

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS ARENOSOS SOB CAMPINARANAS  
DA REGIÃO DE MANAUS E PRESIDENTE FIGUEIREDO (AM)**

Manaus, AM

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

GIULIA KETLEN SANCHES OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS ARENOSOS SOB CAMPINARANAS  
DA REGIÃO DE MANAUS E PRESIDENTE FIGUEIREDO (AM)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPGATR), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como parte das exigências para a obtenção do grau de mestre em Agronomia Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima

Manaus, AM

2022

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

O48c Oliveira, Giulia Ketlen Sanches  
Caracterização de solos arenosos sob Campinaranas da região de Manaus e Presidente Figueiredo (AM) / Giulia Ketlen Sanches Oliveira . 2022  
73 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Hedinaldo Narciso Lima  
Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Classificação de solos. 2. Espodossolos. 3. Neossolos Quartzarênicos. 4. Campinaranas. I. Lima, Hedinaldo Narciso. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

GIULIA KETLEN SANCHES OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS ARENOSOS SOB CAMPINARANAS  
DA REGIÃO DE MANAUS E PRESIDENTE FIGUEIREDO (AM)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPGATR), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como parte das exigências para a obtenção do grau de mestre em Agronomia Tropical.

Aprovada em 25 de setembro de 2022.

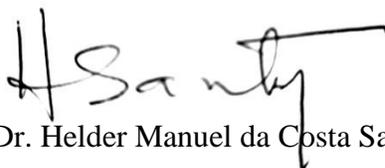
**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 HEDINALDO NARCISO LIMA  
Data: 25/09/2022 12:15:09-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima  
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Afrânio Ferreira Neves Junior  
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Helder Manuel da Costa Santos  
Universidade Federal do Amazonas

## DEDICATÓRIA

*Ao meu avô, Júlio Cardoso Sanches,  
por ter acreditado.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima pela orientação, ajuda e disponibilidade durante todo o período de desenvolvimento deste trabalho.

Ao prof. Dr. Afrânio Neves pela ajuda durante as coletas e interpretação dos dados.

À equipe do Laboratório de Solos da Universidade Federal do Amazonas, principalmente ao técnico de laboratório Vitor Repolho e ao colega Ítalo Braga, pela disponibilidade, paciência e inúmeras horas de ajuda durante o período de análises químicas das amostras.

Ao prof. Msc. Rudyere Nascimento e à prof. Dra. Jaqueline Bezerra por disponibilizarem o Difratômetro de Raios X (DRX) da Central Analítica do Instituto Federal do Amazonas (IFAM) para que as análises de difratometria fossem realizadas.

Às geólogas que fazem parte da Associação Brasileira de Mulheres nas Geociências (ABMGeo), principalmente à colega Marion Freitas, que sempre estiveram dispostas a esclarecer minhas dúvidas sobre conceitos técnico dos quais eu não estava familiarizada. Possibilitando, assim, que os dados deste trabalho fossem melhor interpretados.

Ao prof. Dr. José Ferreira da Silva, pelas conversas, incentivos e por ter me cedido o espaço do Laboratório das Ciências das Plantas Daninhas (LCPD - UFAM) para realização de análises.

Às minhas amigas Olendina Salviano e Oloukemi Adjeran, pelo incentivo, motivação e ajuda durante o período de análises das amostras.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPGATR - UFAM), pela oportunidade e contribuição à minha carreira.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento do projeto “Recuperação de solos arenosos de Campinaranas degradados por mineração de areia para desencadear a restauração ecológica desse ecossistema”, do qual esse trabalho faz parte.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento da bolsa de estudos.

## RESUMO

O Estado do Amazonas abriga uma das maiores áreas de solos arenosos do Brasil, os quais possuem grande importância do ponto de vista ambiental, por estarem associados à ocorrência das Campinaranas, e econômico, por serem a principal fonte de mineração de areia para a construção civil na região metropolitana de Manaus. Os solos arenosos que ocorrem nas proximidades dos centros urbanos são mais impactados pela atividade exploratória, daí a importância em ampliar o conhecimento e as possibilidades de desenvolvimento de tecnologias de restauração dessas áreas. O objetivo desse trabalho foi caracterizar e classificar solos arenosos sob Campinaranas nos municípios de Manaus e Presidente Figueiredo. O estudo foi realizado em cinco áreas de ocorrência de solos arenosos sob Campinaranas, onde foram abertos perfis para fins de caracterização morfológica, química, física e mineralógica. Os solos foram classificados como Neossolo Quartzarênico Órtico típico (P01, P02 e P03), Espodossolo Humilúvico Órtico dúrico (P04) e o Neossolo Quartzarênico Órtico espodossólico (P05). De modo geral os solos se caracterizaram pela consistência solta a muito friável, textura variando de franco arenosa a areia, com predomínio de areia fina, baixos teores de argila, baixa densidade e elevada porosidade. O quartzo foi o único mineral identificado na fração areia, cuja morfologia dos grãos apresentou arredondamento subangular com esfericidade alta. O pH dos solos variou de fortemente ácido à extremamente ácido, as concentrações de  $H^+Al$  e de  $Al^{3+}$  foram maiores nos horizontes superficiais, com exceção do horizonte Bh de P04. A concentração de carbono orgânico total foi mais elevada nos horizontes superficiais e no horizonte Bh de P04 se mostrou diretamente correlacionada com o  $Al^{3+}$ . A CTC efetiva e a CTC total também foram maiores em superfície e nos horizontes Bh de P04 e C4+ de P05. As formas cristalinas de  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$  foram maiores que as amorfas, principalmente no horizonte espódicos e em agregados de matéria orgânica distribuídos no P03, o que evidencia o processo de podzolização e indica que o Al é um importante fator na formação dos horizontes espódicos nesse solo.

**Palavras-chave:** Classificação de solos, Espodossolos, Neossolos Quartzarênicos, Campinaranas.

## ABSTRACT

Amazonas has the most significant areas of sandy soils in Brazil, which have environmental importance once they are associated with the occurrence of Campinaranas. Economically these areas are also important as they are the primary source of sand mining for the construction industry in the metropolitan region of Manaus. Efforts to expand knowledge and develop technologies to restore sandy soils near urban centers are essential, once exploratory activities had more impact on these areas. This research aimed to characterize and classify sandy soils under Campinaranas vegetation in Manaus and Presidente Figueiredo (AM). Soil profiles were opened in five areas of sandy soils under Campinaranas, to describe their morphological and physico-chemical characteristics. Soils were classified as *NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico* (P01, P02 and P03), *ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico* (P04), and *NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico* (P05). Soils were characterized by loose to friable consistency, sandy loam to sand texture, with fine sand predominant, low clay contents, low density, and high porosity. Quartz was the only mineral identified in the sand fraction, whose grain morphology showed subangular roundness with high sphericity. Soil pH ranged from strongly acidic to extremely acidic, H+Al and Al<sup>3+</sup> concentrations were higher on the surface and lower in the sub-soil, except in the Bh horizon (P04). The concentration of total organic carbon was higher on the surface and Bh, which is directly correlated with the Al<sup>3+</sup> concentration. CEC was also higher in the top layers, Bh (P04) and C4+ (P05). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> crystalline concentrations were higher than Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> amorphous, especially in the Bh horizon (P04) and in aggregates structures of organic matter + sand randomly distributed in P03. This data shows the process of podzolization and indicates that Al is an important factor in the formation of spodic horizons in these soils.

**Key words:** Soil classification, Podzols, Arenosols, Campinaranas.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização dos perfis de solos arenosos sob vegetação de Campinarana entre os municípios de Manaus e Presidente Figueiredo (AM).....	24
<b>Figura 2.</b> Triângulo para determinação da classe textural (Santos et al., 2015).....	28
<b>Figura 3.</b> Exemplos de seis classes usadas nas determinações dos graus de arredondamento. A) muito angulosa; B) angulosa; C) subangulosa; D) subarredondada; E) arredondada e F) bem arredondada (Shepard, 1967).....	29
<b>Figura 4.</b> Classes de arredondamento (McLANE, 1995) .....	29
<b>Figura 5.</b> Áreas de ocorrência de Campinaranas na região metropolitana de Manaus. A) Área de acesso ao P01 na rodovia BR 174, B) Área de acesso ao P02 na rodovia BR 174; C) Área de acesso ao P01 na rodovia BR 174; D) Área selecionada para abertura do P03 na rodovia AM 010.....	31
<b>Figura 6.</b> Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.....	33
<b>Figura 7.</b> Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.....	35
<b>Figura 8.</b> Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.....	37
<b>Figura 9.</b> Perfil de ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico.....	39
<b>Figura 10.</b> Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico .....	41
<b>Figura 11.</b> Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus. Onde: A) P01, B) P02, C) P03.....	43
<b>Figura 12.</b> Perfil de ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus. Onde: A) P04, B) P05 .....	43
<b>Figura 13.</b> Agregados de matéria orgânica + areia encontrados no horizonte A do P03 ....	47
<b>Figura 14.</b> Morfologia dos grãos de areia (0,42 – 0,05 mm) nos perfis de solos arenosos sob vegetação de Campinaranas da região metropolitana de Manaus .....	56

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Atributos morfológicos dos solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus. ....	46
<b>Tabela 2.</b> Correlação entre as concentrações de carbono orgânico total (C.O.T) e $Al^{3+}$ nos solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus .....	49
<b>Tabela 3.</b> Atributos químicos dos solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus.....	50
<b>Tabela 4.</b> Atributos físicos dos solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus.....	53
<b>Tabela 5.</b> Atributos morfológicos e mineralógicos predominante dos grãos de areia da região metropolitana de Manaus.....	57
<b>Tabela 6.</b> Concentrações de $Al_2O_3$ e $Fe_2O_3$ cristalino e amorfo nas amostras de solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus .....	60

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo Geral .....	15
2.2. Objetivos Específicos .....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1. Ocorrência de solos arenosos no Estado do Amazonas .....	16
3.2. Origem dos solos arenosos da Região Amazônica .....	17
3.3. Atributos de solos arenosos na bacia do Rio Negro .....	19
3.4. Uso dos solos arenosos na bacia do Rio Negro .....	22
4. METODOLOGIA .....	24
4.1. Área de estudo .....	24
4.1.1. Seleção da área de estudo.....	24
4.1.2. Geologia .....	25
4.1.4. Clima .....	26
4.2. Caracterização morfológica dos perfis.....	26
4.2.1. Abertura dos perfis .....	26
4.2.2. Descrição morfológica dos perfis.....	26
4.3. Classificação dos solos .....	27
4.4. Análises laboratoriais.....	27
4.4.1. Caracterização química .....	27
4.4.2. Caracterização física .....	27
4.4.2.1. Morfologia da areia .....	28
4.4.3. Caracterização mineralógica .....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
5.1. Descrição geral da área .....	31
5.2. Caracterização dos perfis .....	32
5.2.1. Perfil 01 (P01) .....	32

Caracterização geral .....	32
Descrição morfológica .....	33
5.2.2. Perfil 02 (P02) .....	34
Caracterização geral .....	34
Descrição morfológica .....	35
5.2.3. Perfil 03 (P03) .....	36
Caracterização geral .....	36
Descrição morfológica .....	37
5.2.4. Perfil 04 (P04) .....	38
Caracterização geral .....	38
Descrição morfológica .....	39
5.2.5. Perfil 05 (P05) .....	40
Caracterização geral .....	40
Descrição morfológica .....	41
5.3. Classificação dos solos .....	42
5.4. Atributos morfológicos .....	44
5.5. Atributos químicos.....	48
5.6. Atributos físicos.....	52
5.6.1. Morfologia da areia .....	55
5.7. Atributos mineralógicos.....	58
6. CONCLUSÃO .....	62
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....	63

## 1. INTRODUÇÃO

A distribuição dos tipos de solo no território nacional é diversificada e reflete a variabilidade dos fatores de formação. A combinação destes fatores é responsável por desencadear uma série de processos pedogenéticos que ficarão impressos nas feições morfológicas e na composição dos solos, originando as diferentes classes (IBGE, 2019). Os solos do país estão distribuídos em 13 ordens, 44 subordens, 192 grandes grupos e são classificados de acordo com seus atributos morfológicos e genéticos (Santos et al., 2018).

Os Argissolos e os Latossolos são as classes mais representativas do Brasil, com distribuição expressiva em todo o território nacional, sendo os mais intensivamente cultivados. Os solos arenosos, por outro lado, têm aptidão agrícola restrita devido aos atributos físicos que lhe conferem alta suscetibilidade à erosão, elevada capacidade de percolação de água no perfil e consequente lixiviação de nutrientes. Segundo Mendonça (2011), o estudo desses solos é dificultado pela restrição de acesso à algumas áreas, grandes profundidades de horizontes e presença de lençol freático elevado e/ou horizontes cimentados em alguns perfis.

Os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos são as classes de solos arenosos de maior ocorrência na região, ocupando cerca de 8% da área total do Estado (Teixeira et al., 2010). Segundo dados do IBGE (2019), os Espodossolos têm pelo menos 94% de sua ocorrência localizada na região norte do país, com cerca de 82% no Estado do Amazonas, onde estão associados principalmente à ocorrência da vegetação de Campinaranas (Mendonça et al., 2015; Guimarães e Bueno, 2016; Mendes et al., 2017).

De acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992), as Campinaranas são vegetações típicas que ocorrem da bacia do Rio Negro ao Rio Branco, sobre solos arenosos que foram bastante lixiviados pelas chuvas nos últimos 10 mil anos. Essa fitofisionomia florestal tem uma grande importância do ponto de vista ambiental, uma vez que, segundo Carvalho et al. (2010), sua ocorrência sobre os solos arenosos contribui para a redução da susceptibilidade à erosão e consequente aumento da capacidade de armazenamento de carbono em profundidade.

Grande parte dos ambientes de Campinaranas não são usados para atividades agrícolas na região de estudo, no entanto, nos locais onde há acessibilidade, como a região metropolitana de Manaus, os solos arenosos ganham uma importância econômica bastante

significativa por constituem a principal fonte de areia para a construção civil. De acordo com Oliveira et al. (2021) existem aproximadamente 288 processos minerários ativos referentes a extração de areia no Estado do Amazonas, dos quais 182 estão localizados apenas na região metropolitana de Manaus. Segundo, Cardoso (2008), o potencial mineral nos arredores de Manaus tem sido explorado de forma predatória durante anos, o que torna a atividade preocupante devido a elevada fragilidade dos ecossistemas nos quais ocorrem. Por ocorrerem em áreas isoladas e serem compostas por espécies endêmicas, é possível que uma área de Campinaranas não se recupere de forma satisfatória, ainda que haja esforço técnico, assim como é demonstrado por Ferreira et al. (2013) em estudo sobre o impacto da mineração em Campinaranas no Estado do Pará.

A mineração é considerada uma atividade de alto impacto ambiental, ainda que estes venham a ser futuramente mitigados. Entre os impactos negativos, destacam-se a destruição da mata ciliar, o afugento de animais, a poluição das águas e dos solos, a alteração da calha original de cursos d'água, incidência de processo erosivos, entre outros (Oliveira et al., 2021). Para restaurar os ecossistemas impactados pela mineração é fundamental conhecer os atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos. No entanto, os estudos sobre os Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos sob vegetação de Campinaranas ainda são limitados para compor planos de recuperação de áreas degradadas eficientes.

