

Artigo de Pesquisa**ANÁLISE DOS PARÂMETROS TEXTURAIS E MINERALÓGICOS DO SOLO POR ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO PARQUE NACIONAL DE ANAVILHANAS (AM)****Analysis of soil textural and mineralogical parameters by spectroscopy in the Anavilhanas National Park (AM) region**

Deborah Natalie Collyer Monteiro¹, Raimundo Humberto Cavalcante Lima², Solange dos Santos Costa³, Erik Taylor Victor dos Santos⁴

¹ Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Manaus, Brasil. E-mail. deborahncmonteiro@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5615-9318>

² Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Manaus, Brasil. E-mail. humbertoclima@ufam.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-2302-3921>

³ Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Manaus, Brasil. E-mail. solangecosta@ufam.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-3262-7126>

⁴ Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geociências, Manaus, Brasil. E-mail. erik.max.00@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0001-0002-5342>

Recebido em 25/03/2023 e aceito em 03/11/2023

RESUMO: Uma análise de solo reveste-se de primordial importância, haja vista sua função preponderante no planejamento de infraestruturas e empreendimentos civis, na agricultura, na gestão ambiental e conservação dos recursos naturais. Nesse sentido, no Parque Nacional de Anavilhanas (PNA) e entorno, área de estudo, ocorre limitações na obtenção de informações de solos, considerando aspectos específicos como atributos químicos e físicos, impostos, principalmente, pela magnitude territorial, complexidade e diversidade ambiental da região. Os métodos convencionais de análise de solo, devido à demanda por tempo, mão de obra especializada e custos elevados, dificultam a pesquisa e limitam o conhecimento. Este estudo propôs avaliar a espectroscopia como ferramenta de apoio na caracterização textural e mineralógica de solos provenientes da Amazônia comparando seus resultados com os métodos convencionais. As amostras de solos obtidas foram submetidas a uma análise espectral na faixa do VIS-NIR-SWIR do espectro eletromagnético sendo possível diferenciar texturas e estabelecer correlações com os tipos de solo e com os métodos convencionais empregados, destacando-se a identificação de caulinita e óxido-hidróxidos de ferro. No contexto das limitações da área pesquisada, a espectroscopia se revelou como uma ferramenta complementar as técnicas tradicionais por meio da análise detalhada das respostas espectrais, proporcionando informações precisas sobre as propriedades texturais, mineralógicas e químicas do solo. Essa abordagem possibilitou uma avaliação abrangente contribuindo para avanços na pesquisa e no conhecimento pedológico do PNA e seu entorno.

Palavras-chave: Espectroscopia; Geotecnologia; Solos da Amazônia, Unidade de Conservação, Análise Espectral.

ABSTRACT: Soil analysis is of paramount importance, given its preponderant role in the planning of civil infrastructures and undertakings, in agriculture, in environmental management and in the conservation of natural resources. In this sense, in the Anavilhanas National Park (PNA) and its surroundings, the study area, there are limitations in obtaining soil information, considering specific aspects such as chemical and physical attributes, imposed mainly by the territorial magnitude, complexity and environmental diversity of the region. Conventional methods of soil analysis, due to the demand for time, specialized labor and high costs, hinder research and limit knowledge. This study set out to evaluate spectroscopy as a support tool in the textural and mineralogical characterization of soils from the Amazon, comparing its results with conventional methods. The soil samples obtained were subjected to spectral analysis in the VIS-NIR-SWIR range of the electromagnetic spectrum, and it was possible to differentiate textures and establish correlations with soil types and with the conventional methods used, highlighting the identification of kaolinite and iron oxide-hydroxides. In the context of the limitations of the area surveyed, spectroscopy proved to be a complementary tool to traditional techniques through detailed analysis of spectral, providing precise information on the soil's textural, mineralogical and chemical properties. This approach enabled a comprehensive assessment, contributing to advances in research and pedological knowledge of the PNA and its surroundings.

Keywords: Spectroscopy; Geotechnology; Amazonian Soils, Conservation Unit, Spectral Analysis.

RESUMEN: El análisis de suelos es de suma importancia, dado su papel preponderante en la planificación de infraestructuras y emprendimientos civiles, en la agricultura, en la gestión ambiental y en la conservación de los recursos naturales. En este sentido, en el Parque Nacional Anavilhanas (ANP) y su entorno, el área de estudio, existen limitaciones en la obtención de información de suelos, considerando aspectos específicos como atributos químicos y físicos, impuestos principalmente por la magnitud territorial, complejidad y diversidad ambiental de la región. Los métodos convencionales de análisis de suelos, debido a la demanda de tiempo, mano de obra especializada y altos costos, dificultan la investigación y limitan el conocimiento. Este estudio se propuso evaluar la espectroscopia como herramienta de apoyo en la caracterización textural y mineralógica de suelos de la Amazonia, comparando sus resultados con los métodos convencionales. Las muestras de suelo obtenidas fueron sometidas a análisis espectral en el rango VIS-NIR-SWIR del espectro electromagnético, siendo posible diferenciar texturas y establecer correlaciones con los tipos de suelo y con los métodos convencionales utilizados, destacando la identificación de caolinita y óxido-hidróxidos de hierro. En el contexto de las limitaciones de la zona estudiada, la espectroscopia demostró ser una herramienta complementaria a las técnicas tradicionales al analizar detalladamente las respuestas espectrales, proporcionando información precisa sobre las propiedades texturales, mineralógicas y químicas del suelo. Este enfoque permitió una evaluación exhaustiva, contribuyendo a los avances en la investigación y el conocimiento pedológico del ANP y su entorno.

Palabras clave: Espectroscopia; Geotecnología; Suelos amazónicos, Unidad de conservación, Análisis espectral.

INTRODUÇÃO

Os levantamentos convencionais de solos no Brasil abrangem quase todo o país, sendo predominantemente mapeamentos em detalhe. Devido à vasta extensão amazônica, à densa vegetação e às dificuldades de acesso, o conhecimento sobre os solos nessa região, cujos estudos sistemáticos tiveram início a partir de 1950 (FALESI, 1986; RODRIGUES, 1996), ainda é comparativamente incipiente, com muitos estudos concentrados em determinadas áreas da região (SCHAEFER, 2017).

Apesar dos esforços de pesquisadores que contribuíram para o avanço dos estudos sobre os solos da Amazônia (FERREIRA, 2021; GARCIA, 2013; LIMA, 2002; TEIXEIRA, 2008), é necessário expandir esse conhecimento, entender suas interações e adaptações, considerando as intervenções humanas, pois há uma lacuna a ser preenchida para uma compreensão mais abrangente dos ecossistemas amazônicos.

Segundo Lima (2013), os métodos convencionais de levantamento de solos na metodologia clássica de mapeamento são demorados e empíricos, apresentando desafios em termos de precisão da informação, confiabilidade das interpretações qualitativas e dificuldade de extrapolação da informação obtida para outras áreas (MENDONÇA SANTOS, 2003, NEUMAN, 2012; ZHU, 2000). Contudo, esses levantamentos convencionais ainda representam a principal fonte de informações sobre o solo no Brasil, especialmente na Amazônia brasileira.

No contexto abordado, surge a necessidade de modernizar os métodos de levantamento e mapeamento de solos, visando aprimorar a qualidade, reduzir a subjetividade, otimizar o tempo e minimizar os custos. Para atingir esses propósitos, têm sido empregadas novas ferramentas, como a espectrorradiometria ou espectroscopia de reflectância, associada à análise de perfis de solo e difratometria de raios-X (DEMATTE, 2022; DEMATTE, 2020; DEMATTE e TERRA, 2014; DUNN, 2002; GENU, 2013; KWEON, 2005; LEE, 2003; MOUAZEN, 2005; POPPIEL, 2021; VASQUES, 2014).

A espectroscopia de reflectância se apresenta como um método importante para medir os espectros de absorção e outras propriedades dos sólidos utilizando equipamentos que emitem radiação eletromagnética e registram as respostas dos solos. É empregada na determinação remota da composição química de solos e regolitos nas superfícies de corpos do sistema solar, bem como de pós em laboratório (HAPKE, 2017). Pode ser utilizada, também, para identificar as classes e propriedades de solos com grande precisão (BONETT, 2015).

Nesse sentido, este estudo tem como objetivo avaliar a espectroscopia como ferramenta de apoio na caracterização textural e mineralógica de solos provenientes da Amazônia comparando seus resultados com os métodos convencionais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da Área

O trabalho foi desenvolvido no Parque Nacional de Anavilhanas (PNA) e comunidades ao seu entorno, numa área 425.000 ha, localizado nos municípios de Manaus e Novo Airão (AM). Trata-se de uma unidade de conservação (UC) de proteção integral definida no ano 2000 pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC. Esta foi criada com o objetivo de preservar o arquipélago fluvial e produzir conhecimento por meio da pesquisa científica com ações voltadas para o desenvolvimento sustentável das comunidades instaladas nas margens do rio Negro que banha a unidade. Observa-se que o Plano de Manejo da UC (ICMBIO,

2017) não contempla informações sobre solos numa escala compatível com sua necessidade, há falta de informações mais detalhadas no território do Parque, como a variabilidade espacial das propriedades físico-químicas e mineralogia.

