 - 0	-	-	-	-	-
	A	0 - 4	NPd	GS	Solta	NPl	NPg
	AC	4 - 18	NPd	GS	Solta	NPl	NPg
	C1	18 - 200+	NPd	GS	Solta	NPl	NPg
P02	O	9 - 0	-	-	-	-	-
	A	0 - 7	NPd	GS	Solta	NPl	NPg
	AC	7 - 19	NPd	GS	Solta	NPl	NPg
	C1	19 - 180+	NPd	GS	Solta	NPl	NPg
P03	A	0 - 10	NPd	GSAg	MF	NPl	NPg
	AC	10 - 28	NPd	GSAg	MF	NPl	NPg
	C1	28 - 70	NPd	GSAg	MF	NPl	NPg
	C2	70 - 250	NPd	GS	MF	NPl	NPg
	Cr	250 - 265	NPd	GS	MF	NPl	NPg
P04	O	9 - 0	-	-	-	-	-
	A	0 - 4	NPd	GS	MF	NPl	NPg
	E1	4 - 23	NPd	GS	MF	NPl	NPg
	E2	23 - 59	NPd	GS	MF	NPl	NPg
	Bh	59 - 79	NPd	BSA	MF	NPl	NPg
P05	A	0 - 10	NPd	GS	Friável	NPl	NPg
	C1	10 - 15	NPd	GS	Friável	NPl	NPg
	C2	15 - 55	NPd	BSA GS	Friável	NPl	NPg
	C3	55 - 122	NPd	BSA GS	Friável	LPl	LPg
	C4	122 - 174	NPd	BSA GS	Friável	LPl	LPg

PF: Perfil; HZ: Horizonte; NPd: Não pedregoso; GS: Grão Simples; GSAg: Grão simples com agregado de matéria orgânica e areia; MF: Muito friável; BSA: Blocos subangulares; NPl: Não plástica; NPg: Não pegajosa; LPl: Ligeiramente plástica.

As raízes variaram de média a muito finas e se concentraram nos horizontes superficiais de todos os perfis, entrelaçadas ao material orgânico ligeiramente decomposto e/ou quase decomposto, tal como relatado por Mendonça et al. (2015). Dessa forma, as raízes exercem influência não só do ponto de vista nutricional (para absorção de nutrientes em profundidade), como também do ponto de vista físico para a formação de agregados mais resistentes.

A movimentação da matéria orgânica no P03 é observada pela ocorrência de pequenos agregados de areia e material orgânico em decomposição entrelaçados por raízes finas nos horizontes A, AC e C1 desse perfil (Figura 4). A quantidade desses agregados diminuía à medida que a profundidade aumentava, sendo ausente nos horizontes C2 e CR. Esse tipo de movimentação tem sido observada visualmente na literatura (Chauvel et al., 1987; Horbe et al., 2003; Mendonça et al., 2015)

principalmente em forma de estrias (mais escuras e ricas em carbono orgânico) como evidência do processo de podzolização.

De acordo com Santos et al. (2018), o acúmulo de matéria orgânica em agregados em solos arenosos ocorre devido a associação desse material com compostos de Al e Fe formando padrões heterogêneos no horizonte, tais como os observado neste estudo. A ocorrência desses agregados com maior concentração de óxidos de Fe e Al em

comparação com a matriz do solo é considerada evidência de um processo contínuo de podzolização no perfil, o que indica a importância desses óxidos na translocação de substâncias orgânicas e no processo de formação desses solos (Tabela 4). Essa relação entre agregados, óxidos e podzolização contribui para a compreensão dos mecanismos envolvidos na formação e evolução dos solos arenosos sob vegetação de Campinarana.



Figura 4. Agregados de matéria orgânica encontrados nos horizontes superficiais do P03

Atributos químicos

Os valores de pH variaram de moderadamente (pH em água $5,4 < 6,5$), fortemente (pH em água $4,3 < 5,3$) e extremamente ácido (pH em água $< 4,3$) com diminuição da acidez em profundidade em todos os perfis tal como em Neossolos e Espodosolos de Campinaranas sob diferentes fitofisionomias na porção ocidental da Amazônia brasileira (Mendonça et al., 2015), na região metropolitana de Manaus (Demarchi et al., 2018; Falcão, 2019) e na região do vale do Juruá (Pereira et al., 2020) (Tabela 2).