Este trabalho tem o objetivo de caracterizar solos arenosos sob Campinaranas nos municípios de Manaus e Presidente Figueiredo, visando contribuir para ampliar o respectivo conhecimento e as possibilidades de desenvolvimento de tecnologias de restauração dessas áreas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Caracterizar e classificar solos arenosos sob Campinaranas nos municípios de Manaus e Presidente Figueiredo.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Classificar solos arenosos sob Campinaranas, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS);
- Caracterizar os solos arenosos quanto aos seus atributos morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Ocorrência de solos arenosos no Estado do Amazonas**

Os solos arenosos ocupam uma área expressiva no Estado do Amazonas com aproximadamente 126.000 km<sup>2</sup> ou cerca de 8% da área total do Estado (Teixeira et al., 2010). A maior parte dessa área está concentrada na bacia do Rio Negro, que representa o mais vasto espaço de podzolização extrema entre os trópicos úmidos do planeta, com a formação majoritária de Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos (Schaefer et al., 2017). De acordo com o mapa de pedologia do Estado do Amazonas (IBGE, 2010a), também há ocorrência de alguns Neossolos no Rio Solimões e no Rio Madeira, e algumas manchas de Espodosolos no município de Manicoré e ao extremo sul do Estado na fronteira com Estado do Mato Grosso.

No mapa de geologia do Estado do Amazonas (IBGE, 2010b), as áreas em que os solos arenosos ocorrem com maior frequência (bacia do Rio Negro) está inserida sobre Aluviões Holocênicos, Cobertura Detrito-Laterítica Plestocênica, Cobertura Sedimentar Rio Branco-Rio Negro, Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica e Formação Alter do Chão, sendo todos constituídos por sedimentos arenosos ou arenitos. A Formação Alter do Chão está contida na Província Estrutural Amazonas Solimões, enquanto as demais formações são Coberturas Cenozóicas, logo, mais jovens que a primeira.

Os solos arenosos estão relacionados às vegetações de Campinaranas, que são fisionomias florestais escleromórficas de baixo ou médio porte, dominância de poucas espécies, baixa diversidade e alto endemismo (Vale Júnior et al., 2016). Essas fisionomias variam desde pastagens com áreas abertas, até áreas dominadas por plantas herbáceas e fisionomias florestais com vegetação arbustiva-arbórea que raramente chegam a 4 m de altura, não apresentando um dossel contínuo (Velooso et al., 1991; Demarchi et al., 2018). A diversidade florestal da vegetação das Campinaranas está diretamente relacionada com os atributos dos solos arenosos sobre o qual estão suportadas. Em um levantamento fitossociológico de espécies em áreas de Campinaranas florestadas e arbustivas, Mendonça et al. (2017) comprovou que a ocorrência de maior diversidade de espécies em áreas de Campinaranas florestadas, o que supostamente tem relação com a maior proteção do solo por um maior tapete de material orgânico em decomposição e dossel da vegetação, formando a relação de dependência solo-vegetação nesse ecossistema.

Essa relação de solos arenosos e vegetação de Campinaranas é demonstrada por Mendonça et al. (2015) a partir do cruzamento de dados geológicos da região com dados das áreas dominadas pelas fitofisionomias das Campinaranas da Amazônia Ocidental. Com base no mapa de solos (IBGE, 2000 *in* Mendonça et al., 2015) e dados do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975a; 1975b; 1976b; 1977a; 1977b; 1978), esses autores observaram que cerca de 55% dos solos sob Campinaranas são Espodosolos e, aproximadamente, 10% são Neossolos Quartzarênicos, o que mostra que os solos arenosos correspondem a cerca de 65% dos solos que ocorrem sob essa vegetação.

Os Espodosolos são encontrados, principalmente, em grandes extensões sobre os baixos platôs na região de São Gabriel da Cachoeira (Mendes et al., 2017). Na região do alto Rio Negro, esses solos ocupam vastos peneplanos alagados, onde os solos lateríticos aparecem apenas em colinas residuais ou faixas relictuais nas bordas de platôs (Bueno, 2009). Esses solos são descritos nas folhas Manaus, Santarém, Içá e Pico da Neblina do levantamento de solos do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978; 1976a; 1977b; 1976b) e ocorrem de maneira expressiva no mapa de pedologia do Estado do Amazonas (IBGE, 2010a), sendo possível sua identificação de forma visual.

De acordo com Adeney et al. (2016), a estimativa da área de solos arenosos no Estado feita por estudos de imagens de satélite pode ser prejudicada pela qualidade (resolução) das imagens. Segundo esses autores, a ocorrência de sistemas arenícolas em zonas de transição com florestas, ou em ocorrência de Campinaranas florestadas são de difícil distinção e podem ser confundidos com florestas de Terra Firme ou deixados de fora da área calculada por serem erroneamente classificados como savanas. Daí o motivo pelo qual os levantamentos realizados pelo projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978) ainda continua sendo o principal referencial para o estudo desses ambientes na região. Nota-se que nos últimos anos houve expressivo número de trabalhos em solos arenosos sob Campinaranas na região amazônica (Horbe et al., 2003; Damasco et al., 2013; Mendes et al., 2017), os quais contribuem para o enriquecimento de conhecimento a respeito do tema.

### **3.2. Origem dos solos arenosos da Região Amazônica**

O nível de conhecimentos sobre a formação de solos arenosos e depósitos de areias brancas na região amazônica ainda é insuficiente para definir a sua gênese (Horbe et al.,

2003). Apesar de existirem trabalhos cujo objetivo é contribuir para melhor compreensão da gênese desses tipos de solos, tais como o de Horbe et al. (2003) ao investigar a origem dos depósitos de areia branca em Manaus, o de Mendonça (2011) ao estudar a pedogênese e relação solo-vegetação no Viruá (RO), o de Mendes et al. (2017) ao pesquisar sobre a relação entre os solos e a paisagens na região de São Gabriel da Cachoeira, e o Tadini (2017) ao investigar o papel da mobilidade da matéria orgânica na gênese de Espodosolos; os trabalhos clássicos de Lucas et al. (1984), Chauvel et al. (1987) e Anderson et al. (1982) continuam servindo como base para descrever a gênese desses ambientes, especialmente ao que se refere aos Espodosolos.

Os sistemas arenícolas da Amazônia tem uma variedade de teorias sobre suas origens (Adeney et al., 2016). No entanto, autores concordam que o principal processo de diferenciação que acontece na região amazônica é a podzolização em Espodosolos (Lucas et al., 1984; Chauvel et al., 1987; Pereira et al., 2015). Trabalhos como os de Lucas et al. (1984) e Chauvel et al. (1987) indicam que os Espodosolos existentes na região podem ser desenvolvidos em razão das perdas de nutrientes e movimentação de argila e matéria orgânica causadas pelos fatores climáticos locais. Esses autores argumentam que os Latossolos e Espodosolos podem fazer parte da evolução progressiva de vertentes, onde os Latossolos representariam a fase menos lixiviada e os Espodosolos a fase mais lixiviada dos mesmos solos.

De acordo com Dubroeuq e Volkoff (1998), o processo de transformação (espodizolição) tem relação com a redução dos teores de argila e óxidos ao longo do perfil. O mecanismo que inicia a redução dos teores de argila pode ser a hidrólise dos minerais de argila na solução do solo. À medida que a matéria orgânica começa a se decompor, ocorre também a redução dos valores pH e os solos se tornam mais ácidos. Ainda segundo os autores (Dubroeuq e Volkoff, 1998), o processo de podzolização só pode ser observado quando os Latossolos começam a perder sua coloração amarela a adquirir características de um saprolito branco/cinza.

Por outro lado, Horbe et al. (2003) argumentam que no contexto evolutivo do intemperismo e da lateritização que afetam esta região, os Espodosolos representam a fase mais recente, a qual continua em desenvolvimento até os dias atuais, e é muito agressiva, pois os perfis estudados teriam sido desenvolvidos em menos de 3.000 anos, sob floresta.

Os resultados obtidos por Tadini (2017) na investigação do papel da mobilidade da matéria orgânica na gênese de Espodosolos mostraram que a matéria orgânica constituída de quatro grupos nos Espodosolos: mais recalcitrante, humificada e antiga; lábil e jovem; recalcitrante, pouco humificada e antiga; humificada e jovem. Essa autora mostrou que, além do tempo, fatores como textura, presença de água e microrganismos influenciaram nos processos de formação e humificação do material orgânico. De acordo com o estudo, as três frações húmicas (ácido fúlvico, ácido húmico e humina) estão envolvidas no processo de podzolização do solo, onde o ácido fúlvico tem papel predominante no transporte de Al e o ácido húmico é o responsável no transporte do Fe nos perfis.

Os estudos da gênese dos Neossolos Quartzarênicos são mais escassos, particularmente na região deste estudo. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), os Neossolos Quartzarênicos são solos com textura areia ou areia franca em todos os horizontes com sequência de horizontes A-C. Segundo Teixeira et al. (2010), esses solos têm desenvolvimento pedogenético pouco avançado e se caracterizam pela ausência de horizonte B (ou presença de horizonte B com espessura inferior a 10 cm). Logo, são formados quase totalmente por areia quartzosa.

Horbe et al. (2003), sugerem o sentido de evolução progressiva de perfis de solos arenosos (base para o topo), o que permite relacionar a formação desses a partir de saprolitos já trabalhados ou arenitos consolidados *in situ*. Alternativamente, Carneiro Filho et al. 2002 sugerem que os grandes depósitos de areia na região nas margens do Rio Negro e alguns afluentes são dunas eólicas que indicam um regime climático mais seco durante a transição Pleistoceno-Holoceno diferente do clima úmido atual. De acordo com os autores a estabilização das dunas foi fixada pela vegetação de Campinaranas.

É muito provável que esses solos apresentem origem distintas, considerando a diversidade de paisagem e as variações de cada fator e os processos predominantes.

### **3.3. Atributos de solos arenosos na bacia do Rio Negro**

Os Espodosolos formam a classe de solos com textura predominantemente arenosa com maior ocorrência na bacia do Rio Negro (Teixeira et al., 2010). Os Espodosolos são caracterizados por apresentarem horizonte B espódico imediatamente abaixo de horizonte E, A ou horizonte hístico dentro de 200 cm (ou de 400 cm se a soma dos horizontes A+E ou dos

horizontes hístico (com menos de 40 cm) + E ultrapassar 200 cm de profundidade) (Santos et al., 2018) e pelo acúmulo de matéria orgânica e compostos de Fe e/ou Al em profundidade (Teixeira et al., 2010).

Os Neossolos Quartzarênicos são solos minerais sem contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm ou até um contato lítico. São essencialmente quartzosos, tendo, nas frações areia grossa e areia fina, 95% ou mais de quartzo e praticamente ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) (Santos et al., 2018).

De modo geral os solos arenosos têm seus atributos físicos e químicos diretamente relacionados com a textura, que é um dos principais indicadores de qualidade e produtividade. Características importantes como retenção de água, permeabilidade (Donagemma et al., 2016), resistência à tração, grau de compactação e capacidade de troca de cátions (CTC) (Centeno et al., 2017) estão estreitamente associadas ao tamanho das partículas primárias (areia, silte e argila), que exercem influência no tamanho e distribuição dos poros. Logo, associando os fatores pedogenéticos a esses atributos, os solos arenosos apresentam as seguintes características: baixa capacidade de retenção de água, drenagem excessiva (Pereira et al., 2020) e alta suscetibilidade à erosão hídrica e/ou eólica (Castro e Hernani, 2015). Isso favorece a rápida lixiviação de nutrientes, extrema pobreza em fósforo, acidez elevada, saturação por alumínio alta, baixa CTC, pobreza em macro e micronutrientes e reduzida fixação de fósforo (Vale Júnior et al., 2011).

De acordo com Mendonça et al. (2015), os Espodossolos apresentam horizontes superficiais e subsuperficiais alta concentração de carbono orgânico. O principal fator responsável pela deposição de materiais orgânicos no solo é a vegetação. O tipo de vegetação, associado às condições ambientais é determinante na quantidade e qualidade do material depositado na superfície do solo, determinando sua heterogeneidade e taxa de decomposição (Santin, 2017).

A matéria orgânica representa um dos principais reservatórios de carbono da Terra (Bot e Benite, 2005). Com base no mapa de estoque de carbono orgânico do solo do Brasil (Vasques et al., 2017), observa-se que a maior concentração de carbono orgânico está nas áreas ocupadas por solos arenosos na bacia Rio Negro e em grande parte do estado do

Amazonas. Uma vez incorporado ao solo, o carbono desempenha um papel importante em sua formação e propriedades, contribuindo também para mitigar o efeito estufa (Sena et al., 2017). Nas áreas de Espodosolos, de acordo com Pereira (2015), os estoques de C orgânico, considerando uma profundidade de até 3 m, são aproximadamente duas vezes maiores que o estocado até 1 m, com médias de 21 a 60 kg cm<sup>-2</sup>. Segundo Novais et al. (2007), o aumento da matéria orgânica em subsuperfície nesses solos implica no aumento da CTC, do P assimilável e da saturação por Al (m%), por meio da formação de complexos MOS-Al com elevada afinidade por fosfatos.

Mendonça et al. (2015) compararam os atributos químicos e físicos de Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos sob Campinaranas do alto rio Negro, com base nos dados do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975a; 1975b; 1976b; 1977a; 1977b; 1978) e IBGE (2000) e observaram que as diferenças mais marcantes correspondem, respectivamente aos valores de CTC (13,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 6,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), saturação por bases (7,4% e 4,2%), saturação por Al (49,7% e 80,3%) e concentração de MOS (81 g kg<sup>-1</sup> e 24 g kg<sup>-1</sup>), enquanto diferenças menos expressivas foram observadas para os valores de pH (4,1 e 4,6), P (0,8 mg dm<sup>-3</sup> e 0,5 mg dm<sup>-3</sup>), soma de bases (0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), fração areia grossa (383 g kg<sup>-1</sup> e 396 g kg<sup>-1</sup>), areia fina (37,4 g kg<sup>-1</sup> e 390 g kg<sup>-1</sup>), silte (193 g kg<sup>-1</sup> e 149 g kg<sup>-1</sup>) e argila (50 g kg<sup>-1</sup> e 65 g kg<sup>-1</sup>).

A mineralogia da fração areia é constituída por materiais herdados da rocha-mãe que resistiram ao processo de intemperismo e formação (Teixeira e Santos-Pinto, 2006), cuja predominância exercerá influência na qualificação mineralógica e fertilidade dos solos. Na fração areia dos solos de textura média e arenosa ( $\geq 0.05$  mm até 2 mm de diâmetro) é comum a presença de minerais que são facilmente alteráveis como as micas, anfibólitos e feldspatos em quantidades igual ou superior a 15% do volume do solo (Santos et al., 2018). De acordo com as análises mineralógicas das amostras de argila da Folha AS 20 Manaus do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978), a caulinita foi o mineral com maior ocorrência (100%) nas amostras, seguido pelo feldspato (34,5%), mica (32,4%) e montmorilonita (22,7%). Em camadas arenosas, os minerais menos estáveis ou solúveis são transportados pela ação da lixiviação, restando os mais estáveis, que formam as camadas de areias quartzosas (Cardoso, 2008). Dessa forma o quartzo se torna o mineral de maior abundância na fração areia.