O regime hidrológico do rio Negro é classificado como Equatorial, caracterizado pela ocorrência de dois picos máximos de descarga durante o ano. O primeiro pico ocorre nos primeiros noventa dias do ano de maneira fraca e de baixa amplitude, enquanto o segundo pico é o maior e corresponde à inundação anual, que acontece no período de maio a julho (FILIZOLA, 2014).

O clima na região é do tipo tropical úmido com uma precipitação média maior que 2000 mm/ano, típico de florestas tropicais onde temperatura e precipitação apresentam um mínimo de variação anual. A região caracteriza-se, também, por umidade constantemente alta, as médias anuais estão entre 85 e 95% (ALVES, 2013). A cobertura vegetal predominante é de floresta densa, além de ecossistemas fluviais e lacustres com mais de 400 ilhas, sendo considerado o segundo maior arquipélago do mundo.

As principais unidades sedimentares paleozoicas a cenozoicas estão representadas por rochas das Formações Nhamundá, Alter do Chão, Novo Remanso e os depósitos sedimentares quaternários do rio Negro.

A Formação Nhamundá, pertencente ao Grupo Trombetas, é constituída, principalmente, por arenito fino a médio, com intercalações subordinadas de folhelho, siltito e diamictito, com paleoambiente relacionado a uma plataforma marinha influenciada por ondas e, de maneira secundária, por eventos de glaciação de idade siluriana (CUNHA, 2007; SOARES, 2005).

A Formação Alter do Chão do Grupo Javari é constituída por arenitos e pelitos com intensa coloração vermelha, arenitos feldspáticos caulíníficos, quartzo-arenitos e intercalações de argilitos, siltitos e conglomerados (CUNHA, 1994; KISTLER, 1954).

Rozo (2005) descreve que a Formação Novo Remanso, recobre discordantemente os depósitos cretáceos da Formação Alter do Chão. Essa formação é constituída por camadas de arenitos ferruginosos grossos e arenitos finos e médios, moderadamente selecionados, com estratificação cruzada tabular, incluindo a possibilidade de ocorrência de arenitos com acamamento maciço. Ela é constituída por fácies de canal fluvial, barra em pontal e planície de inundação, as quais são representativas de um paleossistema fluvial meandrante.

Segundo Silva (2005), os depósitos cenozoicos Quaternários são constituídos por sedimentos arenosos e argilosos e compreendem basicamente as coberturas modernas e os depósitos aluviais ao longo do sistema fluvial da região.

Na região são ainda descritas coberturas lateríticas desenvolvidas em ambiente de clima tropical durante o cenozoico. A presença de lateritos mais jovens, marcam-se por horizontes ferro alumino-argilosos, pouco evoluídos, menos profundos e desprovidos de horizonte bauxítico identificados em áreas topograficamente mais baixas (COSTA, 1991).

Conforme IBGE (2017), destacam-se na área uma diversidade de solos como os Latossolo, Plintossolo, Argissolo, Espodossolo, Gleissolo (Figura 1).

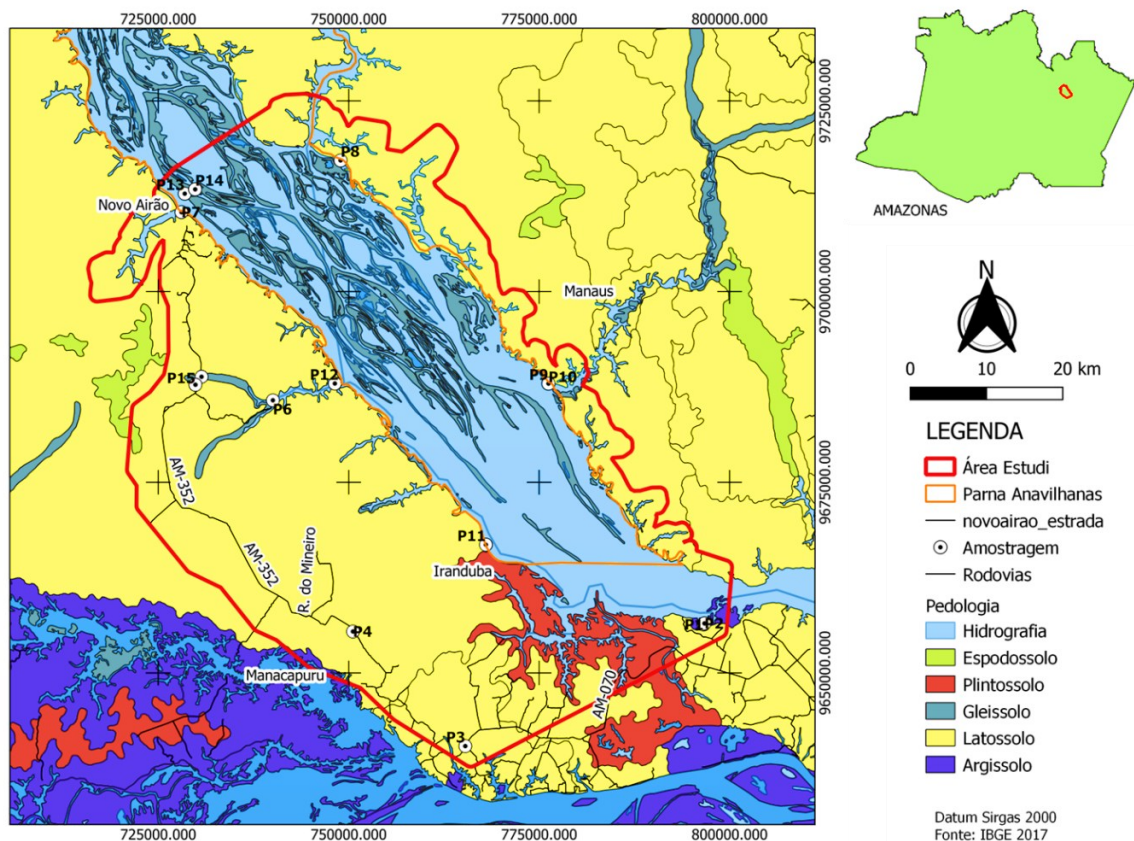


Figura 1. Mapa pedológico da área de estudo. Fonte: IBGE (2017).

Coleta de amostras de solo

O trabalho de campo constituiu em visitas a área com coleta de amostras e seu georreferenciamento durante a vazante do rio Negro, cujo período é mais favorável à amostragem de solo e sedimentos nas margens do rio Negro e igarapés. A expedição de campo foi realizada, quase totalmente, por via fluvial em transporte tipo lancha, um dos únicos meios de acessos aos pontos amostráveis e as comunidades ribeirinhas.

As amostras foram coletadas em 15 pontos com ocorrência de diferentes solos (Figura 2), selecionadas com base no Mapa Pedológico na escala 1:50.000 do Plano de Manejo do Parque Nacional de Anavilhanas (ICMBIO, 2017).

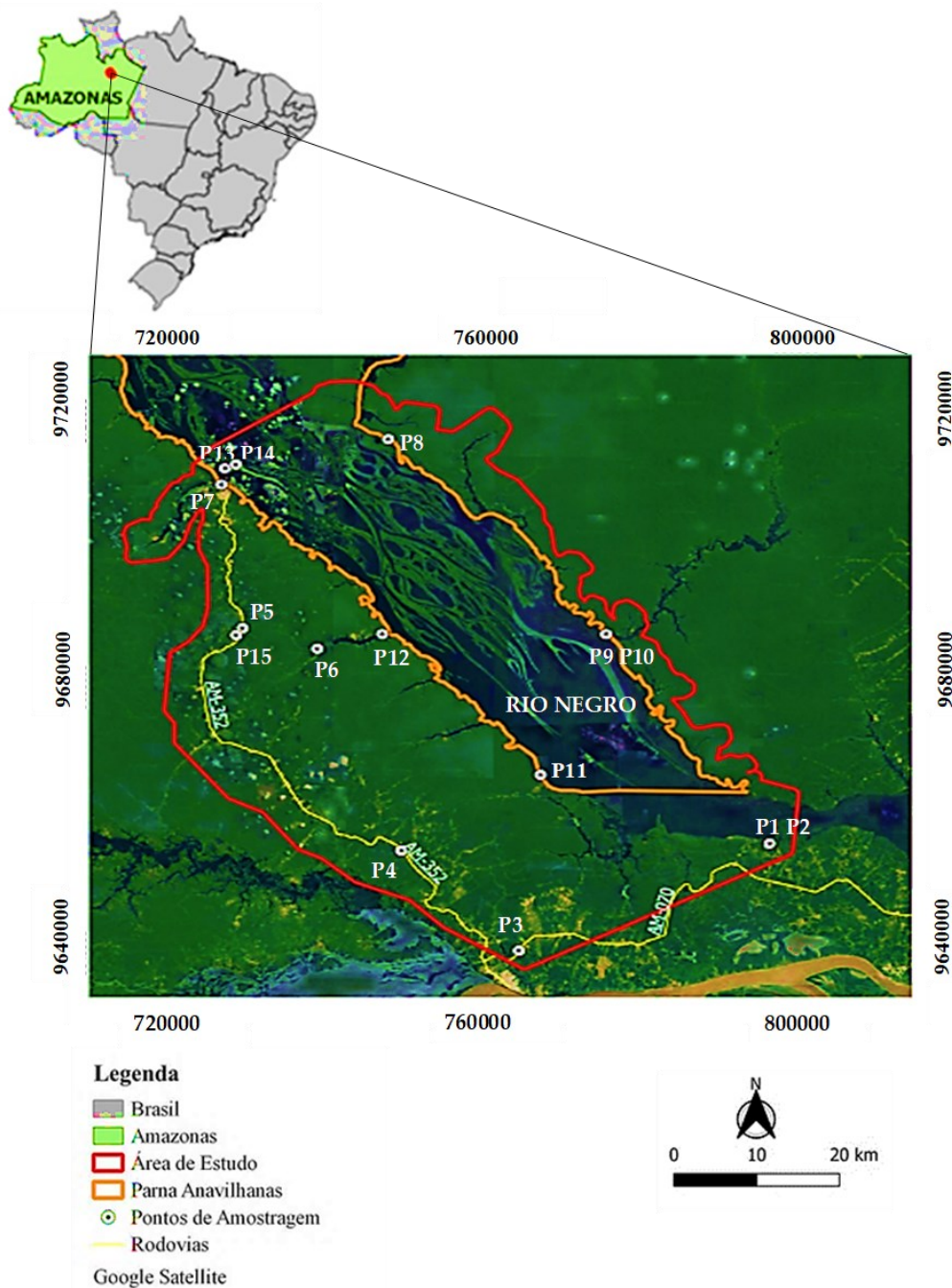


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo e locais de amostragem. **Fonte:** Autores (2023).