Os valores de acidez potencial ($H+Al$) e de Al trocável (Al^{3+}) foram maiores nos horizontes superficiais e menores nos horizontes subsuperficiais, variando de 1,10 a 42,90 $cmol_c\ dm^{-3}$ ($H+Al$), e de 0,04 a 7,45 $cmol_c\ dm^{-3}$ (Al^{3+}) (Tabela 2). No perfil de solo P04, o horizonte espódico (Bh) se destacou pela maior concentração de $H+Al$ e a segunda maior concentração de Al^{3+} em comparação

aos demais perfis. Esse comportamento difere do observado em outros perfis e se assemelha aos resultados obtidos por Mendonça et al. (2017), Pereira et al. (2020) e Carvalho e Nunes (2022) em Espodosolos. Esses resultados reforçam a importância desses elementos na caracterização e diferenciação dos Espodosolos, especialmente na região estudada.

A maior concentração de Al^{3+} no horizonte espódico era esperada dado que a migração do Al associado à matéria orgânica é essencial no processo de gênese dos Espodosolos. De acordo com Mendonça et al. (2014), concentrações elevadas de Al^{3+} no horizonte espódico pode estar relacionada à alta afinidade desse elemento por compostos orgânicos complexantes, contribuindo para a formação de complexos Al-MO. Por outro lado, os valores de Al^{3+} observados no horizonte C4 do P05 (Tabela 2), podem ser atribuídos à maior concentração de argila nesse solos em comparação

aos horizontes mais ricos em areia dos demais
Neossolos Quartzarênicos estudados (Tabela 3).

Tabela 2. Atributos químicos dos solos arenosos sob vegetação de Campinarana

PF	HZ	pH		COT	K ⁺	P	Na ⁺	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTCe	CTCt	SB	V	m
		H ₂ O	KCl	$\frac{g}{100g^{-1}}$	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³					%			
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico																
P01	A	4,20	2,50	0,16	14,00	0,17	16,00	25,30	1,54	0,00	0,22	1,86	25,62	0,32	1,25	82,76
	C1	5,30	3,60	0,08	4,00	0,01	12,00	1,10	0,04	0,00	0,19	0,23	1,34	0,24	17,75	17,78
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico																
P02	A	4,40	2,60	0,17	12,00	0,06	19,00	31,30	2,91	0,00	0,30	3,32	31,71	0,41	1,30	87,55
	C1	5,40	3,60	0,01	0,00	0,01	14,00	1,00	0,04	0,00	0,10	0,14	1,16	0,16	13,88	28,57
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico																
P03	A	4,50	3,00	0,06	10,00	0,04	18,00	3,40	0,62	0,00	0,30	1,02	3,80	0,40	10,63	60,53
	C1	4,90	3,20	0,02	4,00	0,02	13,00	1,60	0,40	0,00	0,15	0,62	1,82	0,22	11,94	64,83
	C2	5,30	3,50	0,01	0,00	0,01	11,00	1,10	0,20	0,00	0,25	0,50	1,40	0,30	21,32	40,16
	Cr	6,20	4,30	0,00	0,00	0,01	12,00	0,90	0,15	0,00	0,20	0,40	1,15	0,25	21,90	37,28
ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico																
P04	A	5,60	3,20	0,06	10,00	0,05	9,00	2,80	0,05	0,00	0,20	0,31	3,06	0,26	8,64	15,88
	E1	4,70	3,30	0,03	6,00	0,02	20,00	1,60	0,92	0,00	0,40	1,42	2,10	0,50	23,91	64,66
	E2	5,60	3,60	0,01	4,00	0,01	19,00	1,10	0,30	0,00	0,19	0,58	1,38	0,28	20,48	51,44
	Bh	4,20	3,20	0,46	2,00	0,04	18,00	42,90	6,45	0,00	0,21	6,74	43,19	0,29	0,68	95,64
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico																
P05	A	5,50	3,30	0,18	18,00	0,01	23,00	7,20	1,35	0,00	0,27	1,77	7,62	0,42	5,47	76,42
	C1	4,50	3,90	0,11	8,00	0,01	20,00	4,70	2,25	0,00	0,03	2,39	4,84	0,14	2,85	94,23
	C2	5,00	4,10	0,05	8,00	0,04	27,00	6,40	0,25	0,00	0,25	0,64	6,79	0,39	5,72	39,16
	C3	5,90	4,60	0,03	4,00	0,03	20,00	2,50	0,10	0,00	0,23	0,43	2,83	0,33	11,59	23,39
	C4	6,20	4,90	0,09	4,00	0,01	18,00	7,45	1,00	0,00	0,03	1,12	7,57	0,12	1,58	89,37

