

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

ÉDIPO RAFAEL DOS SANTOS

ATRIBUTOS FÍSICO-HIDRÁULICOS E MINERALÓGICOS PARA
CARACTERIZAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB UM CEMITÉRIO EM
PONTA GROSSA - PR

PONTA GROSSA

2026

ÉDIPO RAFAEL DOS SANTOS

ATRIBUTOS FÍSICO-HIDRÁULICOS E MINERALÓGICOS PARA
CARACTERIZAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB UM CEMITÉRIO EM
PONTA GROSSA - PR

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Geografia,
curso de Mestrado em Gestão do
Território da Universidade Estadual de
Ponta Grossa, para obtenção do título
de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando
Pires

PONTA GROSSA

2026

S237 Santos, Édipo Rafael dos
Atributos físico-hidráulicos e mineralógicos para caracterização de um
Latossolo Vermelho sob um cemitério em Ponta Grossa -PR / Édipo Rafael dos
Santos. Ponta Grossa, 2026.
102 f.

Dissertação (Mestrado em Gestão do Território - Área de Concentração:
Gestão do Território: Sociedade e Natureza), Universidade Estadual de Ponta
Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Pires.

1. Legislação ambiental. 2. Impacto ambiental. 3. Necrochorume. 4. Solos
urbanos. I. Pires, Luiz Fernando. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Gestão do Território: Sociedade e Natureza. III.T.

CDD: 910



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

TERMO

ÉDIPO RAFAEL DOS SANTOS

“ATRIBUTOS FÍSICO-HIDRÁULICOS E MINERALÓGICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB UM CEMITÉRIO EM PONTA GROSSA - PR”

Ponta Grossa, 25 de maio de 2026

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território no Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **LUIZ FERNANDO PIRES**
Data: 02/06/2026 09:35:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luiz Fernando Pires – UEPG

Maria Lígia Cassol Pinto – UFSM

Documento assinado digitalmente
 **MARIA LIGIA CASSOL PINTO**
Data: 25/05/2026 19:11:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **ROBSON ANDRE ARMINDO**
Data: 27/05/2026 10:31:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Robson André Armindo – UFLA

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por todas as oportunidades que tenho recebido; sem Ele nada é possível. Sei que posso contar sempre com sua presença.

À UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA, universidade pública que oportuniza a graduação e a pós-graduação stricto sensu, pelo suporte à pesquisa.

À CAPES pelo apoio financeiro que muito auxiliou no desenvolvimento da pesquisa.

Ao PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA e todo corpo docente pelos ensinamentos e apoio durante o curso.

À SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE e ao SERVIÇO FUNERÁRIO MUNICIPAL DE PONTA GROSSA pela autorização para realização da pesquisa.

Ao Professor Dr. Luiz Fernando Pires que aceitou o desafio, pela orientação efetiva, com dedicação, paciência e disponibilidade.

Ao colega de laboratório Doutorando José Valdirino Gaspareto por toda ajuda nos momentos de dúvidas e todas as contribuições na pesquisa.

À minha mãe Maria Clarice dos Santos e minha irmã Jenyffer Mayara de Paula, por estarem comigo em todos os momentos.

À minha amada esposa Larissa Lopes dos Santos que sempre tem sido meu apoio em todos os momentos de minha vida, sem a sua ajuda não seria possível a realização desse trabalho, amo você.

Aos meus filhos Rebeca Lopes dos Santos e Paulo Asafe Lopes dos Santos que entenderam todos os momentos que eu precisava me dedicar na construção da pesquisa e deixar de lado nossas atividades, eu amo vocês.

E a todos aqueles que fazem parte de minha vida, muito obrigado.

RESUMO

Em meio à crescente preocupação com o meio ambiente, os cemitérios têm sido apontados como potenciais fontes de contaminação do solo e das águas subterrâneas. Isto devido ao fato de que há muitos cemitérios que ainda operam com sepultamentos diretos no solo, sem manejo adequado, o que pode transformar as necrópoles em potenciais vetores de doenças e poluentes. Embora a regulamentação ambiental para cemitérios no Brasil tenha avançado desde 2003, o passivo ambiental de áreas antigas permanece crítico. Considerando que o solo constitui a primeira barreira contra o necrochorume e metais provenientes de adereços funerários, compreender sua capacidade de retenção e filtragem é essencial para a saúde pública e para a preservação de aquíferos, especialmente em áreas urbanas densamente ocupadas. Diante da escassez de estudos sobre as propriedades físicas de latossolos, o objetivo deste trabalho foi avaliar se as características físicas e mineralógicas de um Latossolo Vermelho são capazes fornecer dados que possam subsidiar ações visando oferecer segurança ambiental para a atividade de cemitérios. O estudo apresentado aqui foi conduzido no município de Ponta Grossa (PR), com foco no Cemitério São Vicente de Paula situado em pleno perímetro urbano. Para a caracterização do solo foi utilizado o método de estudo de caso, quali-quantitativo, que se apropria das técnicas de análises físicas e mineralógicas detalhadas, incluindo análise textural e determinação da densidade de partículas, a fim de verificar a distribuição das frações granulométricas e a massa das partículas do solo. A composição química (óxidos) e mineralógica foi determinada por meio das técnicas de Espectroscopia de Fluorescência de Raios X e Difração de Raios X. Para compreender o comportamento hídrico do perfil, utilizou-se a técnica da Curva de Retenção de Água no Solo. As análises revelaram que o Latossolo Vermelho estudado apresenta textura argilosa, sendo os elevados teores de argila um fator crucial para a retenção de contaminantes. A presença de gibbsita na composição mineralógica, bem como de óxidos de ferro e alumínio, confere maior homogeneidade ao perfil do solo. A baixa densidade do solo observada constitui uma característica física favorável, pois evita limitações aeróbias, além de contribuir para uma elevada capacidade de retenção hídrica, influenciada pela matéria orgânica presente na camada superficial, conforme indicado pelos dados de retenção de água. Os resultados indicam que o solo estudado apresenta, no geral, aptidão adequada para o uso em necrópoles, podendo atuar como um filtro eficiente em função de suas propriedades físicas e químicas. Embora seja válido mencionar que não foram realizadas análises biológicas ao longo do perfil, a fim de rastrear potenciais contaminações. O estudo focou em algumas propriedades do solo sem medidas de atributos relacionados com a permeabilidade e capacidade de infiltração de solutos pelo solo. Por esse motivo, os resultados aqui obtidos devem ser tratados com cautela. Porém, esta pesquisa contribui significativamente para a Ciência Ambiental ao avaliar o uso de solos específicos na diminuição do potencial de possíveis impactos ambientais, subsidiar o poder público com dados técnicos para o planejamento urbano de cemitérios, e reforçar a importância de análises de propriedades do solo na definição de áreas para implantação de cemitérios.

Palavras-chave: impacto ambiental; necrochorume; solos urbanos; legislação ambiental.

ABSTRACT

Amid growing concern for the environment, cemeteries have been identified as potential sources of soil and groundwater contamination. This is due to the fact that many cemeteries still practice direct burial in the ground without proper management, which can turn cemeteries into potential vectors of disease and pollutants. Although environmental regulations for cemeteries in Brazil have improved since 2003, the environmental liability of older sites remains critical. Given that the soil constitutes the first barrier against leachate and metals from funeral artifacts, understanding its retention and filtration capacity is essential for public health and the preservation of aquifers, especially in densely populated urban areas. Given the scarcity of studies on the physical properties of Latosols, the objective of this study was to evaluate whether the physical and mineralogical characteristics of a Red Latosol can provide data to support actions aimed at ensuring environmental safety for cemetery operations. The study presented here was conducted in the municipality of Ponta Grossa (PR), focusing on the São Vicente de Paula Cemetery, located within the urban perimeter. A qualitative-quantitative case study method was used to characterize the soil, employing detailed physical and mineralogical analysis techniques, including textural analysis and determination of particle density, in order to assess the distribution of granulometric fractions and the mass of soil particles. The chemical (oxides) and mineralogical composition was determined using X-ray fluorescence spectroscopy and X-ray diffraction techniques. To understand the water behavior of the soil profile, the Soil Water Retention Curve technique was employed. The analyses revealed that the Red Latosol studied has a clayey texture, with high clay content being a crucial factor for contaminant retention. The presence of gibbsite in the mineralogical composition, as well as iron and aluminum oxides, confers greater homogeneity to the soil profile. The low soil density observed is a favorable physical characteristic, as it prevents aerobic limitations and contributes to a high water-holding capacity, which is influenced by the organic matter present in the surface layer, as indicated by the water-holding data. The results indicate that the soil studied generally exhibits adequate suitability for use in cemeteries and can act as an efficient filter due to its physical and chemical properties. However, it is worth noting that no biological analyses were conducted throughout the profile to detect potential contamination. The study focused on certain soil properties without measuring attributes related to permeability and the soil's capacity for solute infiltration. For this reason, the results obtained here should be interpreted with caution. However, this research makes a significant contribution to environmental science by evaluating the use of specific soils to reduce the potential for possible environmental impacts, providing public authorities with technical data for the urban planning of cemeteries, and reinforcing the importance of soil property analyses in identifying areas for cemetery development.

Keywords: environmental impact; leachate; urban soils; environmental legislation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aspectos gerais do Cemitério São Vicente de Paula: (a) Topo de vertente convexa com pequeno declive em direção a área urbana; (b) Sepulturas abertas no terço médio da vertente; (c) Sepulturas fechadas com área urbana ao fundo; (d) Registro fotográfico realizado do terço inferior da vertente.	25
Figura 2 - Fatores que atuam na formação do solo.....	26
Figura 3 - Sequência cronológica hipotética de evolução do perfil do solo. As letras A, B, C, R indicam os diferentes horizontes do solo e a rocha de origem.	27
Figura 4 - Triângulo textural utilizado para a classificação da textura do solo com base no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SBCS).	34
Figura 5 - Fluxograma sobre as etapas do estudo realizado.	42
Figura 6 – Posição do ponto de coleta de amostras e Localização do cemitério São Vicente de Paula no perímetro urbano de Ponta Grossa, Paraná BR.	43
Figura 7 - Coleta de amostras. a) Trincheira de 2 m de profundidade; b) Perfil de Latossolo Vermelho dentro da trincheira; c) Cilindro para a coleta de amostras indeformadas em camada específica.	46
Figura 8 – Etapas referentes as medidas de ρ_p . a) TFSA; b) Picnômetro (foi utilizado nas medidas sem tampa); c) Balão volumétrico com álcool isopropílico; d) Balão volumétrico contendo solo + álcool.....	48
Figura 9 - a) Amostras de solo em suspensão; b) Amostra em béquer de vidro em banho de gelo dentro do Ultrassom.	49
Figura 10 - Ilustração da etapa da análise textural: a) Peneira; b) Amostra sendo lavada para separação da fração areia; c) Fração areia transferida para placa de Petri; d) Fração areia após ficar por 48 h na estufa a 40 °C.	50
Figura 11 - Parte do processo da análise granulométrica. a) Proveta com amostra após ser agitada e proveta de prova com termômetro; b) Coleta de alíquota da suspensão com Pipeta 50 mL; c) Alíquota coletada transferida para a placa de petri; d) Fração argila na placa de Petri após ficar 48 h na estufa a 40 °C.	51
Figura 12 - a) Equipamento de FRX modelo EDX - 720, da marca Shimadzu; b) Carrocel onde ficam os porta amostras.	52
Figura 13 - a) Porta Amostra utilizado no ensaio; b) Porta amostra preenchido com solo macerado e tamizado em peneira de 45 μ m.	53

Figura 14 - a) Amostras sendo preparadas para análise da CRA; b) Etapa de saturação; c) Amostras alocadas na mesa de tensão.	55
Figura 15 - Valores de Densidade de Partículas em função de profundidade. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.	58
Figura 16 - Valores das massas de areia, argila e silte encontradas nas camadas C1 a C10 através da análise granulométrica. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.	60
Figura 17 - Triângulo textural utilizado para a classificação da textura do solo no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo, com amostras plotadas no ponto onde representa as suas frações.	61
Figura 18- Resultado da análise por FRX. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.	63
Figura 19 - Difratoograma com resultados da análise de DRX com difratogramas das camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado.	66
Figura 20 – Curvas de retenção obtidas para as diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. A umidade volumétrica é representada por θ e a tensão por h. As barras de erro indicam o desvio padrão da média.	69
Figura 21 – Curvas de distribuição de poros (FCA) para as diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro indicam o desvio padrão da média.	72
Figura 22 - Porosidade de aeração (PT- θ) para as diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro indicam o desvio padrão da média.	74
Figura 23 – Variação da densidade do solo para as diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.	76
Figura 24 – Variação da porosidade total do solo com a profundidade para as diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.	78
Figura 25 – Variação da macroporosidade com a profundidade para diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.	80

Figura 26 - Variação da microporosidade com a profundidade para diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.....	81
Figura 27 - Variação da mesoporosidade com a profundidade para diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.....	83
Figura 28 - Variação da capacidade de aeração com a profundidade para diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.....	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Três picos de difração para minerais presentes em latossolos vermelhos.	37
Quadro 2 - Classificação dos poros em função do diâmetro equivalente e sua função no solo.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de sedimentação para cada camada (C1 a C10), expresso em função da densidade de partículas de cada camada e a viscosidade da água que varia com a temperatura.	59
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACIPG	Associação Comercial, Industrial e Empresarial de Ponta Grossa
AD	Água disponível
Al_2O_3	Óxido de Alumínio
Ant	Anatásio
ASTM	American Society for Testing and Materials
Bw	Horizonte B Latossólico
C1 a C10	Camadas de 1 a 10
C – LABMU	Complexo de Laboratórios Multiusuários
CAD	Capacidade de água disponível
CC	Capacidade de Campo
CDP	Curva de distribuição de poros
CRA	Curva de Retenção de Água
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
DRX	Difração de Raios X
FASCA	Física Aplicada a Solos e Ciências Ambientais
FAO	Food and Agriculture Organization
FCA	Função Capacidade de água
Fe	Ferro
Fe_2O_3	Óxido de ferro
FRX	Fluorescência de Raios x
Gbs	Gibbsita
Gth	Goethita
Hem	Hematita
Hy	Haloisita
Kln	Caulinita
Macro	Macroporos
Mag	Magnetita
Meso	Mesoporos
MESH	Unidade de medida que indica o número de abertura
Micro	Microporos
Mnt	Montmorilonita

NaOH	Hidróxido de Sódio
Na-Sc	Sódio a Escândio
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
PLADEI	Plano de Desenvolvimento Industrial
PMP	Ponto de murcha permanente
Qz	Quartzo
Rt	Rutilio
SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
SiO ₂	Óxido de silício
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
TiO ₂	Óxido de titânio
Ti-U	Titânio a Urânio
Vrm	Vermiculita
Zn	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

g	Aceleração da gravidade local
h	Altura de sedimentação em <i>cm</i>
2θ	Ângulo de Bragg
$\approx$	Aproximadamente igual
θ_i	Conteúdo volumétrico de água (cm^3/cm^3)
$\theta(\psi)$	Conteúdo volumétrico de água em um dado potencial matricial
λ	Comprimento de onda
CuKa	Cobre K - alfa
ρ_a	Densidade da água
d_a	Densidade do álcool isopropílico
ρ_L	Densidade do fluído
ρ_p	Densidade da partícula
ρ_b	Densidade do solo
$d, \mu\text{m}$	Diâmetro equivalente de poros
d_p	Diâmetro máximo da partícula
M	Massa
mA	Miliamperes
M_{uai}	Massa da amostra úmida no potencial
m_{pa}	Massa do balão volumétrico com álcool
m_{psa}	Massa do balão volumétrico com solo e álcool
M_s	Massa do solo seco
m_{ps}	Massa do balão volumétrico vazio e seco
M_s	Massa do solo seco
α, n, m	Parâmetros de ajuste do modelo
kPa	Quilopascal
kV	Quilovolts
t	Tempo em segundos
$T\%$	Teor em porcentagem
$\text{\AA}$	Unidade de medida de átomos e moléculas
θ_{3kPa}	Umidade no potencial matricial de -3 kPa
θ_s	Umidade de saturação

θ_r	Umidade volumétrica residual
η	Viscosidade da água destilada
V_{total}	Volume interno do anel volumétrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 CEMITÉRIOS E MEIO AMBIENTE	21
2.2 CONTEXTO HISTÓRICO DO CEMITÉRIO SÃO VICENTE DE PAULA, PONTA GROSSA, PR.....	23
2.3 SOLO: NOÇÕES BÁSICAS	25
2.3.2 Latossolos Vermelhos	29
2.4 TECNICAS UTILIZADAS NO ESTUDO	31
2.4.1 Textura do Solo	32
2.4.2 Densidade de Partículas (ρ_p).....	34
2.4.3 Densidade do solo (ρ_b)	35
2.4.4 Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia.....	36
2.4.5 Difração de raios X.....	36
2.4.6 Curva de Retenção de Água no Solo (CRA)	38
2.4.7 Porosidade do solo.....	39
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	43
3.1.1 Critérios de seleção da área de estudo e do ponto de coleta de amostras de solo.....	43
3.1.2 Caracterização físico natural de Ponta Grossa – área do cemitério.....	44
3.1.3 Sobre os Latossolo.....	45
3.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO.....	46
3.3 PREPARO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS.....	47
3.3.1 Amostras Deformadas.....	47
3.3.2 Densidade de Partículas	48
3.3.3 Análise Granulométrica (Textura).....	49

3.3.4 Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (FRX).....	52
3.3.5 Difração de raios X (DRX)	53
3.3.6 Curva de Retenção de Água no Solo	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1 DENSIDADE DE PARTÍCULAS	58
4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	59
4.3 ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X	63
4.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X	66
4.5 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO, POROSIDADE DE AERAÇÃO E CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE POROS.....	69
4.6 DENSIDADE DO SOLO	76
4.7 POROSIDADE TOTAL	78
4.8 MACROPOROSIDADE, MESOPOROSIDADE, MICROPOROSIDADE E CAPACIDADE DE AERAÇÃO.....	79
5 CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS.....	88

1 INTRODUÇÃO

O ato de sepultar os mortos não é uma prática recente; historicamente, os seres humanos manifestam preocupação com a destinação de seus falecidos (Pacheco, 2000). A prática de sepultamentos, nos moldes atuais, consolidou-se com o surgimento do cristianismo. Inicialmente, os corpos eram enterrados no interior das igrejas, sob a crença de que a proximidade com o sagrado garantiria o "caminho da salvação". Essa prática perdurou por séculos; contudo, questões sanitárias e de higiene, como o odor persistente e o receio de contaminação por doenças, forçaram uma mudança de paradigma (Carneiro, 2009).

Em decorrência disso, o sepultamento dentro das igrejas foi proibido em meados do século XVIII. A prática migrou para os arredores das igrejas, mantendo o simbolismo religioso da salvação. Posteriormente, o crescimento urbano e a saturação desses espaços levaram à criação dos "campos de sepultamento". Localizados inicialmente em áreas remotas, esses espaços buscavam aliar segurança sanitária ao respeito pelos mortos. Entretanto, com a expansão das cidades, esses cemitérios foram absorvidos pela malha urbana, consolidando a estrutura que conhecemos hoje, o que trouxe à tona novos desafios ambientais (Pacheco, 2000).

Atualmente, os cemitérios são reconhecidos como potenciais fontes de contaminação ambiental e vetores de doenças. Os riscos dividem-se em: contaminação química, proveniente de metais pesados e substâncias dos caixões (adereços, vernizes e metais), e contaminação biológica, causada pelo necrochorume, líquido liberado durante a decomposição cadavérica (Żychwski; Bryndal, 2015).

No Brasil, a fiscalização e regulamentação desse setor passou a ter um marco em 2003 com a Resolução CONAMA nº 335 e (Brasil, 2003), posteriormente, novas diretrizes foram acrescentadas com base nas resoluções 368/2006 (Brasil, 2006), 402/2008 (Brasil, 2008) e 420/2009 (Brasil, 2009). O texto estabeleceu que as atividades de necrópole dependem de licenciamento ambiental e fixou normas técnicas rigorosas para tal finalidade. Entre as exigências, destacam-se: a distância mínima de 1,5 m entre o fundo das sepulturas e o lençol freático; a proibição de

instalação em áreas de preservação permanente ou mananciais; a obrigatoriedade de sistemas de drenagem pluvial e índices específicos de permeabilidade do solo.

Apesar de a resolução prever a adequação de cemitérios antigos, muitos não conseguiram se ajustar devido à complexidade técnica exigida. É o caso do Cemitério São Vicente de Paula, conhecido como "Cemitério Vicentino", em Ponta Grossa (PR). De acordo com o Serviço Funerário Municipal de Ponta Grossa, fundado em 1975 para ser um cemitério público de alta demanda, o Cemitério São Vicente de Paula foi concebido com uma estrutura que visava atender a população de baixa renda, oferecendo sepultamentos sem custos excessivos. Segundo o Serviço Funerário Municipal, o local possui 27 mil sepulturas, todas temporárias (por 5 anos), com uma média de 4 a 7 sepultamentos diários.