A amostragem foi realizada em subsuperfície até profundidade de um 1 metro e, em afloramentos superficiais, totalizando 43 amostras. Na amostragem em subsuperfície utilizou-se um trado manual, complementados por lona, cavadeira, trado, cruzetas, hastes, luvas, trena e ponteira. Os materiais amostrados foram colocados sobre uma lona, para evitar o contato com o solo superficial do lugar e agrupados de acordo com a profundidade (a cada 20 cm). Os principais procedimentos de coleta em

afloramentos tipo paredão ou barranco foram de medir e descrever detalhadamente cada horizonte, por meio de ação tátil visual com identificação do topo e da base de toda a exposição da rocha.

As amostras de subsuperfície coletadas com trado manual correspondem aos Pontos P1, P6, P7, P8, P10, P13 e P15, enquanto as amostras P2, P3, P4, P5, P9, P11, P12 e P14 foram coletadas em afloramentos de solos na superfície do terreno. Em cada ponto foram coletadas amostras em profundidades diferentes conforme observa-se na Tabela 1.

Tabela 1. Pontos de amostragens georreferenciados

Pontos	Coordenadas UTM		Profundidade (m)
	X	Y	
P1-1	796589	9656346	0,0 - 0,2
P1-2			0,4 - 0,6
P2-1	796692	9656490	0,0 - 0,2
P2-2			2,0 - 2,2
P3-1	765303	9640403	0,0 - 0,2
P3-2			2,0 - 2,5
P3-3			3,0 - 3,5
P4-1	750564	9655426	0,0 - 0,2
P4-2			2,0 - 3,0
P5-1	730685	9688831	0,0 - 0,2
P5-2			0,2 - 0,4
P5-3			0,4 - 0,6
P5-4			1,5 - 1,8
P6-1	740050	9685745	0,0 - 0,2
P6-2			0,2 - 0,4
P6-3			0,4 - 0,6
P6-4			0,6 - 0,8
P6-5			0,8 - 1,0
P7-1	728048	9710411	0,0 - 0,2
P7-2			0,4 - 0,6
P7-3			0,8 - 1,0
P8-1	748934	9717204	0,0 - 0,2
P8-2			0,4 - 0,6
P8-3			0,8 - 1,0
P9-1	776210	9687948	0,0 - 0,2
P9-2			1,0 - 1,2
P10-1	776222	9687940	0,0 - 0,2
P10-2			0,4 - 0,6
P11-1	768005	966809	0,0 - 1,0
P11-2			1,0 - 1,5
P11-3			1,5 - 4,0
P11-4			4,0 - 6,0
P12-1	748186	9687946	0,0 - 0,5
P12-2			2,0 - 4,0
P13-1	728481	9712840	0,0 - 0,2
P13-2			0,4 - 0,6

Pontos	Coordenadas UTM		Profundidade (m)
	X	Y	
P14-1	729847	9713408	0,0 - 0,2
P15-1			0,0 - 0,2
P15-2	729885	9687784	0,4 - 0,6
P15-3			0,8 - 1,0

Fonte: Autores (2023).

Análises laboratoriais tradicionais

Todas as amostras foram secas a uma temperatura ambiente e destorroadas. Posteriormente foram quarteadas e passaram por uma malha de peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar – TFSA. Alíquotas foram separadas para análises física, mineralógica e espectral. Os solos estudados fazem parte da biblioteca espectral de solos do Brasil (DEMATTE, 2017).

Os atributos físicos avaliados foram os teores de areia, silte, argila determinados por análises granulométricas por dispersão total, utilizando o método da pipeta conforme Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997). A classificação textural seguiu o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas-UFAM.

A identificação mineralógica foi realizada pela técnica de difratometria de raios-X (XRD) em amostras totais, pelo método do Pó por meio dos padrões do banco de dados do ICDD-PDF (International Center for Diffraction Data – Powder Diffraction File), realizadas no laboratório de Análises Mineraias – LAMIN do Serviço Geológico do Brasil CPRM – Manaus. Utilizou-se o difratômetro de raios-x modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical, com Goniômetro PW 3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios-x cerâmico de anodo de Cu (Ka11,5406 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kv, o detector utilizado é do tipo RTMS, Pixcel/1D.

Análises laboratoriais espectroscópicas

As leituras espectrais das amostras foram realizadas em laboratório, de acordo com metodologia descrita por Bellinaso (2009), utilizando espectrorradiômetro FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, Colorado, EUA), com medições na faixa de 350 a 2.500 nm e resolução espectral de 1 nm. Os dados de reflectância foram transformados como descrito por Viscarra-Rossel et al. (2009), a fim de eliminar ruídos e simplificar a interpretação e aplicação. Desta forma os valores de reflectância foram centrados pela média (mean centred) e transformados de reflectância para logaritmo do inverso da reflectância (log 1/R), sendo também submetidos ao filtro de Savitsky-Golay, depois de obtida a primeira derivada.

Na análise espectral dos solos nas regiões VIS-NIR-SWIR buscou-se avaliar a predição das frações granulométricas e identificar a composição mineralógica do

solo, de acordo com a MIRS - Interpretação Morfológica do Espectro de Refletância (DEMATTÊ, 2014). As análises espectrais foram realizadas no laboratório do Departamento de Ciências do Solo/GeoCis da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo Esalq/USP, cuja equipe atua na vanguarda das bases da pedologia estudada pelas geotecnologias.

Para realização das análises foram utilizadas alíquotas de 50g da fração TFSA na obtenção dos espectros de solos condicionadas em placas de petri. Posteriormente, foram escaneadas com auxílio do espectrorradiômetro FieldSpec Pro que possui resolução espectral de 1 nm para comprimentos de onda de 350 a 1.100 nm e 2 nm para comprimentos de onda de 1.100 a 2.500 nm (Figuras 3 e 4). A refletância de cada amostra foi dada pela média de 3 leituras do sensor. O coletor de luz foi colocado na posição vertical a 8 cm da amostra. A fonte de luz foi uma lâmpada halógena de 50 W. Como padrão de referência, foi utilizada uma placa branca Spectralon e considerada o padrão de 100% de refletância. Os gráficos de refletância espectral foram elaborados no software Excel.



Figura 3. Preparação das amostras em alíquotas condicionadas em placas de petri para leitura no Fieldspec. **Fonte:** Autores (2023).

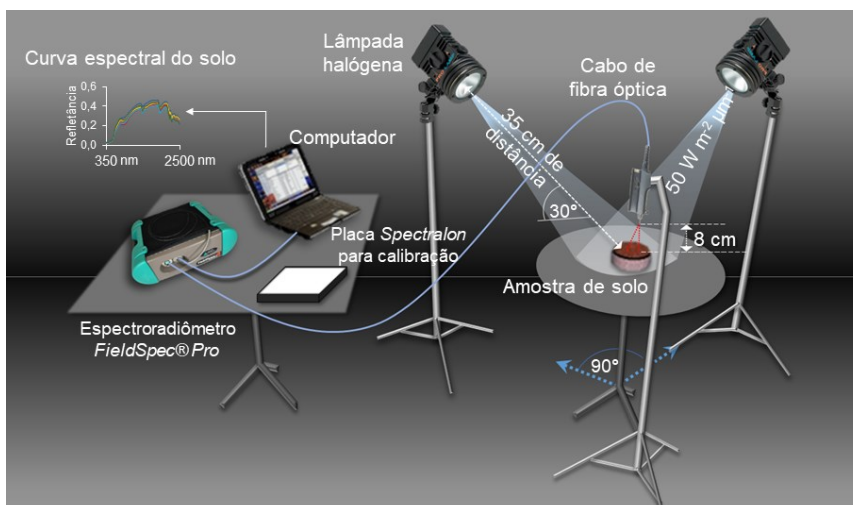


Figura 4. Esquema representativo da geometria de aquisição de dados, equipamento Fieldspec. **Fonte:** Poppiel (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do trabalho compreendem, os dados das análises granulométricas, mineralógicas e espectrais por sensor terrestre das amostras estudadas. A Tabela 2 compõe dos pontos de amostragem, da profundidade de coleta, das porcentagens da análise granulométrica quanto ao teor de areia, silte e argila e, respectivas classes texturais via classificação SiBCS.