PF: Perfil; HZ: Horizonte; COT: Carbono Orgânico Total; H+Al: Acidez Potencial; Al³⁺: Al trocável; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; CTCe: CTC efetiva; CTCt: CTC total; SB) Soma de Bases; V%: Saturação por Bases; m%: Saturação por Alumínio

A concentração de carbono orgânico variou de 0,00 a 0,46 g 100 g⁻¹. Os maiores valores foram observados no horizonte espódico (Bh) do P04, no horizonte subsuperficial (C4) do P05 e nos horizontes superficiais dos demais perfis (Tabela 2). Estudos de Mendonça et al. (2017), Mendes et al. (2017) e Santana et al. (2022), principalmente ao que se refere a Espodossolos, mostram resultados semelhantes.

Observa-se que a concentração de carbono orgânico total em profundidade está diretamente relacionada com a concentração de Al³⁺ (Tabela 2), o

que pode ocorrer devido a liberação de íons Al³⁺ por minerais que contém Al (Santana et al., 2022). Os elevados teores de carbono orgânico total (COT), Al³⁺ e m% no P04 tornam possível inferir sobre a formação de complexos Al-MO nesse perfil. Os dados corroboram com os resultados encontrados em Mendonça et al. (2017), Pereira et al. (2020) e Santana et al. (2022). A acumulação de carbono em subsuperfície dos Espodossolos constitui um importante reservatório desse elemento, evitando sua dispersão na forma de CO₂, para a atmosfera, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa.

Os valores de CTCe variaram de 0,14 a 7,57 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e os de CTCt variaram de 1,12 a 43,19 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo maiores nos horizontes superficiais de P01, P02 e P03 (Tabela 2). Nos perfis P04 e P05, os maiores valores de CTCe e CTCt foram respectivamente nos horizontes Bh e C4, coincidindo com os dados dos perfis de Espodosolos estudados por Mendonça et al. (2017), Pereira et al. (2020) e Santana et al. (2022). Observa-se que esses valores confirmam que a maior quantidade de cargas desses solos está em subsuperfície, onde os óxidos devem exercer papel significativo.

Os valores de SB variaram de 0,12 a 0,50 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 2) e são semelhantes aos valores descritos por Mendonça et al. (2015), Mendonça et al. (2017), Demarchi et al. (2018) e Pereira et al. (2020). De acordo com Mendes et al. (2017), a principal fonte dos cátions básicos desses solos são os compostos orgânicos presentes nos horizontes superficiais, mais ricos em matéria orgânica, orgânicos e nos horizontes espódicos dos Espodosolos.

A saturação por bases (V%) variou de 1,25% a 23,91%, com maiores valores nos horizontes C dos Neossolos Quartzarênicos e no horizonte E de P04, tal como no Espodosolo avaliado por Mendonça et al. (2017) em Campinarana arbórea, e em Neossolos e Espodosolos estudados por Pereira et al. (2020) em Campinaranas florestadas. Isso decorre em função da pobreza do material de origem e da intensa lixiviação a que são submetidos esses solos, resultando na movimentação das bases trocáveis e pobreza de nutrientes no perfil.

Observa-se que a V% é menor na subsuperfície do Espodosolo (P04), a qual corresponde ao horizonte espódico, ainda que nesse horizonte ocorram os maiores valores de CTCe, CTCt e maior concentração de H^+/Al ocupando posições de troca catiônica em superfícies eletronegativas do coloide em substituição aos cátions básicos (Rosiello e Jacob Netto, 2006).

A baixa disponibilidade de nutrientes também pode ser observada com base nas concentrações de K^+ (0,00 a 14 mg dm^{-3}), P (0,01 a 0,17 mg dm^{-3}), Ca^{2+} (0,00 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Mg^{2+} (0,03 a 0,30 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Tal disponibilidade reduzida pode ser atribuída à pobreza do material de origem, predominantemente oriundos de sedimentos

quartzosos ou arenitos quartzosos, à elevada precipitação pluvial da área de ocorrência desses solos e à alta lixiviação do ambiente.