Contudo, o papel social do "Vicentino" contrasta com o risco ambiental que ele pode representar. Os sepultamentos ocorrem diretamente no solo, a apenas 1 metro de profundidade e sem estruturas de alvenaria ou outros meios para retenção de contaminantes. O solo local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico, caracterizado por alto grau de intemperismo e textura argilosa. Embora essas características sejam relevantes, é fundamental avaliar a estrutura física do solo para determinar sua real aptidão para o uso como necrópole.

As propriedades físicas do solo são fundamentais na escolha e no planejamento de áreas destinadas à construção de cemitérios, pois influenciam diretamente questões sanitárias, ambientais e estruturais (Funasa, 2007). A permeabilidade, por exemplo, determina a capacidade do solo de permitir a infiltração de líquidos, sendo essencial para evitar a contaminação do lençol freático por necrochorume (Goes *et al.*, 2025). Solos muito permeáveis podem facilitar a dispersão de contaminantes, enquanto solos excessivamente impermeáveis podem causar acúmulo de líquidos e dificultar a decomposição adequada. A textura e a estrutura do solo também afetam a estabilidade das sepulturas e a drenagem da água, prevenindo erosões e desmoronamentos (Funasa, 2007). Além disso, a profundidade do lençol freático deve ser considerada para garantir uma distância segura entre as sepulturas e as águas subterrâneas. Portanto, a análise criteriosa dessas propriedades é indispensável para assegurar que o cemitério não represente riscos à saúde pública nem ao meio ambiente (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

A utilização de latossolos vermelhos argilosos na implantação de cemitérios pode ser considerada adequada sob determinados critérios técnicos, pois esses

solos apresentam, em geral, boa capacidade de retenção de contaminantes devido ao alto teor de argila e à presença de óxidos de ferro, que favorecem a adsorção de substâncias potencialmente poluentes, como o necrochorume (Silva *et al.*, 2012). Além disso, sua estrutura bem desenvolvida e elevada profundidade contribuem para uma drenagem relativamente equilibrada, evitando tanto a infiltração excessiva quanto o acúmulo superficial de líquidos (Funasa, 2007). No entanto, é indispensável avaliar fatores como a permeabilidade real do solo, a profundidade do lençol freático e as condições de compactação, uma vez que variações locais podem comprometer sua eficiência como barreira natural. Dessa forma, embora os latossolos vermelhos argilosos apresentem características favoráveis, seu uso deve sempre ser acompanhado de estudos geotécnicos e ambientais detalhados para garantir a segurança sanitária e a proteção dos recursos hídricos (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

Diante da escassez de estudos sobre as propriedades físicas de latossolos para fins cemiteriais, este estudo justificou-se pela necessidade de gerar resultados parciais que pudessem subsidiar políticas públicas com relação à instalação e manutenção de cemitérios. A compreensão dessas propriedades físicas buscou permitir a proposição de medidas de mitigação e prevenção de impactos ambientais, tanto para cemitérios ativos quanto para futuros empreendimentos.

Vale destacar que, no estudo apresentado, não foram analisadas questões que deveriam ser tratadas no doutoramento relacionadas à contaminação, de modo que nenhuma conclusão pôde ser obtida a esse respeito. Além disso, não foram realizadas medições de permeabilidade e condutividade hidráulica do solo, e as análises se limitaram a uma profundidade de até 2 metros. Não foi possível avaliar todo o perfil do solo devido às limitações técnicas. Dessa forma, os resultados apresentados foram parciais e tiveram como objetivo fornecer um diagnóstico de algumas características físicas e mineralógicas do solo, permitindo identificar aspectos de sua estrutura, como retenção de água, distribuição de poros, mineralogia e capacidade de aeração. O estudo também se concentrou em análises pontuais, não havendo, portanto, informações sobre a variabilidade espacial da área.

Assim, o estudo teve como objetivo geral avaliar a aptidão de Latossolos Vermelhos para uso em cemitérios, considerando suas propriedades físicas e químico-mineralógicas. Para isso, os objetivos específicos compreenderam determinar a textura do solo por meio de análise granulométrica, bem como a

composição química elementar utilizando a técnica de fluorescência de raios X (FRX). Também buscou-se identificar qualitativamente os minerais presentes por meio da difração de raios X (DRX), além de analisar as propriedades de retenção de água e outros atributos derivados desses dados. Adicionalmente, foram determinadas propriedades físicas do solo, como densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CEMITÉRIOS E MEIO AMBIENTE

O ato de sepultar os mortos não é uma prática recente, de acordo com Pacheco (2000), o destino final dos mortos sempre foi uma preocupação dos seres humanos. O ato do sepultamento ocorre há milhares de anos, sendo direcionado de acordo com as crenças, costumes e condições sociais das mais diversas culturas.

Ao longo dos anos, muitas religiões deram vários sentidos para essa prática. O ato de sepultar os mortos é visto como uma demonstração de zelo, afeto e respeito por aqueles que partiram desta vida (Motta, 2010). Por serem vistas como um lugar sagrado, as igrejas tiveram um papel fundamental ao longo da evolução do ato de sepultamento. De acordo com Carneiro (2009), pensava-se que, se os mortos fossem sepultados dentro das igrejas, as pessoas estariam mais perto de Deus após a morte, e isso, de alguma forma, garantiria que a pessoa encontrasse o caminho da salvação.

Segundo Föetsch e Oliveira (2020), o ato de sepultar os mortos dentro de igrejas era uma prática comum na Europa, que ocorreu até o século XIX. Os fiéis dividiam o lugar sagrado com sepulturas dentro e no entorno das igrejas (Santos, 2011). No entanto, essa forma de sepultamento foi proibida devido a questões sanitárias de saúde pública. O odor exalado dos cadáveres foi a primeira causa que fez com que as pessoas refletissem sobre esse costume (Carneiro, 2009). Ao inalar os gases liberados pelos corpos em estado de decomposição, as pessoas temiam morrer das mesmas doenças que haviam ocasionado a morte. Com isso, os cemitérios foram transferidos para o lado de fora das igrejas.

No Brasil, a prática de sepultar pessoas dentro de igrejas e em seu entorno foi encerrada por completo em meados do século XX. No início, a igreja resistiu fortemente a tal tipo de proibição, pois os fiéis acreditavam que a salvação estava condicionada ao fato de as pessoas serem sepultadas próximas do “caminho de salvação”, que eram as igrejas (Pacheco, 2000).

Assim, os restos mortais humanos passaram a ser destinados a lugares chamados de “campo de sepultamentos”, escolhidos em função da distância do fluxo de pessoas (Pacheco, 2000; Carneiro, 2009). Com o crescimento das áreas urbanas, os cemitérios foram ficando próximos novamente, como é o caso das cidades atuais. O processo de urbanização intenso e descontrolado faz com que os

cemitérios fiquem totalmente integrados à malha urbana, inclusive em áreas centrais (Funasa, 2007).

As atividades cemiteriais, no Brasil, passaram a ser regulamentadas através da Resolução Conama nº 335, de 3 de abril de 2003, que enquadra esse tipo de atividade como contaminante de solos e águas subterrâneas e caracteriza como atividades que necessitam de licenciamento ambiental. A legislação para regulamentar necrópoles surge com certo atraso no país, se comparada a outros países que já viam esse tipo de atividade como risco ao meio ambiente e à saúde humana. No entanto, muitos cemitérios já estavam instalados e exercendo suas atividades sem seguir os parâmetros necessários para garantir que o meio ambiente não viesse a sofrer com os impactos negativos gerados.

De acordo com Mulder (1954 *apud* Pacheco; Mendes e Hassuda, 1988), o histórico de contaminação gerado por restos mortais humanos, registrado na literatura, é encontrado desde o século XIX. Os relatos existentes são de casos de febre tifoide ocorrida em Berlim, no período de 1863 a 1867, e o caso de contaminação de águas subterrâneas malcheirosas de sabor adocicado em Paris, sem data exata.

Os cemitérios, ao longo da história, se mostram em muitas situações como fontes de contaminação que devem ser implantadas seguindo todos os padrões de segurança estabelecidos pela legislação. Ao não observar essas questões, coloca-se uma série de sistemas em situação de vulnerabilidade em relação às atividades antrópicas que não podem se sobrepor ao sistema ambiental existente há muito tempo.

De acordo com Silva *et al.* (2012), às atividades cemiteriais têm grande potencial de causar impactos ambientais no compartimento do solo e nas águas subterrâneas. Os impactos mais comuns são biológicos e químicos. Os impactos biológicos referem-se aos processos naturais de decomposição de corpos com a liberação do necrochorume, líquido que é gerado durante o processo de decomposição dos cadáveres, expelido nos primeiros meses após o sepultamento. Um corpo humano adulto de 70 kg pode produzir até 40 litros desse tipo de material (Alcântara *et al.*, 2010).

Segundo Pacheco, Mendes e Hassuda (1988), a contaminação de águas por necrochorume pode dar lugar a bactérias causadoras de doenças, como *Clostridium* (tétano, gangrena gasosa, toxi-infeção alimentar), *Mycobacterium* (tuberculose), e

enterobactérias como *Salmonella Typhi* (febre tifoide), *Salmonella Paratifoide*, *Shigella* (disenteria bacilar) e o vírus da hepatite A.

Além dos contaminantes gerados pelos cadáveres, existe a contaminação por materiais utilizados na construção das urnas. De acordo com Barros *et al.* (2013), os solos de cemitérios podem sofrer contaminações por metais pesados provenientes das alças metálicas, tintas, vernizes utilizados nos caixões e outros materiais utilizados no preparo do cadáver. Altas concentrações de chumbo (Pb), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e ferro (Fe) são indicativas de solos contaminados (Barros *et al.*, 2008; Barros *et al.*, 2013).

O perigo iminente de contaminação do meio ambiente por atividades provenientes de necrópoles acarreta sérios problemas à população que vive ao seu entorno e faz uso de recursos naturais, como água subterrânea retirada em poços, vertentes e uso do solo para plantio, entre outros tipos de atividades (Carneiro, 2009).

2.2 CONTEXTO HISTÓRICO DO CEMITÉRIO SÃO VICENTE DE PAULA, PONTA GROSSA, PR.

O levantamento histórico acerca do “Cemitério Vicentino” revela a ausência de obras literárias dedicadas exclusivamente à sua trajetória. As informações disponíveis restringem-se a relatos de moradores, funcionários e fragmentos inseridos na história mais ampla do município.

Conforme Nascimento e Matias (2006), o Estado do Paraná vivenciava um processo de modernização agrícola no início da década de 1970. Na época, o município de Ponta Grossa era administrado pelo Prefeito Cyro Martins, responsável pela implantação do Plano de Desenvolvimento Industrial (PLADEI), cujo objetivo principal era a atração de novas indústrias para a região (Martins; Almeida, 2021).

O historiador Niltonci Batista Chaves, em sua obra *Coluna Fragmentos: Histórias de Ponta Grossa* (2023), destaca que Cyro Martins, filiado à Aliança Renovadora Nacional, marcou sua gestão pela criação do Parque Industrial da cidade, tornando Ponta Grossa atrativa para empresas como Quimbrasil, Samba, Cargill e Kurashiki. Esse desenvolvimento conferiu à cidade o slogan de “A Capital Mundial da Soja”.

Entretanto, segundo Chaves (2023), na administração de Cyro Martins também ocorreu à ocupação irregular do território, o crescimento das periferias e o

aumento da população em favelas. Esse fenômeno refletiu o processo de industrialização que atraiu uma crescente população em busca de trabalho e melhores condições de vida.

Ao término da gestão de Cyro Martins, em 1972, Luiz Gonzaga Pinto, ex-presidente da Associação Comercial, Industrial e Empresarial de Ponta Grossa (ACIPG), deu continuidade ao PLADEI, consolidando Ponta Grossa como polo de beneficiamento de soja (Chaves, 2023).

O crescimento populacional implicou uma maior demanda por serviços básicos. Assim, a administração municipal, sob Luiz Gonzaga Pinto, adquiriu em 1974, da família Borsato, um terreno destinado à implantação de um cemitério voltado para a população carente, conforme informações do Serviço Funerário de Ponta Grossa.

O “Cemitério Vicentino” foi inaugurado em 1º de junho de 1975, durante a gestão de Amadeu Puppi, vice-prefeito que assumiu a prefeitura após a renúncia de Luiz Gonzaga Pinto para a Secretaria de Negócios e Comércio. O primeiro sepultamento registrado foi o do senhor Celsino Rodrigues da Silva, falecido em 31 de maio de 1975.

Para compreender a configuração atual do “Cemitério Vicentino” é fundamental situá-lo em seu contexto histórico. Chaves (2023) argumenta que cemitérios representam objetos importantes para a pesquisa em História, Geografia e Antropologia, pois suas formas e infraestruturas refletem as distinções entre grupos sociais. O conceito conhecido como “geografia social da morte” explica que cemitérios centrais são geralmente reservados a autoridades e indivíduos de prestígio, enquanto cemitérios periféricos, com estrutura precária, destinam-se a populações menos favorecidas.

Segundo dados da administração do cemitério, entre quatro a sete sepultamentos ocorrem diariamente no “Cemitério Vicentino”. O uso das sepulturas é gratuito, sendo cobrada apenas a taxa de abertura da cova. Não há exigências de vínculo com programas governamentais; bastando apenas a solicitação da população. O direito ao uso da sepultura é concedido por cinco anos, período após o qual deve ocorrer a exumação e transferência para outro cemitério, procedimento que muitas famílias não conseguem realizar, resultando em sepultamentos permanentes que ultrapassam quatro décadas.

Para suprir a demanda crescente, a administração ampliou gradativamente a área de sepultamento, dividida atualmente em Ala Velha (com 25.000 sepulturas), Ala Nova (1.200 sepulturas) e dois blocos adicionais com 500 sepulturas cada, conforme Serviço Funerário Municipal (Figura 1).

Figura 1 - Aspectos gerais do Cemitério São Vicente de Paula: (a) Topo de vertente convexa com pequeno declive em direção a área urbana; (b) Sepulturas abertas no terço médio da vertente; (c) Sepulturas fechadas com área urbana ao fundo; (d) Registro fotográfico realizado do terço inferior da vertente.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: O autor.

2.3 SOLO: NOÇÕES BÁSICAS

2.3.1 Formação do solo

A camada superficial da Terra, conhecida como solo, não é um elemento inanimado, mas sim um corpo natural em constante mutação. Ele desempenha o papel crucial de integrar o mundo orgânico ao inorgânico, processando matéria e energia para viabilizar a vida vegetal e animal. Por sua natureza mutável e funcional, o solo é entendido como um ecossistema vivo que se altera conforme o tempo passa (Nóbrega; Cunha, 2001).

A formação do solo depende da interação sinérgica entre cinco elementos determinantes: o material de origem (matriz litológica), o clima, a atividade de diferentes tipos de organismos, a configuração do relevo e a ação do tempo (Figura 2). Tais componentes, conhecidos como fatores de formação, atuam de maneira integrada e simultânea sobre a paisagem (Lima; Lima, 2007).

Figura 2 - Fatores que atuam na formação do solo.

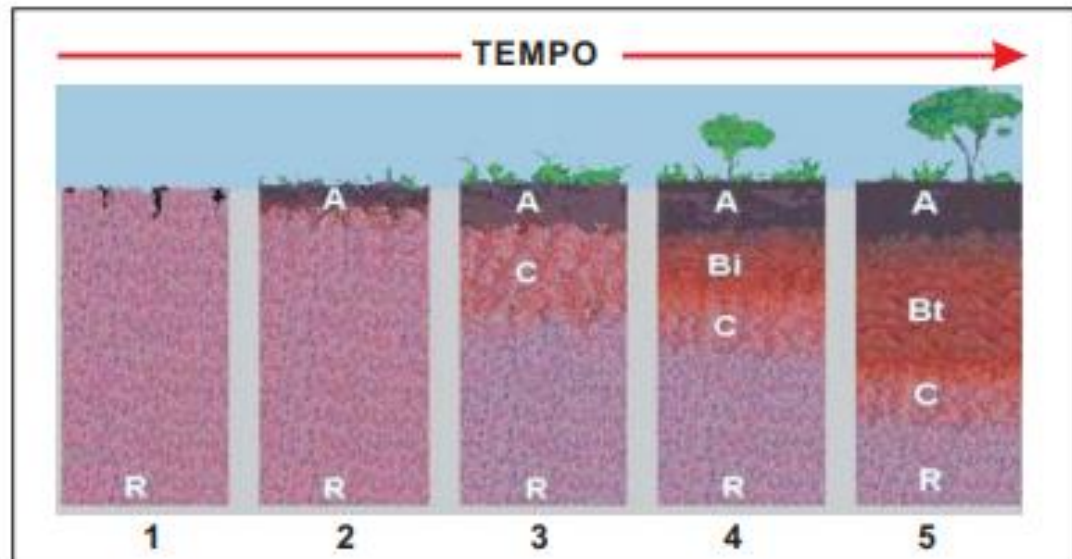


Fonte: LIMA, V. C.; LIMA, M. R. de. **O solo no meio ambiente**: abordagem para professores do ensino fundamental e médio. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, 2007. Disponível em: [O solo no meio ambiente : abordagem para professores do Ensino Fundamental e Médio e alunos do Ensino Médio](#). Acesso em: 20 abr. 2026.

No decorrer da pedogênese, de acordo com Lima e Lima (2007), o solo é moldado por quatro dinâmicas fundamentais: adições, perdas, transformações e translocações. Tais mecanismos promovem a alteração das propriedades físicas e químicas do material de origem, resultando em um perfil estratificado de horizontes. Essa sucessão vertical diferencia-se da rocha matriz por apresentar propriedades morfológicas e químicas singulares, como variações na coloração, granulometria, estrutura, composição química e teores de matéria orgânica. A vasta diversidade de classes de solos observada na natureza é explicada pela variação na intensidade com que processos pedogenéticos operam, sendo influenciada diretamente pela

interação específica entre os fatores de formação de cada região geográfica (Figura 3).

Figura 3 - Sequência cronológica hipotética de evolução do perfil do solo. As letras A, B, C, R indicam os diferentes horizontes do solo e a rocha de origem.



Fonte: LIMA, V. C.; LIMA, M. R. de. **O solo no meio ambiente**: abordagem para professores do ensino fundamental e médio. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, 2007. Disponível em: [O solo no meio ambiente : abordagem para professores do Ensino Fundamental e Médio e alunos do Ensino Médio](#). Acesso em: 20 abr. 2026.

O solo, enquanto corpo natural passível de classificação, representa um sistema trifásico dinâmico e tridimensional, composto por frações sólidas, líquidas e gasosas (Lepsch, 2013). Esse material ocupa a porção superior do manto superficial dos continentes. Em sua constituição encontra-se fauna e flora diversa, além de materiais minerais e orgânicos. Após sua formação, o solo é capaz de sustentar diferentes tipos de vegetação. Além disso, suas propriedades podem ser modificadas pela ação do tempo e, muitas vezes, rapidamente por interferências antrópicas (Lima; Lima, 2007).

A cobertura tridimensional conhecida como pedon se estende desde seu limite superior, na superfície do solo, até seu limite inferior, como mostra a Figura 2, o horizonte identificado com a letra “A” é onde está o maior acúmulo de matéria orgânica, é o ponto de contato direto com a atmosfera e a biosfera, entre o horizonte “C” e “R” não há uma linha reta perfeita definida muitas vezes é difícil de ser

identificado essa transição, que gradualmente se aprofunda até o material de origem ou material saprólito (Santos *et al.*, 2025).

O solo desempenha um papel crucial na regulação da água, servindo de via de acesso para o abastecimento de rios e poços artesianos. Por possuir uma estrutura cheia de poros, ele modifica as condições químicas e biológicas do líquido que o atravessa. Dependendo das propriedades desse solo, ele pode tanto mitigar a presença de substâncias nocivas quanto alterar a potabilidade da água, tornando-o um fator determinante para a saúde ambiental (Nóbrega; Cunha, 2001).

De acordo com o último censo do IBGE (2022), o Brasil tem 177,5 milhões de pessoas vivendo em áreas urbanas, o que representa 87,4% da população total do país. Isso mostra a importância que deve ser dada aos solos em áreas urbanas. Esses solos são utilizados para os mais diversos fins, como, por exemplo, suporte e fonte de material para obras civis, sustento das agriculturas urbanas e periurbanas, parques, aterros sanitários e locais de sepultamento.

O solo é o primeiro recurso natural impactado em áreas de necrópoles. Ele pode desempenhar um papel crucial na retenção e filtragem de contaminantes, desde que suas características físicas e químicas sejam adequadas para tal finalidade (Funasa, 2007).

A profundidade do perfil do solo é um fator determinante para a viabilidade de cemitérios, pois solos profundos e bem desenvolvidos em relevos estáveis favorecem os processos de autodepuração e evitam o contato precoce com o lençol freático (Funasa, 2007).