Tabela 2. Análise granulométrica e textural.

Pontos	Profundidade (m)	Granulometria ¹ %			Textura
		Areia	Silte	Argila	
P1-1	0,0 - 0,2	36,9	15,2	47,8	argilosa
P1-2	0,4 - 0,6	35,3	16,3	48,4	
P2-1	0,0 - 0,2	67,2	6,2	26,5	areno-argilosa
P2-2	2,0 - 2,2	66,0	4,8	29,2	
P3-1	0,0 - 0,2	37,0	14,5	48,3	argilosa
P3-2	2,0 - 2,5	31,0	12,0	57,0	
P3-3	3,0 - 3,5	20,4	22,3	57,2	
P4-1	0,0 - 0,2	96,6	1,3	2,0	arenosa
P4-2	2,0 - 3,0	98,0	0,5	1,5	
P5-1	0,0 - 0,2	94,8	1,9	3,1	arenosa
5-2	0,2 - 0,4	96,8	2,2	1,0	
P5-3	0,4 - 0,6	96,0	1,9	1,9	
P5-4	1,5 - 1,8	85,3	4,0	10,6	
P6-1	0,0 - 0,2	92,0	1,4	5,4	arenosa
P6-2	0,2 - 0,4	89,5	2,5	8,0	
P6-3	0,4 - 0,6	73,3	5,8	20,7	
P6-4	0,6 - 0,8	77,2	5,3	17,3	
P6-5	0,8 - 1,0	90,5	1,9	7,5	

Pontos	Profundidade (m)	Granulometria ¹ %			Textura
		Areia	Silte	Argila	
P7-1	0,0 - 0,2	86,3	3,4	10,1	arenosa
P7-2	0,4 - 0,6	73,1	4,8	21,9	
P7-3	0,8 - 1,0	86,0	2,0	12,0	
P8-1	0,0 - 0,2	52,7	7,7	39,4	argilosa
P8-2	0,4 - 0,6	45,1	8,7	46,0	
P8-3	0,8 - 1,0	38,1	7,1	54,8	
P9-1	0,0 - 0,2	77,4	3,8	18,8	areno-argilosa
P9-2	1,0 - 1,2	74,8	3,4	21,7	
P10-1	0,0 - 0,2	85,3	3,9	10,7	arenosa
P10-2	0,4 - 0,6	94,0	1,0	5,0	
P11-1	0,0 - 1,0	38,1	14,8	47,0	argilosa
11-2	1,0 - 1,5	16,5	31,7	51,8	
P11-3	1,5 - 4,0	28,5	12,9	58,4	
P11-4	4,0 - 6,0	30,3	11,5	58,1	
P12-1	0,0 - 0,5	74,0	4,0	21,9	arenosa
P12-2	2,0 - 4,0	73,0	1,0	6,0	
P13-1	0,0 - 0,2	94,4	2,0	3,5	areno-argilosa
P13-2	0,4 - 0,6	98,0	0,5	1,5	
P14-1	0,0 - 0,2	45,8	10,8	43,2	arenosa
P15-1	0,0 - 0,2	87,9	3,1	9,7	areno-argilosa
P15-2	0,4 - 0,6	98,0	0,5	1,5	
P15-3	0,8 - 1,0	93,9	2,1	3,9	

Fonte: Autores (2023). ¹ Análises realizadas em laboratório tradicional.

Com base nos dados morfológicos, analíticos e posição no relevo, todos os perfis foram classificados no primeiro nível categórico do SiBCS (Embrapa, 2006). As classes distinguidas foram: pontos P5, P4, e P15 como Espodossolos; P6, P7 e P13 como Neossolos (sedimentos recentes do Holoceno); P11 como Plintossolo; P2 como Argissolo e P1, P3, P8, P9 e P12 como Latossolos.

Segundo a classificação do SiBCS, os Espodossolos são solos com textura predominantemente arenosa, sendo menos comumente textura média e raramente argilosa (tendendo para média ou siltosa) no horizonte B espódico, ocorrem em relevo plano, suave ondulado e ondulado. Nesse contexto, correlacionamos os pontos P4, P5 e P15 que apresentaram textura predominantemente arenosa, encontrados em zonas de relevo plano na porção Oeste da área. Somente no ponto P5 foi possível observar o horizonte espódico, nos outros pontos além de algumas características de Espodossolos, levou-se em consideração a proximidade com as áreas de ocorrência de Espodossolos já descritos pelo projeto RadamBrasil.

Os solos nos pontos P6, P7, P10 e P13 foram localizados nas proximidades de rios e igarapés, sendo predominantemente arenosos e constituindo os sedimentos recentemente depositados no Holoceno, classificados como Neossolos conforme a Embrapa (2006). Estes solos apresentam uma composição com fases minerais ou material orgânico pouco espesso (inferior a 50 cm), com uma expressão limitada de processos pedogenéticos devido à baixa intensidade desses processos. Isso resulta na ausência de modificações significativas no material original, seja por

características intrínsecas, resistência ao intemperismo, composição química, ou devido às características do relevo, que podem restringir ou impedir a evolução substancial desses solos.

Solos com textura média foram encontrados em zonas de planície de inundação fluvial (várzea), terraços fluviais, ilhas do arquipélago, predominam as frações mais finas, silte e argila, correspondendo aos solos Argissolos, Plintossolos e Gleissolos, P2, P11 e P14 respectivamente. No ponto P2 foi observado horizonte diagnóstico B textural argiloso alta atividade, caracterizando-o como Argissolo e em concordância com mapa pedológico do IBGE (2017).

As camadas de Petroplintita constatadas no ponto P11, áreas de encosta, ocorrem, possivelmente, em razão da drenagem mais acentuada, o que resulta em menor infiltração e um menor teor de umidade nos perfis das encostas. Os hidromórficos Gleissolos, representado pelo P14, caracterizam-se por forte gleização, resultante de processos de intensa redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação de nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico, presentes nas ilhas do arquipélago de Anavilhanas.

Os Latossolos, correspondentes aos pontos P1, P3, P8, P9 e P12, apresentam textura argilosa, e encontram-se em áreas de relevo plano a suave ondulado, onde há maior infiltração de água e condições que facilitam a dissolução de óxidos de ferro em áreas de baixa elevação.

Mineralogicamente, os solos de terra firme são compostos por caulinita, quartzo, gibbsita, hematita associados a zonas bem drenadas desenvolvidos em sedimentos mais antigos. Na várzea, onde ocorrem as deposições mais recentes, com períodos de inundações sazonais, identificou-se uma diversidade mineralógica composta por quartzo, caulinita, illita, gibbsita, rutilo e feldspato potássico.

A fase mineral referente a hematita foi identificada, em teores mais elevados, nos pontos P3, P10, P11 e P12, e correspondem a Latossolos e Plintossolos. Também foram identificados fragmentos de crostas ferruginosas e, no ponto P10, baixos teores de magnetita. Provavelmente, a ocorrência de hematita está associada a possível gênese dos Latossolos amazônicos, os quais teriam sido formados, segundo (COSTA, 1991; HORBE, 1997; IRION, 1982; LUCAS, et al., 1989), pela destruição de crostas ferruginosas lateríticas em períodos mais secos.

Descrição das curvas espectrais dos solos em estudo

As curvas de reflectância espectral VIS-NIR-SWIR das principais classes de solo são ilustradas nas figuras 5 a 9. De modo geral, as diferentes ordens de solos apresentaram assinaturas espectrais semelhantes na região VIS-NIR-SWIR, com exceção dos Espodossolos. Além disso, em cada classe de solo, as curvas espectrais dos solos indicaram semelhanças quanto à intensidade e ocorrência das bandas de absorção. Os espectros de solo de todas as ordens mostraram

características de absorção proeminentes a 1400, 1900 e 2200 nm, no entanto, para os Espodosolos essas características de absorção foram menos evidentes.

Os Espodosolos identificados nos pontos P4, P5 e P15 apresentaram textura arenosa, sendo as curvas mostrando inclinação ascendente até 800 nm e posteriormente apresentam-se planas. A fase mineral predominante é o quartzo (SiO_2), apesar que por DRX ter sido identificado baixos teores de caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), não foi possível observar as bandas de absorção característicos desse mineral.

Todos os pontos amostrais apresentaram em seus horizontes superficiais a resposta espectral menor, quando comparados aos horizontes mais profundos, reflexo do maior teor de matéria orgânica nos horizontes superficiais dos perfis analisados.

As amostras mais superficiais 0,0 – 0,20 cm apresentaram menor reflectância devido a presença de matéria orgânica nos pontos P4-1, P5-1, P15-1. Conforme descrito por Pinheiro (2017) os Espodosolos apresentaram altos porcentagens de areia com predomínio de quartzo na fração areia, que por sua vez não apresentam características de absorção proeminentes na região VIS-NIR-SWIR. Observou-se nos materiais que compõem os depósitos sedimentares Holocênicos (P13) um alto teor de areia e que sua curva espectral foi similar aos Espodosolos (Figura 5), denotando os distintos solos terem a mesma textura.