De modo geral, todos os solos avaliados apresentam baixos valores de CTC, SB e V%. Os valores mais elevados estão sempre associados à presença de matéria orgânica, exceto o Horizonte C4 do P05, o que evidencia a importância da manutenção dos estoques de carbono nesses ambientes, bem como a dificuldade de restauração das áreas mineradas. Uma vez que no processo de extração de areia uma das primeiras etapas consiste na remoção da cobertura vegetal e da camada superficial do solo, retirando do ambiente tanto a matéria orgânica já decomposta, quanto a sua principal fonte.

Atributos físicos

De modo geral, os solos apresentam classe textural areia, com predomínio da fração de areia fina, em todos os horizontes, excetuando-se o C1, do P03 (Tabela 3). Resultados semelhantes foram observados em Neossolos Quartzarênicos e Espodosolos estudados por Mendonça et al. (2015) e Pereira et al. (2020).

A ocorrência de cascalho foi observada apenas no horizonte CR do P03, onde se encontrou o arenito consolidado com o aprofundamento do perfil, indicando o processo de formação deste solo a partir da alteração daquele material. A área de estudo está inserida na bacia sedimentar do Amazonas, incluindo parte das bacias hidrográficas do baixo Rio Negro e Rio Urubu. Nessa região predominam sedimentos continentais da Formação Alter do Chão, oriundos da deposição de sedimentos em ambientes aquosos e fluviais (Silva e Bonotto, 2000) e sedimentos do Grupo Trombetas, cujas rochas registram a alternância de sedimentos glaciais e marinhos (Schaefer et al., 2017).

Em contrapartida, a fração argila foi encontrada em baixos teores em todos os perfis estudados (inferior a 8%), exceto no Bh do P04 onde apresentou 14% da fração textural (Tabela 3). Essa distribuição infere da diminuição dos teores de argila nos horizontes eluviais seguida do aumento gradual nos horizontes subsuperficiais, o que também é observado por Mendonça et al. (2017) em Roraima e Pereira et al. (2020) em Cruzeiro do Sul.

Tabela 3. Atributos físicos dos solos arenosos sob vegetação de Campinarana

PF	HZ	Profundidade	Cascalho	Areia		Silte	Argila	Densidade	Porosidade	Classe Textural
				Grossa	Fina					
				Cm	%					
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico										
P01	A	0 - 4	-	31,82	56,99	7,99	3,20	1,05	60,36	Areia
	C1	18 - 200+	-	30,27	60,93	7,6	1,20			Areia
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico										
P02	A	0 - 7	-	42,15	52,37	0,48	5,00	0,95	64,22	Areia
	C1	19 - 180+	-	36,58	58,50	3,72	1,20			Areia
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico										
P03	A	0 - 10	-	47,00	51,07	0,33	1,60	1,15	56,72	Areia
	C1	28 - 70	-	61,88	25,54	8,78	3,80			Areia
	C2	70 - 250	-	32,94	65,42	0,64	1,00			Areia
	Cr	250 - 265	47,05	18,44	71,21	9,35	1,00			Areia
ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico										
P04	A	0 - 9	-	17,23	73,59	6,78	2,40	0,96	63,82	Areia
	E1	9 - 14	-	17,19	71,44	9,77	1,60			Areia
	E2	14 - 23	-	16,75	68,52	12,73	2,00			Franco arenoso
	Bh	23 - 59	-	13,35	66,97	5,68	14,00			Areia franca
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico										
P05	A	0 - 10	-	14,56	70,04	10,2	5,20	0,86	67,38	Areia franca
	C1	10 - 15	-	15,76	69,97	10,27	4,00			Franco arenoso
	C2	15 - 55	-	15,15	66,57	13,08	5,20			Areia franca
	C3	55 - 122	-	14,48	60,02	20,01	5,40			Areia
	C4	122 - 174	-	14,05	77,21	0,54	8,20			Areia

As densidades dos solos variaram de 0,86 a 1,15 mg m⁻³, o que está um pouco abaixo dos resultados de Freitas et al. (2012) (1,35 a 1,51 mg m⁻³), Falcão (2019) (1,17 a 1,87 mg m⁻³) e Trindade et al. (2020) (1,2 a 1,4 mg m⁻³) na região. A porosidade, por outro lado, apresentou valores superiores (56,72% a 67,38%) ao intervalo observado na literatura (Falcão et al., 2019; Trindade et al., 2020), o que certamente influenciou a densidade em amostras indeformadas.