### **3.4. Uso dos solos arenosos na bacia do Rio Negro**

As características edáficas dos solos sob Campinaranas fez com que eles fossem considerados de difícil manejo ou inapropriado para a agricultura (Mendonça et al., 2015), pois necessitariam de grande aporte de corretivos e fertilizantes para se tornarem produtivos, o que geralmente não apresentaria viabilidade econômica (Teixeira et al., 2010).

Embora não apresentem aptidão para a agricultura, esses ambientes são de grande importância, tanto para a manutenção da biodiversidade do bioma Amazônia, quanto na prestação de serviços ambientais. De acordo com Vale Junior et al. (2016), os ecossistemas de Campinaranas possuem elevada capacidade de armazenamento de carbono em profundidade.

Esses ambientes também possuem importância econômica, uma vez que, segundo Oliveira et al. (2021), esses ambientes são a principal fonte de areia para a construção civil na região metropolitana de Manaus (AM). A areia amplamente usada na indústria da construção civil ocorre nos seguintes tipos de depósitos: aluvionares representativos de barras de canais fluviais e dunas subaquosas, Espodosolos derivados dos arenitos da formação Novo Remanso, Espodosolos derivados dos arenitos da formação Alter do Chão e Espodosolos derivados dos arenitos da formação Nhamundá o Grupo Trombetas (Teixeira et al., 2010). De acordo com Cardoso (2008), os recursos minerais explorados para uso na construção civil são a areia quartzosa, o arenito ou argilito silicificado na produção de brita e pedra em blocos.

A grande preocupação em torno da extração de recursos em solos arenosos está no fato de que estes são considerados solos muito frágeis e de fácil degradação. A atividade de exploração é causadora de impactos ambientais. Em estudo de quantificação do grau de degradação de áreas mineradas por areia na região metropolitana de Manaus, Cardoso (2008) observou que as atividades de mineração seguem uma dinâmica que está associada às vias de acesso local mais próximas da área urbanizada, evidenciando que cerca de 64% de toda área degradada encontram-se classificados com graus de degradação média, cerca de 30% com grau de degradação alta e cerca de 6% com grau de degradação baixa. Por outro lado, Silva et al. (2020), em estudo sobre os impactos ambientais em áreas de extração de areia na zona rural de Manaus, relatam danos ambientais quanto a alteração da paisagem, por meio

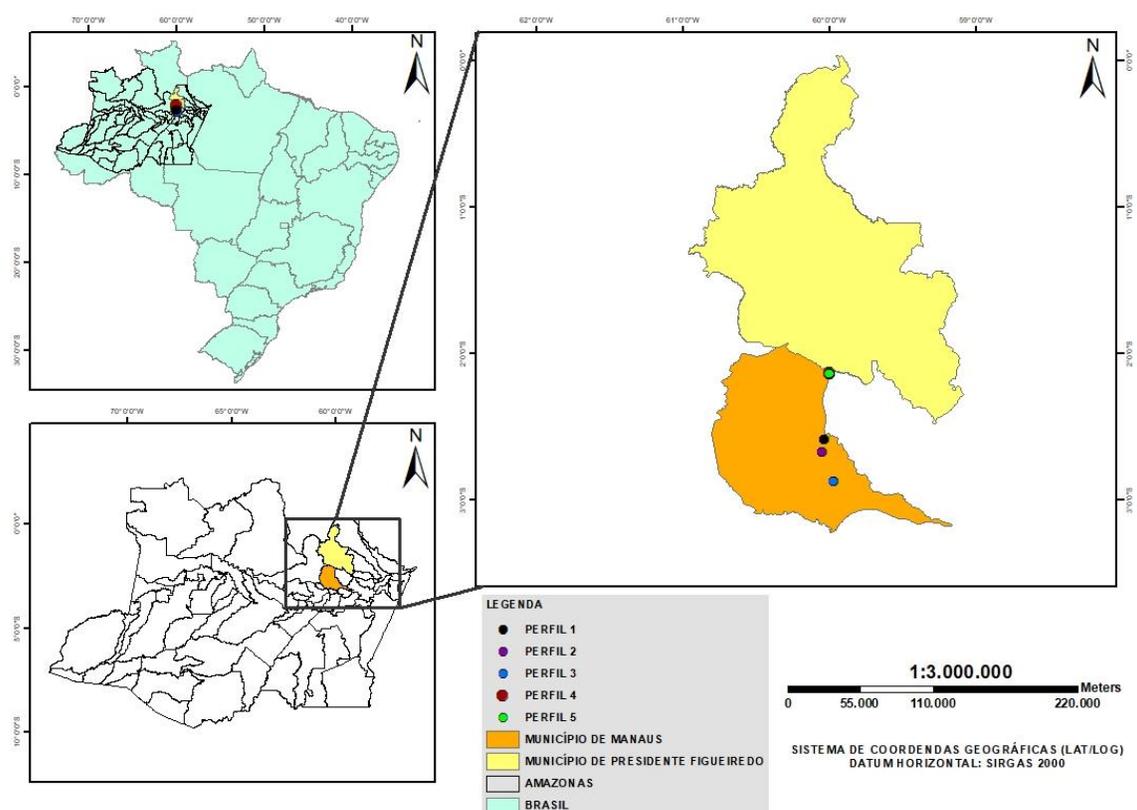
do assoreamento de igarapés, da compactação do solo, da retirada da vegetação, da movimentação de terra, da modificação do relevo e da perda da biodiversidade local.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Área de estudo

#### 4.1.1. Seleção da área de estudo

Foram selecionadas cinco áreas de ocorrência de solos arenosos sob Campinaranas conservadas com mínima interferência antrópica, nos municípios de Manaus e Presidente Figueiredo (Figura 1).



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

**Fonte:** SALVIANO, O., 2022.

A seleção das áreas foi realizada durante excursões a campo, precedidas de análise de mapas exploratórios de pedologia do Estado do Amazonas (IBGE, 2010a), a fim de encontrar áreas de possível acesso de coleta.

O acesso às áreas de estudo se deu pela rodovia BR-174 nos Perfis 1 (P01), 2 (P02), 3 (P03) e 5 (P05), e pela rodovia AM010 para o Perfil 3 (P03).

#### **4.1.2. Geologia**

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).

A Formação Alter do Chão é composta por arenitos avermelhados e esbranquiçados, finos a médios; siltitos e argilitos geralmente avermelhados e rosados, ferruginosos; conglomerados lenticulares, mal selecionados, com seixos arredondados a subarredondados (IBGE, 2010b). O intemperismo sobre essas rochas gerou um manto de alteração e lateritização das mesmas, resultando em horizontes de solo argilo-siltoso, mosqueado e saprolítico com perfis bem desenvolvidos, além de uma camada de crosta laterítica de espessura e concreções variáveis (Lima e Andretta, 2015), com predominância de minerais do grupo da caulinita associada à gibbsita (traços), feldspatos, quartzo e illita (raramente), argilitos (com lentes de areia, pouco consolidados), siltitos, arenitos (finos a médios) e conglomerados (com seixos de quartzo) (Damião et al., 1972). Esta formação caracteriza-se, então, por rochas friáveis, pouco coesas, intercaladas por rochas mais endurecidas e restritas aos níveis de ocorrência do “Arenito Manaus” e de crostas lateríticas e/ou “linhas-de-pedra” que são responsáveis pela preservação tabular do relevo (Lima e Andretta, 2015).

De acordo com Schaefer et al. (2017), o Grupo Trombetas representa uma sequência sedimentar antiga que tem idade Ordovício-Devoniana, cujas rochas registram a alternância de sedimentos glaciais e marinhos. A sucessão estratigráfica que compõe este Grupo compreende a Formação Autaz Mirim, composta por arenitos e folhelhos neríticos; a Formação Nhamundá, composta por arenitos neríticos e glaciogênicos; a Formação Pitinga, composta por folhelhos e diamictitos marinhos; a Formação Manacapuru, constituída por arenitos e pelitos neríticos e a Formação Jatapu, composta por arenitos e siltitos marinhos.

#### **4.1.3. Relevo**

O relevo local e regional varia de plano à ondulado. Segundo o mapa de geomorfologia do Estado do Amazonas (IBGE, 2010c), a região de estudo (Manaus e Presidente Figueiredo) está situada em uma Planície Fluvial caracterizada pela área plana resultante de acumulação fluvial. Na cidade de Manaus, o relevo apresenta platôs escalonados de altitudes variando de 25 a 125 m (Silva e Bonoro, 2000).

#### **4.1.4. Clima**

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Af, quente úmido, temperatura constantemente alta, valores médios de 23,5 °C e 31,2 °C para mínima e máxima, respectivamente, e precipitações em torno de 2.200 mm ano<sup>-1</sup> (Alvares et al., 2013).

## **4.2. Caracterização morfológica dos perfis**

### **4.2.1. Abertura dos perfis**

Em cada área selecionada foram escolhidos locais para abertura de perfis de solo. Os perfis foram abertos em trincheiras de acordo com a recomendação de Santos et al. (2015) para a descrição dos atributos morfológicos e coleta das amostras para fins de caracterização física, química e mineralógica. Quando se atingiu a profundidade de 200 cm (aproximadamente), houve necessidade de aprofundamento com um trado holandês, uma vez que a consistência solta dos solos causava constantes desmoronamento das paredes do perfil, o que comprometeria a descrição morfológica dos horizontes. A tradagem foi realizada afim de identificação do horizonte espódico ou qualquer alteração do horizonte ao qual foi possível acessar na base da trincheira.

### **4.2.2. Descrição morfológica dos perfis**

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

Foram coletadas aproximadamente 1 kg de solo em cada horizonte dos perfis para fins de análises laboratoriais. As amostras foram coletadas a partir da base em direção ao topo, armazenadas em saco plástico devidamente identificados e levadas para laboratório.

### **4.3. Classificação dos solos**

Os solos foram classificados até 4º nível categórico (quando possível) 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).

### **4.4. Análises laboratoriais**

#### **4.4.1. Caracterização química**

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

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 químicas foram realizadas segundo metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) para P disponível e  $K^+$  trocável (em Mehlich-1);  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$  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).

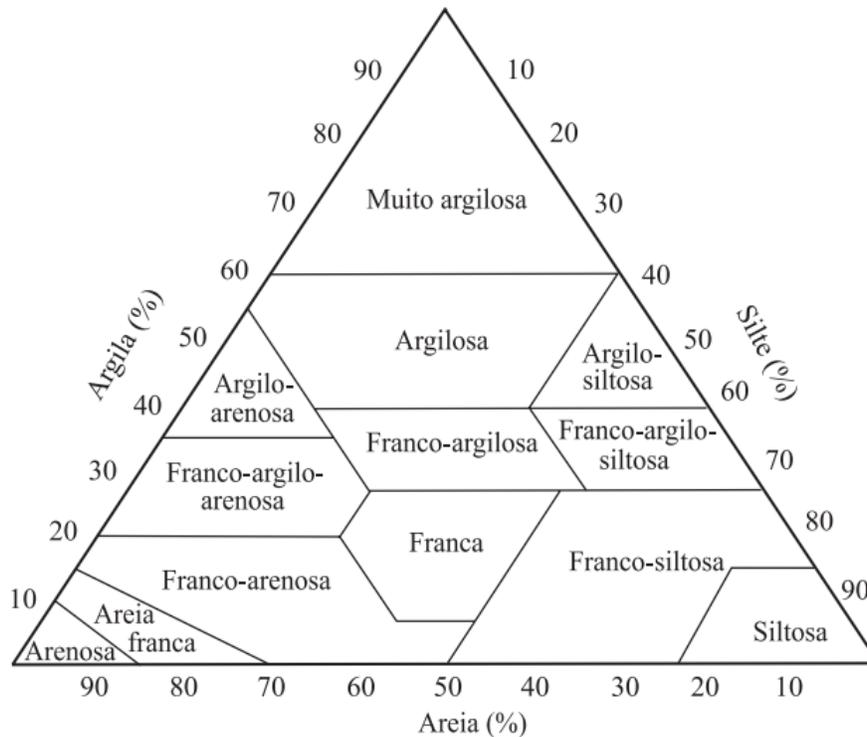
Com base nos resultados analíticos foram calculados a soma de bases (SB), CTC efetiva (CTCe), CTC total (CTCt), saturação por bases (V%) e saturação por Al (m%).

#### **4.4.2. Caracterização física**

A granulometria foi determinada pelo método da pipeta, onde separou-se as frações granulométricas do solo (areia e argila) adotando-se a metodologia indicada por Teixeira 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 dos solos foi determinada com base no triângulo de classes texturais (Santos et al., 2015) (Figura 2).



**Figura 2.** Triângulo para determinação da classe textural (Santos et al., 2015)

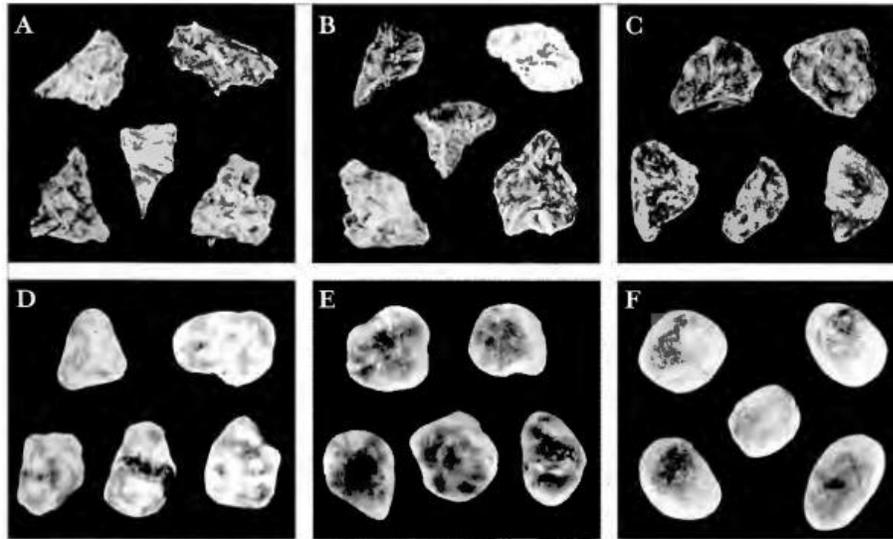
A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada na camada superficial, empregando o método do cilindro volumétrico para amostras de solo com estrutura indeformada (Almeida et al., 2017).

Para fins do cálculo da porosidade total do solo, considerando a riqueza das amostras em quartzo, adotou-se a densidade de partícula desse mineral ( $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ ).