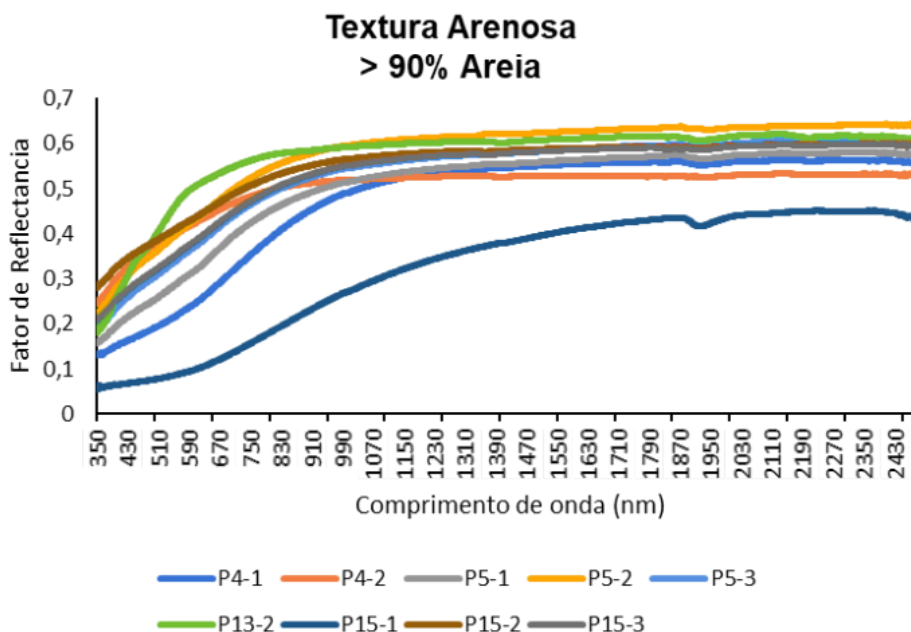


Figura 5. Curvas Espectrais de textura arenosa, com teor > 90% de areia e imagens dos pontos P4, P5, P15 (Espodosolos) e P13 (depósitos sedimentares Holocênicos). **Fonte:** Autores, (2023).

No entanto, foram identificados, também depósitos sedimentares Holocênicos caracterizados por uma textura arenosa, porém com teor de areia menor que 90% e maior que 45% cuja forma retratam curvas ascendentes, planas e descendentes (Figura 6). Essa variação de formas, decerto está relacionada ao menor teor de quartzo. Identificou-se, também, outras fases minerais constituintes que apresentam curvas características dos óxi-hidróxidos de ferro (hematita Fe_2O_3 e goethita $\text{FeO}(\text{OH})$), na região espectral de 420 a 950 nm com feições concavas e convexas. Já em 2200 nm identificou-se caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) caracterizada por um degrau ou ombro do lado esquerdo da zona de absorção deste argilomineral, conforme descrito por Galvão, (2008); Genú, (2010); Meneses e Madeira-Netto (2001) e por Tian e Philpot (2015).

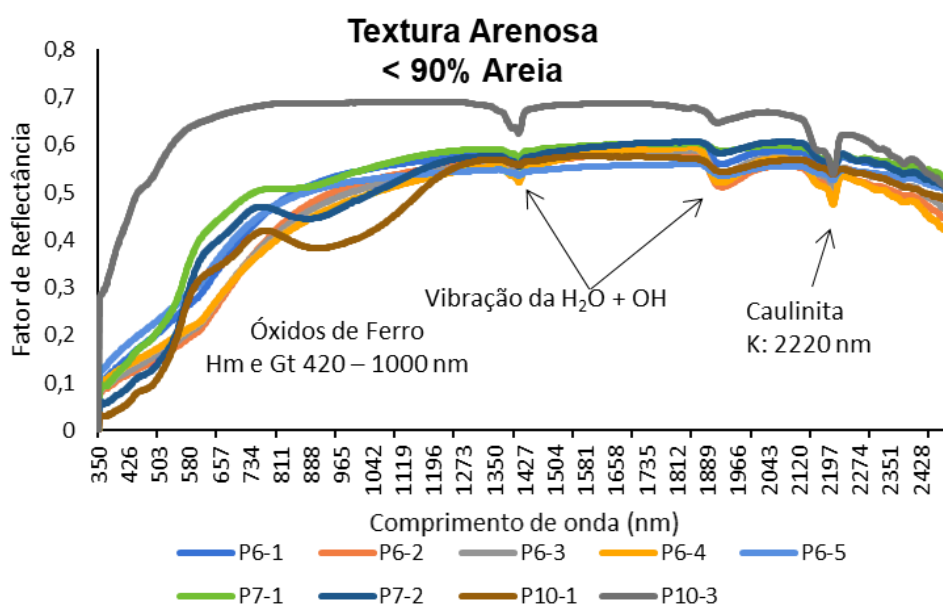


Figura 6. Curvas Espectrais de textura arenosa, teor > 90% de areia e imagens dos pontos amostrais P6, P7 e P10 (depósitos sedimentares Holocênicos). **Fonte:** Autores, (2023).

Na análise mineralógica por DRX notou-se a presença da gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) e magnetita (Fe_3O_4) no ponto P10, o mesmo não acontecendo quando analisado na curva espectral, certamente, por essa amostra está correlacionada a solos arenosos Recentes, ou seja, solos jovens (Figura 6).

Na figura 7 vê-se solos com textura média com reflectância na faixa de 0,7, diferente das amostras argilosas que apresentaram intensidade menor, sendo as demais características similares a amostras argilosas com baixo teor de ferro. As curvas espectrais mostraram-se na forma ascendente e descendente com absorções características, também, de hematita, goethita e caulinita.

De acordo com mapa pedológico do IBGE (2017), o solo identificado no P2 está relacionado à Argissolos e, dos pontos P9 e P12 estão relacionados aos Latossolos. Analisando o comportamento da curva espectral desses dois tipos de solos não se identificam grandes diferenças. Verificou-se que no P14-1 associado a solos Gleissolos, a curva espectral mostrou ausência de oxi-hidróxidos de ferro,

características desses tipos de solos que são formados em ambiente de prolongado encharcamento propiciando a redução e remoção do ferro. Já nas formas convexas das curvas dos Gleissolos, percebeu-se que possuem na faixa inicial, espectro semelhante ao que foi observado para Gleissolos nos trabalhos de Demattê, (2017) e Genú, (2010).

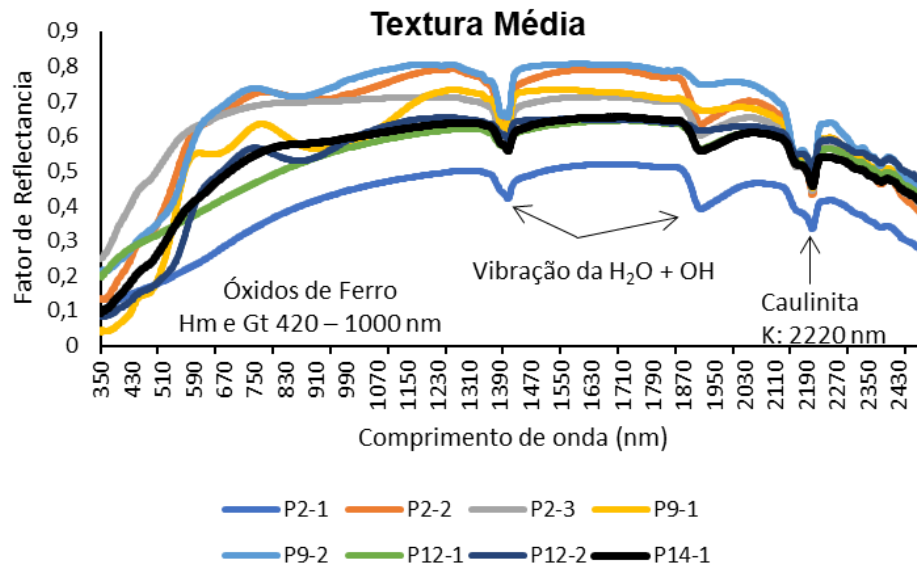


Figura 7. Curvas Espectrais de textura média e imagens dos pontos P2, P9, P12 (Latosolos) e P14 (Gleissolos). **Fonte:** Autores, (2023).

A resposta espectral mostradas na figura 8 compreende amostras com textura argilosa com intensidade em torno de 0,6. Os albedos com inclinação ascendentes e descendentes, apresentam feições características discretas de hematita e goethita na região compreendida entre 420 e 950 nm, caulinita em 2200 nm conforme apresentado por Demattê, (2017) correlacionados a Latossolos.