A granulometria exerce papel significativo no controle dos atributos físico-hídricos dos solos (Ramos et al., 2020), tais como a densidade e a porosidade. Observa-se que a quantidade de argila influenciou a porosidade dos perfis estudados, onde

aqueles com maior porcentagem de argila, são também os com maior porosidade (P04 e P05). Isso acontece porque maiores quantidades de argila favorecem uma melhor agregação do solo (Sabino et al., 2022), favorecendo a estruturação e aumentando o volume de macroporos.

A elevada porosidade que facilita o escoamento de água no perfil é característica de solos arenosos, especialmente em área florestada onde esses solos não sofrem com a influência antrópica e risco de compactação (redução da porosidade com consequente aumento da densidade).

Atributos mineralógicos

O quartzo foi o principal componente mineral observado em análises mineralógicas das

amostras avaliadas, o que é um reflexo do material de origem desses solos (Formação Alter do Chão e Grupo Trombetas) e da resistência do referido mineral ao processo de intemperismo.

Observou-se também a ocorrência de formas cristalinas e amorfas de óxidos de Al e de Fe, com predomínio das formas cristalinas sobre as amorfas,

tanto de Al_2O_3 quanto de Fe_2O_3 (Tabela 4). Resultados semelhantes foram observados por Horbe et al. (2003) e Mendonça (2011), indicando que o grau de intemperismo do solo na região favorece a maior cristalinidade dos minerais (Ghidin et al., 2006).

Tabela 4. Concentrações de Al_2O_3 e Fe_2O_3 cristalino e amorfo em solos arenosos sob vegetação de Campinarana

Perfil	Horizonte	Cristalino (DCB)		Amorfo (Oxalato)	
		Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
		g kg ⁻¹			
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico					
P01	A	1,90	0,20	0,10	0,10
	C1	1,70	0,20	0,40	0,00
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico					
P02	A	2,30	0,30	0,80	0,10
	C1	1,90	0,20	0,20	0,00
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico					
P03	A	2,10	0,20	0,20	0,00
	AGR. A	2,40	0,30	0,70	0,10
	C1	1,90	0,20	0,40	0,10
ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico					
P04	A	1,90	0,20	0,30	0,00
	Bh	11,00	0,20	6,60	0,00
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico					
P05	A	2,90	0,40	2,30	0,30
	C4	2,30	0,70	0,70	0,50

As maiores concentrações de Al_2O_3 foram observadas no horizonte espódico e horizonte A dos perfis, portanto, de modo geral, associadas às maiores concentrações de carbono orgânico total. A maior concentração de Fe_2O_3 foi observada no P05 associada à maior percentagem de argila. De acordo com Santos et al. (2018) o Al está presente nos horizontes B espódicos podendo haver presença de Fe que da mesma forma foram translocados dos horizontes superiores.

Os agregados de matéria orgânica distribuídos na matriz dos horizontes C do P03 apresentaram concentração de Al_2O_3 semelhantes aos observados nos horizontes superficiais dos demais perfis, evidenciando a participação do Al no processo de translocação da matéria orgânica. De acordo com Mendonça (2011), o predomínio de Al nos solos arenosos dessa região está relacionado à sua elevada afinidade pelos complexos orgânicos.

Os perfis estudados apresentaram valores muito próximos para os teores de Fe_2O_3 cristalino e amorfo, com exceção do P05, onde a concentração foi relativamente mais alta, especialmente em subsuperfície, o que se atribui à maior percentagem de argila, relativamente mais rica em óxidos de Fe, conforme evidenciou os maiores valores de croma (cor mais amarela, em comparação aos demais perfis).

De modo geral, as concentrações de Al_2O_3 são maiores do que as concentrações de Fe_2O_3 , o que se deve principalmente à maior capacidade do Al se associar aos compostos orgânicos e permanecer no ambiente e a maior solubilidade do Fe, especialmente nos ambientes ricos em carbono e, em certas ocasiões, com excesso de água. A gênese dos horizontes espódicos (Bh ou Bhs) é diretamente influenciada pela concentração do Al (Bh), podendo conter Fe (Bhs).

As condições ambientais atuais da área de estudo, com elevada precipitação pluvial e elevada temperatura, favorecem a saída do Fe do sistema e aumento da concentração relativa do Al e do quartzo, o que é evidenciado pela composição mineralógica dos solos estudados.

Conclusão

Os Neossolos Quartzarênicos foram a classe representativa entre os perfis estudados. Apenas um perfil foi classificado como Espodossolo Humilúvico (P04).