As normas técnicas da Resolução CONAMA nº 335 estabelece que o fundo das sepulturas deve manter uma distância mínima de 1,5 m acima do nível máximo do lençol freático para prevenir a contaminação direta das águas subterrâneas, nesse contexto, a textura do solo dita a eficácia da filtragem: solos argilosos possuem alta capacidade de retenção e adsorção de metais pesados e substâncias tóxicas do necrochorume (Barros *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2021). Por outro lado, solos arenosos apresentam elevada permeabilidade e baixa coesão o que facilita a percolação rápida de contaminantes (Goes *et al.*, 2025).

A organização do solo em horizontes pedogenéticos é igualmente importante, pois a transição lateral e vertical entre camadas com texturas distintas altera drasticamente a dinâmica hídrica e o tempo de permanência dos resíduos no perfil (Funasa, 2007; Goes *et al.*, 2025).

A largura ou espessura desses horizontes é crucial, visto que uma zona não saturada mais espessa confere um maior poder de neutralização natural dos poluentes por meio de reações físicas, químicas e biológicas (Funasa, 2007). Além disso, a espessura das camadas superficiais e subsuperficiais influencia diretamente a macroporosidade e a porosidade de aeração, fatores vitais para que a decomposição ocorra de forma aeróbia e eficiente (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

Portanto, um conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas do solo pode contribuir significativamente para o planejamento urbano, especialmente em relação à expansão das cidades e à construção de novas infraestruturas envolvendo cemitérios, que é o foco do presente estudo (Matias *et al.*, 2013).

2.3.2 Latossolos Vermelhos

O termo "latosol" tem origem no latim, derivando de "*laterite*" e "*solum*", que significam tijolo ou material altamente intemperizado (Ker, 1997). O nome foi utilizado para agrupar solos intemperizados das regiões tropicais que eram anteriormente denominados "*Laterite*" e "*Lateritic Soil*". A definição "*Lateritic Soil*" não possui uma correspondência completa entre todos os latossolos, apresentam apenas algumas similaridades. O nome Latossolo, utilizado no Brasil, corresponde aos *Oxisols*, *Sols Ferralíticos* e *Ferralsols* dos sistemas americano, francês e da FAO, respectivamente (Ker, 1997; Schaefer *et al.*, 2004).

Os Latossolos, predominantes em 50 % do Brasil, são solos altamente intemperizados e homogêneos. A profundidade considerável e a constância de cor e textura ao longo do perfil dificultam a distinção de seus níveis. Sua estrutura física é peculiar: apresentam um aspecto maciço, mas são muito porosos devido à formação de pequenos grânulos. Devido ao seu estágio avançado de evolução, apresentam baixos índices de saturação por bases e características ácidas, decorrentes do processo de lixiviação (Nóbrega; Cunha, 2001).

Devido as altas temperaturas e o grande índice de pluviosidade que ocorre na zona intertropical fazem com que ocorra maior infiltração do que evapotranspiração, favorecendo a lixiviação de minerais primários (quartzo, plagioclásio, moscovita, biotita anfibólio, piroxênio, olivina e feldspatos) que são pouco resistentes ao intemperismo (Embrapa, 1984; Ferreira; Fernandes; Curi, 1999; Ker, 1997).

Sua ocorrência está relacionada com relevos planos ou de fraca declividade, em posições de topo e alta vertente, áreas de boa drenagem (Nóbrega; Cunha, 2001).

A ocorrência de latossolos está relacionada a antigas superfícies de aplainamento ou superfícies geomórficas desenvolvidas durante o Cretáceo Superior e o Terciário (Ker, 1997; Reatto *et al.*, 2008). De acordo com Salgado (2007), a gênese das superfícies de aplainamento remanescentes do Cretáceo e Terciário está ligada à estabilidade geotectônica da Placa Sul-Americana após a separação do Gondwana. Esse contexto de inatividade tectônica viabilizou a atuação prolongada de mecanismos erosivos e geoquímicos ao longo de milhares de anos.

Conforme Salgado (2007), tais feições não podem ser atribuídas a um evento isolado, mas sim à convergência de diferentes processos. Essas paisagens se configuram como testemunhos de paleoclimas que sofreram sucessivas modelagens, resultando da interação sinérgica entre recuo de encostas (pedimentação), aplainamento por erosão fluvial (peneplanação) e intemperismo químico profundo (etchplanação).

Estudos apontam a correlação dos latossolos com superfícies geomórficas em paisagens pouco dissecadas, com topos alongados, normalmente em relevos planos e suavemente ondulados, e a predominância dessa classe no topo das vertentes. Eles também podem ocorrer em relevos acidentados e montanhosos. Essas feições da paisagem estão correlacionadas com a Superfície Sul-Americana (Terciário Inferior) e a Superfície de Aplainamento Velhas (Terciário Superior), de acordo com estudos de King (1956).

Os latossolos tendem a apresentar um horizonte A seguido de um horizonte B, conhecido como Bw ou B latossólico. O horizonte B apresenta mais de 50 cm, evidenciando solos maduros com alta proporção de argila em relação ao silte e com menos de 4 % de minerais facilmente intemperizáveis (plagioclásio, moscovita, biotita anfibólio, piroxênio, olivina e feldspato) (Schaefer *et al.*, 2004).

As classes que os latossolos se dividem são: Latossolo Vermelho, Latossolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Amarelo e Latossolo Brunos (Embrapa, 2025).

Os latossolos vermelhos ocupam 32,13% dos solos da região dos Campos Gerais (Sá, 2014). A posição geográfica entre os trópicos, onde essa classe de solos é mais comum, é a principal causa do intenso processo de intemperização e da quase completa remoção de minerais facilmente alteráveis, com alto processo de

dessilicificação e lixiviação de bases (cálcio, magnésio e potássio). Esse processo favorece a concentração de sesquióxidos ou argilominerais 1:1, que são resistentes ao intemperismo (Embrapa, 1984).

Os latossolos vermelhos, provenientes da região de Ponta Grossa e nos Campos Gerais do PR, apresentam uma mineralogia composta principalmente por minerais como gibbsita, caulinita, haloisita, montmorilonita, hematita, rutilo, anatásio, goethita e quartzo (Gonçalves *et al.*, 2008), são caracterizados por serem solos profundo, muito intemperizados e com uma textura que varia de argilosa a muito argilosa (Rosa *et al.*, 2018). Análises granulométricas em perfis representativos da região indicam que os teores de argila podem atingir níveis elevados, como 786 g/kg (78,6%), refletindo o estágio avançado de evolução pedogenética e influência de materiais de origem que fornecem a formação de partículas finas (Martins; Melo; Serrat, 2004).

Esses solos apresentam uma densidade média situada entre 1,07 e 1,37 g/cm³ e uma porosidade total elevada, frequentemente entre 0,53, 0,62 cm³/cm³, embora a microporosidade (0,38-0,41 cm³/cm³) predomine sobre a macroporosidade, o que afeta a dinâmica de aeração e retenção de água (Martins; Melo; Serrat, 2004; Rosa *et al.*, 2018).

A estrutura desses solos é tipicamente organizada em blocos subangulares, resultado do ajuste “face a face” das placas de caulinita, conferindo uma consistência plástica e pegajosa quando está úmido (Rosa *et al.*, 2018).

Assim, os latossolos vermelhos são caracterizados por uma composição mineralógica estável e dominância de minerais de alumínio e ferro, com presença marcante de argilas do grupo caulim (caulinita e haloisita) e minerais acessórios como hematita e quartzo, conferindo propriedades específicas à sua estrutura e funcionamento no ambiente natural ou com interferência humana (Gonçalves *et al.*, 2008).

2.4 TECNICAS UTILIZADAS NO ESTUDO

Para a análise da aptidão de Latossolos para fins cemiteriais, é indispensável a utilização de métodos experimentais que determinem suas propriedades físicas e químicas. Essas propriedades estão diretamente relacionadas com a performance

ecológica do ecossistema, condicionando as diretrizes de manejo indispensáveis para a viabilidade do empreendimento e proteção ambiental.

2.4.1 Textura do Solo

A granulometria do solo é um atributo fundamental, pois condiciona propriedades como a porosidade total (macro e microporosidade), a densidade, a consistência e a superfície específica. Nesse sentido, a caracterização textural torna-se indispensável para a compreensão do comportamento físico-hídrico do solo (Nascimento *et al.*, 2012). A informação sobre a textura do solo ocorre via análise granulométrica, processo que utiliza meios físicos e químicos para separar as partículas do solo a partir da fragmentação de seus agregados (Embrapa, 2017).

Solos de diferentes classes texturais irão afetar os processos que ocorrem no solo de maneiras distintas. Por exemplo, solos arenosos (textura mais grossa, partículas maiores) possuem limitações quanto o armazenamento de água, enquanto que solos argilosos (textura mais fina, partículas menores) oferecem maior armazenamento de água, embora com baixa permeabilidade. Já os solos arenosos apresentam maior capacidade de infiltração e aeração do solo, na comparação com os solos argilosos (Libardi, 2005). Solos de textura média, por sua vez, representam um equilíbrio favorável ao manejo hídrico por possuírem uma boa capacidade de armazenamento e boa permeabilidade. Todos esses processos são afetados pelo sistema poroso dos solos de diferentes texturas, o qual é resultado do arranjo das partículas e agregados do solo. Ressalta-se ainda que, devido à sua natureza conservativa, a textura é um dos atributos pedológicos mais estáveis no solo, sendo alterada apenas por processos significativos de erosão ou sedimentação (Embrapa, 2017; Yanagisawa, 2019).

A composição textural do solo de acordo com Santos *et al.* (2025) é definida pela distribuição proporcional das frações minerais que constituem a TFSA, que compreende partículas com diâmetro inferior a 2 mm. Geralmente, as partículas com esse diâmetro ou menores são obtidas via peneiramento. De acordo com o tamanho das partículas (diâmetro), as diferentes frações granulométricas do solo são divididas em: areia (2 a 0,05 mm), silte (0,05 a 0,002 mm) e argila (diâmetros menores que 0,002 mm) de acordo com FAO (1990 *apud* Santos *et al.* 2025, p. 54) e Estados Unidos (1994 *apud* Santos *et al.* 2025, p. 54).

A granulometria do solo é determinada por uma combinação de métodos: a fração areia, partículas de maior diâmetro, é obtida via peneiramento, ao passo que as frações silte e argila são obtidas por processos químicos e físicos (sedimentação). Este último processo fundamenta-se na Lei de Stokes, que estabelece que a velocidade de deposição de uma partícula sólida em meio líquido é proporcional ao seu diâmetro esférico e influenciada pela viscosidade do fluido (Tavares Filho, 2016 *apud* Kodum, 2021, p. 31).

A aplicação da Lei de Stokes na análise granulométrica pressupõe condições controladas para garantir a validade dos cálculos. De acordo com Tavares Filho (2016 *apud* Kodum, 2021, p. 31), as principais premissas adotadas são:

- Morfologia e densidade: As partículas são tratadas como esferas perfeitas e dotadas de densidade uniforme;
- Dinâmica de queda: A sedimentação deve ser individualizada, sem que haja colisão ou interferência entre as partículas dentro da proveta;
- Estabilidade Térmica: O sistema deve manter temperatura constante, evitando alterações na viscosidade e densidade do meio fluido;
- Dimensão das partículas: Os sedimentos devem possuir tamanho suficiente para que seu deslocamento não seja perturbado pelo movimento térmico das moléculas do líquido.

Na Lei de Stokes, o tempo de sedimentação da partícula é determinado por:

$$t = 18 \frac{h\eta}{d^2 g (\rho_p - \rho_L)}$$

(1)

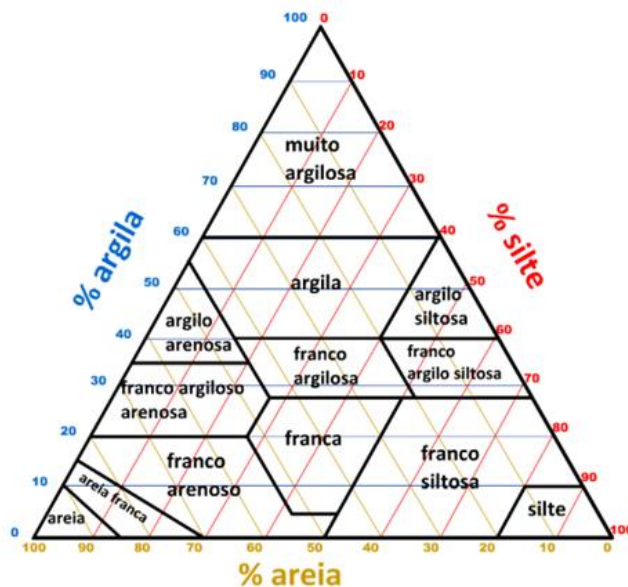
Em que, t é o tempo em segundos; h corresponde à altura de sedimentação em cm ; g representa aceleração da gravidade local ($= 980 \text{ cm/s}^2$); d equivale diâmetro máximo da partícula da qual se deseja conhecer o tempo de sedimentação; ρ_p representa densidade da partícula; η corresponde a viscosidade da água destilada e ρ_L equivale a densidade do fluido.

Existem diferentes métodos de medida da textura do solo, sendo o método da pipeta um deles. Esse método envolve a coleta de um volume específico (alíquota) da suspensão de solo, em uma profundidade definida, após o tempo necessário para a sedimentação das frações mais grossas, com base na Equação (1). Esse

procedimento visa isolar exclusivamente a fração argila, fundamentando-se no controle rigoroso do tempo de queda das partículas.

Após o fracionamento das partículas de areia, silte e argila, a classificação textural do solo é realizada por meio do triângulo textural, instrumento que, no contexto brasileiro, apresenta uma adaptação do modelo norte-americano, para contemplar a classe "muito argilosa", característica de solos brasileiros (Figura 4).

Figura 4 - Triângulo textural utilizado para a classificação da textura do solo com base no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SBCS).



Fonte: SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 398 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/solos/sibcs>. Acesso em: 20 abr. 2026.

2.4.2 Densidade de Partículas (ρ_p)

A densidade de partículas é dada pela razão entre a massa de partículas e o volume ocupado por essas partículas, desconsiderando-se o volume de vazios (Bowen, 2022). Embora os valores médios em solos variem entre 2,30 e 3,00 g/cm³, a maioria das classes pedológicas situa-se no intervalo de 2,60 a 2,75 g/cm³, reflexo da predominância de silicatos como quartzo, feldspatos e argilas na composição do solo (Yada Junior, 2014).

A ρ_p está diretamente relacionada com a composição química e mineralógica do solo. Por exemplo, a presença de minerais densos, como a magnetita, eleva o valor da ρ_p , enquanto teores elevados de matéria orgânica, que possui densidade baixa, exercem um efeito redutor, frequentemente observado nos horizontes superficiais do solo ou em solos orgânicos (Yada Junior, 2014; Yanagisawa, 2019).

Do ponto de vista técnico, a ρ_p é essencial na medida da porosidade total do solo e também na análise granulométrica ao aplicar a Lei de Stokes. Além disso, seu conhecimento também serve como um indicador da composição mineralógica da matriz do solo (Gubiani; Reinert; Reichert, 2006). Por estar diretamente ligada a composição química e mineralógica do solo, a ρ_p trata-se de uma propriedade do solo com pequenas variações ao longo do tempo, não sendo afetada significativamente por ações antrópicas (Bowen, 2022).

A ρ_p pode apresentar variações de solo para solos, de acordo com Papa *et al.* (2011) a ρ_p de Latossolos vermelhos distróficos típicos do Distrito Federal, apresentou a média de 2,51 g/cm³; Rosa *et al.* (2018), a ρ_p de Latossolos vermelhos distróficos típicos, do município de Arapoti-PR, apresentou a média de 2,77 g/cm³; os valores de Latossolos vermelhos distróficos típicos do município de Ponta Grossa-PR, apresentou a média de 2,801 g/cm³.

2.4.3 Densidade do solo (ρ_b)

A determinação da ρ_b é fundamental para compreender o arranjo das partículas e o estado de compactação, o que influencia diretamente as funções ecológicas e a qualidade física do terreno (Ohland *et al.*, 2014; Rosa *et al.*, (2018). Valores elevados de densidade estão associados à redução da porosidade total e, mais criticamente, da macroporosidade, o compromete a aeração e cria barreiras mecânicas que podem restringir o desenvolvimento radicular (Araujo; Tormenta; Silva, 2004; Ohland *et al.*, 2014; Rosa *et al.*, 2018).

No contexto da gestão ambiental de cemitérios, a ρ_b assume um papel estratégico na regulação do fluxo de contaminantes e na proteção de recursos hídricos (Goes *et al.*, 2025). Solos com densidade elevada, comuns em camadas argilosas, podem atuar como barreiras naturais eficazes ao dificultar a percolação

rápida de efluentes contaminantes em direção ao lençol freático (Funasa, 2007; Goes *et al.*, 2025).

Contudo, uma densidade excessivamente alta em solos de textura fina pode induzir condições de anaerobiose, o que retarda a decomposição (Oliveira; Gontijo, 2011). Portanto, a determinação desse atributo é essencial para equilibrar a capacidade de filtragem natural do solo com a eficiência dos processos de autodepuração (Goes *et al.*, 2025).

2.4.4 Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia

A técnica de espectroscopia de fluorescência de raios X por Dispersão de Energia (FRX) destaca-se pela sua versatilidade e possibilidade de aplicação em diferentes áreas de conhecimento. A FRX possibilita a análise quantitativa e qualitativa de elementos químicos do solo de forma não destrutiva, rápida, e com elevada precisão (Nascimento-Dias *et al.*, 2017). Podem ser analisadas amostras tanto sólidas quanto líquidas. A técnica permite a detecção simultânea de uma vasta gama de elementos químicos, possibilitando avaliar a composição química do perfil pedológico do solo (Wastowski *et al.*, 2010). Além disso, também permite verificar a presença de potenciais contaminantes no solo.

Nos ecossistemas tropicais, a constituição química pedológica é predominantemente definida por óxidos de ferro, alumínio, silício e titânio, além de elementos derivados da alteração de minerais primários e secundários. À medida que o processo de intemperismo avança e o solo se torna mais evoluído, observa-se uma assinatura química distinta: enquanto matrizes arenosas retêm maiores teores de sílica e alumínio, os solos em estágios mais avançados de desenvolvimento, que são altamente intemperizados, exibem um enriquecimento residual e expressivo de óxidos de ferro e titânio, resultante da lixiviação intensa de elementos mais solúveis (Kodum, 2021). Desta forma, a FRX possibilita avaliar a presença desses óxidos e outros no solo e compará-los com valores de referência, a fim de verificar potenciais contaminações.

2.4.5 Difração de raios X

A difração de raios X pelo método do pó (DRX) tem sido amplamente usada desde os anos 1930 na análise de estruturas cristalinas de diversas naturezas. Na ciência do solo, a DRX estabeleceu-se como uma ferramenta primordial para a investigação mineralógica das frações granulométricas mais finas, notadamente o silte e a argila. Essa técnica é imprescindível não apenas na identificação qualitativa de filossilicatos, como os grupos da caulinita, micas, esmectitas e minerais interestratificados, mas também de parâmetros mais específicos, como a determinação do tamanho de cristalitos, o grau de cristalinidade e a extensão da substituição isomórfica (Calderano; Duarte; Gregoris, 2017).

Além dos argilominerais, a DRX permite a identificação de óxidos e hidróxidos metálicos (Ferro, Alumínio e Titânio), que, embora menos abundantes que os silicatos, exercem influência determinante nas propriedades físicas e propriedades químicas das frações do solo. Muitos desses óxidos são fundamentais na formação de agregados, com grande impacto na dinâmica de solutos no solo.

Para a determinação de minerais presentes na amostra, três picos devem ser encontrados. Os três picos de difração mais intensos de cada mineral observado em cada amostra analisada por DRX, quando possível, com base em Resende *et al.* (2011), estão apresentados na Quadro 1, o que permite a correlação qualitativa entre os minerais presentes e as respectivas profundidades do perfil analisado.

Quadro 1 – Três picos de difração para minerais presentes em latossolos vermelhos.

Mineral	Três picos de difração mais intensos (Radiação de CuK α médio (λ = 1,541838 Å) , d (Å))
Gibbsita	4,82; 4,34; 2,23
Goethita	4,18; 2,69 2,45
Quartzo	3,342; 4,257; 1,817
Caulinita	7,17; 1,49; 3,58
Rutilio	3,24; 1,687; 2,489
Hematita	2,69; 1,69; 2,51
Magnetita	2,53; 1,48; 1,61
Haloisita	10; 4,36; 3,35
Anatásio	3,51; 1,89; 2,37
Vermiculita	14,33; 3,56; 4,80

Fonte: Resende *et al.*, (2011), adaptado pelo autor.

2.4.6 Curva de Retenção de Água no Solo (CRA)

A determinação da curva de retenção de água (CRA) permite avaliar a qualidade física do solo e direcionar melhores estratégias de manejo para um uso mais sustentável do solo. As alterações na estrutura do solo, como, por exemplo, adensamento e desestruturação dos agregados, reorganizam a rede de poros, afetando processos relacionados com a retenção e condução de solutos pelo solo (Machado *et al.*, 2008).