#### 4.4.2.1. Morfologia da areia

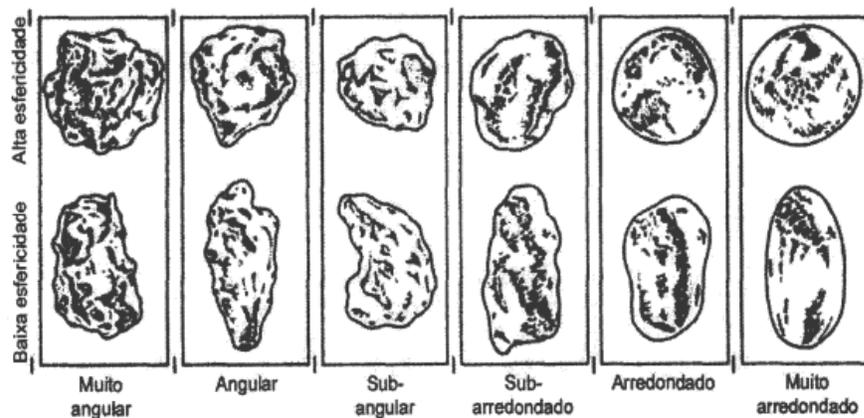
As frações de areia (média e fina) foram analisadas morfológicamente por meio de uma lupa microscópica (Leica M80) com foco ajustado em 2.0 e aumento padrão de 60x para todas as amostras.

Os graus de arredondamento e esfericidades foram aferidos qualitativamente segundo padrões propostos por Shepard (1967) (Figura 3) e McLane (1995) (Figuras 4).



**Figura 3.** Exemplos de seis classes usadas nas determinações dos graus de arredondamento. A) muito angulosa; B) angulosa; C) subangulosa; D) subarredondada; E) arredondada e F) bem arredondada.

**Fonte:** Shepard, 1967 (*in* Suguio, 2002).



**Figura 4.** Classes de arredondamento.

**Fonte:** McLANE, 1995 (*in* Tristão, 2005).

#### 4.4.3. Caracterização mineralógica

Os óxidos de Fe ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e Al ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) foram determinados em suas formas cristalinas por DCB (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) e em suas formas amorfas por Oxalato de Amônio (Teixeira et al., 2017).

A mineralogia das frações argila e areia foi analisada por difratometria de raios X (DRX), usando-se lâminas de alumínio. Os difratogramas foram obtidos na velocidade de  $2^\circ$

2q min<sup>-1</sup>, na amplitude de 10° a 50°. O difratômetro, equipado com radiação k- $\alpha$  de cobre, foi operado a 30mA e 40 kV, para todas as análises realizadas.

Não se obteve quantidade de argila suficiente para a produção de lâmina dos perfis 1, 2, 3 e 4 para análise por DRX.

As análises de DRX foram realizadas na Central Analítica do Instituto Federal do Amazonas (IFAM), campus Manaus Centro (CMC).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Descrição geral da área

A área de estudo está situada na Bacia Sedimentar do Amazonas, incluindo parte das bacias hidrográficas do baixo Rio Negro e Rio Urubu, sob campinaranas. Nessa região predominam sedimentos continentais da Formação Alter do Chão, oriundos da deposição de sedimentos em ambientes aquosos e fluviais (Silva e Bonotto, 2000). Os perfis de solo denominados P01, P02 e P03 estão situados em áreas da Formação Alter do Chão (Cretáceo/Terciário), enquanto P04 e P05 estão localizados em áreas de sedimentos do Grupo Trombetas (Ordoviciano/Siluriano).

A paisagem é formada por colinas baixas, com altitude regional inferior a 200 m e relevo local plano, relevo regional variando de suave ondulado a ondulado, não rochoso e não pedregoso, exceto no P04 onde se observa o afloramento de arenito consolidado.



**Figura 5.** Áreas de ocorrência de Campinaranas na região metropolitana de Manaus. A) Área de acesso ao P01 na rodovia BR 174, B) Área de acesso ao P02 na rodovia BR 174; C) Área de acesso ao P01 na rodovia BR 174; D) Área selecionada para abertura do P03 na rodovia AM 010.

**Fonte:** OLIVEIRA, G. K. S., 2021; LIMA, H. N., 2021.

Com exceção do P04, que ocorre nas proximidades do igarapé da Cachoeira da ASFRAMA, o que favorece a ocorrência de lençol freático muito próximo à superfície, os demais perfis são extremamente drenados, com profundidade superior a 150 m, o que corrobora com os perfis de Neossolos Quartzarênicos caracterizados na folha Manaus (BRASIL, 1978), Santarém (BRASIL, 1976a) e Pico da Neblina (BRASIL, 1976b) do projeto

RADAMBRASIL e no estudo de solos em Campinaranas realizado por Mendes et al. (2017) em São Gabriel da Cachoeira.

Nota-se que a maioria dos perfis caracterizados no projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978) na região do Alto Rio Negro são de solos arenosos com caráter hidromórfico, mal drenados, com possibilidade de ocorrência do lençol freático em profundidade inferior a 150 m. Teixeira et al. (2010) atribuem o encharcamento temporário desses solos nos períodos de maiores precipitações à drenagem limitada dos horizontes espódicos, os quais são favorecidos pelas condições de relevo em que ocorrem (BRASIL, 1978). Na descrição do transecto percorrido por Mendes et al. (2017) para a classificação de um Espodosolo em Campinarana Florestada, observou-se que à medida que se aproximava de uma declividade mais baixa, o lençol freático aproximava-se da superfície e o horizonte E diminuía de espessura até que aflorasse há aproximadamente 270 m de distância do início do transecto.

## **5.2. Caracterização dos perfis**

### **5.2.1. Perfil 01 (P01)**

#### **Caracterização geral**

**CLASSIFICAÇÃO** - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.

**LOCALIZAÇÃO** - Rodovia BR 174, Km 929, ao lado esquerdo, no sentido Manaus-Presidente Figueiredo, em uma área de Campinarana arbórea/herbácea pertencente a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), acessando por um ramal a partir da rodovia e percorrendo cerca de 100 metros até a entrada da Campinarana. Manaus (AM).

**COORDENADAS GEOGRÁFICAS** - 02° 34' 52" S, 60° 01' 50" W.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL** - Descrito e coletado em trincheira, em local plano, com declive de 1% a 2%, sob vegetação de Campinarana.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** - Formação Alter do Chão, composta por arenitos arcoseanos, pelitos, argilitos, arcóseos, quartzo-arenitos e brechas intraformacionais.

**MATERIAL ORIGINÁRIO** - Produto da alteração do material proveniente dos sedimentos da formação supracitada.

**PEDREGOSIDADE** - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL - Plano à suave ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Excessivamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Campinarana arbórea/herbácea;

USO ATUAL - Sem uso antrópico.

### Descrição morfológica



**Figura 6.** Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.

**Fonte:** OLIVEIRA, G. K. S., 2021.

- O 14 - 0 cm; coloração escura; com matéria orgânica variando de ligeiramente decomposta à quase completamente decomposta.

- A 0 - 4 cm; preto-azulado (Gley 2 2.5/5B, úmida) e cinzento-esverdeado muito escuro (Gley 1 3/10Y, seca); areia; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa; transição difusa.
- AC 4 - 18 cm; cinzento-esverdeado muito escuro (Gley 2 3/10G, úmida) e cinzento-esverdeado (Gley 1 5/10Y, seca); areia; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa; transição gradual.
- C1 18 - 200+ cm; preto-azulado (Gley 6/10B, úmida) e branco (Gley 8/N, seca); areia; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa.

RAÍZES: Comuns finas no horizonte A; poucas finas no horizonte AC; raras finas no horizonte C1.

OBSERVAÇÕES: O perfil foi aberto à profundidade de 200 cm com posterior tradagem até 400 cm para fins de identificação de alteração do material de composição. No entanto, não se observou alteração e nem tampouco a ocorrência de horizonte espódico. A partir da profundidade de 150 cm ocorreu frequente desmoronamento das paredes do perfil, o que dificultou o aprofundamento além do limite alcançado.

### **5.2.2. Perfil 02 (P02)**

#### **Caracterização geral**

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.

LOCALIZAÇÃO - Rodovia BR 174, Km 929, ao lado esquerdo, no sentido Manaus-Presidente Figueiredo, em uma área de Campinarana arbórea/herbácea pertencente a Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a cerca de 100 m a partir da margem da rodovia, adentrando a Campinarana por cerca de 20 m. Manaus (AM).

COORDENADAS GEOGRÁFICAS - 02° 40' 05" S, 60° 02' 45" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL - Descrito e coletado em trincheira, em local plano, com declive de 1% a 2%, sob vegetação de Campinarana.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Formação Alter do Chão, composta por arenitos arcoseanos, pelitos, argilitos, arcóseos, quartzo-arenitos e brechas intraformacionais.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do material proveniente dos sedimentos da formação supracitada.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL - Plano à suave ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Excessivamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Campinarana arbórea/herbácea;

USO ATUAL - Sem uso antrópico.

### Descrição morfológica



**Figura 7.** Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.

**Fonte:** LIMA, H. N., 2021.

- O 9 - 0 cm; coloração escura; com matéria orgânica variando de ligeiramente decomposta à quase completamente decomposta.
- A 0 - 7 cm; preto-azulado (Gley 2 2.5/5B úmida) e cinzento-esverdeado escuro (Gley 1 4/10Y); areia; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.
- AC 7 - 19 cm; cinzento-esverdeado muito escuro (Gley 2 3/10G, úmida) e cinzento-esverdeado escuro (Gley 1 6/10Y); areia; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa; transição gradual.
- C1 19 - 180 cm; cinzento-azulado (Gley 6/10B, úmida) e branco (Gley 8/N, seca); areia; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa.

RAÍZES: Comuns finas no horizonte A; poucas finas no horizonte AC; raras finas no horizonte C1.

OBSERVAÇÕES: O perfil foi aberto à profundidade de 180 cm e o aprofundamento não foi possível devido ao desmoronamento frequente das paredes de areia.

### **5.2.3. Perfil 03 (P03)**

#### **Caracterização geral**

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.

LOCALIZAÇÃO - Rodovia AM 010, Km 32 (aproximadamente), ao lado esquerdo da rodovia no sentido Manaus-Itacoatiara, em uma área de Campinarana arbórea/arbustiva, acessando o ramal Águas Pretas, com cerca de 4 quilômetro acessar o ramal de acesso à cachoeira da Tia Ana, até a propriedade de Dona Ana e Seu Francisco. Manaus (AM).

COORDENADAS GEOGRÁFICAS - 02° 52' 03" S, 59° 58' 22" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL - Descrito e coletado em trincheira, em local plano, com declive de 2% a 3%, sob vegetação de Campinarana.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Formação Alter do Chão, composta por arenitos arcoseanos, pelitos, argilitos, arcóseos, quartzo-arenitos e brechas intraformacionais.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do material proveniente dos sedimentos da formação supracitada.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL - Plano à suave ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Excessivamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Campinarana arbórea/herbácea;

USO ATUAL - Sem uso antrópico.

### Descrição morfológica



**Figura 8.** Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.

**Fonte:** LIMA, H. N., 2021.

- A 0 - 10 cm; grãos simples, cinzento muito escuro (2,5Y 3/1, úmida) e cinzento-claro (2,5Y 7/1); areia; grãos simples; solta; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

- AC 10 - 28 cm; cinzento (2,5Y 6/1) e branco (2,5Y 8/1); areia; grãos simples; solta; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição difusa.
- C1 28 - 70 cm; cinzento (2,5Y 6/1) e branco (2,5Y 8/1); areia; grãos simples; solta; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição difusa.
- C2 70 - 250 cm; cinzento (2,5Y 5/1) e branco (2,5Y 8/1); areia; grãos simples; solta; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição difusa.
- CR 250 - 265 cm; cinzento (2,5Y 5/1) e branco (2,5Y 8/1); areia + cascalho de quartzo; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa.

RAÍZES: Comuns finas no horizonte A; poucas finas no horizonte AC; raras finas no horizonte C1.

OBSERVAÇÕES: O Perfil 3 foi aberto à profundidade de 150 cm com posterior tradagem até 265 cm para fins de identificação de alteração do material de composição. Observou-se um aumento significativo de cascalho de quartzo a partir de 250 cm de aprofundamento do perfil. A partir de 265 cm a penetração do trato tornou-se impossível, o que indica a ocorrência de laje (arenito consolidado frequente em áreas de material exposto). Não houve ocorrência de horizonte espódico até o alcance do arenito consolidado.

Neste perfil não se formou uma camada orgânica superficial. Porém, observou-se a ocorrência de agregados arredondados de matéria orgânica e areia disseminados nos horizontes. Essas estruturas são mais comuns no horizonte A e tornam-se menos comuns em profundidade, tornando-se muito raras no horizonte C1.

#### **5.2.4. Perfil 04 (P04)**

##### **Caracterização geral**

CLASSIFICAÇÃO - ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico.

LOCALIZAÇÃO - Rodovia BR 174, Km 990 (aproximadamente), ao lado direito no sentido Manaus-Boa vista, com acesso pela Cachoeira da ASFRAMA. Rio Preto da Eva (AM).

COORDENADAS GEOGRÁFICAS - 02° 08' 15" S, 59° 59' 45" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL - Descrito e coletado em trincheira, em posição de baixada com elevação da paisagem de 87 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Grupo Trombetas, composto por arenitos finos a médios, brancos a cinza-claros, castanho-claros a escuros, em parte silicificados.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do material proveniente dos sedimentos da formação supracitada.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL - Plano à suave ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Excessivamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Campinarana arbórea.

USO ATUAL - Sem uso antrópico.

### **Descrição morfológica**



**Figura 9.** Perfil de ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico.

**Fonte:** NEVES, A., 2021.

- O 9 - 0 cm; coloração escura; com matéria orgânica variando de ligeiramente decomposta à quase completamente decomposta.
- A 0 - 4 cm; grãos simples; cinzento muito escuro (2.5Y 3/1, úmida) e cinzento (2.5Y 6/1, seca); areia; grãos simples; solta; muito friável; não plástica e não pegajosa; transição gradual plana.
- E1 4-23 cm; cinzento escuro (2.5Y 4/1, úmida) e branco (2.5Y 8/1, seca); areia; grãos simples; solta; muito friável; não plástica e não pegajosa; transição gradual plana.
- E2 23-59 cm; cinzento escuro (2.5Y 4/1, úmida) e branco (2.5Y 8/1, seca); areia; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa; transição abrupta ondulada/irregular.
- Bh 59 - 79 cm; variando entre bruno-escuro (10YR 3/3, úmida e seca), bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida) e preto (10YR 2/1, úmida); areia; extremamente dura, maciça; não plástica e não pegajosa.

RAÍZES: Comuns finas e médias no horizonte A; poucas finas e média no horizonte E1; poucas finas e média no horizonte E2.

OBSERVAÇÕES: O perfil foi aberto à profundidade de 79 cm, a partir o qual alcançou-se o horizonte espódico extremamente duro. Nessa profundidade observou-se a surgimento de água proveniente do lençol freático e arenito consolidado próximo a superfície, o que impediu o aprofundamento dos horizontes.

#### **5.2.5. Perfil 05 (P05)**

##### **Caracterização geral**

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico.

LOCALIZAÇÃO - Rodovia BR 174, Km 990 (aproximadamente), ao lado direito no sentido Manaus-Boa vista, com acesso pela Cachoeira da ASFRAMA. Rio Preto da Eva (AM).