As propriedades morfológicas dos solos foram influenciadas pelas características químicas e físicas. No perfil P05, com maior teor de argila, observou-se estruturas em blocos e consistência ligeiramente plástica e pegajosa; nos demais, a consistência molhada é predominantemente não plástica e não pegajosa.

Os solos sob Campinaranas mostraram caráter muito ácido, oligotróficos, com baixos valores de CTC, SB e elevados percentuais de m%. A granulometria foi composta pelo predomínio da fração areia, com os maiores teores de argila nos horizontes Bh de P04 e subsuperficiais de P05. As classes texturais mais comumente observadas foram areia e areia franca. O quartzo foi o mineral predominante da fração mineral, que apresentaram baixas concentrações de formas cristalinas e amorfas de óxidos de Fe e Al.

O processo de podzolização ocorreu nos horizontes superficiais do P03, evidenciada pela presença de agregados de areia, matéria orgânica e raízes. A análise química e mineralógica desses agregados evidencia a formação de complexos Al-MO sendo transportados para deposição em profundidade no perfil.

A caracterização dos solos avaliados indica que sua capacidade de sustentar a vegetação de Campinaranas está ligada ao equilíbrio desses ecossistemas. Logo, alterações nesse equilíbrio podem reduzir significativamente ou anular a capacidade de restauração natural do ambiente.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas (FAPEAM) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP), para a realização deste projeto de pesquisa, por meio da Chamada Pública 01/2020 - FAPESP-FAPEAM; ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical

(PPGATR - UFAM) pela oportunidade de cursar o mestrado; e à CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Referências

- Adeney, J.M., Christensen, N.L., Vicantini, A., Cohn-Haft, M. (2016). White-sand ecosystems in Amazonia. *Biotropica*, 48 (1). <https://doi.org/10.1111/btp.12293>
- Almeida, B.G. de, Viana, J.H.M., Teixeira, W.G., Donagemma, G.K. 2017. *Densidade do solo*. In Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G. (Org.). Manual de Métodos de Análise de Solo. Embrapa.
- Andrade, I.C.M., Lima, J. da M., Diniz, A.D., Rosa, M.E.C. da 2020. Caracterização pedogeomorfológica de uma transição neossolos quartzarênicos - espodossolos, na reserva da sapiranga, mata de São João - BA. *Revista GeoUECE*, 9 (16), 154-166. <https://doi.org/10.59040/GEOUECE.2317-028X.v9.n16.154-166>
- Barbosa, T. da C.S., Costa, N.M.G.B. da, Santos, D.B. dos, Machado, M.S., Filho, F.M. 2020. Physical soil quality in area under agroecological and conventional management. *Brazilian Journal of Development*, 6 (7), 48899-48909. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-511>
- Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral 1977. Folha SA. 19 Içá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL.
- Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto 1978. Folha SA. 20 Manaus: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL.
- Brito, T. de F., Silva, R. de C., Oliveira, S.A.V. de, Silveira, M. (Org.) 2017. Complexo vegetacional sobre areia branca: campinaranas do sudoeste da Amazônia. Edufac.
- Carvalho, C.C.N. de, Nunes, F.C. 2022. Solos de tabuleiro do Recôncavo Baiano (Brasil): gênese, transformação e neotectonismo. *Revista de Geociências do Nordeste* 8 (2), 114-125. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID28987>
- Carvalho, J.L.N., Avanzi, J.C., Silva, M.L.N., Mello, C.R. de, Cerri, C.E.P. 2010. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34 (2). <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>