A quantidade de água retida pelo solo em um determinado potencial matricial, que é aquilo que configura a CRA, varia de solo para solo, sendo não somente influenciada pela composição e estrutura do solo, mas também por fatores antrópicos (Libardi, 2005). Por exemplo, solos mais argilosos apresentarão maior retenção de água nos potenciais matriciais mais negativos, em função de uma maior quantidade de poros menores. Já solos mais arenosos, drenam mais rapidamente, com quantidades residuais de água geralmente próximas de zero nos potenciais matriciais mais negativos. Pequenas variações no potencial matricial já são capazes de drenar quase que totalmente um solo arenoso (Beutler *et al.*, 2002; Machado *et al.*, 2008). Além disso, o conteúdo de material orgânico também afeta a retenção de água, principalmente em potenciais próximos a capacidade de campo.

Basicamente, a relação entre a umidade volumétrica do solo e a energia com que a água está retida (potencial matricial) define a CRA. Na CRA, a umidade sofre diminuição gradual conforme vai ocorrendo o esvaziamento dos poros do solo em função de diminuições no potencial matricial. Desta forma, a quantidade de líquido armazenado sob um potencial matricial específico é reflexo direto da organização estrutural e, conseqüentemente, do arranjo dos poros do solo.

Nos potenciais matriciais mais elevados (menos negativos), o solo retém a água principalmente por capilaridade, sofrendo influencia principalmente dos poros maiores. No entanto, nos potenciais matriciais menores (mais negativos), os poros pequenos apresentam maior influência na retenção de água, a qual ocorre por capilaridade, mas também predominantemente por adsorção de água nos minerais do solo. Neste caso, a mineralogia e a textura do solo tornam-se os fatores mais importantes na retenção de água (Libardi, 2005). Assim, a forma da CRA está diretamente relacionada com atributos como a densidade do solo, porosidade, distribuição de poros, teores de argila e carbono orgânico (Machado *et al.*, 2008).

Para a construção da CRA, o procedimento padrão envolve medir a umidade gravimétrica do solo, que será posteriormente convertida em volumétrica, para diferentes potenciais matriciais. Os potenciais matriciais, que podem ser obtidos no campo ou no laboratório, envolvem medidas de sucções e pressões aplicadas no solo (Libardi, 2005; Borkowski, 2009). O intervalo de medida da CRA varia geralmente de 0 até -1500 kPa, onde o último valor de potencial matricial representa o Ponto de Murcha Permanente, que é um conceito de maior importância para a agronomia (Borkowski, 2009; Teixeira; Bhering, 2017).

Com os dados da CRA, define-se como Capacidade de Campo (CC) a retenção observada para -10 ou -33 kPa, enquanto o PMP corresponde ao teor de água no potencial -1.500 kPa, como mencionado anteriormente. A diferença de umidade entre CC e PMP permite definir a chamada quantidade de Água Disponível (AD). Para se obter a Capacidade de Água Disponível (CAD) em uma camada específica, multiplica-se a AD pela profundidade desejada pela densidade do solo (Borkowski, 2009; Teixeira; Bhering, 2017).

2.4.7 Porosidade do solo

A porosidade do solo é definida como a fração do volume total que não é ocupada por partículas sólidas, mas sim por ar e água, representando o espaço onde ocorrem os processos dinâmicos de aeração, condução e retenção hídrica (Franco *et al.*, 2011; Pereira *et al.*, 2013). Sua importância é fundamental para o equilíbrio dos ecossistemas, pois a distribuição do diâmetro dos poros condiciona o comportamento físico-hídrico: enquanto os microporos são responsáveis pelo armazenamento de água disponível para microrganismos e plantas, os macroporos garantem a drenagem, a difusão de oxigênio e funcionam como "canais" para o crescimento radicular (Pereira *et al.*, 2013; Franco *et al.*, 2011; Panini *et al.*, 2017).

Na gestão territorial para cemitérios, a determinação da porosidade do solo é essencial, visto que a manutenção de uma porosidade de aeração mínima (geralmente acima de 0,10 m³/m³) é essencial para evitar condições de anaerobiose (anoxia), que retardam a decomposição e podem comprometer a segurança ambiental (Klein; Libardi, 2002; Oliveira; Gontijo, 2011).

De acordo com Klein e Libardi (2002), existe uma classe de poros intermediária que são os mesoporos, situa-se entre os macroporos e os microporos.

De acordo com Libardi (2005), os poros podem ser classificados com os seguintes tamanhos apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação dos poros em função do diâmetro equivalente e sua função no solo.

Poros	Diâmetro de poro	Função
Macroporos	Maior que 100 μm	Principal função é de aeração da matriz do solo e condução de água durante o processo de infiltração.
Mesoporos	30 e 100 μm	Condução da água durante o processo de redistribuição.
Microporos	Menor que 30 μm	São poros capilares atuam na armazenagem de água. A água se move muito mais lenta.

Fonte: Adaptado de Koorevaar *et al.* (1983) *apud* Libardi, P. L., **Dinâmica da água no solo**, 2005.

Os mesoporos representam o elo de transição no sistema poroso, contribuindo para a dinâmica hídrica e a funcionalidade física do solo, embora muitas vezes sejam agrupados nas classes maiores ou menores em análises menos detalhadas (Klein; Libardi, 2002).

A porosidade de aeração refere-se à fração do volume total do solo ocupada por gases, correspondendo essencialmente aos macroporos que, após a saturação, são esvaziados pela ação da gravidade (Klein; Libardi, 2002; Pereira *et al.*, 2013). Este atributo é o principal responsável pela funcionalidade do solo como condutor de ar, garantindo a difusão de oxigênio e as trocas gasosas necessárias para os processos biológicos na matriz edáfica (Tormena *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2020).

A literatura técnica estabelece que, para evitar limitações à atividade microbiana e o desenvolvimento de sistemas radiculares, o solo deve manter uma porosidade livre de água de, no mínimo 0,10 cm³/cm³ (10 %) (Tormena *et al.*, 2002; Prevedello *et al.*, 2013). Quando o solo sofre compactação ou possui texturas excessivamente finas (silte e argila), a macroporosidade é drasticamente reduzida,

criando barreiras físicas que impedem a renovação do ar e resultam em condições de anaerobiose (Klein *et al.*, 2008).

Na gestão ambiental de cemitérios, o monitoramento da porosidade de aeração é crucial para assegurar que a decomposição ocorra de forma aeróbia e biologicamente eficiente (Barros *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2021). Solos com aeração insuficiente, seja por características texturais ou por saturação hídrica devido a um lençol freático raso, dificultam a dissipação e depuração dos gases fúnebres, o que retarda a putrefação e pode levar ao processo indesejado de saponificação dos corpos (Pacheco, 2000; Figueiredo Filho *et al.*, 2011; Silva; Rodrigues; Oliveira, 2012). Portanto, para solos de uso de necrópoles deve-se evitar áreas com materiais muito finos que favoreçam o ambiente anaeróbio, buscando um equilíbrio estrutural que garanta a permeabilidade necessária para o fluxo de efluentes sem comprometer a oxigenação essencial para a autodepuração natural do solo (Barros *et al.*, 2008).

De acordo com Oliveira e Cássaro (2013), a partir da CRA é possível a obtenção da Função Capacidade de Água (FCA). A FCA é uma derivada da CRA em relação ao potencial matricial, sendo uma ferramenta essencial para a caracterização física do solo. Sua importância reside no fato de que ela representa a Curva de Distribuição de Poros (CDP) por tamanho, onde o ponto máximo da curva identifica o diâmetro de poro com maior frequência na amostra.

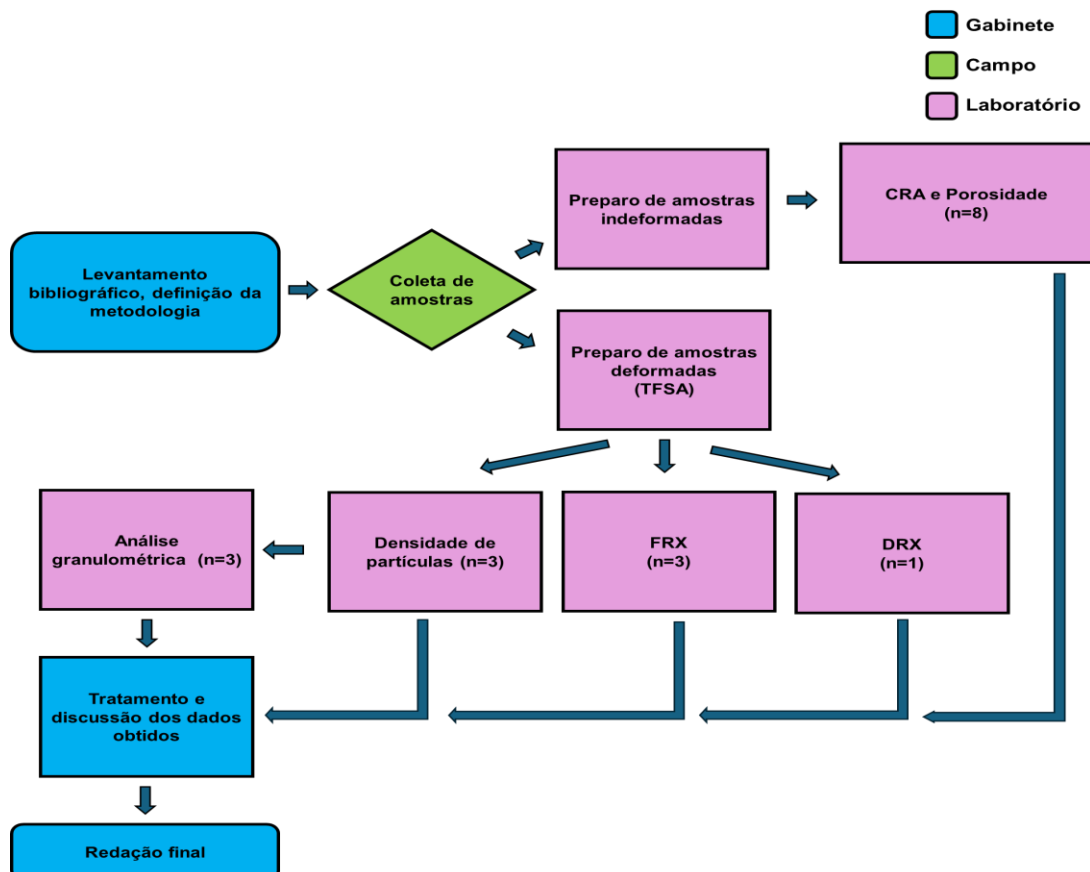
A análise dessa função permite diagnosticar com precisão o meio poroso e a sua heterogeneidade, além de evidenciar como fatores de manejo e compactação alteram a distribuição dos poros responsáveis pelo armazenamento e transporte de água (Oliveira; Vaz; Cássaro, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo caracterizou-se como um estudo de caso, descritivo-quantitativo de caráter aplicado, que visou à avaliação da aptidão de Latossolos para o uso de cemitérios. A adoção de uma perspectiva geográfica sistêmica foi fundamental para o dinamismo desta pesquisa, permitindo uma análise integrada entre os atributos físicos, químicos e mineralógicos de um latossolo vermelho e as intervenções antrópicas decorrentes do uso cemiterial. O estudo do solo partiu do uso do relevo, concentrando-se na compreensão da estrutura, da dinâmica e das conexões ambientais.

As técnicas empregadas nesta pesquisa compreenderam, inicialmente, o levantamento bibliográfico, seguido pela coleta de amostras em campo e análises laboratoriais. Por fim, realizaram-se o tratamento e a discussão dos dados obtidos. Essa abordagem integrou atividades de gabinete, campo e laboratório, conforme sistematizadas no fluxograma apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma sobre as etapas do estudo realizado.



Fonte: O autor.

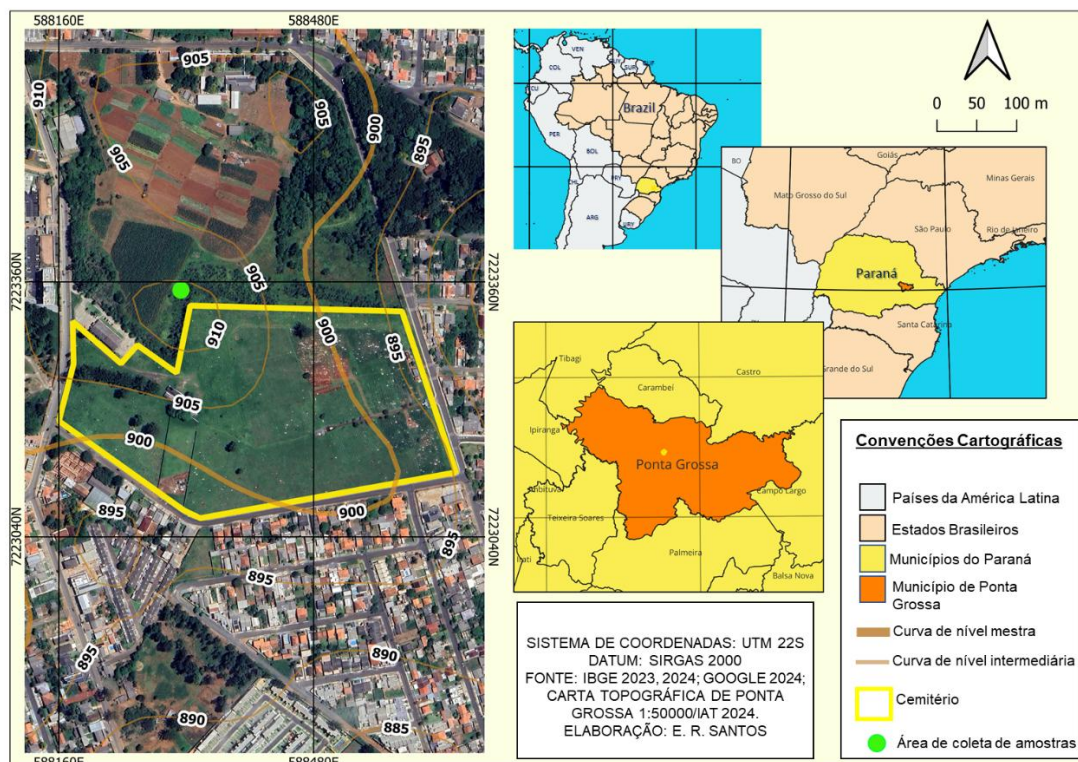
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Critérios de seleção da área de estudo e do ponto de coleta de amostras de solo

O estudo foi realizado no município de Ponta Grossa, estado do Paraná (PR). A área selecionada corresponde ao entorno do Cemitério São Vicente de Paula, cuja escolha justifica-se por sua inserção intrabairro em uma zona densamente povoada, por operar sob a modalidade de sepultamento direto no solo e por ter sido implantado antes da consolidação da legislação ambiental de 2003.

A amostragem do solo foi executada em uma propriedade limítrofe, a aproximadamente 40 m da área de sepultamentos, sob as coordenadas UTM 22S 588322.01E, 7223368.99N (Figura 6). A opção por coletar as amostras fora dos limites do cemitério visou evitar a contaminação dos equipamentos experimentais e, simultaneamente, permitir a comparação química entre a área interna de sepultamento e o seu entorno (composição esta analisada em etapas prévias).

Figura 6 – Posição do ponto de coleta de amostras e Localização do cemitério São Vicente de Paula no perímetro urbano de Ponta Grossa, Paraná BR.



Fonte: O autor.

3.1.2 Caracterização físico natural de Ponta Grossa – área do cemitério

O município de Ponta Grossa situa-se sobre os terrenos da Unidade Morfoestrutural da Bacia Paraná, uma unidade morfoescultural do Segundo Planalto do Paraná; subunidade morfoescultural do Planalto de Ponta Grossa (Mineropar, 2006). Quanto à geologia, o município inclui as formações geológicas da base da Bacia do Paraná, pertencentes ao Grupo Paraná: formações Furnas e Ponta Grossa, de idade Siluro-Devoniana, além do Grupo Itararé: formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba (Mineropar, 2007), formadas entre os períodos Carbonífero Superior e Permiano Inferior (Guimarães *et al.*, 2007).

O perímetro urbano de Ponta Grossa, área deste estudo se encontra na bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, que, segundo Miara e Oka-Fiori (2007), possui uma área de 102,18 km², afluente da margem direita do Rio Tibagi. A bacia do rio Cará-Cará está localizada na parte E e SE do perímetro urbano do município, compreendendo também parte da área rural. O substrato geológico pertencente à bacia hidrográfica do rio Cará-Cará é composto por rochas da Formação Furnas e da Formação Ponta Grossa. As rochas da Formação Furnas, localizadas na parte leste da bacia, são compostas por arenitos quartzosos brancos, com características granulométricas de média a grossa, feldspáticos, portadores de estratificação cruzada, além da presença de conglomerados. Essa formação é atribuída à idade devoniana pela concordância com os folhelhos marinhos superpostos da Formação Ponta Grossa (Assine, 1999).

A Formação Ponta Grossa é encontrada a oeste da bacia, onde está o cemitério Vicentino. De acordo com Mineropar (2007), essa formação é constituída por rochas de granulação fina, folhelhos e siltitos, com coloração variada. A sedimentação é característica da plataforma marinha do início ao final do período Devoniano, apresentando uma grande variedade de micro e macrofósseis. Sobre essas formações, esculpe-se o relevo atual.

Sob a grande unidade estratigráfica da Bacia do Paraná, encontra-se a Unidade Morfoescultural do Segundo Planalto Paranaense, um planalto modelado em estruturas monoclinais, sub-horizontais, que mergulham para oeste. A área urbana de Ponta Grossa está inserida no Segundo Planalto Paranaense, onde é possível identificar duas subunidades morfoesculturais: o Planalto de São Luiz do

Purunã e o Planalto de Ponta Grossa (Mineropar, 2006). A área de estudo está inserida na segunda subunidade citada.

De acordo com Miara e Oka-Fiori (2007), na bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, onde se encontra o “cemitério Vicentino”, os Latossolos ocupam a maior proporção, representando 72,1 % da área. A classe que representa a associação de Cambissolos e Podzólicos ocupa 25% da bacia. Aproximadamente 74 % dos solos da bacia se sobrepõem à Formação Ponta Grossa.

Ponta Grossa encontra-se na faixa de domínio dos climas subtropicais, que conforme Cruz (2014), adotando-se a classificação de Köppen, que se baseia na temperatura e precipitação, é do tipo Cfb (clima quente-temperado), sempre úmido, com mais de cinco geadas noturnas por ano. As chuvas são uniformemente distribuídas, sem estação seca, com precipitações variando de 1.200 a 1.500 mm. No mês mais quente, a média térmica é inferior a 22 °C, enquanto nos outros meses do ano as temperaturas médias são superiores a 10 °C.

3.1.3 Sobre os Latossolo

Os Latossolos representam a classe de solos de maior expressão geográfica no território brasileiro, sendo caracterizados por um estágio avançado de intemperismo e evolução pedogenética (Ferreira *et al.*, 1999; Marcolin; Calegari, 2020). São solos tipicamente profundos, friáveis, homogêneos e muito intemperizados, com horizontes subsuperficiais (Bw) que apresentam pouca diferenciação de cor ou textura ao longo do perfil (Schaefer *et al.*, 2004; Panini *et al.*, 2017). Quimicamente, possuem argilas de baixa atividade, reduzida capacidade de troca de cátions ($CTC < 13 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) e são frequentemente ácidos e pobres em nutrientes minerais (Schaefer *et al.*, 2004).

A morfologia dos Latossolos é marcada por uma estrutura microgranular estável, composta por microagregados resultantes da intensa atividade biológica prolongada e do arranjo específico de seus constituintes (Schaefer *et al.*, 2004). Sua constituição mineralógica é dominada por minerais do tipo 1:1, como a caulinita, e óxidos de ferro e alumínio, notadamente hematita, goethita e gibbsita (Schaefer *et al.*, 2004; Martins; Melo; Serrat, 2004). Esse arranjo estrutural confere a esses solos propriedades físicas singulares, como elevada porosidade total e boa

permeabilidade hídrica, mesmo em perfis com teores muito elevados de argila (Beutler *et al.*, 2002).

No município de Ponta Grossa, inserido na Região dos Campos Gerais do Paraná, predominam os Latossolos Vermelhos Distróficos típicos, frequentemente manejados sob sistema de plantio direto (Rosa *et al.*, 2018). A textura desses solos na localidade apresenta variações, situando-se predominantemente entre as classes argilosa e muito argilosa (Rosa *et al.*, 2018).

3.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

O local para a coleta das amostras foi no terço superior, ou topo, da vertente. A coleta foi realizada no mês de julho de 2024, cinco dias após um evento de chuva (4,3 mm). As coletas foram realizadas todas no mesmo local, após a escavação de uma trincheira de 2 m de profundidade (Figura 7). As amostras foram coletadas próximas umas das outras nas diferentes camadas.