COORDENADAS GEOGRÁFICAS - 02° 08' 12" S, 59° 59' 40" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL - Descrito e coletado em trincheira aberta no terço inferior da encosta, declive desconhecido, com elevação de 89 m na paisagem, em uma área de Campinarana arborea.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Grupo Trombetas, composto por arenitos finos a médios, brancos a cinza-claros, castanho-claros a escuros, em parte silicificados.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do material proveniente dos sedimentos da formação supracitada.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - Plano à suave ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Excessivamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Campinarana arbórea.

USO ATUAL - Sem uso antrópico.

### **Descrição morfológica**



**Figura 10.** Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico.

**Fonte:** NEVES, A., 2021.

- A 0 - 10 cm; cinzento muito escuro (2.5Y 3/1, úmida) e cinzento escuro (2.5Y 4/1, seca); areia franca; grãos simples; solta; muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara, ondulada e plana.
- C1 10 - 15 cm; bruno-acinzentado muito escuro (2.5Y 3/2, úmida) e bruno-acinzentado (2.5Y 5/2, seca); franco arenoso; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- C2 15 - 55 cm; preto (2.5Y 2.5/1, úmida) e bruno-oliváceo-escuro (2.5Y 3/3, seca); areia franca; fraca; bloco subangular médio e grãos simples; friável; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- C3 55 - 122 cm; cinzento (2.5Y 6/1, úmida) e bruno-amarelo-claro (2.5Y 6/4, seca); areia; fraca; bloco subangular médio e grãos simples; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- C4+ 122 - 174 cm; amarelo-oliváceo (2.5Y 6/8, úmida) e amarelo (2.5Y 7/6, seca); fraca. bloco subangular e grãos simples; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

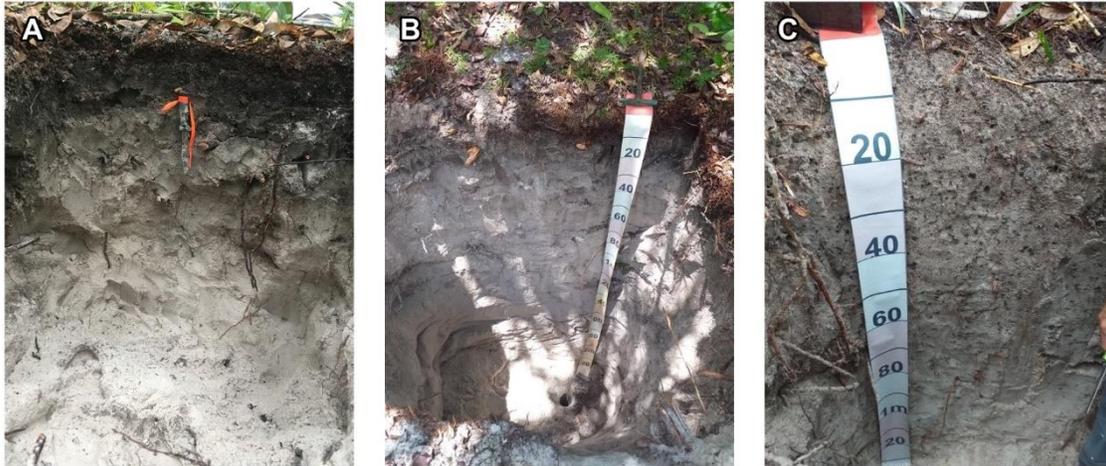
RAÍZES: Abundante muito finas e médias no horizonte A; poucas finas no horizonte C1; comuns finas e média no horizonte C2; comuns e finas no horizonte C4+.

OBSERVAÇÕES: O perfil foi aberto à profundidade de 174 cm para fins de identificação de alteração do material de composição. Observou-se que a partir de 55 cm de profundidade, os horizontes tomaram caráter menos arenoso.

### 5.3. Classificação dos solos

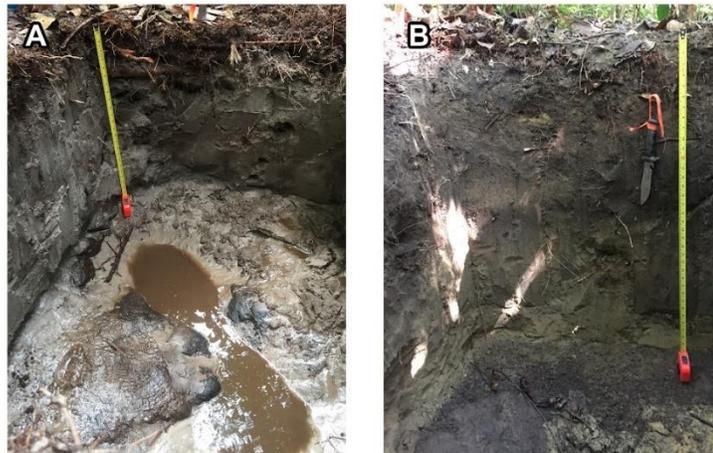
Os solos foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2018).

P01, P02 e P03 foram classificados como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico por atenderem aos critérios de insuficiência de expressão dos atributos, exígua diferenciação de horizontes com individualização de um horizonte A seguido de C ou R, predomínio de características herdadas do material originário, com textura arenosa em todos os horizontes por mais de 150 cm de profundidade e ausência de lençol freático elevado durante grande parte do ano (Figura 11).



**Figura 11.** Perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus. Onde: A) P01, B) P02, C) P03.

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, horizonte B espódico em profundidade menor que 200 cm, ausência de período de saturação por água, ausência de horizonte H ou Eg e caráter dúbico (Figura 12).



**Figura 12.** Perfil de ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúbico e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus. Onde: A) P04, B) P05.

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.

Os solos arenosos da região amazônica são variáveis e nem sempre são exclusivamente Espodossolos (Adeney et al., 2016), apesar destes ocuparem uma área oito vezes maior que os Neossolos Quartzarênicos (Teixeira et al., 2010) e serem mais classificados em estudos realizados em diferentes tipologias vegetais de Campinaranas (Mendonça et al., 2015; Mendonça et al., 2017; Mendes et al., 2017).

Os Neossolos Quartzarênicos, bem como os Espodossolos, estão relacionados com a paisagem predominantemente plana da região do Alto Rio Negro (Mafra et al., 2002), mas são menos representativos. Em análise de 67 perfis de solos sob Campinaranas e áreas de contato Campinarana/Floresta na região do alto Rio Negro, Mendonça et al. (2015) observaram a ocorrência de 24 perfis de Espodossolos e 14 perfis de Neossolos Quartzarênicos. Por outro lado, Falcão (2019), em estudos sobre metais pesados em 10 perfis de solos arenosos na região metropolitana de Manaus, observou o predomínio de Neossolos Quartzarênicos. A associação dos resultados desses estudos indica uma diferença significativa entre os solos arenosos da região do Alto Rio Negro e os que ocorrem na região de Manaus e Presidente Figueiredo, as quais podem ser comprovadas com a comparação de dados dos perfis caracterizados no levantamento do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1977b; 1978). Nesse levantamento observa-se a maior ocorrência de Espodossolos com caráter hidromorficos na região do Alto Rio Negro, enquanto os Neossolos Quartzarênicos são descritos com maior frequência na região de Manaus, tal como observou-se nesse estudo, em que os Neossolos foram predominantes e o único Espodossolo foi classificado na região próximo a cachoeira da ASFRAMA.

#### **5.4. 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 observou-se a ocorrência da consistência ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa nos dois últimos horizontes (Tabela 1).

O levantamento de solos realizado pelo projeto RADAMBRASIL também mostrou predomínio de consistências solta, não plástica e não pegajosa nos Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos descritos nas folhas Içá (BRASIL, 1977b), Pico da Neblina (BRASIL, 1976b), Manaus (BRASIL, 1978) e Santarém (BRASIL, 1976a), o que se assemelha aos resultados obtidos por Falcão (2019) em estudo com Neossolos Quartzarênicos na região de Manaus e com os resultados obtidos nesse trabalho.

A ocorrência de consistência e estrutura (blocos angulares) diferentes nos horizontes subsuperficiais de P05 podem estar associados com a presença de agentes cimentantes (argila e matéria orgânica) nos horizontes desse perfil. De acordo com Lepsch (2010), a aderência de partículas unitárias é provocada por substâncias que tem propriedades de ligá-las, tais como produtos orgânicos e substâncias minerais. O P05 foi o único entre os perfis a apresentar uma ocorrência homogênea dos teores de argila ao longo do perfil.

A agregação de partículas foi ausente (grão simples) nos horizontes superficiais e subsuperficiais, o que condiciona uma consistência solta e elevada capacidade de drenagem que são característicos desses solos.

A camada orgânica não foi encontrada em todos os perfis. Em P01, P02 e P04, essa camada foi caracterizada pela coloração escura e presença de raízes entrelaçadas à material orgânico ligeiramente decomposto e/ou quase decomposto, os quais contribuem para o aumento da fertilidade e carbono orgânico quando incorporados no solo (Mendonça et al., 2015). As raízes variaram de média a muito finas em todos os perfis e se concentraram nos horizontes superficiais.

**Tabela 1.** Atributos morfológicos dos solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus.

Perfil	Horizonte	Profundidade Cm	Cor		Pedregosidade	Estrutura	Consistência		
			Úmida	Seca			Úmida	Molhada	
								Plasticidade	Pegajosidade
P01	Camada O	14 – 0	-	-	-	-	-	-	-
	A	0 – 4	Gley 2 2.5/5B	Gley 1 3/10Y	NPd	GS	Solta	NPI	NPg
	AC	4 – 18	Gley 2 3/10G	Gley 1 5/10Y	NPd	GS	Solta	NPI	NPg
	C1	18 - 200+	Gley 6/10B	Gley 8/N	NPd	GS	Solta	NPI	NPg
P02	Camada O	9 – 0	-	-	-	-	-	-	-
	A	0 – 7	Gley 2 2.5/5PB	Gley 1 4/10Y	NPd	GS	Solta	NPI	NPg
	AC	7 – 19	Gley 2 3/10G	Gley 1 6/10Y	NPd	GS	Solta	NPI	NPg
	C1	19 - 180+	Gley 2 6/10B	Gley 8/N	NPd	GS	Solta	NPI	NPg
P03	A	0 – 10	2,5Y 3/1	2,5Y 7/1	NPd	GSAg	MF	NPI	NPg
	AC	10 - 28	2,5Y 6/1	2,5Y 8/1	NPd	GSAg	MF	NPI	NPg
	C1	28 - 70	2,5Y 6/1	2,5Y 8/1	NPd	GSAg	MF	NPI	NPg
	C2	70 - 250	2,5Y 5/1	2,5Y 8/1	NPd	GS	MF	NPI	NPg
	Cr	250 - 265	2,5Y 5/1	2,5Y 8/1	NPd	GS	MF	NPI	NPg
P04	Camada O	9 – 0	-	-	-	-	-	-	-
	A	0 – 4	2.5Y 3/1	2.5Y 6/1	NPd	GS	MF	NPI	NPg
	E1	4 – 23	2.5Y 4/1	2.5Y 8/1	NPd	GS	MF	NPI	NPg
	E2	23 – 59	2.5Y 4/1	2.5Y 8/1	NPd	GS	MF	NPI	NPg
	Bh	59 – 79	10YR 3/3 10YR 2/2 10YR 2/1	10YR 3/3	NPd	BSA	MF	NPI	NPg
P05	A	0 – 10	2.5Y 3/1	2.5Y 4/1	NPd	GS	Friável	NPI	NPg
	C1	10 – 15	2.5Y 3/2	2.5Y 5/2	NPd	GS	Friável	NPI	NPg
	C2	15 – 55	2.5Y 2.5/1	2.5Y 3/3	NPd	BSA GS	Friável	NPI	NPg
	C3	55 – 122	2.5Y 6/1	2.5Y 6/4	NPd	BSA GS	Friável	LPI	LPg
	C4+	122 – 174	2.5Y 6/8	2.5Y 7/6	NPd	BSA GS	Friável	LPI	LPg

NPd = Não pedregoso; GS = Grão Simples; GSAg = Grão simples com agregado de matéria orgânica e areia; MF = Muito friável; BSA = Blocos subangulares; NPI = Não plástica; NPg = Não pegajosa; LPI = Ligeiramente plástica.

No P03 observou-se a ocorrência de agregados de matéria orgânica + areia disseminados nos horizontes A, AC e C1, com presença de raízes finas aderidas às estruturas e redução na quantidade de agregados em profundidade (Figura 13).



**Figura 13.** Agregados de matéria orgânica + areia encontrados no horizonte A do P03

**Fonte:** OLIVEIRA, G. K. S., 2022.

A movimentação da matéria orgânica foi observada visualmente na forma de pequenos agregados. De modo geral, a movimentação de matéria orgânica tem sido observada visualmente na forma de estrias (mais escuras e ricas em carbono orgânico do que a matriz do solo), como evidência do processo de podzolização (Chauvel et al., 1987; Horbe et al., 2003; Mendonça et al., 2015). No entanto, de acordo com Santos et al. (2018), é possível que ocorra acúmulo expressivo de matéria orgânica combinada com compostos de Al e Fe, que podem estar distribuídos também em aglomerados, formando padrões heterogêneos no horizonte, conforme observado neste estudo.

Destaca-se que a ocorrência desses agregados foi observada apenas no Perfil 3. A presença desses agregados evidencia um processo de podzolização, mas não se observou a

presença de um horizonte espódico nesse perfil. Diferentemente dos demais perfis, o P03 apresentou camada orgânica pouco espessa na superfície. A concentração de óxidos de alumínio e de ferro nesses agregados é mais elevada do que na matriz do solo, conforme se observa nos dados apresentados na tabela 6, evidenciando o papel desses na translocação das substâncias orgânicas e no processo de podzolização.

A coloração cinzenta predominou em amostras úmidas e/ou secas na maioria dos horizontes dos perfis. As cores acinzentadas e/ou azuladas se dão em decorrência da oxidação do Fe nesses solos (Rodrigues et al., 2001), ineficiência de drenagem (Santos et al., 2015) e menor lixiviação da matéria orgânica, indicando a presença de ambientes com o lençol freático mais raso (Horbe et al., 2003).

O horizonte Bh do P04 apresentou coloração variando de bruno escuro à preto em amostras úmidas. Tal característica pode ocorrer devido a drenagem imperfeita ou acumulações de materiais orgânicos nessa camada (Santos et al., 2015). De acordo com Horbe et al. (2003) esses horizontes podem estar endurecidos pela presença de oxi-hidroxidos de Fe, os quais conferem coloração castanha ao material. Contudo, a concentração de óxidos de Fe (Fe ditionito e Fe oxalato) observada neste estudo foi muito baixa, ao contrário da concentração de óxidos de Al (Al ditionido e Al oxalato), que apresentou valores elevados, indicando maior influência do Al do que do Fe na gênese desse horizonte espódico.

No horizonte C4+ do P05 observou-se a ocorrência das cores amarelo-oliváceo em amostra úmida e amarelo em amostra seca. Tal como em Horbe et al. (2003), os horizontes mais profundos de P05 mantiveram-se arenosos, mas apresentaram coloração amarelada/alaranjada, devido a ocorrência de oxi-hidroxidos de Fe nesse horizonte.