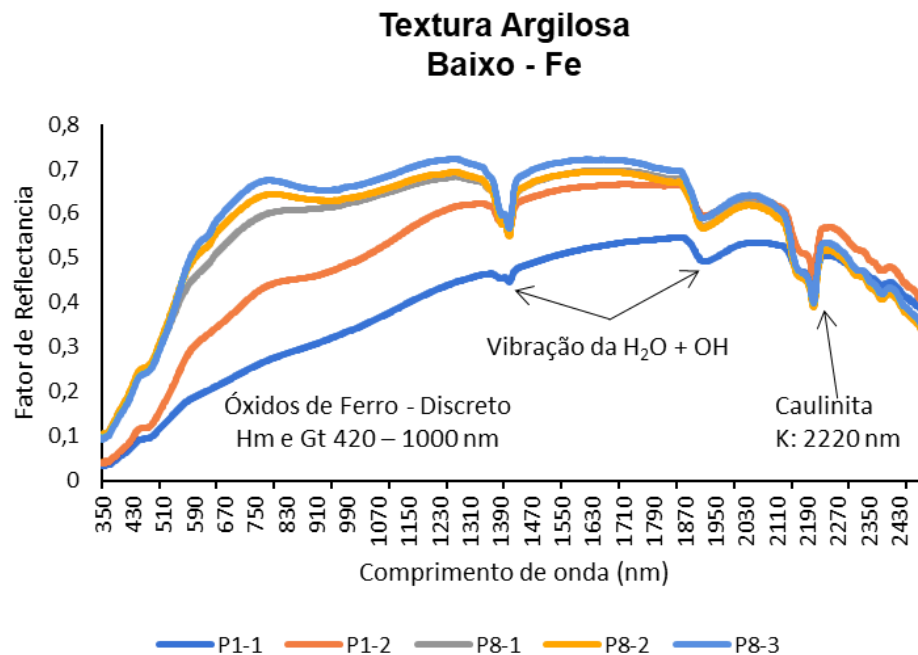


Figura 8. Curvas Espectrais de textura argilosa e imagens dos pontos P1 e P8 (Latosolos). **Fonte:** Autores, (2023).

A figura 9 mostra materiais de textura argilosa, porém com teores mais elevados de ferro. Foi observado absorções mais pronunciadas de goethita na região 480 nm e hematita a 650 nm. Considerou-se que a forma côncava na região 750 a 1150 nm está relacionada tanto a hematita como goethita. Essas amostras foram correlacionadas a Plintossolos (P11) e Latossolos (P3) com presença de concreções ferruginosas compondo perfis lateríticos típicos da Amazônia.

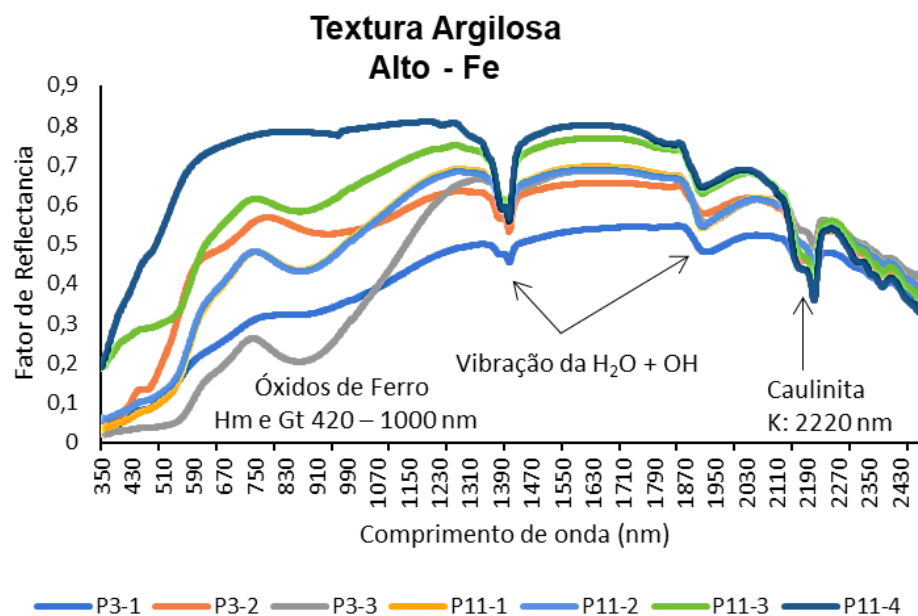


Figura 9. Curvas espectrais de textura argilosa, alto teor de ferro e imagens dos pontos P3 (Latosolos) e P11 (Plintossolos). **Fonte:** Autores, (2023).

Todos os pontos apresentaram em seus horizontes subsuperficiais uma resposta espectral menor, quando comparados aos horizontes mais profundos, reflexo do maior teor de matéria orgânica nos horizontes subsuperficiais dos perfis analisados.

Constatou-se que as curvas espectrais estão de acordo com os estudos que vem sendo desenvolvidos nos últimos anos via espectroscopia de refletância em solos. Foi possível comparar os dados espectrais com os resultados das análises tradicionais de solos como a granulometria e mineralogia por DRX, onde a espectroscopia mostrou-se importante ferramenta nessa identificação.

A Tabela 3 mostra os resultados comparativos de textura e tipo de solos realizados pelas análises tradicionais e espectroscópicas, no qual podemos verificar as semelhanças entre as duas técnicas.

Os solos estudados apresentaram, em sua maioria, bandas de absorção semelhantes no VIS-NIR-SWIR, diferindo na porcentagem de reflectância, atribuída, em sua maior parte, à textura desses solos, ou seja solos com textura argilosa e média apresentaram um fator de reflectância entre 0,5 e 0,8 enquanto nos solos com textura arenosa 0,5 – 0,6. A similaridade das bandas de absorção se deve ao fato de que a mineralogia desses solos são muito semelhantes, sendo constituída, em geral, por óxidos de ferro, gibbsita e caulinita, com presença menos comum de minerais 2:1.

Na análise do comportamento espectral dos solos, foram observados três picos de maior absorção na região do SWIR, em torno de 1.400 e 1.900, os quais correspondem as bandas de absorção atribuídas à vibração molecular dos grupos OH da água adsorvida nos argilominerais (HUNT, 1980) e entre 1.400 e 2.200 nm onde ocorrem bandas de absorção devido às vibrações moleculares dos grupos OH e Al-OH, sendo típicas da presença de caulinita e/ou montmorilonita nos minerais (HUNT e SALISBURG, 1970).

Curvas espectrais semelhantes foram observadas na classe dos Latossolos, Argissolos e Plintossolos com inclinações ascendentes, planas e descendentes com formas concavas e convexas, porém em Plintossolos as formas concavas e convexas são mais intensas devido o teor elevado de oxi-hidróxidos de Fe. A presença de caulinita com alto teor foi observada, tanto no DRX como na curva espectral. Já a gibbsita foi identificada no DRX, mas não foi na curva espectral, provavelmente, por se apresentar de forma discreta no DRX. A feição de absorção dupla, característica da caulinita, ocorre próxima aos 2.200 nm em função das vibrações causadas pelo dobramento das ligações Al-OH (HUNT, 1971).

O quartzo, principal constituinte mineral da fração areia, promoveu maior reflectância na resposta espectral dos Neossolos e Espodossolos com textura predominantemente arenosa, diferentemente de Demattê, (2000) que afirmaram identificar maior reflectância, quando comparados a solos argilosos. Porém, esta informação concorda com Pinheiro, (2017) em relação a forma das curvas que são

ascendentes e planas. Esses solos apresentam feições de absorção menos significativas na fração argila constatados na maioria dos solos em estudo.

A presença de minerais 2:1 observados na análise por DRX, não foi identificada na curva espectral, provavelmente, por se tratar de curvas sem tratamento adequado.

O Gleissolo apresentou basicamente a mesma constituição da maioria dos solos analisados. Pela análise da sua curva espectral, verifica-se feições de absorção da caulinita em 2.200 nm. Com exceção dos Espodossolos e Gleissolos foi possível notar as feições de absorção provenientes dos óxidos de ferro (goethita e hematita), na região do VIR (480 a 550 nm) e NIR (850 a 900 nm), que advêm de processos eletrônicos originados pelo campo cristalino desses minerais (HUNT, 1980).

A matéria orgânica não possui feições específicas de absorção, no entanto promove uma redução na reflectância dos alvos mascarando feições de outros constituintes. Esse efeito é mais acentuado entre os comprimentos de onda de 400 a 1.100 nm, observado praticamente em todos os solos onde o horizonte A apresentou menor intensidade de reflectância que o horizonte B ou mesmo C, sendo tal efeito minimizado acima de 1.100 nm.

Tabela 3. Comparação de análises tradicionais e espectrais no estudo do solo.

Análises Tradicionais			Análise Espectral Espectrorradiômetro			Tipo de solo SiBCS
Pontos	Textur a SiBCS	Minerais DRX	Textura			Mineral
			Fator de Reflectância	Forma	Classe	
P1-1 P1-2	Argilos a	Qtz, Kln, Gbs, Hem, Gt	0,5 0,7	Ascendente Descendent e	Argilos a	caulinita 2220 nm; goethita/hematite 350 a1000nm Latossolo
P2-1 P2-2 P2-3	Média	Qtz, Kln Qtz, Kln Qtz, Kln, Rt	0,5 0,8 0,7	Ascendente, Plana e Descendent e Formas concavas e convexas	Média	caulinita 2200 nm goethita/hematite 350 a1000nm Argissolo
P3-1 P3-2 P3-3	Argilos a	Qtz, Kln, Kln Qtz, Kln, Rt Qtz, Kln Hem	0,5 0,6 0,6	Ascendente c/ formas concavas e convexas	Argillos a	caulinita 2200 nm goethita/hematite 350 a1000nm Latossolo
P4-1 P4-2	Arenos a	Qtz Qtz	0,5 – 0,6	Ascendente e Plana	Arenos a	- Espodossolo