- Chauvel, A., Lucas, Y., Boulet, R. (1987). On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, central Amazonia, Brazil. *Experientia* 43, 234-241. <https://doi.org/10.1007/BF01945546>
- Demarchi, L.O., Scudeller, V.V., Moura, L.C., Dias-Terceiro, R.G., Lopes, A., Wittmann, F.K., Piedade, M.T.F. 2018. Floristic composition, structure and soil-vegetation relations in three white-sand soil patches in central Amazonia. *Acta Amazonica* 48. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201603523>
- Donagemma, G.K., Viana, J.H.M., Almeida, B.G. de, Ruiz, H.A., Klein, V.A., Dechen, S.C.F., Fernandes, R.B.A. 2017. *Análise Granulométrica*. In Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G. (Org.) Manual de métodos de análise de solos. Embrapa.
- Falcão, J.F. (2019). *Atributos e teores naturais de metais pesados em solos arenosos na Amazônia Central* [Dissertação, Universidade Federal do Amazonas]. Repositório TEDE. <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7087>
- Farmaha, B.S., Sekaran, U., Franzluebbers, A.J. (2022). Cover cropping and conservation tillage improve soil health in the southeastern United States. *Agronomy Journal*, 114, 296-316. <https://doi.org/10.1002/agj2.20865>
- Freitas, I.C. de, Santos, F.C.V. dos, Custodio Filho, R.O., Silva, N.R. da, Correchel, V. 2012. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 1275-1281. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200003>
- Ghidin, A.A., Melo, V.F., Lima, V.C., Lima, J.M.J.C. 2006. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná: I - mineralogia da fração argila. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200010>
- Haruna, S.I., Anderson, S.H., Udawatta, R.P., Clark, J.G., Philips, N.C., Cui, S., Gao, Y. 2020. Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3, 1-18. <https://doi.org/10.1002/agg2.20105>
- Horbe, A.M.C., Horbe, M.A., Suguio, K. (2003). Origem dos depósitos de areias brancas no nordeste do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*, 33.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). *Mapa de pedologia do Estado do Amazonas*. IBGE.
- Issiné, A., Goalbaye, T., Amine Cherif, A., Toukou, H. 2023. Genesis and Classification of Soils on a Toposequence in Guelendeng, Southwest Chad. *Earth Sciences*, 12 (6), 225-232. <https://doi.org/10.11648/j.earth.20231206.14>
- Mafra, A.L., Miklós, A.A.W., Volkoff, B., Melfi, A.J. 2002. Pedogênese numa sequência Latossolo-Espodossolo na região do alto rio Negro, Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26, 381-394. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200012>
- Mendes, D.D.S.O., Bueno, G.T., Guimarães, F.S., Rossin, B.G., Nascimento, N.R. do. 2017. Os solos e geoambientes das Campinaranas amazônicas: relação genética entre os geoambientes e a evolução da paisagem em um transecto na Bacia do Alto Rio Negro, Amazônia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 18. <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i3.1192>
- Mendonça, B.A.F. de (2011). *Campinaranas amazônicas: pedogênese e relações solo-vegetação*. [Tese, Universidade Federal de Viçosa]. Repositório Locus UFV. <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/1618/1/texto%20completo.pdf>
- Mendonça, B.A.F., Fernandes Filho, E.I., Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., Paula, M.D. de 2015. The soils of “Campinaranas” in Brazilian amazon: oligotrophic sandy ecosystems. *Ciência Florestal*, 25, 827-839. <https://doi.org/10.5902/1980509820581>
- Mendonça, B.A.F., Simas, F.N.B., Schaefer, C.E.G.R., Fernandes Filho, E.I., Vale Junior, J.F. do, Mendonça, J.G.F. de 2014. Pozolized soils an paleoenvironmental implications of white-sand vegetation (Campinarana) in the Viruá National Park, Brazil. *Geoderna Regional*. <http://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.09.004>
- Mendonça, B.F. de, Fernandes Filho, E.I., Schaefer, C.E.R., Mendonça, J.G. de, Vasconcelos, B.N.F. 2017. Soil-vegetation relationships and community structure in a “terra-firme”-whitesand vegetation gradient in Viruá National Park, northern Amazon, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89, 1269-1293. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720160666>