Figura 7 - Coleta de amostras. a) Trincheira de 2 m de profundidade; b) Perfil de Latossolo Vermelho dentro da trincheira; c) Cilindro para a coleta de amostras indeformadas em camada específica.



(a)



(b)



(c)

Fonte: O autor.

No total foram coletadas 80 amostras indeformadas, sendo 8 amostras por camada, totalizando 10 camadas. As camadas foram divididas a partir de 10 cm da superfície do terreno, após a retirada apenas da cobertura vegetal. Desta forma, as

camadas analisadas foram as seguintes: Camada C1 (0,10 m); camada C2 (0,30 m); camada C3 (0,50 m); camada C4 (0,70 m); camada C5 (0,90 m); camada C6 (1,10 m); camada C7 (1,30 m); camada C8 (1,50 m); camada C9 (1,70 m) e camada C10 (1,90 m). O critério adotado consistiu na análise do perfil do solo desde a camada superficial até o ponto que abrangesse mais de 50 cm abaixo da linha de sepultamento, situada a 1 m de profundidade.

As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos de aço de 5 cm de diâmetro e de 5 cm de altura e, após a coleta, foram envolvidas em plástico filme para preservar a estrutura durante o transporte para o laboratório. A coleta foi realizada de forma manual sobre a superfície das camadas mencionadas acima; com ajuda de uma madeira os cilindros foram empurrados de cima para baixo, sem prejudicar a estrutura da amostra. Essas amostras foram utilizadas para as análises da densidade do solo, porosidade total, curva de retenção de água, macroporosidade, microporosidade e demais índices derivados da razão massa/volume do solo.

Para as análises de densidade de partículas, granulométrica (textura), fluorescência de raios X e difração de raios X, foram utilizadas amostras deformadas coletadas com pás nas mesmas camadas onde foram coletadas as amostras indeformadas. Essas amostras foram coletadas em triplicata e separadas em pacotes diferentes, aproximadamente 2,5 kg de solo.

3.3 PREPARO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS

3.3.1 Amostras Deformadas

Após a coleta, as amostras foram transportadas para os laboratórios de pesquisa em solos da Universidade Estadual de Ponta Grossa, onde foram armazenadas para as posteriores análises. As amostras deformadas foram secas por 48 h em estufa (circulação forçada) a 40 °C. Após essa secagem preliminar, essas amostras foram destorroadas e peneiradas em peneiras de aço de malha de 2 mm para a obtenção da TFSA. Na sequência, as amostras peneiradas foram armazenadas em estufa com temperatura máxima de 40 °C, semelhante ao processo de secagem natural. Para o preparo das amostras e análises foi utilizado o Manual de Análises de Solos da Embrapa (2017).

3.3.2 Densidade de Partículas

As medidas de ρ_p foram realizadas empregando o método que utiliza balão volumétrico. O processo de medida foi efetuado em duas etapas: aferição da massa seca das partículas e determinação do volume ocupado pelas partículas. Na primeira etapa, a massa de uma alíquota de TFSA (20 g) foi medida com balança de precisão. Na sequência, o volume dessa alíquota foi obtido por meio do método do deslocamento ou preenchimento de líquidos: medindo-se a variação entre o volume de líquido (álcool isopropílico) que preencheu totalmente o recipiente padrão vazio (balão volumétrico) e a quantidade necessária para completar o mesmo frasco, quando este já continha a amostra seca. A diferença entre os volumes de líquido nas duas etapas forneceu o volume das partículas. Para maiores detalhes da medida de ρ_p , consultar Viana, Teixeira e Donagemma (2017), descrito no livro que foi o método utilizado em nosso estudo. A figura 8 sumariza as etapas realizadas para as medidas de ρ_p .

Figura 8 – Etapas referentes as medidas de ρ_p . a) TFSA; b) Picnômetro (foi utilizado nas medidas sem tampa); c) Balão volumétrico com álcool isopropílico; d) Balão volumétrico contendo solo + álcool.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: O autor.

As medidas de ρ_p foram obtidas em triplicata (n=3), por:

$$\rho_p = \frac{d_a (m_{ps} - m_p)}{(m_{ps}) - (m_{psa} - m_{pa})} \quad (2)$$

Em que, d_a representa a densidade do álcool isopropílico; m_{ps} representa massa do balão volumétrico vazio e seco; m_{psa} a massa do balão volumétrico com solo e álcool e m_{pa} a massa do balão volumétrico com álcool.

3.3.3 Análise Granulométrica (Textura)

Após a obtenção da TFSA foi realizada a separação das três frações granulométricas do solo: areia, silte e argila. A análise foi realizada de acordo Donagemma *et al.* (2017). Para a dispersão química, foram utilizados 20 g de TFSA, 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH) e 100 mL de água destilada em béqueres de vidro, permanecendo em repouso por pelo menos 12 horas. Subsequentemente, a suspensão foi homogeneizada com bastão de vidro e submetida à agitação ultrassônica (*Vibra-Cell, Sonics*) em banho de gelo, por 5 minutos, com amplitude de 20 % (Figura 9).

Figura 9 - a) Amostras de solo em suspensão; b) Amostra em béquer de vidro em banho de gelo dentro do Ultrassom.



(a)



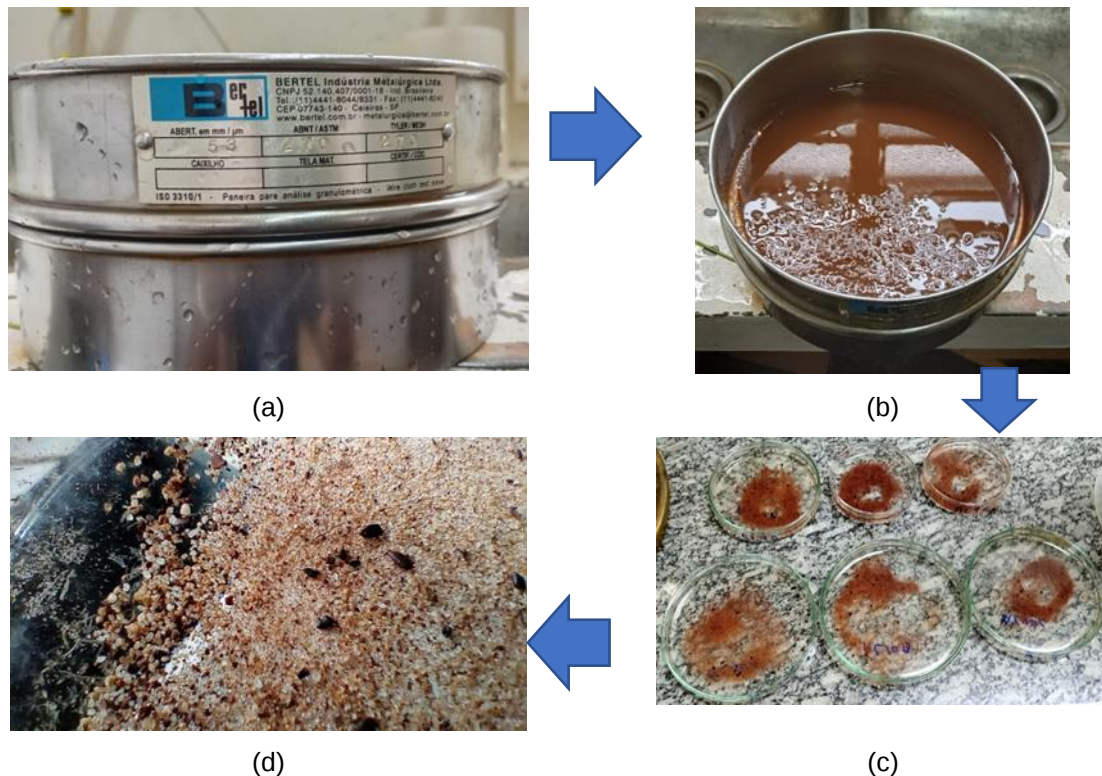
(b)

Fonte: O autor.

Concluída a etapa do ultrassom, a suspensão foi transferida para uma peneira de 53 μm (Bertel) acoplada a um funil e posicionada sobre uma proveta. O material retido foi lavado com auxílio de um pulverizador, limitando-se o volume total de água destilada a 1 L para evitar perdas das frações silte e argila e garantir a precisão

volumétrica. A fração retida (areia) foi transferida para placas de Petri de massa conhecida e mantida em estufa a 40 °C por aproximadamente 48 horas até a secagem completa (Figura 10).

Figura 10 - Ilustração da etapa da análise textural: a) Peneira; b) Amostra sendo lavada para separação da fração areia; c) Fração areia transferida para placa de Petri; d) Fração areia após ficar por 48 h na estufa a 40 °C.



Fonte: O autor.

Após removida a fração areia, o volume residual da suspensão na proveta foi aferido para 1 L com água destilada. Procedeu-se à homogeneização mecânica da amostra com bastão durante 1 minuto, iniciando-se a cronometragem do tempo de sedimentação imediatamente após o repouso do recipiente.

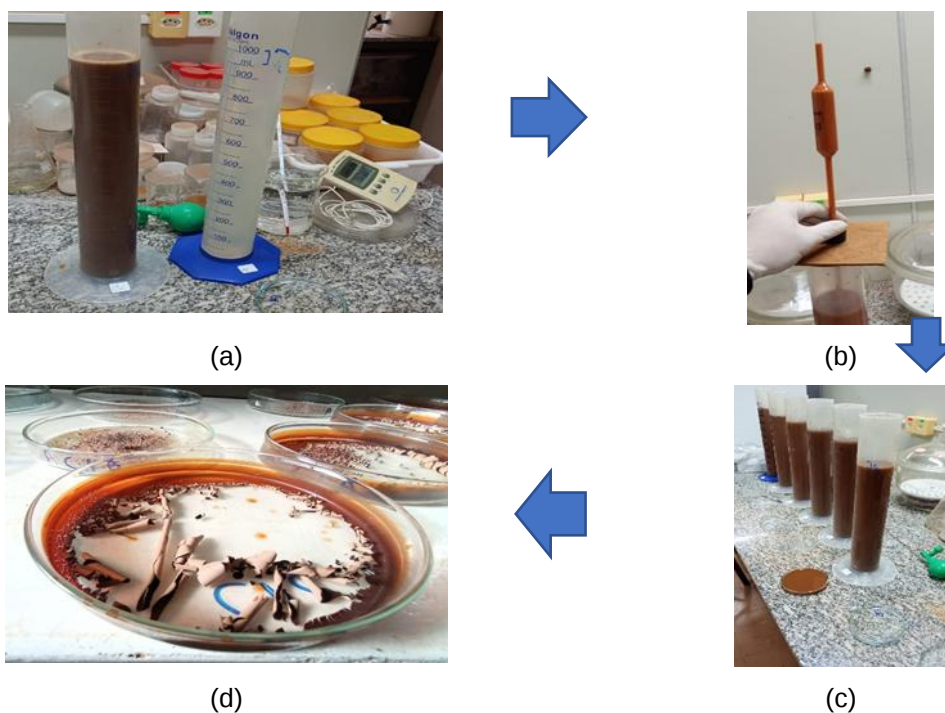
Para a quantificação da fração argila, utilizou-se uma pipeta de 50 mL para retirar uma alíquota, correspondente a 1/20 do volume total, em profundidade e tempo pré-determinados. Esta amostra foi transferida para uma placa de Petri de massa previamente conhecida e mantida em estufa até a secagem completa para posterior pesagem (Figura 11).

O cálculo do tempo de sedimentação baseou-se na Equação (1), adotando-se os seguintes parâmetros e premissas:

Em que h é igual a 1,6 cm; g equivale a 980 cm/s^2 ; d_p equivale a 0,002 mm; ρ_p corresponde com o valor obtido para cada camada; η representa a viscosidade e ρ_L a densidade do fluido, que foram ajustadas conforme a temperatura média (inicial e final) do ensaio.

A dispersão das amostras foi viabilizada pela adição de NaOH (1 mol/L). Para mitigar erros sistemáticos decorrentes da massa do soluto, realizou-se o ensaio em branco (10 mL de NaOH em 1 L de água destilada). O branco foi submetido ao mesmo protocolo de secagem e pesagem da fração argila, permitindo que a massa do dispersante fosse subtraída dos cálculos finais, garantindo a pureza estatística dos resultados.

Figura 11 - Parte do processo da análise granulométrica. a) Proveta com amostra após ser agitada e proveta de prova com termômetro; b) Coleta de alíquota da suspensão com Pipeta 50 mL; c) Alíquota coletada transferida para a placa de petri; d) Fração argila na placa de Petri após ficar 48 h na estufa a 40°C .



Fonte: O autor.

Finalizada a secagem, determinaram-se as massas das frações areia, argila e dispersante para o cálculo da proporção percentual de cada componente no solo ($T\%$). Conforme a metodologia de Donagemma *et al.* (2017):

$$T_{\% \text{ areia}} = m_{\text{areia}} \times 5 \quad (3)$$

$$T_{\% \text{ argila}} = (m_{\text{argila+dispersante}} - m_{\text{dispersante}}) \times 100 \quad (4)$$

$$T_{\% \text{ silte}} = (100 - T_{\% \text{ areia}} - T_{\% \text{ argila}}) \quad (5)$$

3.3.4 Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (FRX)

Para identificar os óxidos presentes no solo, empregou-se a técnica de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia, por meio do equipamento SHIMADZU – EDX 720 – Energy Dispersive X-ray Spectrometer, (Figura 12 a).

Figura 12 - a) Equipamento de FRX modelo EDX - 720, da marca Shimadzu; b) Carrocel onde ficam os porta amostras.



(a)



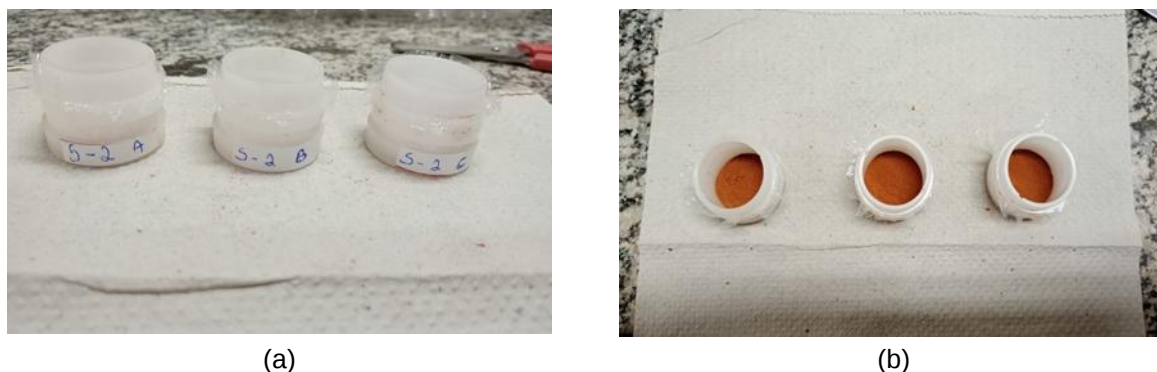
(b)

Fonte: O autor.

Previamente ao ensaio, cerca de 2 g de TFSA foram macerados em almofariz de ágata e peneirados em peneira com ASTM 325, MESH TYLER 325, abertura 0,045 mm 45 μ m), sendo então acondicionados nos porta-amostras cilíndricos com diâmetro interno de aproximadamente 25 mm, cujo o fundo é de filme Mylar de 6 μ m, sendo que cada amostra foi distribuída em cada porta amostra de forma a preencher toda a área do fundo e contendo uma camada sobre o fundo de aproximadamente 1 mm, então foram distribuídas no carrossel do aparelho (Figura 12 B) que comporta

até 16 porta amostras (Figura 13). O procedimento foi realizado em triplicata ($n=3$) para assegurar a reprodutibilidade dos dados em todas as profundidades coletadas.

Figura 13 - a) Porta Amostra utilizado no ensaio; b) Porta amostra preenchido com solo macerado e tamisado em peneira de 45 μm .



Fonte: O autor.

A caracterização semiquantitativa das amostras foi em atmosfera ambiente entre as energias de Na-Sc, Sódio a Escândio, e Ti-U, Titânio a Urânio, com duração de 100 s em cada intervalo de energia. Estas medidas foram realizadas no laboratório do grupo de Física Aplicada a Solos e Ciências Ambientais (FASCA)/UEPG.

3.3.5 Difração de raios X (DRX)

Para a coleta de dados por DRX, Método do Pó, foi usado um Difratorômetro RIGAKU, modelo: Ultima IV, com radiação de $\text{CuK}\alpha$ médio ($\lambda = 1,541838 \text{ \AA}$), tensão de 40 kV e corrente de 30 mA, no modo de varredura contínua, com passo em 2θ de $0,02^\circ$, na velocidade de $10^\circ/\text{min}$, na extensão em 2θ de 5° a 100° , e as seguintes configurações de fendas: divergência horizontal, 10 mm; divergência, $0,5^\circ$; espalhamento, 8° ; e recepção aberta. As amostras, na forma de pó, foram acomodadas no porta amostras e levemente pressionadas com uma lâmina de vidro para sua fixação. Estas medidas foram realizadas no Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-Labmu)/UEPG.

Após a obtenção dos difratogramas das análises de DRX, os minerais presentes foram identificados por meio de seus três picos de difração mais intensos, quando possível, com base nos respectivos padrões de difração da literatura, mais precisamente com base em Resende *et al.* (2011). Os valores das distâncias

interplanares d foram determinados em relação a cada pico de difração observado com base nos valores coletados em 2θ e usando a Lei de Bragg para identificar quais minerais estavam presentes nas amostras analisadas. Ressalta-se que os resultados de DRX possuem caráter predominantemente qualitativo ou semiquantitativo. Dessa forma, os picos identificados indicam a presença de minerais e suas intensidades relativas, não permitindo, contudo, a determinação direta de suas proporções absolutas ao longo das diferentes profundidades analisadas.

3.3.6 Curva de Retenção de Água no Solo

Para a determinação da CRA utilizaram-se amostras indeformadas mantidas em anéis volumétricos. Inicialmente, realizou-se o "toalete" das amostras para nivelar o volume de solo ao volume interno dos anéis. Na extremidade inferior de cada cilindro, identificado em campo no momento da coleta, fixou-se uma malha de nylon permeável com auxílio de elásticos. As amostras preparadas foram armazenadas sob refrigeração até o início das análises.

O processo de saturação ocorreu por capilaridade durante 24 horas; para isso, as amostras foram dispostas em bandejas com lâmina d'água inicial de 0,1 cm, elevada gradualmente a cada hora até atingir a borda superior dos cilindros (Figura 13).

A etapa de transferência para a mesa de tensão exigiu procedimentos rigorosos para assegurar um bom contato hidráulico entre as amostras e o material poroso da mesa. O potencial matricial foi obtido por meio da sucção das amostras acondicionadas na mesa de tensão (Figura 14). Para mitigar perdas hídricas por evaporação, a tampa da mesa de tensão permaneceu fechada durante todo o processo de obtenção da CRA.

O tempo de equilíbrio para cada potencial aplicado foi monitorado pelo fluxo de água no tubo de drenagem; a ausência de efluxo no recipiente de coleta indicou o alcance do equilíbrio. Após cada equilíbrio, as amostras foram pesadas e os valores de massa de água registrados. Na sequência, as amostras foram levadas novamente para a mesa de tensão, colocadas na mesma posição, e submetidas à nova sucção. Os potenciais matriciais aplicados variaram de -1 kPa a -10 kPa, com intervalos de -1 kPa.

Figura 14 - a) Amostras sendo preparadas para análise da CRA; b) Etapa de saturação; c) Amostras alocadas na mesa de tensão.



(a)



(b)



(c)

Fonte: O autor.

Ao término da aplicação de todos os potenciais matriciais (tensões), as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 105 °C por 24 horas até atingirem massa constante, permitindo a quantificação da massa de solo seco. O volume interno de cada cilindro foi previamente aferido com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. A determinação da massa de água para cada potencial foi realizada por meio da diferença entre a massa da amostra úmida e a massa de solo seco.

Para a determinação da umidade volumétrica (θ) foi de acordo com Fu *et al.* (2021):

$$\theta_i = \frac{M_{uai} - M_s}{V_{total} * \rho_a} \quad (6)$$

Em que, θ_i representa o conteúdo volumétrico de água (cm³/cm³); M_{uai} representa a massa da amostra úmida no potencial (i) (g); M_s corresponde massa do solo seco (g); V_{total} representa o volume interno do anel volumétrico (cm³) e ρ_a corresponde a densidade da água.

A Densidade do Solo (ρ_b) foi determinada por:

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_{total}} \quad (7)$$

Em que, M_s representa a massa do solo seco (g) e V_{total} corresponde o volume interno do anel volumétrico (cm^3).