## **5.5. Atributos químicos**

Os solos variaram de fortemente ácidos ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 5,3$ ) à extremamente ácido ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 4,3$ ) com diminuição da acidez em profundidade em todos os perfis (Tabela 3).

Os valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  variaram de 4.2 a 6.2 e os de  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  de 2.5 a 4.9, o que está dentro da faixa obtida por pesquisas realizadas em solos 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 centro-sul de Roraima (Mendonça et al., 2017).

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  $cmol_c dm^{-3}$  em H+Al, e de 0,04 a 7,45  $cmol_c dm^{-3}$  em  $Al^{3+}$ . O horizonte espódico (Bh) de P04 apresentou a maior concentração de H+Al e a segunda maior concentração de  $Al^{3+}$ , o que diferiu do comportamento observado nos demais perfis de solos arenosos e corrobora com os resultados obtidos por Mendonça et al. (2017) na análise de dados de Espodossolos em Roraima e pelo projeto RADAMBRASIL nos Espodossolos caracterizados nas folhas Manaus (BRASIL, 1978) e Santarém (BRASIL, 1976a).

A maior concentração de  $Al^{3+}$  foi observada em subsuperfície (C4+) do P05. O mesmo foi observado por Herbele (2017) em um perfil de Neossolo Quartzarênico Órtico espodossólico ao estudar a gênese de Espodossolos no Estado de Santa Catarina.

A concentração de carbono orgânico total está diretamente correlacionada com a concentração de  $Al^{3+}$  (Tabela 2), o que também foi observado em Brasil (1978), Mendonça et al. (2017), Herbele (2017) e Falcão (2019).

**Tabela 2.** Correlação entre as concentrações de carbono orgânico total (C.O.T) e  $Al^{3+}$  nos solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus

	C.O.T	$Al^{3+}$
$Al^{3+}$	1	
C.O.T	0.65*	1

\* Correlação significativa pelo coeficiente de Pearson.

Segundo os dados de Mendonça et al. (2017), a concentração de Al nos horizontes superficiais (A) de Campinarana florestada foram consideravelmente maiores do que os encontrados nos horizontes espódicos (Bh e Bhs) dos mesmos perfis e nos solos de Campinaranas arbóreas. A predominância do  $Al^{3+}$  nesse horizonte pode estar relacionada à alta afinidade desse elemento por compostos orgânicos complexantes (Mendonça et al., 2014), contribuindo para a formação de complexos Al-MO. Contudo, neste estudo, diferentemente do que observaram Mendonça et al. (2015), as maiores concentrações de  $Al^{3+}$  foram observadas no horizonte Bh do P04 e no C<sub>4</sub> do P05.

**Tabela 3.** Atributos químicos dos solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus

Perfil	Horizonte	pH		COT g 100g <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	Na <sup>+</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CTCe	CTCt	SB	V	m
		H2O	KCl													
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

C.O.T = Carbono Orgânico Total; H+Al = Acidez Potencial; Al<sup>3+</sup> = 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 a 0,46 g 100g<sup>-1</sup>, com maiores concentrações no horizonte espódico (Bh) do P04, no horizonte subsuperficial (C<sub>4</sub>) de P05 e nos horizontes superficiais dos demais perfis. Em Mendonça et al. (2015), Mendonça et al. (2017), Mendes et al. (2017) e Brasil (1978) é possível observar que os perfis seguem tendência semelhante ao que foi observado neste trabalho, principalmente ao que se refere ao Espodossolo (P04), o que comprova a movimentação da matéria orgânica no perfil, com consequente deposição em subsuperfície. De acordo com Coninck (1980) essa movimentação ocorre pela percolação da água no perfil com o acúmulo de grandes quantidades de carbono na transição dos horizontes arenosos em profundidades superiores a 100 cm.

Os valores de CTC efetiva (CTCe) e CTC total (CTCt) também foram maiores em superfície, com exceção dos horizontes Bh de P04 e C<sub>4</sub>+ de P05, que apresentaram os maiores valores. Os valores de CTCe variaram de 0,14 a 7,57 cmolc dm<sup>-3</sup> e os de CTCt variaram de 1,12 a 43,19 cmolc dm<sup>-3</sup>. Nos Neossolos das folhas Manaus e Santarém do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978; 1976a) também se observou que os maiores valores de CTCt ocorrem nos horizontes superficiais. Já nos Espodossolos observou-se que os maiores valores de CTCt ocorreram nos horizontes superficiais dos perfis, com redução nos horizontes eluviais, seguido pelo aumento expressivo nos horizontes espódicos e redução significativa em subsuperfície. O mesmo comportamento de CTCt foi observado em Roraima (RR) por Mendonça et al. (2017) em perfis de Espodossolos e no P04 desse estudo.

Os valores da soma de bases (SB) variaram de 0,12 a 0,50 cmolc dm<sup>-3</sup> e são semelhantes aos valores descritos por Mendonça et al. (2015), Mendonça et al. (2017) e Demarchi et al. (2018). De acordo com Mendes et al. (2017), os cátions básicos trocáveis têm como origem principal a decomposição dos resíduos vegetais nos horizontes superficiais orgânicos e nos horizontes espódicos dos Espodossolos.

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. A V% também foi maior no horizonte E, com menor concentrações no horizonte espódico no Espodossolo avaliado por Mendonça et al. (2017) em Campinarana arbórea. No projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978) também se observa a mesma tendência nos valores de V% nos perfis de Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos, o que provavelmente decorre em função da

pobreza do material de origem e da intensa lixiviação a que são submetidos esses solos, causando movimentação das bases trocáveis para subsuperfície.

A V% é menor na subsuperfície do Espodossolo (P04), a qual corresponde ao horizonte espódico, ainda que nesse horizonte ocorreram também os maiores valores de CTCe e CTCt. No entanto, observa-se que nesse horizonte ocorre também a maior concentração de H+Al, os quais, segundo Rosiello e Jacob Netto (2006), ocupam posições de troca catiônica em superfícies eletronegativas do coloide em substituição aos cátions básicos.

A saturação por Al (m%) variou de 15,88% a 98,43% e apresentou os maiores valores em superfície nos perfis, indicando a elevada proporção de alumínio trocável em relação aos teores de bases trocáveis nos horizontes em que há maior CTC.

A baixa fertilidade também pode ser observada, sobretudo, nas concentrações de  $K^+$  (0 a 14 mg dm<sup>-3</sup>), P (0,01 a 0,17 mg dm<sup>-3</sup>),  $Ca^{2+}$  (0 cmolc dm<sup>-3</sup>) e  $Mg^{2+}$  (0,03 a 0,30 cmolc dm<sup>-3</sup>). A fertilidade desses ambientes é reflexo de ausência de minerais facilmente intemperizáveis e predomínio de quartzo, o que faz com que a vegetação predominante nessa região seja composta por espécies pouco diversas, mas com alto endemismo, tal como sugerido por Vale Júnior et al. (2016).

## 5.6. Atributos físicos

Os solos apresentaram textura variando de franco arenosa a areia, com teores de areia variando de 65,73% a 98,36%, de silte variando de 0,48% a 30,27%, e de argila variando de 1,0% a 8,2% (Tabela 4)

De modo geral, há predomínio de areia fina (> 51,07%) nos perfis, sobretudo em P04 e P05. Os perfis 4 e 5 são formados a partir de sedimentos oriundos da alteração de arenitos do Grupo Trombetas (Paleozoico, Siluriano), o quais são caracterizados como arenitos finos e médios, mais antigos que aqueles da Formação Alter do Chão (Cretáceo/Terciário).

O predomínio das frações de areia fina também foi observado nos perfis de Neossolos Quartzarênicos das folhas Manaus (39 – 56%) do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978), em Ribeiro et al. (2007) (25 – 46%) e em Mendonça et al. (2015) (35 – 57%), além dos Espodossolos estudados por Horbe et al. (2003) (20 – 50%).

**Tabela 4.** Atributos físicos dos solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus

Perfil	Horizonte	Profundidade cm	Cascalho	Areia		Silte %	Argila	Densidade mg m <sup>-3</sup>	Porosidade %	Textura
				Grossa	Fina					
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 dúbico										
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	28,73	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	20,2	5,20	0,86	67,38	Areia franca
	C1	10 - 15	-	15,76	69,97	30,27	4,00			Franco arenoso
	C2	15 - 55	-	15,15	66,57	23,08	5,20			Areia franca
	C3	55 - 122	-	34,48	60,02	28,44	5,40			Areia
	C4+	122 - 174	-	14,05	77,21	0,54	8,20			Areia

A ocorrência de cascalho só foi observada 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 arenito.

A fração argila apresentou baixos teores em todos os perfis estudados (< 8%). O maior teor foi observado no horizonte espódico do P04 (14%). Os teores de argila corroboram com aqueles levantados no projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1977b) na região do Rio Negro e por Mendonça et al. (2017) em Roraima. Nos levantamentos supracitados é possível notar que os teores de argila decrescem nos horizontes eluviais e aumentam gradualmente nos horizontes subsuperficiais, o que também coincide com os resultados encontrados neste trabalho.

A densidade dos solos variou de 0,86 a 1,15 mg m<sup>-3</sup>, o que está dentro do intervalo encontrado por Martins et al. (2007) em Neossolos Quartzarênicos em Parintins (1,11 a 1,51 mg m<sup>-3</sup>) e abaixo do intervalo encontrado em solos da mesma classe caracterizados por Freitas et al. (2012) em floresta nativa em Tocantins (1,35 a 1,51 mg m<sup>-3</sup>), Falcão (2019) na região metropolitana de Manaus (1,17 a 1,87 mg m<sup>-3</sup>) e Trindade et al. (2020) em mata nativa no Acre (1,2 a 1,4 mg m<sup>-3</sup>).

A porosidade variou de 56,72% a 67,38%, o que está acima do intervalo de Martins et al. (2007) (38 – 54%), Falcão et al. (2019) (19,9 – 51,6%) e Trindade et al. (2020) (30,6 – 49,2%).

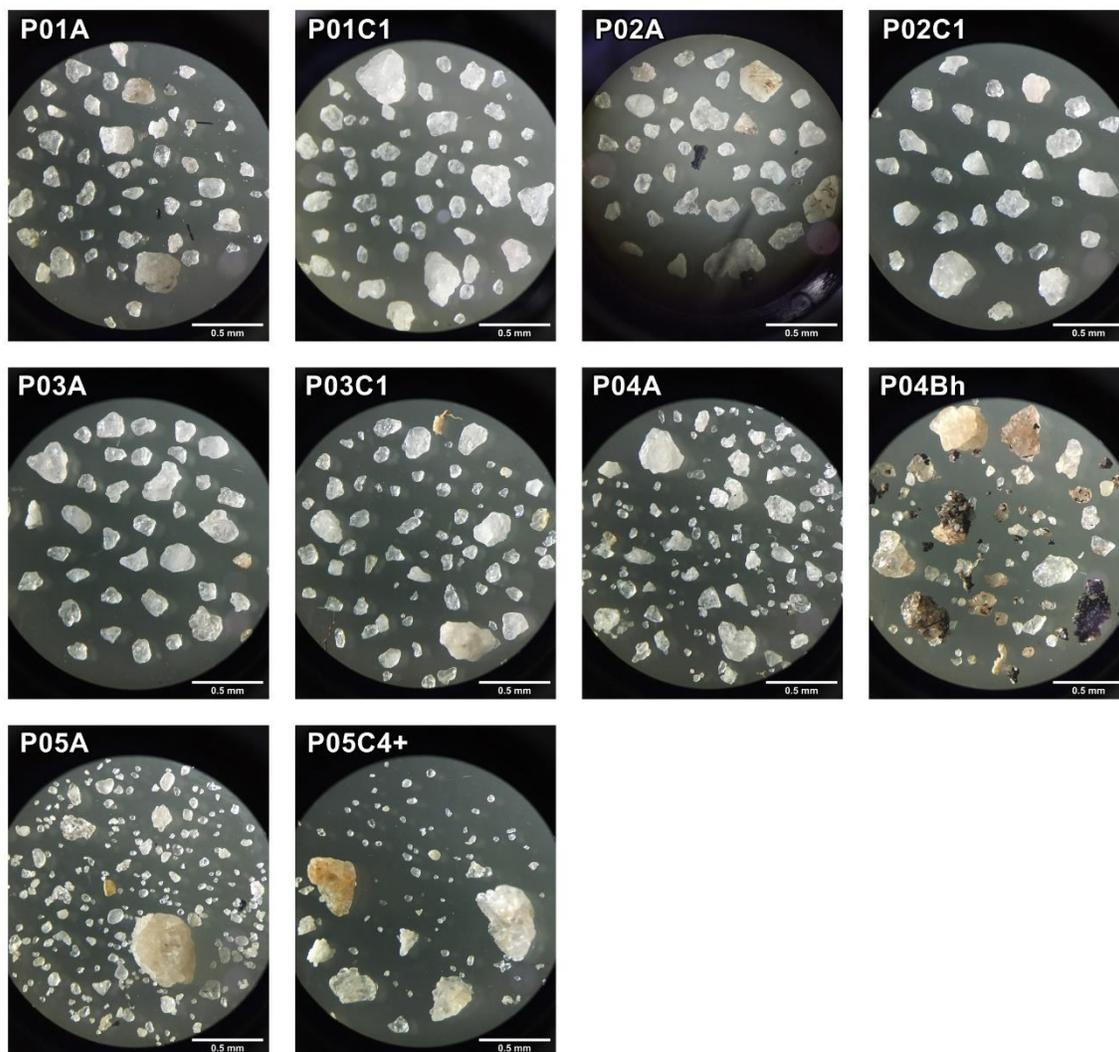
De acordo com Sales et al. (2010), a densidade possui relação com a porosidade, e esta, por sua vez, com a granulometria. No estudo sobre distribuição de poros em diferentes classes de solos, Ribeiro et al. (2007) observaram a predominância de areia média e fina em detrimento de areia grossa com maior diversidade de tamanho de poros em Neossolo Quartzarênico. De acordo com os autores, apesar de o solo ser particularmente arenoso, a pequena quantidade de argila encontrada (5,4%) apresenta um elevado grau de flocculação, o que proporciona certa capacidade de agregação e colabora para a explicação da maior diversidade de tamanho. O teor de argila em P05 (4,0% a 8,2%) coincide com o teor supracitado. Também na área desse perfil o solo tem a maior porosidade entre os demais (67,38%).

Schaefer et al. (2020) destacam a contribuição da microfauna para a formação física dos solos arenosos em unidades de conservação na Amazônia. Segundo os autores, nas

Campinaranas Arbustivas e Arborizadas destaca-se a presença generalizada de cupinzeiros de coloração escurecida na base dos arbustos, o que pode contribuir para o aumento da CTC e matéria orgânica. Estes resultados evidenciaram a importância dos térmitas na ciclagem de nutrientes, como apontado extensamente na literatura (Schaefer 2001; Sarcinelli et al. 2009, 2013; Mendonça et al. 2013). Nestes solos constantemente alagados e inóspitos quimicamente, os termiteiros da Campinarana, além de disponibilizarem nutrientes, permitem a boa aeração do solo e favorecem a fixação das plantas (Schaefer et al, 2020).