- Menezes, A.R. de., Fontana, A., Anjos, L.H.C. dos, Pereira, M.G., Schiavo, J.A. 2022. Soils with dark subsurface horizons in saline basins in the Brazilian Pantanal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 46. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210088>
- Miranda, I.O. de A., Miranda, D. de P.A., Barbosa, E.M. 2020. Áreas de transição de campinas, campinaranas e florestas de Porto Trombetas. 2020. In Redin, E. (Org.) Meio ambiente e seus desafios: Estudos Contemporâneos. Poisson. <https://doi.org/10.36229/978-65-86127-84-3.CAP.07>
- Oliveira, J.F.de, Pereira, H. dos S., Silva, S.C.P. da. 2021. Análise dos processos minerários de areia na região metropolitana de Manaus. *Revista geociencias*, 40, 107-121.
- Pereira, S. dos S., Araújo, E.A., Moreira, W.C. de L., Bardales, N.G., Oliveira, E. (2020). Caracterização de atributos de solos ao longo de uma topossequencia em ambiente de campinarana na amazônia sul ocidental, Brasil. *Caminhos de Geografia*, 21 (75), 90-101. <https://doi.org/10.14393/RCG217550732>
- Pinto, M.N., Scudeller, V.V., do Nascimento, E.P., Lima, R.A. 2023. Social and Environmental Impacts of the "Fallen Lands" Phenomenon in Areas of Campinaranas in Alto Solimões - Amazonas, Brazil. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18 (3). <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n3-005>
- Ramos, H. M. M., Duarte, J.F.B., Simplicio, A.A.F., Oliveira, I.M.C., Feitosa, D. de L. 2020. Atributos físico-hídricos de um neossolo quartzarênico sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 14 (2), 3968-3975. <https://doi.org/10.7127/rbai.v14n101147>
- Rosiello, R.O.P., Jacob Netto, J. (2006). Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In Fernandes, M.S. (Org.) 2006. *Nutrição Mineral de Planta*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Sabino, B.T.S., Silva, P.L.F. da, Oliveira, F.P. de, Campos, M.C.C. 2022. Qualidade física do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta: efeitos de 6 anos de implantação. *Revista Valore*, 7. <https://doi.org/10.22408/rev7020221142e-7026>
- Santana, É. da P., Diniz, A.D., Rosa, M.E.C. da, Andrade, I.C.M. de, Sousa, J.H. de O., Bomfim, M.R. 2022. Caracterização e evolução de solos em vertentes assimétricas da Reserva Ecológica da Sapiiranga - Tabuleiros Costeiros do Litoral Norte do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15 (6), 2903-2920. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p2903-2920>
- Santos, H.G. dos, Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C. dos, Oliveira, V.A. de, Lumbrreras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A. de, Araujo Filho, J.C. de, Oliveira, J.B. de, Cunha, T.J.F. 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (5). Embrapa. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>
- Santos, R.D. dos, Santos, H.G. dos, Ker, J.C., Anjos, L.H.C. dos, Shimizy, S.H. 2015. *Manual de descrição e coleta de solos no campo* (7). Sociedade Brasileira de Ciências do Solo.
- Schaefer, C.E.G.R., Campos, P.V., Candido, H.G., Corrêa, G.R., Faria, R.M., Vale Jr, J.F. (2020). Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil. *Neotropical Biology and Conservation*, 15, 43-69. <https://doi.org/10.3897/neotropical.15.e49221>
- Schaefer, C.E.G.R., Lima, H.N., Teixeira, W.G., Vale Junior, J.F. do, Souza, K.W. de, Correia, G.R., Mendonça, B.A.F. de, Amaral, E.F., Campos, M.C.C., Ruivo, M. de L.P. 2017. *Solos da Região Amazônica*. In Curi, N.L.M., Ker, J.C., Novais, R.F., Vidal-Torrado, P., Schaefer, C.E.G.R. (Org.). *Pedologia: solos dos biomas brasileiros*. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo.
- Silva, M. de O., Veloso, C.L., Nascimento, D.L. do, Oliveira, J. de, Pereira, D. de F., Silva, K.D. da. C. 2020. Chemical and physical indicators of soil quality. *Brazilian Journal of Development*, 6 (7), 47838-47855. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-431>
- Silva, M.L. da, Bonotto, D.M. (2000). Caracterização hidrogeoquímica na formação Alter do Chão, município de Manaus (AM). *Anais o XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 72. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24334>
- Silva, T. G, Barbosa Junior, M.R., Santos, S.B.T., Rodrigues, M.A., Santos, C.G., Santos, M.A.L. 2020. Spodosols: limitations and potential. *Revista Ambientale*, 12 (2), 1-7. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v12i2.196>
- Teixeira, P.C., Calderano, S.B., Campos, D.V.B. de, Fontana, A. 2017. *Ferro, Alumínio, Manganês e*

- Sílica Extraíveis*. In Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G. (Org.) Manual de métodos de análise de solos. Embrapa.
- Teixeira, W.G., Arruda, W., Shinzato, E., Macedo, R.S., Martins, G.C., Lima, H.N., Rodrigues, T.E. 2010. *Solos*. In Maia, M.A.M., Marmo, J.L. (Org.). Geodiversidade do Estado do Amazonas. CPRM.
- Trindade, A.C.B., Araujo, C.C. de, Cameli, L.R., Bezerra, L.B., Lima, L.S., Araujo, E.A. de 2020. Caracterização e avaliação da qualidade física de Neossolo Quartzarênico em Geoambiente da Formação Cruzeiro do Sul, Acre. *CONVIBRA*.