A Porosidade Total (Φ) foi estimada com base na soma de macroporosidade, mesoporosidade e microporosidade.

$$\Phi = \text{macro} + \text{meso} + \text{micro} \quad (8)$$

A macroporosidade representa a fração do espaço poroso ocupado pelos poros de maiores diâmetros, os quais são os primeiros a serem drenados após aplicação de sucção (tensão) nas amostras. No modelo de cálculo adotado foi subtraído o conteúdo volumétrico de água na saturação e após aplicação do potencial matricial de -3 kPa. Desta forma, os macroporos possuem diâmetros equivalentes maiores que 100 μm .

$$Macro = \theta_s - \theta_{3kPa} \quad (9)$$

Em que θ_s representa a umidade de saturação cm^3/cm^3 e θ_{3kPa} equivale a umidade no potencial matricial de -3 kPa (cm^3/cm^3).

A mesoporosidade foi calculada pela diferença entre o conteúdo de água volumétrico nos potenciais matriciais de -3 kPa e -10 kPa, correspondendo aos poros com diâmetros equivalente entre 30 e 100 μm . Já a microporosidade foi obtida considerando o conteúdo volumétrico de água retido no potencial matricial de -10 kPa:

$$Micro = \theta_{10kPa} \quad (10)$$

Para o ajuste da CRA foi utilizado o modelo de van Genuchten (1980), com a restrição de Mualem (Equação (10)):

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m} \quad (11)$$

Em que, $\theta(\psi)$ representa conteúdo volumétrico de água em um dado potencial matricial (cm^3/cm^3); θ_r corresponde a umidade volumétrica residual (cm^3/cm^3) e α, n, m representam os prâmetros de ajuste do modelo.

A função capacidade de água foi obtida pela derivada primeira da equação de ajuste de van Genuchten. O diâmetro equivalente dos poros foi calculado com base na equação da capilaridade (Borkowski, 2009). A porosidade de aeração foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a umidade volumétrica do solo para os diferentes potenciais matriciais.

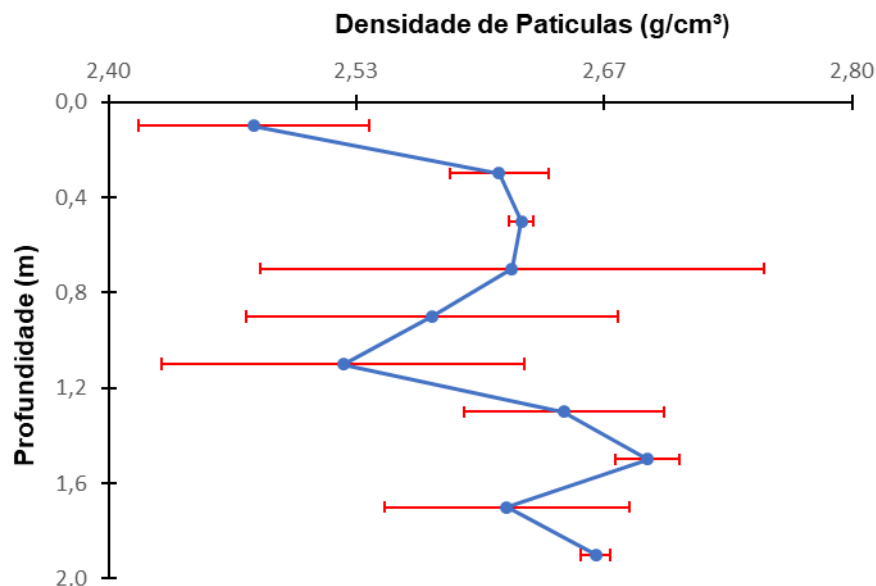
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos neste trabalho.

4.1 DENSIDADE DE PARTÍCULAS

Por meio da análise de densidade de partículas foi determinada a densidade média das partículas que compõem as amostras de solo. A Figura 15 apresenta os resultados da densidade de partículas pelo método do balão volumétrico.

Figura 15 - Valores de Densidade de Partículas em função de profundidade. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

A camada 1, correspondente à profundidade de 0,10 m, apresenta a menor densidade de partículas, com valores próximos a 2,47 g/cm³. Esse comportamento é típico de horizontes superficiais, os quais estão mais sujeitos à influência da matéria orgânica, contribuindo para a redução da densidade de partículas (Gomes *et al.*, 2019). A uma análise dos dados mostra diferenças entre C1 e as camadas mais profundas, possivelmente atribuídas ao maior teor de matéria orgânica (não medido no estudo) na camada mais superficial.

A densidade de partículas constitui uma propriedade física intrínseca do solo, caracterizada por relativa estabilidade e baixa sensibilidade a diferentes tipos de uso

do solo. Entretanto, seu valor pode ser influenciado por elevados teores de matéria orgânica, principalmente nas camadas mais superficiais (Bamberg *et al.*, 2015). A densidade de partículas é influenciada principalmente pela composição mineralógica e pela proporção relativa dos constituintes do solo, incluindo quartzo, feldspatos, óxidos de ferro e de alumínio, além da fração orgânica. Seu valor trata-se de uma média ponderada das massas específicas dos diferentes minerais do solo, podendo variar em função da predominância de minerais com distintas densidades e com diferentes conteúdos de matéria orgânica (Kato *et al.*, 2010).

A média em torno de 2,60 g/cm³ observada para a densidade de partículas neste estudo considerando todas as camadas, embora inferior aos valores reportados para outros Latossolos (Amaro Filho *et al.*, 2007; Kato *et al.*, 2010), pode ser explicada pela composição específica do solo em estudo. A densidade de partículas pode refletir a predominância de determinados constituintes minerais; nesse contexto, o Latossolo Vermelho analisado apresenta elevados teores de Al₂O₃ e significativa presença de gibbsita (Gbs). Considerando que esse mineral possui densidade relativamente baixa, variando entre 2,30 e 2,42 g/cm³ (Navarro *et al.*, 2017), sua elevada participação na fração mineral contribui para a redução da densidade de partículas do solo (Kato *et al.*, 2010; Yanaguiswa, 2019).

4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Após a obtenção da densidade de partículas para as diferentes amostras, o tempo de sedimentação da fração silte foi calculado por meio da Lei de Stokes (Equação 1). A Tabela 1 traz os tempos usados na análise granulométrica, levando em consideração oscilações de temperatura do fluido (17 a 19 °C) durante as medidas.

Tabela 1 - Tempo de sedimentação para cada camada (C1 a C10), expresso em função da densidade de partículas de cada camada e a viscosidade da água que varia com a temperatura.

(Continua)

Amostra	Temperatura (°C)	Viscosidade (g/cm s)	Densidade de partículas (g/cm ³)	Tempo
C1	19	0,01030	2,478	4h 26m
C2	19	0,01030	2,610	4h 04m
C3	19	0,01030	2,622	4h 02m
C4	18	0,01056	2,617	4h 03m
C5	17	0,01082	2,574	4h 22m
C6	18	0,01056	2,526	4h 24m
C7	18	0,01056	2,645	4h 05m

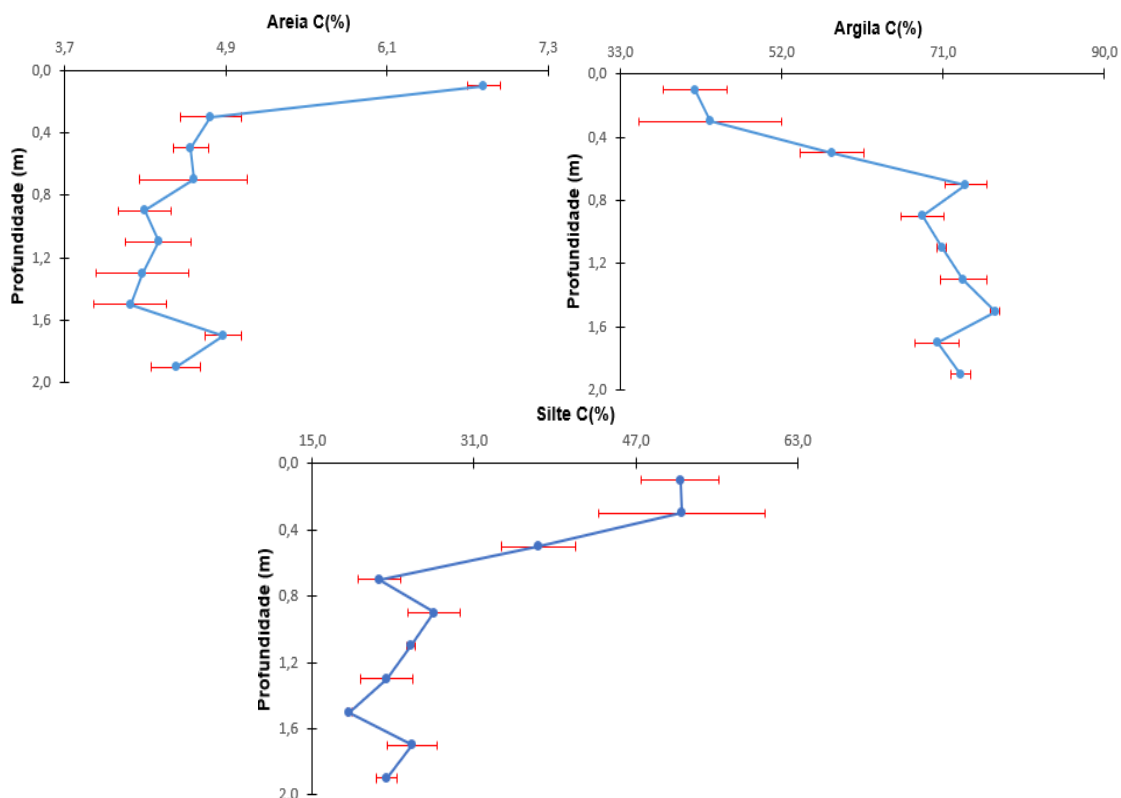
Tabela 1 - Tempo de sedimentação para cada camada (C1 a C10), expresso em função da densidade de partículas de cada camada e a viscosidade da água que varia com a temperatura

Amostra	Temperatura (°C)	Viscosidade (g/cm s)	Densidade de partículas (g/cm ³)	(Conclusão)
				Tempo
C8	18	0,01056	2,690	3h 58m
C9	18	0,01056	2,614	4h 10m
C10	18	0,01056	2,662	4h 03m

Fonte: O autor.

A Figura 16 apresenta os resultados da análise granulométrica do solo. Observa-se que a fração areia apresenta maior proporção na camada C1; a partir da camada C2, há redução nos teores, de modo que C1 se diferencia das demais camadas. Verifica-se, portanto, uma tendência de decréscimo da fração areia com o aumento da profundidade, com relativa estabilização dos valores a partir da camada C2.

Figura 16 - Valores das massas de areia, argila e silte encontradas nas camadas C1 a C10 através da análise granulométrica. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

Em relação à fração argila, as camadas C1 e C2 apresentam os menores teores, não diferindo entre si. A partir da camada C3, observa-se incremento no

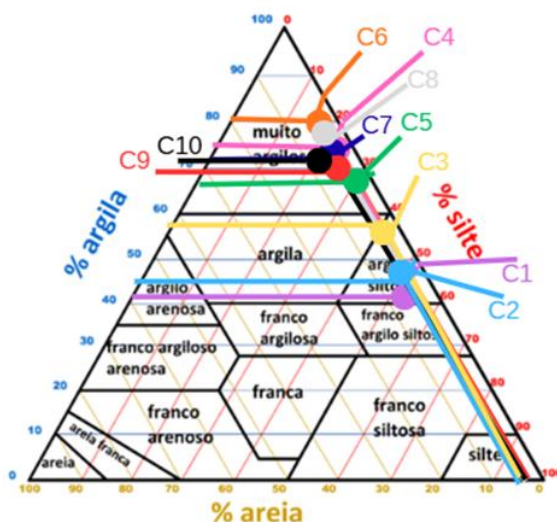
conteúdo de argila, com diferenciação em relação às camadas superficiais e às subsequentes. A tendência geral indica aumento no conteúdo de argila com a profundidade até a camada C4, seguido de estabilização nos horizontes inferiores.

Quanto à fração silte, os maiores teores concentram-se nas camadas C1 e C2, que se diferenciam das demais. A camada C3 apresenta valor intermediário em relação às demais camadas, como observado para o conteúdo de argila. A partir da camada C4, os teores de silte tendem à estabilização, após um decréscimo observado das camadas superficiais até essa profundidade.

A distribuição das frações granulométricas (areia, silte e argila) observada neste estudo é consistente com os resultados reportados por Rosa *et al.* (2018), que também registraram teores de argila próximos a 65 %. Adicionalmente, os dados obtidos mostram concordância com aqueles descritos por Martins, Melo e Serrat (2004) para Latossolos Vermelhos, os quais apresentam baixas proporções de silte (12,6 %) e areia (8,8 %), em contraste com elevada fração argilosa (78,6 %). Essa convergência de resultados também é corroborada por Marcolin e Calegari (2020), ao analisarem solos sob cobertura florestal utilizados como áreas de referência (testemunha).

A classificação textural das amostras, obtida a partir do triângulo textural, indica predominância das classes argila e muito argilosa. Apenas as amostras C1, C2 e C3 foram classificadas como argilo-siltosas. Em todas as camadas avaliadas, observam-se baixos teores de areia, com valores inferiores a 10 % (Figura 17).

Figura 17 - Triângulo textural utilizado para a classificação da textura do solo no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo, com amostras plotadas no ponto onde representa as suas frações.



Fonte: Santos *et al.*, (2015), adaptado pelo autor.

Os resultados da análise granulométrica indicam que, em algumas camadas (C4 a C10), os teores de argila atingem valores próximos a 70 %, classificando o solo como muito argiloso. Essa característica é considerada favorável à implantação de necrópoles, uma vez que a baixa permeabilidade associada a solos com elevados teores de argila pode contribuir para a retenção de contaminantes. Tal comportamento é corroborado pelos parâmetros estabelecidos pela Funasa (2006), que indicam coeficientes de infiltração reduzidos para solos argilosos (32 L/m²/dia), em comparação com solos arenosos ou areno-siltosos (100 L/m²/dia), evidenciando maior eficiência na atenuação de impactos ambientais. Ressalta-se, entretanto, que não foram realizadas medições diretas de infiltração neste estudo.

Solos com predominância da fração argila tendem a apresentar maior capacidade de retenção de substâncias, em função de sua composição mineralógica e da distribuição de poros, predominantemente microporosos, o que favorece processos de filtração e adsorção. Essas características podem contribuir para a redução da lixiviação de poluentes em direção ao lençol freático. Nesse contexto, camadas mais argilosas podem atuar como barreiras naturais, dificultando a percolação do necrochorume e sua eventual contaminação de águas subterrâneas (Oliveira; Gontijo, 2011).

Por outro lado, o predomínio de microporos em solos argilosos implica menor aeração, limitando as trocas gasosas no interior do solo, as quais são essenciais para a decomposição da matéria orgânica (Dutra; Souza, 2015). Essa condição, associada à elevada retenção hídrica, pode favorecer a ocorrência de processos como a saponificação, o que pode comprometer a eficiência dos processos de decomposição e gerar implicações negativas para a gestão de necrópoles (Silva *et al.*, 2021; Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

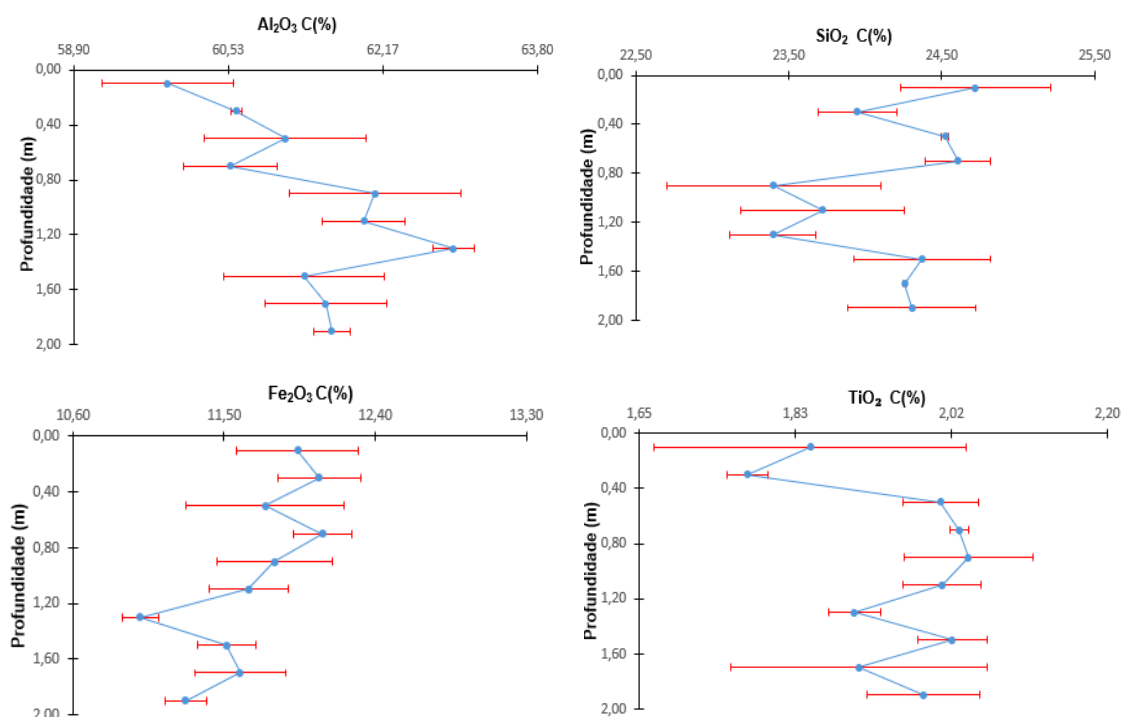
Observa-se, contudo, que as camadas superficiais (C1, C2 e C3) apresentam menores teores de argila e maiores proporções de silte e areia. A diferença entre essas camadas e os horizontes mais profundos é estatisticamente significativa, evidenciando uma transição textural ao longo do perfil. Nessas camadas superficiais, os teores de argila apresentam-se mais baixos para latossolos o que faz com que se situem próximos da faixa considerada adequada (20 % a 40 %) para determinadas condições de uso do solo para cemitérios (Dutra; Souza, 2015). De modo geral, a redução do teor de argila nessas camadas está associada ao aumento relativo da fração silte. O aumento da fração silte pode estar relacionado a tipos de manejo que

podem ter ocorrido no local. De acordo com Pires *et al.* (2019), os valores encontrados nos estudos em latossolos vermelhos de Ponta Grossa para florestas secundárias ficaram próximos a 34 %, Pires (2023) apresenta valores de silte para latossolos vermelhos em área de mata de 28 %, valor próximo das camadas C4 a C10, o que pode apontar como um possível tipo de manejo que levou aos altos teores das camadas C1 a C3.

4.3 ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Os resultados da análise de (FRX) estão apresentados na Figura 18. Essa técnica permitiu a caracterização elementar do Latossolo Vermelho estudado, evidenciando a composição em óxidos e de forma semiquantitativa, com valores compatíveis aos relatados na literatura para solos de mesma classe (Gonçalves *et al.*, 2008; Prado *et al.*, 2018).

Figura 18 - Resultado da análise por FRX. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

Os resultados indicam que Al₂O₃ (≈61 %), SiO₂ (≈24 %), Fe₂O₃ (≈11 %) e TiO₂ (≈1 %) constituem os óxidos predominantes no perfil analisado. Observa-se

que as camadas superficiais (C1 a C4) apresentam teores relativamente menores de Al_2O_3 , embora sem diferenças expressivas em relação às camadas subsuperficiais, em função da variabilidade dos dados. Essa tendência é consistente com processos pedogenéticos típicos de ambientes tropicais altamente intemperizados, nos quais ocorre lixiviação e redistribuição de óxidos ao longo do perfil (Ferreira, 2019). Nesse contexto, o alumínio, que é indicado em termos de Al_2O_3 , pode ser mobilizado a partir das camadas superficiais por meio da formação de complexos orgânicos e do transporte coloidal, especialmente associado a argilominerais (Kemerich *et al.*, 2014).

A menor concentração de Al_2O_3 nos horizontes superficiais reflete, portanto, a dinâmica pedogeoquímica do solo, caracterizada pela remoção relativa do alumínio nas camadas superiores e sua concentração em zonas subsuperficiais de acumulação (Kemerich *et al.*, 2013; Ferreira, 2019). Elevados teores de Al_2O_3 podem ser considerados favoráveis em contextos de implantação de necrópoles (Prado *et al.*, 2018), uma vez que indicam a presença de minerais como a gibbsita, os quais contribuem para a agregação do solo e para a formação de uma estrutura com ampla distribuição de tamanhos de poros (Ferreira; Fernandes; Curi, 1999; Schaefer; *et al.*, 2004).

Os teores de SiO_2 ($\approx 24\%$), variando entre 23% e 25% , refletem a matriz caulinitico-quartzosa típica de Latossolos altamente intemperizados. A relativa uniformidade desses valores ao longo do perfil sugere homogeneidade morfológica, indicando que, apesar do avançado grau de intemperismo, o solo ainda preserva uma fração silicatada significativa, a qual influencia propriedades como densidade de partículas e retenção de água. Os valores observados são compatíveis com aqueles reportados por Gonçalves *et al.* (2008), com média de 24% , e superiores aos encontrados por Prado *et al.* (2018), que registraram valores médios de 19% .