#### **5.6.1. Morfologia da areia**

A análise visual dos grãos de areia mostrou que o quartzo foi o mineral predominante em todos os perfis. Nota-se que nas imagens relacionadas aos horizontes superficiais (A), foram observados resquícios de matéria orgânica entre os grãos de areia, que também apresentaram coloração menos cristalina do que observado no horizonte de subsuperfície (C1) (Figura 14).



**Figura 14.** Morfologia dos grãos de areia (0,42 – 0,05 mm) nos perfis de solos arenosos sob vegetação de Campinaranas da região metropolitana de Manaus

**Fonte:** OLIVEIRA, G. K. S., 2022.

Os perfis 4 e 5 foram exceção à essa observação. Nos perfis é possível notar a maior ocorrência de grãos menores nos horizontes do que os observados nos horizontes de P01, P02 e P03, o que dificultou a organização dos grãos na placa de observação para registro na lupa.

No horizonte subsuperficial (Bh) de P04 observou-se grande quantidade de matéria orgânica entre os grãos e aderidas em suas superfícies. Devido esse horizonte ser o horizonte espódico do perfil, possui a maior concentração de matéria orgânica quando comparado ao

horizonte superficial (A). No P05 observa-se que grãos de areias são menores do que os observados nos demais perfis, com pouca ocorrência de areia grossa.

Quanto às características morfológicas, os grãos de areia possuem arredondamento subangular com esfericidade alta, o que corrobora com Horbe et al. (2003) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Atributos morfológicos predominante dos grãos de areia da região metropolitana de Manaus

Perfil	Horizonte	Fração mm	Arredondamento	Esfericidade	Minerais predominantes
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico					
P01	A	0,425 - 0,05	Subangular	Alta	Quartzo
	C1	0,425 - 0,05	Subangular	Alta	Quartzo
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico					
P02	A	0,425 - 0,05	Subangular	Alta	Quartzo
	C1	0,425 - 0,05	Subangular	Alta	Quartzo
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico					
P03	A	0,425 - 0,05	Subangular	Alta	Quartzo
	C1	0,425 - 0,05	Subangular	Alta	Quartzo
ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico					
P04	A	0,425 - 0,05	Subangular	Alta	Quartzo
	Bh	0,425 - 0,05	Angular	Alta	Quartzo
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico					
P05	A	0,425 - 0,05	Subangular	Alta	Quartzo
	C4+	0,425 - 0,05	Subangular	Alta	Quartzo

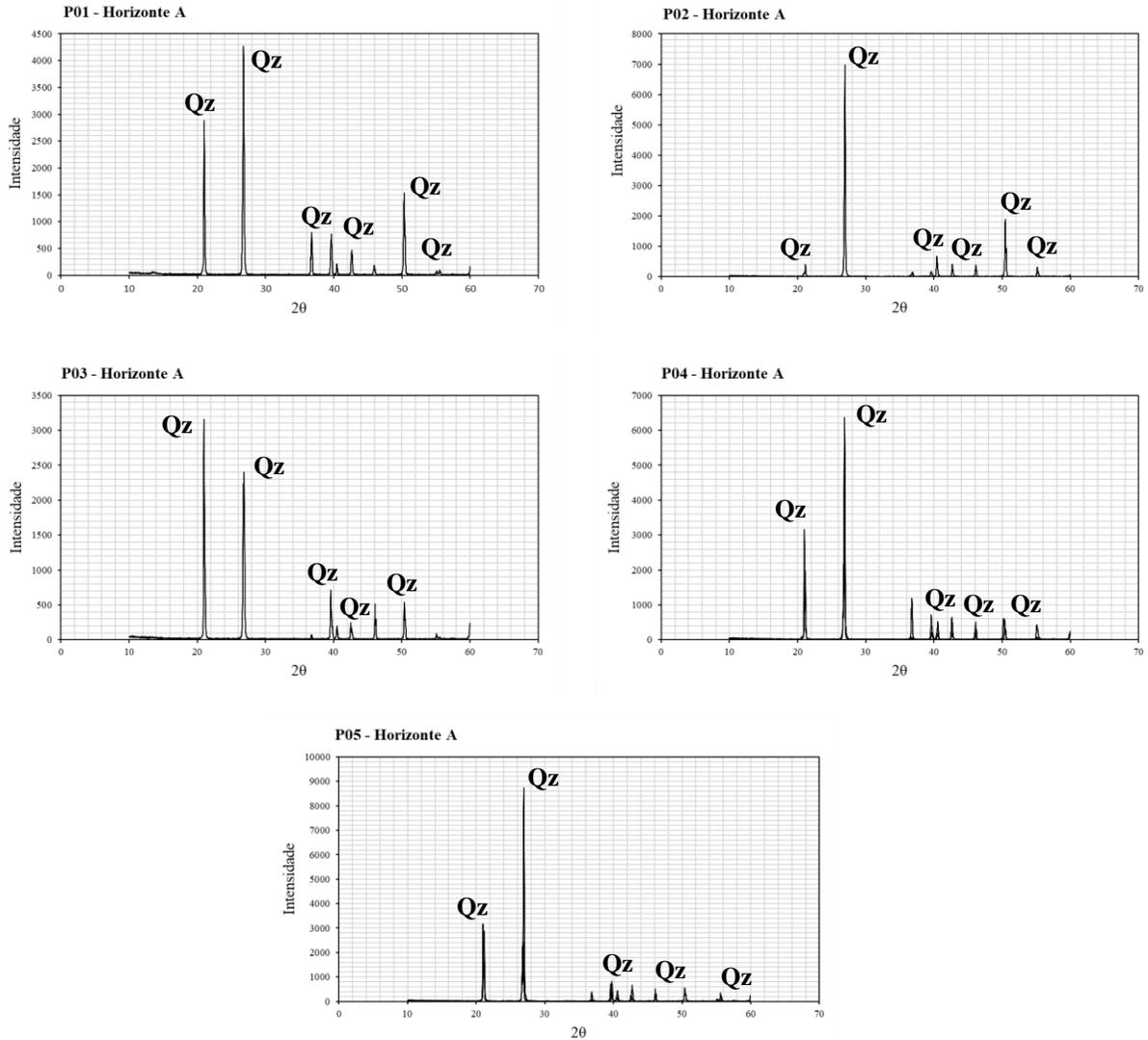
A disposição dos grãos e sua forma refletem os meios de transporte e/ou sedimentação dos materiais, (Beal e Shepard, 1956; Morris, 1957; Baranoski et al., 2014) onde os grãos com menor esfericidade e arredondamento (que conseqüentemente apresentam formas angulosas e esféricas) tem o transporte mais lento do que os grãos arredondados e pouco

esféricos (Wadell, 1932). Assim, de acordo com Mottana et al. (1978) (*in* Baranoski et al., 2014), os grãos que são transportados por meios fluviais possuem maior arredondamento e tem superfície mais suave do que grãos que são transportados por meios eólicos ou sofrem processos contínuos de dissolução. Segundo Horbe et al. (2003), a distribuição aleatória de areia média e fina ao longo dos perfis com uma tendência de aumento da quantidade de areia superfina (0,50 – 0,25 mm) em profundidade em depósitos de areia da região de Manaus, indica a ocorrência de corrosão dos grãos de quartzo, tal como sugerem as formas encontradas pelos autores (grãos angulosos/subangulosos).

A análise visual/morfológica das imagens corrobora com os resultados apresentados nos atributos morfológicos, químicos e físicos dos perfis.

### **5.7. Atributos mineralógicos**

O quartzo foi o principal componente mineral observado tanto em análises morfológicas, quanto nos picos determinados por difratometria de raio-x, tal como observado por Mafra et al. (2002) e Mendonça (2011) na matriz mineral de solos Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos na região do Rio Negro. (Figura 15).



**Figura 15.** Difratogramas de raios-X da fração areia dos perfis de solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus, onde: **Qz** = Quartzo.

De acordo com Horbe et al. (2003) o predomínio de quartzo em detrimento de  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$  (com aumento destes em subsuperfície) e as faixas de matéria orgânica em constante decomposição (ou depositadas em horizontes diagnósticos em Espodosolos) sugerem uma evolução progressiva da base para o topo em perfis de solos arenosos, ou seja, evolução *in situ*, onde o horizonte inferior serve como material de origem para a formação dos superiores, com o quartzo representando o produto do fim de um processo intenso de lixiviação e decomposição mineral.

As concentrações de óxidos cristalinos e amorfos de Al e de Fe são apresentadas na tabela 6. Os resultados evidenciam o predomínio de formas cristalinas sobre as formas amorfas tanto de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  quanto de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Resultados semelhantes foram observados por Horbe et al. (2003) e Mendonça (2011). De acordo com Ghidin et al. (2006), tais resultados indicam alto grau de intemperismo do solo, que favorece a maior cristalinidade dos minerais.

As maiores concentrações de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  foram observadas no horizonte espódico e horizonte A dos perfis, enquanto a maior concentração de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  foi observada no P05.

**Tabela 6.** Concentrações de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cristalino e amorfo nas amostras de solos arenosos sob vegetação de Campinarana da região metropolitana de Manaus

Perfil	Horizonte	Cristalino (DCB)		Amorfo (Oxalato)	
		$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
g kg <sup>-1</sup>					
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 dúbico					
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
	C <sub>4+</sub>	2,30	0,70	0,70	0,50

O Al cristalino apareceu em maior quantidade nos horizontes superficiais, mas com pouca variação entre os valores obtidos em horizonte subsuperficiais. Os agregados de matéria orgânica do P03 e o horizonte espódico (Bh) do P04, apresentaram concentração de Al cristalino e amorfo superiores à média dos resultados encontrados em seus respectivos perfis, o que indica que a ocorrência desses agregados constitui uma fase do processo de

podzolização. De acordo com Mendonça (2011), o predomínio de Al nestes solos é relacionado à sua elevada afinidade pelos complexos orgânicos.

Os Fe cristalino e amorfo apresentaram valores com variação muito próximas em todos os perfis, com exceção do P05, onde a concentração se mostrou relativamente acima da média encontrada nos demais perfis, especialmente em subsuperfície, onde ocorreu também a maior concentração de argila (Tabela 4).

A formação dos óxidos de Fe também fortemente influenciada pela dinâmica da água ao longo da topossequência (Ghidin et al., 2006). Em regiões com alto índice pluviométrico que favorecem o intemperismo, os óxidos e hidróxidos de Fe e Al constituem uma parcela importante da fração argila (Costa e Bigham, 2009) e suas concentrações atreladas as concentrações de matéria orgânica podem atuar como agentes cimentantes, se tornando primordial para a formação de horizontes espódicos (Pilar, 2021). Ao analisar a composição de  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$  em um perfil de Espodossolo, Ishida (2010) constatou que houve um aumento significativo na concentração dos óxidos nos horizontes espódicos (Bh e Bhs) com os teores de Al mais de cinco vezes maiores que os de Fe.

## 6. CONCLUSÃO

A classe dos Neossolos Quartzarênicos foi a de maior ocorrência no estudo.

Quimicamente são solos fortemente ácido à extremamente ácido, com concentrações de H+Al e de Al<sup>3+</sup> maiores nos horizontes superficiais e menores nos horizontes subsuperficiais.

O horizonte espódico do P04 apresentou os maiores valores de CTC, C.O.T, H+Al, Al<sup>3+</sup> e m%, o que indica potencial de armazenamento de carbono, matéria orgânica e Al em profundidade.

P01, P02 e P03 apresentaram textura arenosa, enquanto P04 e P05 apresentaram textura variando de franco arenosa a areia, com predomínio de areia fina em todos os perfis.

Os solos apresentaram valores de densidade do solo variando entre 0,86 e 1,15 mg m<sup>-3</sup>, refletindo na elevação da porosidade total (> 56%).

O quartzo foi o principal componente mineral observado, com grãos apresentando arredondamento subangular com esfericidade alta.

A concentração de óxidos de Fe foi muito baixa ou ausente, já a dos óxidos de Al foram elevadas, especialmente no horizonte espódico (Bh de P04).

A presença de agregados ricos em matéria orgânica e óxidos de Al cristalino distribuídos no P03, evidenciam o processo de podzolização e indica que o Al é um importante fator na formação dos horizontes espódicos nesse solo.

Logo, os solos arenosos sob campinaras da região de Manaus e Presidente Figueiredo são solos considerado frágeis, pobres em fertilidade e ricos em quartzo, o que pode potencializar a degradação de ambientes expostos.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ADENEY, J. M.; CHRISTENSEN, N. L.; VICANTINI, A.; COHN-HAFT, M. White-sand ecosystems in Amazonia. **Biotropica**, v. 48, n. 1, 2016.
- ALMEIDA, B. G. de; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. *In*: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil'. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDERSON, H. A.; BERROW, M. L.; FARMER, V. C.; HEPBURN, A.; RUSSELL, J. D.; WALKER, A. D. A reassessment of podzol formation processes. **European Journal of Soil Science**, v. 33, 1982.
- BARANOSKI, G. V. G.; KIMMEL, B. W.; CHEN, T. F.; MIRANDA, E. Influence of Sand-Grain Morphology and Iron-Oxide Distribution Patterns on the Visible and Near-Infrared Reflectance of Sand-Textured Soils. **Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**. v. 7, n. 9, 2014. DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2299813.
- BEAL, M. A.; SHEPARD, F. P. A. Use of roundness to determine depositional environments. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 26, 1956.
- BOT, A.; BENITES, J. The Importance of Soil Organic Matter: Key to Drought-Resistant Soil and Sustained Food Production. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.20 Manaus: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA.19 Pico da Neblina: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976b.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.21 Santarém: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976a.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.19 Içá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1977b.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA -21 Tumucumaque, NB – 20 Roraima e NB – 21, Rio de Janeiro, v. 8, 428 p. 1975a. (Levantamento dos Recursos Naturais, 8). *In*: MENDONÇA, B. A. F.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; PAULA, M. D. de. The soils of “Campinaranas” in Brazilian amazon: oligotrophic sandy ecosystems. **Ciencia Florestal**, v. 25, n. 4, pp. 827-839, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509820581>.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA. 21 Tumucumaque e parte da Folha NB. 21; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, Rio de Janeiro, 370 p. 1975b (Levantamento dos Recursos Naturais, 9). *In*: MENDONÇA, B. A. F.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; PAULA, M. D. de. The soils of “Campinaranas” in Brazilian amazon: oligotrophic sandy ecosystems. **Ciencia Florestal**, v. 25, n. 4, pp. 827-839, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509820581>.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB/SC. 18 Javari/ Contamana; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, Rio de Janeiro, 420 p. 1977a (Levantamento de Recursos Naturais, 13). *In*: MENDONÇA, B. A. F.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; PAULA, M. D. de. The soils of “Campinaranas” in Brazilian amazon: oligotrophic sandy ecosystems. **Ciencia Florestal**, v. 25, n. 4, pp. 827-839, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509820581>.