Análises Tradicionais			Análise Espectral Espectrorradiômetro				Tipo de solo SiBCS
Pontos	Textura SiBCS	Minerais DRX	Textura			Mineral	
			Fator de Reflectância	Forma	Classe		
P5-1 P5-2 P5-3 P5-4	Arenosa	Qtz Qtz Qtz Qtz, Kln	0,5 – 0,6	Ascendente e Plana	Arenosa	- caulinita 2200nm - discreta	Espodossolo
P6-1 P6-2 P6-3 P6-4 P6-5	Arenosa	Qtz, Kln Qtz, Kln, Gbs Qtz, Kln Qtz, Kln	0,5 - 0,6	Ascendente e Descendente	Arenosa	caulinita 2200nm	Neossolo
P7-1 P7-2 P7-3	Arenosa	Qtz, Kln, Gbs Qtz, Kln, Gbs Qtz, Kln, Gbs	0,5 – 0,6	Ascendente e Descendente	Arenosa	caulinita 2200 nm goethita/ hematite 350 a1000nm	Neossolo
P8-1 P8-2 P8-3	Argilosa	Qtz, Kln, Gbs Qtz, Kln, Gbs Qtz, Kln, Gbs	0,7	Ascendente e Descendente	Argilosa	caulinita 2200 nm goethita/ hematite 350 a1000nm	Latossolo
P9-1 P9-2	Média	Qtz, Kln, Gt, Hem	0,7 – 0,8	Ascendente e Descendente	Média	caulinita 2200 nm goethita/ hematite 350 a1000nm	Latossolo
P10-1 P10-2	Arenosa	Qtz, Kln, Mag Qtz, Kln	0,5 - 0,6	Ascendente e Plana	Arenosa	caulinita 2200 nm goethita/ hematite 350 a 1000nm	Neossolo
P11-1 P11-2 P11-3 P11-4	Argilosa	Qtz, Kln, Hem,Gt Qtz, Hem, Gt Qtz, Kln	0,6 – 0,8	Ascendente e Descendente	Argilosa	caulinita 2200 nm goethita/ hematite 350 a 1000nm	Plintossolo

Análises Tradicionais			Análise Espectral Espectrorradiômetro				Tipo de solo SiBCS
Pontos	Textura SiBCS	Minerais DRX	Textura			Mineral	
			Fator de Reflectância	Forma	Classe		
P12-1 P12-2	Média	Qtz, Kln Qtz, Kln, Gt, Hem	0,6 - 0,7	Ascendente e Descendente	Média	caulinita 2200 nm goethita/hematita 350 a 1000nm	Latossolo
P13-1 P13-2	Arenosa	Qtz Qtz, Kln, Rt, Qtz, Kln, Rt, Fsp	0,6	Ascendente e Plana	Arenosa	caulinita 2200 nm - discreta	Neossolo
P14-1 P14-2	Média	Qtz, Kln, Ill, Gbs, Rt, Fsp Qtz, Kln, Gbs, Rt	0,6	Ascendente e Descendente	Média	caulinita 2200 nm	Gleissolo
P15-1 P15-2 P15-3	Arenosa	Qtz, Kln Qtz, Kln Qtz	0,3 – 0,6	Ascendente e Plana	Arenosa	caulinita 2200 nm - discreta	Espodossolo

*Qtz – Quartzo, Kln – Caulinita, Gbs – Gibbsita, Gt - Goethita, Hem – Hematita, Rt- Rutilo, Mag – Magnetita, Fsp – Feldspato, Ill – Illita. Fonte: Autores, (2023).

CONCLUSÃO

Concluimos que os resultados apresentados indicaram que as características espectrais dos solos na região do Parque Nacional de Anavilhanas e seu entorno são significativamente influenciadas pela textura e mineralogia.

A utilização da espectroscopia de reflectância na faixa do VIS-NIR-SWIR demonstrou-se uma técnica eficaz para análises de levantamento, classificação, manejo e monitoramento ambiental do solo. Este método evidenciou eficiência na caracterização de classes texturais, mineralogia e teor de matéria orgânica, destacando seu potencial para estudos pedológicos.

Embora a presença da gibbsita não tenha sido identificada na curva espectral, possivelmente devido à utilização de dados brutos, a análise mineralógica por DRX confirmou a presença em alguns tipos de solo. Sugere-se em pesquisas semelhantes a aplicação da técnica de remoção do contínuo para melhor clareza na identificação desse mineral na curva espectral.

Também se notou que resultados das análises revelaram a eficácia tanto dos dados espectrais quanto dos dados convencionais em que as curvas espectrais dos solos se mostraram como uma ferramenta valiosa para compreender o comportamento das propriedades do solo. A espectroscopia emergiu como uma alternativa excelente para complementar o método tradicional, proporcionando uma identificação econômica e eficiente das texturas e minerais do solo, alinhada aos princípios da sustentabilidade para a região amazônica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem, primeiramente, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq, pela concessão de Bolsa de mestrado. (processo número 132641/2019-4). Ao projeto TAR - Interação Tempo – Água – Rocha e a formação da Bacia Hidrográfica do rio Negro Amazonas – Brasil (apoiado pelo Programa da CAPES PROCAD-Amazônia), pelo apoio logístico na fase de amostragem. Ao Grupo de Pesquisa Geotecnologias em Ciência do Solo (Geocis) pela realização das análises espectrais dos solos do PNA. Ao Serviço Geológico do Brasil – SBG, pelo apoio nas análises mineralógicas e a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado do Amazonas (FAPEAM) pelo financiamento de parte dos trabalhos de campo dos autores.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Concepção: Raimundo Humberto Cavalcante Lima e Deborah Monteiro. **Metodologia:** Raimundo Humberto Lima e Deborah Monteiro. **Análise formal:** Raimundo Humberto Lima, Solange Costa. **Pesquisa:** Raimundo Humberto Lima, Deborah Monteiro, Solange Costa, Erik Santos. **Recursos:** Raimundo Humberto Lima. **Preparação de dados:** Raimundo Humberto Lima, Deborah Monteiro, Solange Costa, Erik Santos. **Escrita do artigo:** Raimundo Humberto Lima, Deborah Monteiro. **Revisão:** Raimundo Humberto Lima e Solange Costa. **Supervisão:** Raimundo Humberto Lima. **Aquisição de financiamento:** Raimundo Humberto Lima.

Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ALVES, N.D.S. **Mapeamento hidromorfodinâmico do complexo fluvial de Anavilhanas: contribuição aos estudos de geomorfologia fluvial de rios Amazônicos.** 2013 (Doctoral Dissertation, Universidade de São Paulo), São Paulo, 2013.
- BELLINASSO, H. **Biblioteca espectral de solos e sua aplicação na quantificação de atributos e classificação.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BONETT, J.P.; TAMAYO, C.J.H.; LÓPEZ, L.R. Espectroscopia de infrarrojo medio para la estimación de algunas propiedades del suelo. **Agronomia Colombiana**, n. 33, v. 1, p. 99-106, 2015.

BRASIL, **ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**. 2017. Plano de Manejo do Parque Nacional de Anavilhanas, Novo Airão/AM.

COSTA, M.L. Mineralogia, geoquímica, gênese e epigênese dos lateritos de Jandiá. **Geochimica Brasiliensis**, 4(1):85-110, 1991.

CUNHA, F.M.B.; GONZAGA, F.G.; COUTINHO, L.F.C.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. **Bol. Geoc. Petrob.**, 8:47-55, 1994.

CUNHA, P.R.C; MELO, J.H.G; SILVA, O.B. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p. 227-251, 2007

DEMATTÊ, J.A. .; GIASSON, E.; COUTO, E.G.; SAMUEL-ROSA, A.; DE CASTRO, S. S.; DALMOLIN, R.S.D.; BRILHA, J.; BOTELHO, R.G.M.; AZEVEDO, A; CERRI, C. E. P.; DOS ANJOS, L.H.C.; DE LOURDES MENDONÇA-SANTOS, M.; BOECHAT, C.L.; DO AMARAL, E.F.; DA SILVA JÚNIOR, J.F.; JUNIOR, A.F.N.; POPPIEL, R.R.; HORST, T.Z.; DA SILVA, L.M.; PEREIRA, M.G. The Brazilian soil priorities. **GEODERMA REGIONAL**, v. 22, p. e00503, 2022.

DEMATTÊ, J.A.M.; SAFANELLI, J.L.; POPPIEL, R.R.; RIZZO, R.; SILVERO, N.E.Q.; MENDES, W.D.S.; LISBOA, C.J.D.S. Bare earth's surface spectra as a proxy for soil Resource monitoring. **Scientific Reports**, 10(1), 1-11, 2020.

DEMATTÊ, J.A.M.; TERRA, F.S. Spectral Pedology: A new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations. **Geoderma** 218, 190-200, 2014.

DEMATTÊ, J.A.M., HORÁK-TERRA, I., BEIRIGO, R.M., TERRA, F. DA S., MARQUES, K.P.P., FONGARO, C.T., SILVA, A.C., VIDAL-TORRADO, P. Genesis and properties of wetland soils by VIS-NIR-SWIR as a technique for environmental monitoring. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 197, p. 50–62, 2017.

DUNN, B.W.; BEECHER, H.G.; BATTEN, G. D.; CIAVARELLA, S. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis - **a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia**, Aust J Exp Agric, 42: 607-614, 2002.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária** - Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Manual de métodos de análise de solo (1997). 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 212p.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária** – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. (2006) Sistema Brasileiro de classificação de Solos. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306 p.

FALESI, I.C. Estado atual de conhecimentos de solos da Amazônia brasileira. **Anais do 1º. Simpósio do Trópico Úmido**. Belém: EMBRAPA-CPATU; 1986a. p.168-91.