A presença de SiO_2 está associada principalmente a minerais como quartzo e caulinita, indicando a atuação do processo de monossilatização. Os resultados sugerem que, embora o solo se encontre em estágio avançado de intemperismo, ainda não ocorreu dessilicação completa do sistema (Duzgoren; Aydin; Malpas, 2002), processo no qual há remoção significativa de sílica e formação predominante de gibbsita a partir da caulinita (Widdowson, 2007). De modo geral, os teores de SiO_2 apresentam comportamento relativamente estável ao longo do perfil.

Os valores médios de Fe_2O_3 (≈ 11 %) são próximos aos relatados por Gonçalves *et al.* (2008) (≈ 12 %) e inferiores aos observados por Prado *et al.* (2018) (≈ 32 %). Essa variação pode ser atribuída à natureza litológica do material de origem. Diferentemente de Latossolos derivados de rochas basálticas, os solos desenvolvidos a partir de rochas sedimentares, gnaisses ou mesmo material retrabalhado tendem a apresentar menores concentrações de Fe_2O_3 (Ker, 1997), o que pode se enquadrar nos solos formados sobre as rochas sedimentares da Formação Ponta Grossa. Em Latossolos desenvolvidos sobre materiais sedimentares, os teores de Fe_2O_3 geralmente variam entre 8 % e 18 %, faixa na qual os resultados deste estudo se enquadram (Ker, 1997).

A presença de Ferro, principalmente na forma de hematita e goethita, exerce papel fundamental na agregação do solo, influenciando a formação de sua estrutura e processos dinâmicos, como infiltração de solutos e trocas gasosas. Além disso, esses minerais afetam propriedades como coloração, capacidade de troca catiônica (CTC) e retenção de fósforo e metais pesados, atuando como importantes agentes de adsorção no solo (Correa *et al.*, 2008). A associação entre os minerais constituídos de ferro e alumínio favorece a formação de microagregados estáveis com estrutura granular, responsáveis pela criação de uma rede porosa heterogênea que controla o fluxo de água no perfil (Schaefer *et al.*, 2004; Xue *et al.*, 2019; Ferreira; Fernandes; Curi, 1999).

Os maiores teores de Fe_2O_3 concentram-se nas camadas superficiais, com leve tendência de decréscimo em profundidade. Em função da intensa microagregação, solos ricos em teores de ferro podem apresentar elevada permeabilidade e eficiente drenagem, mesmo quando possuem textura muito argilosa (Ferreira; Fernandes; Curi, 1999; Kemerich *et al.*, 2014). Em Latossolos, essa estrutura granular pode resultar em comportamento hidrodinâmico semelhante ao de solos arenosos, especialmente no que se refere à velocidade de infiltração (Ker, 1997).

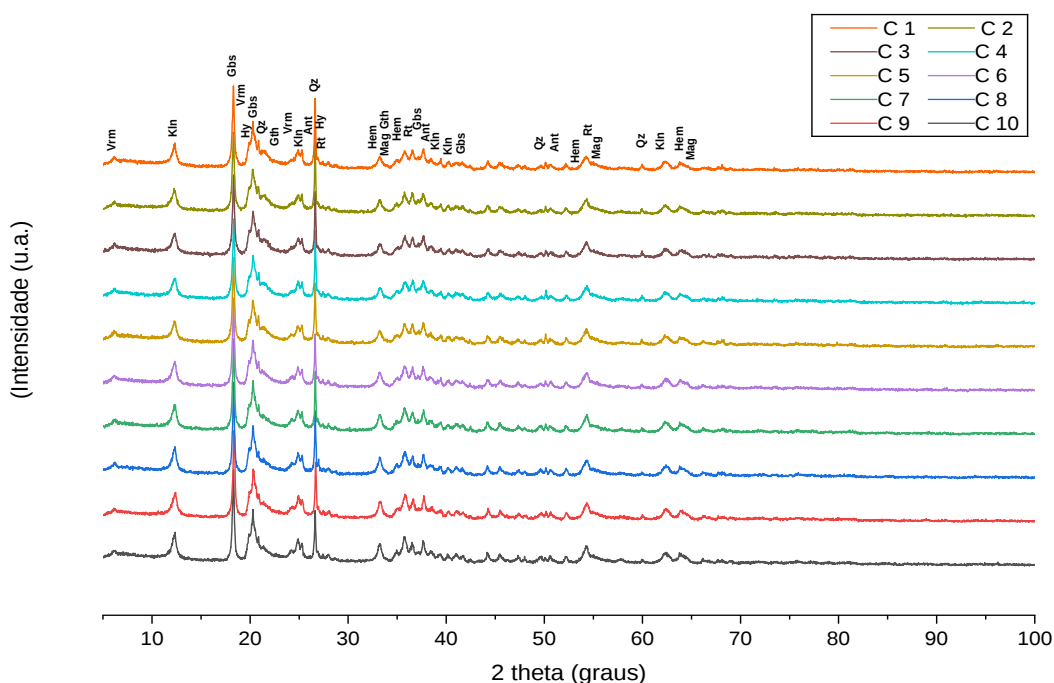
No contexto da implantação de necrópoles, essa estrutura pode favorecer a difusão de gases, contribuindo para processos de decomposição aeróbia (Kemerich *et al.*, 2014). Entretanto, a elevada permeabilidade pode intensificar a percolação do necrochorume e o transporte de contaminantes, como metais pesados e microrganismos patogênicos, aumentando o risco de contaminação do lençol freático, sobretudo em perfis rasos (Kemerich *et al.*, 2014; Ferreira, 2019).

Os teores de TiO_2 observados são compatíveis com os teores reportados para Latossolos Vermelhos da região dos Campos Gerais (Gonçalves *et al.*, 2008; Prado *et al.*, 2018), geralmente inferiores a 3,5 % da composição total. O Titânio desempenha papel relevante em solos altamente intemperizados, sendo considerado um elemento de baixa mobilidade e frequentemente utilizado como indicador de homogeneidade do material de origem ao longo do perfil (Schmachtenberg *et al.*, 2013). A partir da camada C3, observa-se relativa estabilidade nos teores de TiO_2 , com discreta tendência de aumento em profundidade em relação às camadas superficiais (C1 e C2), o que reforça a uniformidade do processo pedogenético (Rye; Holland, 2000; Ferreira, 2019).

4.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A Figura 19 apresenta os difratogramas obtidos por meio da análise de difração de raios X. Em todas as profundidades avaliadas, foram identificados picos característicos de minerais típicos de Latossolos Vermelhos.

Figura 19 - Difratoograma com resultados da análise de DRX com difratogramas das camadas de C1 a C10.



Fonte: O autor.

Os minerais identificados no perfil foram: vermiculita (Vrm), caulinita (Kln), gibbsita (Gbs), quartzo (Qz), goethita (Gth), anatásio (Ant), rutilo (Rt), magnetita (Mag), haloisita (Hy) e hematita (Hem). Para a padronização das abreviações, adotou-se a nomenclatura de Warr (2020).

Os minerais detectados por DRX são consistentes com os resultados de estudos realizados no município de Ponta Grossa e refletem o perfil típico de Latossolos Vermelhos no Brasil. Trabalhos regionais confirmam a predominância de gibbsita (Gbs), goethita (Gth), quartzo (Qz), caulinita (Kln), rutilo (Rt), hematita (Hem), magnetita (Mag), haloisita (Hy), anatásio (Ant) e vermiculita (Vrm) (Melo *et al.*, 2017). De acordo com Prado *et al.* (2018), também foram observados picos menores atribuídos à montmorilonita (Mnt), embora sua presença seja considerada incerta.

Em razão do avançado estágio de intemperismo, os Latossolos Vermelhos apresentam composição mineralógica com predomínio por caulinita (Kln), gibbsita (Gbs), hematita (Hem) e goethita (Gth), além de grãos de quartzo (Qz). Essa constituição é característica recorrente de Latossolos distribuídos em diferentes regiões do Brasil (Melo *et al.*, 2017; Prado *et al.*, 2018).

A mineralogia da fração argila exerce papel determinante sobre o comportamento físico-hídrico do solo. A caulinita (Kln), por exemplo, favorece a formação de uma estrutura organizada em blocos subangulares, caracterizada pelo arranjo "face a face" de suas lâminas. Esse ajuste estrutural gera um plasma denso, predominantemente microporoso, resultando em redução da permeabilidade e da condutividade hidráulica (Ferreira; Fernandes; Curi, 1999; Pedrotti *et al.*, 2003).

Por outro lado, a gibbsita (Gbs) promove a formação de microagregados bem definidos, gerando porosidade complexa e elevada proporção de macroporos. Consequentemente, solos gibbsíticos apresentam menor densidade aparente e maior permeabilidade, favorecendo o rápido fluxo de água no perfil (Ferreira; Fernandes; Curi, 1999; Pedrotti *et al.*, 2003).

A hematita (Hem) e a goethita (Gth), por exemplo, atuam como agentes cimentantes, promovendo a desorganização microscópica e contribuindo para a formação de microagregados. Essa organização estrutural aumenta a estabilidade global do solo e melhora a porosidade efetiva, influenciando a infiltração de água e a troca gasosa (Pedrotti *et al.*, 2003; Ferreira, 2019).

Minerais 2:1, como a vermiculita (Vrm), destacam-se por alta superfície específica e elevada capacidade de retenção hídrica, mas podem induzir

fendilhamento durante períodos de seca, comprometendo a continuidade da porosidade (Ker, 1997).

A combinação de caulinita, gibbsita e, por exemplo, hematita e goethita, proporciona grande densidade de sítios de adsorção específica, conferindo ao solo capacidade de atuar como filtro geoquímico eficiente, retendo metais pesados (Cádmio, Cromo, Níquel) e compostos orgânicos, como putrescina e cadaverina, originados da decomposição de corpos e acessórios funerários (Alleoni *et al.*, 2005; Barros *et al.*, 2008).

Entretanto, solos com argila em excesso ou predominância de caulinita podem desenvolver microporosidade extrema, dificultando a troca gasosa e promovendo condições anaeróbias que retardam a decomposição cadavérica (Barros *et al.*, 2008; Figueiredo Filho *et al.*, 2011). A presença de minerais 2:1, mesmo em menor proporção, eleva a capacidade de troca catiônica (CTC), aumentando o tamponamento do solo e reforçando a retenção de poluentes (Barros *et al.*, 2008).

Em contraste, solos predominantemente gibbsíticos, com alta macroporosidade e permeabilidade, podem comprometer a função de filtro, acelerando a percolação do necrochorume e a mobilização de microrganismos em direção ao lençol freático (Barros *et al.*, 2008; Figueiredo Filho *et al.*, 2011). O fendilhamento associado a minerais expansivos pode ainda criar caminhos preferenciais, permitindo passagem de contaminantes sem adequada filtragem pelo plasma do solo (Ker, 1997).

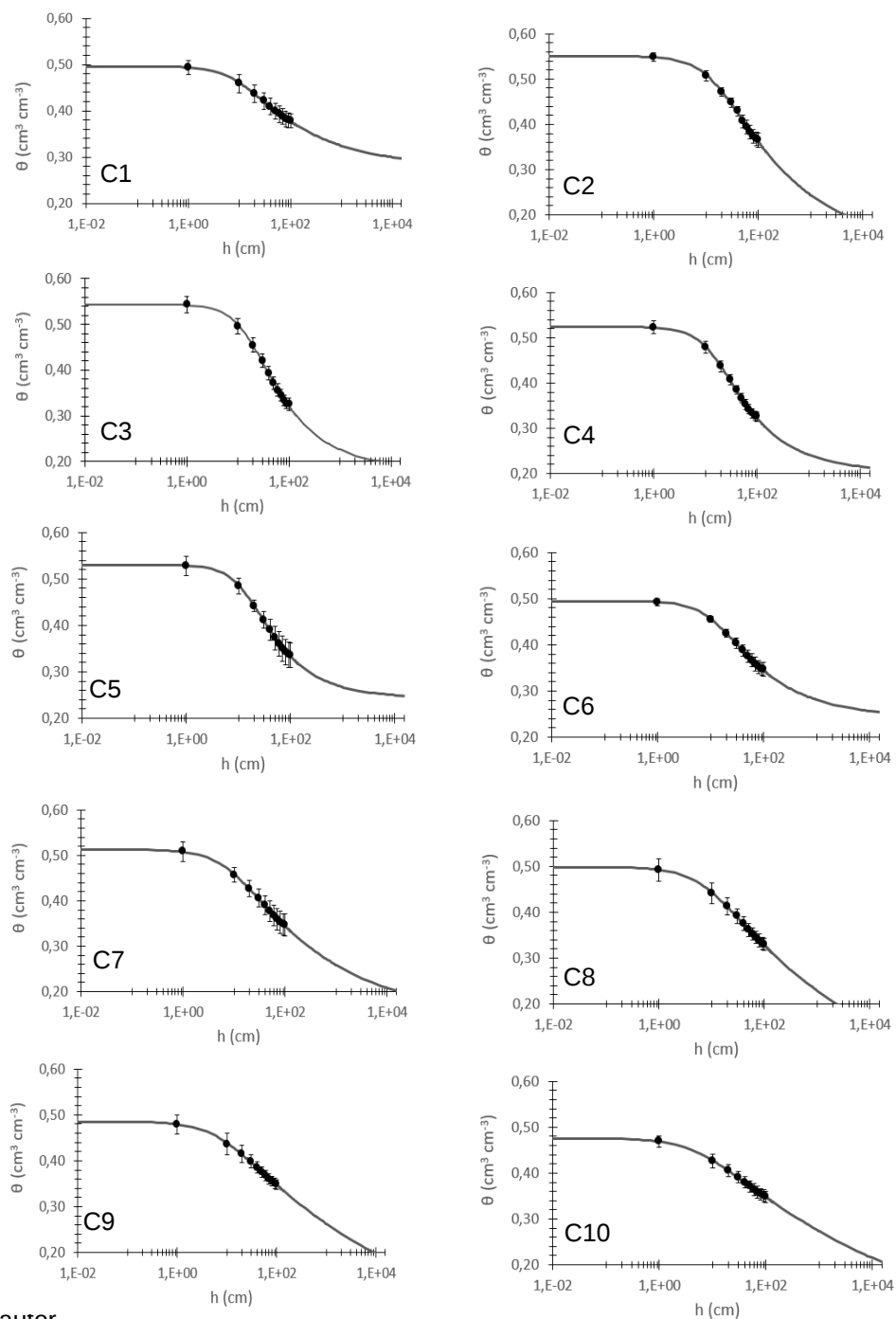
Os valores de densidade de partículas observados neste estudo, inferiores aos relatados na literatura (Seção 5.1), podem estar relacionados à elevada presença de gibbsita (Gbs), confirmada por DRX. A detecção de altos teores de Al_2O_3 por FRX (Seção 5.3) corrobora a predominância desse mineral (Ferreira; Fernandes; Curi, 1999).

Além disso, os teores de argila (Seção 5.2) apresentam relação com os conteúdos de Al_2O_3 e Fe_2O_3 , indicando a presença significativa de minerais que contêm os elementos desses óxidos em sua estrutura (Gonçalves *et al.*, 2008). A detecção simultânea de Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3 por FRX oferece suporte analítico à identificação mineralógica via DRX, que evidenciou a ocorrência de gibbsita (Gbs), caulinita (Kln), quartzo (Qz) e goethita (Gth) (Melo *et al.*, 2017).

4.5 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO, POROSIDADE DE AERAÇÃO E CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE POROS

As curvas de retenção de água no solo para as diferentes camadas (C1 a C10) com os respectivos ajustes são apresentadas na Figura 20.

Figura 20 – Curvas de retenção obtidas para as diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. A umidade volumétrica é representada por θ e a tensão por h . As barras de erro indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

Os gráficos apresentados mostram curvas de retenção de água (θ , em cm^3/cm^3) em função da tensão aplicada (h , em cm), para as dez camadas do perfil de Latossolo Vermelho. A análise dessas curvas de retenção permite avaliar a capacidade do solo em reter água em diferentes níveis de tensão (h), que impacta diretamente a disponibilidade hídrica e os processos de decomposição orgânica (Libardi, 2005).

No geral, em todas as camadas observa-se o comportamento típico de retenção de água para solos mais argilosos, com valores de umidade volumétrica de saturação (θ) entre aproximadamente 0,45 e 0,55 cm^3/cm^3 . À medida que a tensão aumenta, ocorre uma redução gradual da umidade, com um declínio mais acentuado entre $h \sim 1$ e 100 cm, o que indica a perda da água livre e capilar do solo (Cássaro *et al.*, 2020).

As camadas superficiais (C1 a C4) apresentam valores de umidade próximos à saturação ligeiramente mais elevados, sugerindo maior capacidade de retenção de água próxima à superfície, possivelmente devido à maior presença de matéria orgânica e textura mais fina (argila e silte) semelhante aos resultados encontrados por Machado *et al.* (2008) para latossolos vermelhos distróficos. Além disso, essas camadas demonstram uma curva de retenção com variação mais gradual, indicando maior capacidade de armazenar água disponível em tensões intermediárias, estando esses resultados em consonância com aqueles encontrados por Beutler *et al.* (2002); Maia, Bufon e Leão, (2018), Rosa *et al.* (2018) para latossolos vermelhos.

Nas camadas intermediárias e profundas (C5 a C10), nota-se um padrão semelhante, porém com valores iniciais de θ ligeiramente menores e curvas um pouco mais inclinadas, sugerindo menor capacidade de retenção em condições próximas à saturação e maior facilidade para perda de água a tensões moderadas. Essa tendência pode estar associada à redução gradual da matéria orgânica e possíveis alterações na estrutura do solo, como menor agregação e aumento da densidade do solo, no estudo de Oliveira *et al.* (2004), é apontado esse comportamento de aumento da densidade e menor capacidade de retenção próximo da saturação para latossolos, no entanto esse comportamento foi identificado para solos cultivados, no trabalho de Klein e Libardi (2002), esse comportamento foi para área de mata e solo cultivado.

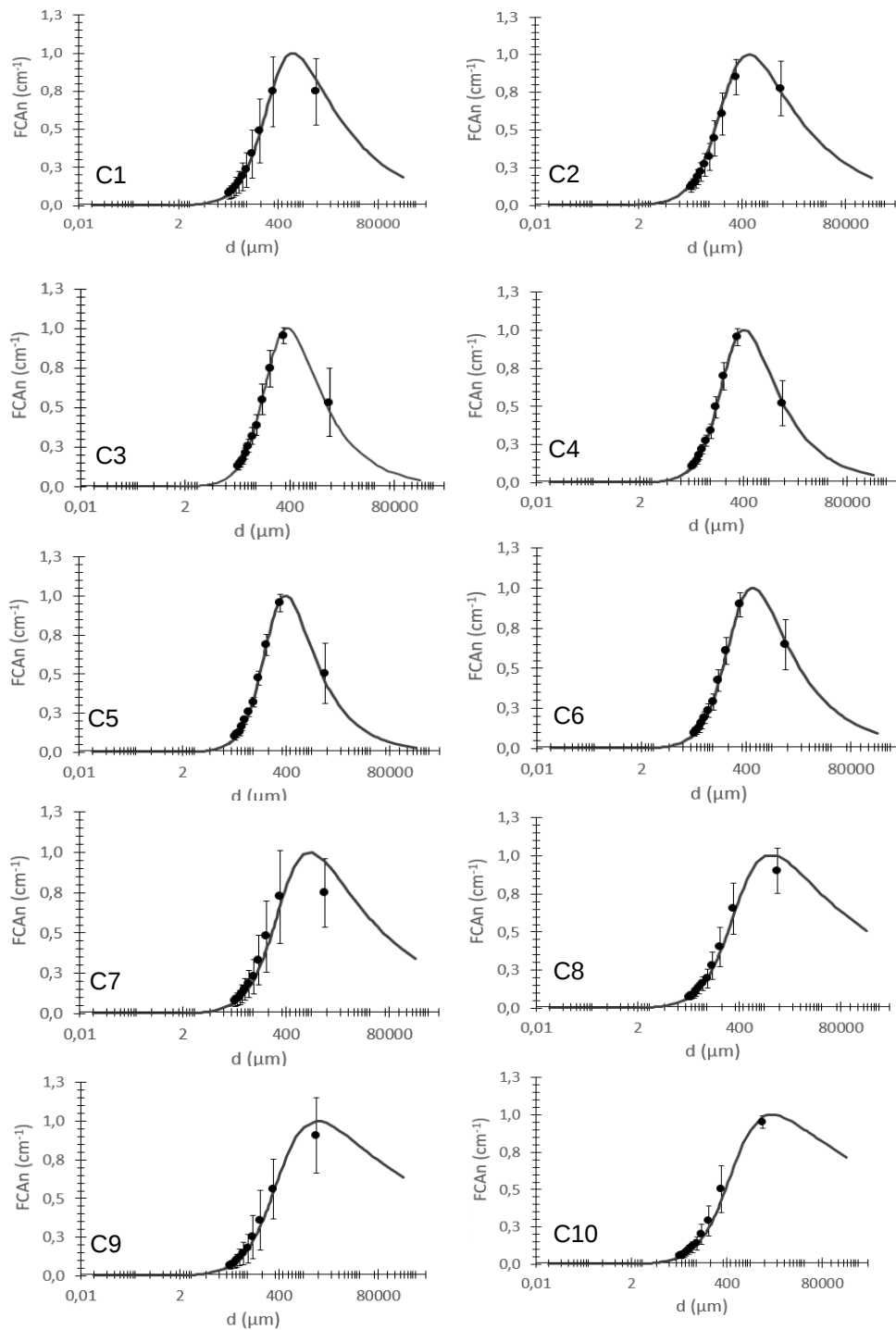
A análise qualitativa sugere que as camadas superficiais mantêm níveis de umidade mais elevados para tensões até cerca de 10-30 cm, indicando maior potencial de retenção de água útil para processos biológicos (Beutler *et al.*, 2002). Em contraste, as camadas mais profundas exibem menor retenção neste intervalo, refletindo um solo mais coeso e com menor porosidade útil para armazenamento.