BUENO, G. T. Empobrecimento e podzolização de solos lateríticos da bacia do Rio Negro e gênese dos podzóis na alta Bacia da Amazônia. 2009. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2009.

CARDOSO, M. J. S. Cartografia das atividades de extração de minerais utilizados na construção civil e qualificação do grau de degradação ambiental na região de Manaus-AM. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

CARNEIRO FILHO, A.; D. SCHWARTZ; S. H. TATUMI; T. ROSIQUE. Amazonian paleodunes provide evidence for drier climate phases during the late Pleistocene-Holocene. **Quatern**, v. 58, 2002.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista brasileira de ciência do solo**, n.34, 2010.

CASTRO, S. S. de, HERNANI, L. C. Solos Frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECOONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. D.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**. v. 4, n. 1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15210/rbes.v4i1.11576>

CHAUVEL, A., LUCAS, Y., BOULET, R. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, central Amazonia, Brazil. **Experientia**. 1987.

CONINCK, F. Major mechanism in formation of spodic horizons. **Geoderma**, v.24. 1980.

COSTA, A. C. S. da. & BIGHAM, J. M. Óxidos de ferro. In: MELO, V. F. & ALLEONI, L. R. F. (Eds.) Química e mineralogia do solo. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

DAMASCO, G., VICENTINI, A., CASTILHO, C. V., PIMENTEL, T. P., NASCIMENTO, H. E. M. Disentangling the role of edaphic variability, flooding regime and topography of Amazonian white-sand vegetation. **J. Veg. Sci.** v. 24, 2013.

DAMIÃO, R.N., SOUZA, M.M., MEDEIROS, M.F. Projeto argila Manaus. Manaus: DNPM/CPRM, 1972. 65 p. (Relatório final).

DEMARCHI, L. O.; SCUDELLER, V. V.; MOURA, L. C.; DIAS-TERCEIRO, R. G.; LOPES, A.; WITTMANN, F. K.; PIEDADE, M. T. F. Floristic composition, structure and soil-vegetation relations in three white-sand soil patches in central Amazonia, **Acta Amazonica**, v. 48, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201603523>.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. de; BALIEIRO, F. de C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAUJO FILHO, J. C. de; SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE, M. R. de; MACEO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Characterization, agricultural potential, and perspectives

for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001>.

DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the Rio Negro basin (Amazonia). **Catena**, v. 32, 1998.

FALCÃO, J. F. Atributos e teores naturais de metais pesados em solos arenosos na Amazônia Central. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

FERREIRA, L. V.; CHAVES, P. P.; CUNHA, D. de A.; ROSÁRIO, A. S. do; PAROLIN, P. A extração ilegal de areia como causa do desaparecimento de campinas e campinaranas no estado do Pará, Brasil. **Pesquisas Botânica**, n. 64. São Leopoldo: Instituto Anchietano de Pesquisas, 2013.

FREITAS, I. C. de; SANTOS, F. C. V. dos; CUSTODIO FILHO, R. de O.; SILVA, N. R. da; CORRECHEL, V. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p.1275-1281, 2012.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. de F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná: I - mineralogia da fração argila. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v. 30, n. 2. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200010>

GUIMARÃES, F. S.; BUENO, G. T. As campinas e campinaranas amazônicas. *Caderno de Geografia*, v. 26, n. 45, 2016. ISSN 2318-2962.

HERBELE, D. A. Distribuição e Gênese de Espodossolos da Planície Costeira Norte do Estado de Santa Catarina. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

HORBE, A. M. C., HORBE, M. A., SUGUIO, K. Origem dos depósitos de areias brancas no nordeste do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**. n. 33, ed. 1, 2003.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ManuaisdeGeociencias/Manual%20Tecnico%20da%20Vegetacao%20Brasileira%20n.1.pdf>>.

IBGE. Mapa de geologia do Estado do Amazonas. Rio de Janeiro, 2010b. Disponível em: <[https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geologia/levantamento\\_geologico/mapas/unidades\\_da\\_federacao/am\\_geologia.pdf](https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/mapas/unidades_da_federacao/am_geologia.pdf)>.

IBGE. Mapa de geomorfologia do Estado do Amazonas. Rio de Janeiro, 2010c. Disponível em: <[https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/am\\_geomorfologia.pdf](https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades_da_federacao/am_geomorfologia.pdf)>.

IBGE. Mapa de pedologia do Estado do Amazonas. Rio de Janeiro, 2010a. Disponível em: <[https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/am\\_pedologia.pdf](https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/am_pedologia.pdf)>.

IBGE. Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, 2019.

ISHIDA, D. Caracterização e Gênese de Solos e de Depósito de Caulim Associado, São Gabriel da Cachoeira - AM. 2010. Tese (Doutorado em Geoquímica de Processos) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010

LEPSCH, I. F. Formação e Conservação dos Solos. 2. Ed. São Paulo: oficina de textos, 2010.

LIMA, R. H. C.; ANDRETTA, E. R. A erodibilidade do Saprólito da Formação Alter do Chão na Cidade de Manaus (AM). *In*: XV Encuentro de Geógrafos de América Latina. Habana: Universidad de la Habana, 2015. v. 1. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Procesosambientales/Geomorfologia/02.pdf>>.

LUCAS, Y., CHAUVEL, A., BOULET, R., RANZANI, G., SCATOLINI, F. Transição Latossolos-podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 1984.

MAFRA, A. L.; MIKLÓS, A. A. W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A. J. Pedogênese numa sequência Latossolo-Espodossolo na região do alto rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 381-394, 2002.

MARTINS G. C.; TEIXEIRA W. G.; MACEDO R. S.; MARQUES, J. D. Ocorrência de horizontes antrópicos (Terra Preta de Índio) em Neossolos Quartzarênicos no município de

Parintins - AM - Brasil. *In*: CONGRESSO DA ABEQUA, n. 11. Belém, PA: ABEQUA, 2007.

MENDES, D. D. S. O.; BUENO, G. T.; GUIMARÃES, F. S.; ROSSIN, B. G.; NASCIMENTO, N. R. do. 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**, v. 18, n. 3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i3.1192>.

MENDONÇA, B. A. F. de. Campinaranas amazônicas: pedogênese e relações solo-vegetação. (Tese de doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

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. Pozolized soils an paleoenvironmental implicatons of white-sand vegetation (*Campinarana*) in the Viruá National Park, Brazil. **Geoderna Regional**. 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.09.004>.

MENDONÇA, B. A. F.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; PAULA, M. D. de. The soils of “Campinaranas” in Brazilian amazon: oligotrophic sandy ecosystems. **Ciencia Florestal**, v. 25, n. 4, pp. 827-839, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509820581>.

MENDONÇA, B.A.F.; FERNADES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; VALE JÚNIOR, J.F.; LISBOA, B.A.R.; MENDONÇA, J.G.F. Solos e geoambientes do Parque Nacional do Viruá e entorno, Roraima: Visão integrada da paisagem e serviço ambiental. **Ciência Florestal**. v. 23, n. 2. 2013. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050989287>  
In: SCHAEFER, C.E.G.R.; CAMPOS, P.V.; CANDIDO, H.G.; CORRÊA, G.R.; FARIA, R.M.; VALE, JR, J.F. Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**. v. 15. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3897/neotropical.15.e49221>

MENDONÇA, B.F. de; FERNNDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. R.; MENDONÇA, J. G. de; VASCONCELOS, B. N. F. 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**, v. 89, n. 2, pp. 1269-1293, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720160666>

MORRIS, W. J. Effects of sphericity, roundness, and velocity on traction transportation of sand grains. *Journal of Sedimentary Research*, v. 27, n. 1, pp. 27-31, 1957. DOI: <https://doi.org/10.1306/74D7064B-2B21-11D7-8648000102C1865D>

MOTTANA, A.; CRESPI, R.; LIBORIO, G. Simon and Schuster's Guide to Rocks and Minerals, New York, NY, USA: Simon and Schuster, Inc., 1978. *In*: BARANOSKI, G. V. G.; KIMMEL, B. W.; CHEN, T. F.; MIRANDA, E. Influence of Sand-Grain Morphology and Iron-Oxide Distribution Patterns on the Visible and Near-Infrared Reflectance of Sand-Textured Soils. **Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 7, n. 9, 2014. DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2299813.

NOVAIS, R. F., SMYTH, T. J., NUNES, F. N. Fósforo. *In*: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007.

OLIVEIRA, J. F. de; PEREIRA, H. dos S.; SILVA, S. C. P. da. Análise dos processos minerários de areia na região metropolitana de Manaus. **Revista geociencias**, v. 40, n. 1, p. 107 - 121, 2021

PEREIRA, M. G.; RAVELLI NETO, A.; ANJOS, L. H. C. dos; CEDDIA, M. B.; SCHULTZ, N. Práticas de morfologia e física do solo. Seropédica: Editora da Universidade Rural do Rio de Janeiro, 2020.

PEREIRA, O.J.R.; MONTES, C.R.; LUCAS, Y.; SANTIN, R.C.; MELFI, A.J. A multi-sensor approach for mapping plant-derived carbon storage in Amazonian podzols. *International Journal of Remote Sensing*, v. 36, n. 8, pp. 2076-2092, 2015. DOI:10.1080/01431161.2015.1034896

PILAR, M. R. Agentes cimentantes de horizonte espódico do Paraná. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2021.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. da G. B. de. F.; SAMPAIO, F. de M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciênc. agrotec.** v. 31, n. 4, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000400033>

RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; SANTOS, P. L. dos; SILVA, P. R. O. da. Caracterização e classificação dos solos do município de Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001.

ROSIELLO, R. O. P.; JACOB NETTO, J. Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. *In: FERNANDES, M. S. Nutrição Mineral de Planta. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.*

SALES, L. E. de O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, M. M. Qualidade física de neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciênc. agrotec.** v. 34, n. 3. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300020>

SANTIN, R. C. Avaliação da sensibilidade à mineralização e estudo detalhado da matéria orgânica em Espodosolos da alta bacia do Rio Negro, Amazonas. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., Brasília, DF: Embrapa, 2018. ISBN 978-85-7035-800-4.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. DOS; SHIMIZY, S. H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2015. ISBN: 978-85-8650-403-7.

SARCINELLI, T.S.; SCHAEFER, C.E.G.R; FERNANDES FILHO, E.I.; MAFIA, R.G.; NERI, A.V. Soil modification by termites in a sandy-soil vegetation in the Brazilian Atlantic rain forest. *Journal of Tropical Ecology.* v. 29, n. 5. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467413000497> *In: SCHAEFER, C.E.G.R.; CAMPOS, P.V.; CANDIDO, H.G.; CORRÊA, G.R.; FARIA, R.M.; VALE, JR, J.F. Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil. Neotropical Biology and Conservation.* v. 15. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3897/neotropical.15.e49221>

SARCINELLI, T.S.; SCHAEFER, C.E.G.R; LYNCH, L.S.; ARATO, H.D.; VIANA, J.H.M.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; GONÇALVES, T.T. Chemical, physical and

micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. **Catena**. v. 76, n. 2. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.10.001>. In: SCHAEFER, C.E.G.R.; CAMPOS, P.V.; CANDIDO, H.G.; CORRÊA, G.R.; FARIA, R.M.; VALE, JR, J.F. Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**. v. 15. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3897/neotropical.15.e49221>

SCHAEFER C.E.G.R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal of Soil Research**. n. 39, v.5. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR00093> In: SCHAEFER, C.E.G.R.; CAMPOS, P.V.; CANDIDO, H.G.; CORRÊA, G.R.; FARIA, R.M.; VALE, JR, J.F. Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**. v. 15. 2020. DOI: <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. Solos da Região Amazônica. In: CURI, N. L. M.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. Pedologia: solos dos biomas brasileiros. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2017. SCHAEFER, C.E.G.R.; CAMPOS, P.V.; CANDIDO, H.G.; CORRÊA, G.R.; FARIA, R.M.; VALE, JR, J.F. Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**. v. 15. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3897/neotropical.15.e49221>

SENA, K. N.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Organic carbon and physical properties in sandy soil after conversion from degraded pasture to eucalyptus in the Brazilian cerrado. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 41, pp. 1-15, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150505>.

SILVA, M. de F.; FORTES, M. R.; DELGADO, M. B. de C. A extração irregular de areia e os impactos ambientais no Ramal Água Preta/Areal, Zona Rural de Manaus-AM. **Ciência Geográfica**, v. 25, n. 2, 2020.

SILVA, M. L. da, BONOTTO, D. M. Caracterização hidrogeoquímica na formação Alter do Chão, município de Manaus (AM). Anais o XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas,

2000. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24334>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2021.

SUGUIO, K. Geologia Sedimentar. São Paulo: editora Edgard Blücher Ltda, 2002.

TADINI, A. M. Gênese de Espodosolos amazônicos: um estudo sobre a estrutura e a mobilidade da matéria orgânica. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

TEIXEIRA, C. U.; SANTOS-PINTO, M. Mineralogia da fração areia dos solos como indicador do grau de intemperização no distrito de Jaguara - Feira de Santana - Bahia. VI Simposio Nacional de Geomorfologia, 2006. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/6/1/025.pdf>>.

TEIXEIRA, P. C.; CALDERANO, S. B.; CAMPOS, D. V. B. de; FONTANA, A. Ferro, Alumínio, Manganês e Sílica Extraíveis. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solos. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solos. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TEIXEIRA, W. G.; ARRUDA, W.; SHINZATO, E.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C.; LIMA, H. N.; RODRIGUES, T. E. Solos. In: MAIA, M. A. M.; MARMO, J. L. Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus, AM: CPRM, 2010.

TRINDADE, A. C. B.; ARAUJO, C. C. de; CAMELI, L. R.; BEZERRA, L. B.; LIMA, L. S.; ARAUJO, E. A. de. Caracterização e avaliação da qualidade física de Neossolo Quartzarênico em Geoambiente da Formação Cruzeiro do Sul, Acre. VIII Congresso Virtual de Agronomia, 2020. Disponível em: [https://convibra.org/congresso/res/uploads/pdf/artigo\\_17678\\_2020165145.pdf](https://convibra.org/congresso/res/uploads/pdf/artigo_17678_2020165145.pdf)

TRISTÃO, F. A. Influência dos parâmetros texturais das areais nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Santa Catarina, 2005.

VALE JÚNIOR, J. F.; NICODEM, S.; MELO, V. F.; UCHOA, S. C. P.; CRUZ, D. L. de S. Characterization of organic matter under different pedoenvironments in the viruá national park, in northern Amazon. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, pp. 1-12, 2016.

DOI <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20140480>.

VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L. de; NASCIMENTO, P. P. R. R. do; CRUZ, D. L. de S. Solos da Amazônia: etnopeologia e desenvolvimento sustentável. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 5, n. 2, pp; 158-165, 2011.

VASQUES, G. de M.; DART, R. de O.; BACA, J. F. M.; CEDDIA, M. B.; MENDONÇA SANTOS, M. de L. Mapa de estoque de carbono orgânico do solo (COS) a 0-30 cm do Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal. IBGE, Departamento e Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/classificacaovegetal.pdf>>

WADELL, H. Volume, Shape, and Roundness of Rock Particles. *The Journal of Geology*, v. 40, n. 5. 1932.