FERREIRA, M.S.; FONTES, M.P.F.; BELLATO, C.R. MARQUES NETO, J. OLIVEIRA; LIMA, H.N.; FENDORF, S. Geochemical signatures and natural background values of rare earth elements in soils of Brazilian Amazon. **ENVIRONMENTAL POLLUTION**, v. 277, p. 116743, 2021.

FILIZOLA, N. Caracterização hidro-geomorfológica da área fluvial fazer Parque Nacional fazer Arquipélago de Anavilhanas – Rio Negro, SOU (**Relatório de Pesquisa**). Universidade Federal do Amazonas, 2014

- GALVÃO, L.S.; FORMAGGIO, A.F.; COUTO, E.G.; ROBERTS, D.A. Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography from hyperspectral remote sensing data. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Amsterdam, v. 63, n. 2, p. 259–271, 2008.
- GARCIA, C. H. P.; LIMA, H. N.; SILVA, F. W. R.; NEVES JUNIOR, A. F.; TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S.; TAVARES, S. G. Chemical properties and mineralogy of soils with plinthite and petroplinthite in Iranduba (AM), Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (Impresso), v. 37, p. 936-946, 2013.
- GENÚ, A. M.; DEMATTÊ, J. A. M.; FIORIO, P. R. Análise espectral de solos da Região de Mogi-Guaçu (SP). *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 1, p. 1235-1244, 2010.
- GENÚ, A. M.; ROBERTS, D.; DEMATTÊ, J. A. M. (2013a). The use of multiple endmember spectral mixture analysis for the mapping of soil attributes using Aster imagery. *Acta Scientiarum Agronomy* 35, 377-386, 2013a.
- HAPKE, B. Reflectance Methods and Applications, Editor(s): John C. Lindon, George E. Tranter, David W. Koppenaal, **Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry** (Third Edition), Academic Press, 2017, Pages 931-935, ISBN 9780128032244, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00019-4>.
- HORBE, A. M. C., COSTA, M. L. D. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílico-ferruginosas. *Acta Amazônica*, 27, 241-256, 1997.
- HUNT, G.R. Electromagnetic radiation: the communication link in remote sensing. In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. **Remote sensing in geology**. New York: J. Wiley & Sons, 1980. p.5-45.
- HUNT, G.R. et al. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III Oxides and hydroxides. *Modern Geology*, New York, v.1, p.195-205, 1971.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Silicate minerals. *Modern Geology*, New York, v.1, p. 283-300, 1970.
- IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Desbravar, Conhecer, Mapear: Memórias do Projeto Radam/Radambrasil IBGE, Gerência de Biblioteca e Acervos Especiais, Rio de Janeiro, Brasil, 2017. 364 p.
- IBGE- **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Mapa de Geomorfologia do Amazonas. Diretoria de Geociências, Rio De Janeiro, 2010.
- ICMBIO - **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**, D., & amp; SILVESTRE, V. (2017) Plano de Manejo da Estação Ecológica de Anavilhanas, 2017. – Assiste.icmbio.gov.br.
- IRION, G. Mineralogical and geochemical contribution to climatic history in Central Amazonia during Quaternary time. *Tropical Ecology* 23: 76–85, 1982.
- KISTLER, P. Historical resume of the Amazon Basin. Belém, **Petrobras//Renor, Relatório interno** 104-A, 1954.
- KWEON, G.; LUND, E.; MAXTON, C.; DRUMMOND, P.; JENSEN, K. In: situ measurement of soil properties using a probe-based VIS-NIR spectrophotometer. **St. Exatas, Universidade Estadual Paulista**, 2005.
- LEE, A. S. E.; BASKERVILLE, R. L. Generalizando a capacidade de generalização na pesquisa de sistemas de informação. **Pesquisa de sistemas de informação**, 14 (3), 221-243, 2003.

- LIMA, H.N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; GILKES, R.J.; KER, J.C. Pedogenesis and pré-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) Western Amazonia. **Geoderma**. 2002; 110:1-17.
- LIMA, L.A.; NEUMANN, M.R.B.; REATTO, A.; ROIG, H.L. Mapeamento de Solos: do tradicional ao digital – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2013. 52 p. – (**Documentos / Embrapa Cerrados**, ISSN 1517-5111, ISSN online 2176-5081,316). V. Série (12) (PDF) Mapeamento de Solos do Tradicional ao Digital.
- LIMA, L.A de S.; NEUMANN, M.R.B; REATTO, A.; ROIG, H.L. Mapeamento de Solos do Tradicional ao Digitais. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2013.
- LUCAS, Y.; KOBILSEK, B.; CHAUVEL, A. Structure, génesis, and present evolution of Amazonian bauxites developed on sediments. In: **Intern. Cong. ICSOBA 6**, Poços de Caldas, Brazil, 1989.
- MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SANTOS, H.G. Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 19 p. - (Embrapa Solos. Documentos; n. 55) ISSN 1517-2627.
- MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J. da S. Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília: Editora Universidade de Brasília; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.
- MOUAZEN, A.M.; SAEYS, W.; XING, J.; BAERDEMAEKER J.; RAMON, H. Espectroscopia de infravermelho próximo para materiais agrícolas: uma comparação de instrumentos. **J. Near Infrared Spectrosc**, 13 (2), pp. 87 – 98, 2005b.
- NEUMANN, M.R. **Mapeamento digital de solos no Distrito Federal**. (Tese de Doutorado), Universidade de Brasília (2012).
- PINHEIRO, É.; CEDDIA, M.; CLINGENSMITH, C.; GRUNWALD, S.; VASQUES, G. Prediction of soil physical and chemical properties by visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy in the central Amazon. **Remote Sensing, Basel**, v. 9, n.4, p. 1-22, 2017.
- POPPIEL R.R., J.A.M. DEMATTÊ, J.A.M.; ROSIN, N. A.; CAMPOS, L.R.; TAYEBI, M., BONFATTI, B.R.B.; AYOUBI, S.; TAJIK, S.; AFSHAR, F.A.; JAFARI, A.; HAMZEHPOUR, N.; TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R.; OSTOVARI, Y.; ASGARI, N.;NAIMI, S.; NABIOLLAHI, K.; FATHIZAD, H.; ZERAATPISHEH, M.; JAVAHERI, F.; DOUSTAKY, M.; NADERI, M.; DEGHANI, S.; ATASH, S.; FARSHADIRAD, A.; MIRZAEI, S.; SHAHRIARI, A.;GHORBANI,M.; RAHMATI,M. High resolution middle eastern soil attributes mapping via open data and cloud computing, **Geoderma**, Volume 385, 2021, 114890.
- POPPIEL, R. R., LACERDA, M. P., DEMATTÊ, J. A., OLIVEIRA JR, M. P., GALLO, B. C., SAFANELLI, J. L. Pedology and soil class mapping from proximal and remote sensed data. **Geoderma**, Amsterdam, v. 348, p. 189-206, 2019.
- RODRIGUES, T.E. Solos da Amazônia. In: Alvarez V VH, Fontes LEF, Fontes MPF. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira das Ciências do Solo**, 1996. p.19-60
- ROZO, J.M.G.; NOGUEIRA, A.C.R.; HORBE, A.M.C.; CARVALHO, A.S. Depósitos Neógenos da Bacia do Amazonas. **Contribuições à Geologia da Amazônia** vol. 4, 201-207, 2005.

SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; TEIXEIRA, W.G.; VALE JR, J.F.; SOUZA, K.W.; CORREIA, G.R.; MENDONÇA, E.F.A.; CAMPOS, M.C.C.; RUIVO, M.L.P. (2017) **Solos da Região Amazônica.**

SILVA, C. L. **Análise da tectônica cenozóica da região de Manaus e adjacências.** Rio Claro, 278 p. 2005 (Tese de doutoramento, Instituto de Geociências e Ciências). SOARES, EAA; TRUCKENBRODT, W; NOGUEIRA, ACR. 2005. Fácies litorâneas e subglaciais da Formação Nhamundá (Siluriano inferior), região de Presidente Figueiredo, Bacia do Amazonas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, 2: 105-132.

TEIXEIRA, W.G.; ARRUDA, W.C.; LIMA, H.N., IWATA S. A.; MARTINS, G. C. Building a digital soil data base of the Solimões river region in the Brazilian Central Amazon. In: Hartemink AE, Mcbratney A, Mendonça-Santos ML, organizadores. **Digital soil mapping** with limited data. Heidelberg: Springer; 2008. p.50-64.

TIAN, J., PHILPOT, W.D. Relationship between surface soil water content, evaporation rate, and water absorption band depths in SWIR reflectance spectra. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 169, p. 280–289, 2015.

VASQUES, G.M., DEMATTÊ, J.A.M.; VISCARRA ROSSEL, R.; RAMIREZ LOPEZ, L.; TERRA, F.S. Soil classification using visible/near-infrared Diffuse reflectance spectra from multiple depths. **Geoderma**, 223-225, 73-78, 2014.

VISCARRA-ROSSEL, R.A.; CATTLE, S.R.; ORTEGA, A.; FOUAD, Y. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis–NIR spectroscopy, **Geoderma**, Volume 150, Issues 3–4, 2009, Pages 253-266, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.025>.

ZHU, A. X. Mapping soil landscape as spatial continua: the neural network approach. **Water Resources Research**, v. 36, p. 663-667, 2000.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0