A maior retenção de água nas camadas superficiais favorece o desenvolvimento da microbiota do solo e a decomposição de material orgânico, aspectos importantes para o ciclo de nutrientes e a estabilidade do perfil (Quevedo; Nishisaka; Mendes, 2023). Por outro lado, a diminuição progressiva da retenção com a profundidade pode favorecer a percolação do excesso de água e o transporte de solutos, implicando riscos ambientais relacionados à contaminação de aquíferos em áreas de necrópoles ou atividades similares. Embora, é válido mencionar que as variações observadas entre as camadas não foram muito grandes. Com base no modelo de ajuste, as diferentes camadas ainda possuem uma alta capacidade de retenção de água residual (maiores valores de h).

As curvas de retenção evidenciam um perfil típico de Latossolo Vermelho com maior capacidade de retenção na superfície (Klein; Libardi, 2002; Batista *et al.*, 2016; Pires, 2023), decrescente com a profundidade. Essa variação reflete a heterogeneidade do perfil em termos de textura, matéria orgânica e estrutura, com impactos diretos sobre a disponibilidade hídrica, dinâmica dos nutrientes e potencial ambiental do solo na região de Ponta Grossa, como foi observado nos resultados de Pires (2023), para área de mata ou floresta secundária.

Na Figura 21 são apresentadas as curvas de distribuição de poros para as diferentes camadas analisadas.

Figura 21 – Curvas de distribuição de poros (FCA) para as diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

Os gráficos apresentam a frequência acumulada normalizada da distribuição de poros (FCAn, cm^{-1}) em função do diâmetro dos poros (d , μm) para cada camada do perfil (C1 a C10). Essa distribuição é derivada das curvas de retenção de água e

fornece informações importantes que podem ser relacionadas com a textura, estrutura e porosidade do solo nas diferentes profundidades.

As camadas de C1 até C6 apresentam curvas mais estreitas, indicando uma distribuição mais homogênea de tamanhos de poros. Isso sugere um arranjo estrutural mais uniforme, possivelmente associado à maior presença de matéria orgânica e agregação estável, fatores que tendem a restringir a variação extrema no tamanho dos poros. Conforme observado por Oliveira, Cássaro e Pires (2021), o acúmulo de matéria orgânica em manejos conservacionistas favorece a estabilidade estrutural de Latossolos Vermelhos, comportamento similar ao verificado nas camadas superiores deste trabalho.

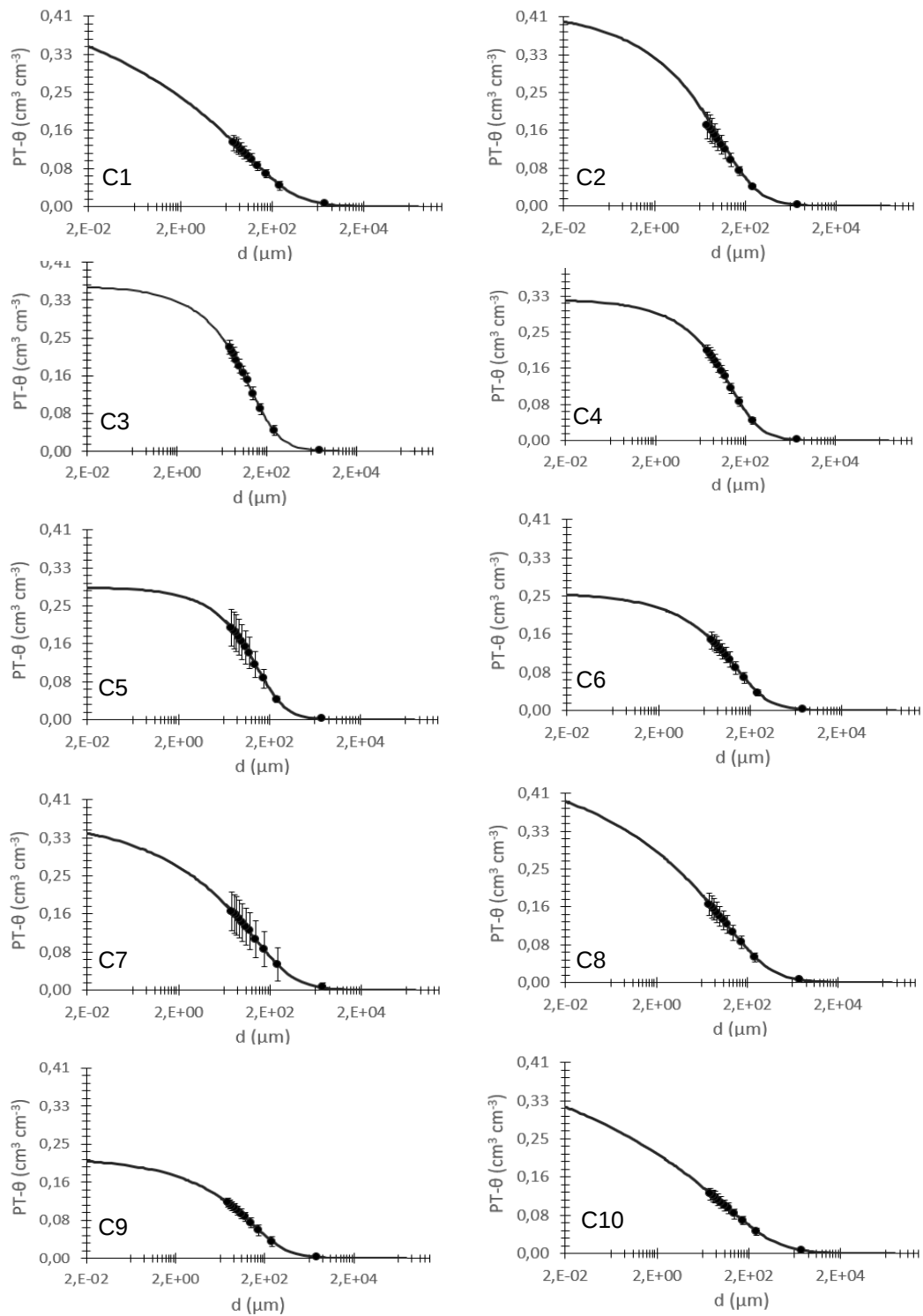
Em contraste, as camadas mais profundas (C7 a C10) apresentam curvas progressivamente mais largas, caracterizando uma distribuição de poros mais heterogênea. A heterogeneidade indica uma diversidade maior na estrutura do solo, com coexistência de poros de diferentes tamanhos, o que pode refletir variações na composição mineralógica e aumento de densidade do perfil sem o efeito positivo da matéria orgânica (Tormena *et al.*, 2002).

Nas camadas de C1 até C6, o pico da distribuição está deslocado para diâmetros menores. Isso indica predominância de poros mais finos, associados a maior presença de microporos e mesoporos que retêm água disponível para plantas e microrganismos, além de promover a estabilidade da estrutura do solo (Klein; Libardi, 2002). Já nas camadas mais profundas (C7 a C10), observa-se um deslocamento do pico para poros de maior diâmetro, caracterizando a presença de poros maiores. No entanto, os resultados obtidos pela FCA devem ser tratados com cautela, em função de grande parte dos dados serem simulados e não medidos experimentalmente.

A transição gradual observada na largura e no deslocamento do pico da distribuição indica uma modificação na estrutura física do solo com a profundidade. A predominância de poros menores nas camadas superficiais favorece a retenção hídrica e a disponibilidade de água para processos biológicos, além de limitar a percolação rápida de contaminantes (Pires *et al.*, 2019). Já a transição para poros mais frequentes maiores nas camadas mais profundas, pode favorecer uma maior capacidade de infiltração de água nessas camadas, embora as diferenças observadas sejam pequenas entre camadas.

Na figura 22 são apresentados os resultados da porosidade de aeração para as diferentes camadas de solo analisadas.

Figura 22 - Porosidade de aeração (PT- θ) para as diferentes camadas (C1 a C10) do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

As curvas apresentadas mostram a porosidade de aeração ($PT-\theta$), calculada como a diferença entre a porosidade total (PT) e a umidade retida (θ) para cada valor de tensão (relacionada ao diâmetro dos poros), em função do diâmetro dos poros (d , em μm) para as camadas C1 a C10 do perfil. É válido lembrar que boa parte dos dados (linha sólida) foi simulada e a análise aqui apresentada para os valores extrapolados deve ser tratada com cautela.

Os maiores valores de porosidade de aeração ocorrem para os menores diâmetros de poros (à esquerda do gráfico), próximos à faixa da umidade residual. Isso indica que os microporos ainda retêm água, enquanto os macroporos, com diâmetros maiores, já estão predominantemente preenchidos por ar após a drenagem do solo (Tormena *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2021). Isso corrobora com os valores encontrados por Pires (2023), para latossolos vermelhos em área de mata, as amostras submetidas a ciclos de umedecimento aumentaram o teor de água e no ponto de murcha e apresentaram maior umidade residual. Portanto, à medida que o diâmetro do poro aumenta, a porosidade de aeração inicialmente é baixa, pois esses poros grandes drenam rapidamente, acumulando ar.

Nas camadas superficiais (C1 a C3), observa-se uma porosidade de aeração maior para os menores diâmetros de poros, sugerindo maiores diferenças entre a porosidade total e a umidade residual, possivelmente influenciada pela textura do solo (Klein *et al.*, 2008). Isso é coerente com a maior capacidade de retenção hídrica apresentada nessas camadas, conforme as curvas de retenção anteriores. Nas camadas médias e profundas (C4 a C10), a porosidade de aeração para os microporos (menores diâmetros), no geral, tende a diminuir, indicando menor diferença entre a porosidade total e a umidade residual. Consequentemente, nessas camadas o solo possui um menor volume de ar (Moraes *et al.*, 2012), embora apresente uma distribuição de poros mais heterogênea.

A menor porosidade de aeração nas camadas profundas sugere condições menos favoráveis para a troca gasosa nessas regiões, podendo afetar processos biológicos que dependem do oxigênio (Silva *et al.*, 2020), como a decomposição de matéria orgânica e a atividade microbiana. Por outro lado, a maior porosidade de aeração nas camadas superficiais pode favorecer processos de retenção de nutrientes e, mas também podem criar condições temporariamente anaeróbicas em períodos de alta umidade, visto que a maior capacidade de aeração está relacionada com a presença de macroporos e consequentemente os agregados, de acordo com

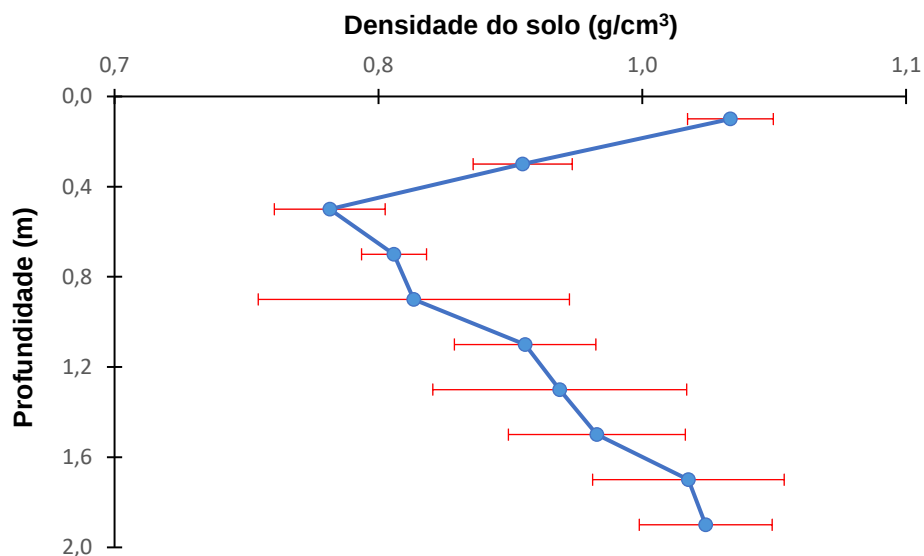
Maia, Bufon e Leão (2018), latossolos vermelhos com altos níveis de gibbsita apresentam maior teor de água retida em sua estrutura, devido ao maior número de microporos dentro dos agregados.

A distribuição da porosidade de aeração ao longo do perfil indica que o Latossolo Vermelho apresenta uma estrutura capaz de equilibrar a retenção de água e aeração. Esse equilíbrio é fundamental para a sustentabilidade do solo, influenciando a disponibilidade hídrica, a biodegradação e o transporte de solutos, especialmente em contextos ambientais sensíveis como áreas de necrópoles.

4.6 DENSIDADE DO SOLO

Os resultados referentes a densidade do solo para o Latossolo Vermelho estudado e as diferentes camadas estudadas são apresentados na Figura 23.

Figura 23 – Variação da densidade do solo para as diferentes camadas de C1 a C10 do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

Os resultados de densidade do solo indicam uma redução de seus valores entre as camadas C1 e C3, seguida de um aumento com a profundidade. As maiores diferenças foram observadas entre a camada superficial (C1) e as camadas mais profundas (C7 a C10), em comparação às camadas intermediárias. Contudo,

ao se analisar o perfil como um todo, não se observa uma tendência clara de variação da densidade do solo.

Esses resultados são semelhantes aos reportados por Argenton *et al.* (2005), para um Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa. No referido estudo, constatou-se que, em solos sob mata, ocorre aumento da densidade do solo a partir da profundidade de 0,30–0,40 m.

No estudo de Beutler *et al.* (2002), foram registrados valores de $0,93 \text{ g cm}^{-3}$ na camada superficial de um Latossolo Vermelho sob mata, enquanto áreas cultivadas apresentaram valores indicativos de compactação, variando entre 1,40 e $1,64 \text{ g/cm}^3$. Segundo esses autores, a presença de óxidos de ferro e alumínio favorece a formação de microagregados, resultando em uma estrutura do solo associada a menores valores de densidade.

A caracterização do solo por meio da densidade pode desempenhar papel relevante na gestão de cemitérios, uma vez que valores elevados de densidade estão frequentemente associados à redução da porosidade total e, conseqüentemente, da permeabilidade. Solos mais densos, com menores coeficientes de infiltração — comuns em camadas argilosas — podem atuar como barreiras naturais, dificultando a dispersão do necrochorume, bem como a lixiviação de metais pesados e microrganismos patogênicos em direção aos aquíferos (Goes *et al.*, 2025).

Os valores de densidade do solo observados foram compatíveis com os estudos realizados por Rodrigues *et al.* (2011), em latossolos vermelhos distróficos em Ponta Grossa. Ainda assim, valores inferiores a $0,90 \text{ g cm}^{-3}$ são pouco frequentes para esse tipo de solo. De acordo com Pedrotti *et al.*, (2003), latossolos com presença elevada de gibbsita tendem a apresentar valores de densidade do solo mais baixos, como foi encontrado em seu estudo $0,87 \text{ g cm}^{-3}$. A presença da gibbsita desenvolve microestruturas com predomínio de poros de empacotamento composto, em consequência deverá determinar latossolos com menor densidade (Ferreira; Fernandes; Curi, 1999).

Por outro lado, densidades do solo muito elevadas podem comprometer o funcionamento adequado de cemitérios. A redução da macroporosidade afeta a difusão de gases liberados durante a decomposição (Cavenage *et al.*, 1999). Em condições de elevada densidade, o solo tende a se tornar anaeróbico, o que retarda a

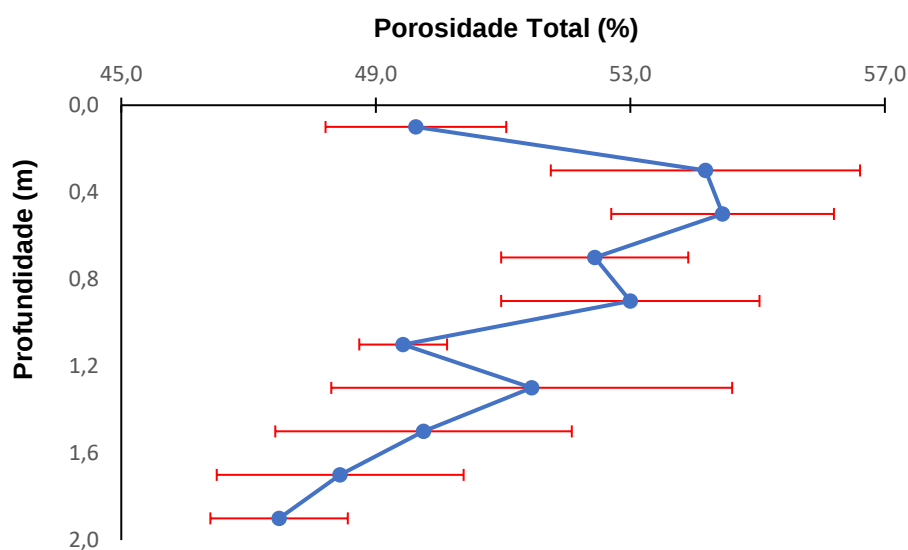
decomposição e pode favorecer processos indesejáveis, como a saponificação (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

Dessa forma, o aumento da densidade do solo em profundidades superiores a 1,0 m pode ser considerado um aspecto positivo para a implantação de cemitérios, uma vez que a linha de sepultamento geralmente ocorre nessa faixa. No entanto, é importante ressaltar que os valores observados ainda são relativamente baixos, considerando um solo com porosidade total adequada.

4.7 POROSIDADE TOTAL

Os resultados da porosidade total obtida pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas para as diferentes camadas do Latossolo Vermelho estudado são apresentados na Figura 24.

Figura 24 – Variação da porosidade total do solo com a profundidade para as diferentes camadas de C1 a C10 do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio



Fonte: O autor.

Os valores de porosidade total do solo observados estão coerentes com aqueles reportados para áreas de mata nativa ou floresta secundária (Rosa *et al.*, 2018; Oliveira; Cássaro; Pires, 2021). De acordo com Prevedello e Armindo (2015), solos de textura argilosa apresentam porosidade total variando entre 0,40 e 0,65 cm^3/cm^3 e corroboram com os valores apresentados por Maia, Bufon e Leão (2018), de 0,5602 cm^3/cm^3 .

A estrutura dos Latossolos com predominância de caulinita com estrutura soldada e coalescida tende a apresentar valores muito baixos de porosidade, conforme descrito por Schaefer *et al.* (2004). Por outro lado, Latossolos com presença de gibbsita — conforme indicado pelos resultados de difração de raios X e corroborado por fluorescência de raios X, que evidenciaram elevados teores de Al_2O_3 — apresentam formações microangulares de agregados altamente estáveis, que contribuem para a geração de elevado volume de vazios interagregados (Pedrotti *et al.*, 2003).

No perfil analisado, observa-se um aumento da porosidade total entre as camadas C1 e C2, seguido de uma tendência de redução com o aumento da profundidade, com diferenças mais evidentes entre as camadas C6 a C10 em relação às camadas C2 a C5. A diminuição da porosidade nas camadas mais profundas indica menor volume de poros disponíveis para o fluxo de água, o que pode favorecer a retenção de contaminantes oriundos do processo de sepultamento.

Segundo Franco *et al.* (2011), solos com valores de porosidade total próximos a $0,50 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ são frequentemente considerados ideais sob o ponto de vista da qualidade estrutural. Níveis adequados de porosidade favorecem a difusão de oxigênio, essencial para a atividade microbiana aeróbia (Tormena *et al.*, 2002; Pereira *et al.*, 2013), o que contribui para a estabilização da matéria orgânica e a decomposição dos corpos (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

Por outro lado, a ausência de poros livres ou a presença de solos excessivamente compactados pode comprometer a transformação natural dos cadáveres (Funasa, 2007; Figueiredo Filho *et al.*, 2011; Barros *et al.*, 2013). No entanto, no presente estudo, os solos apresentaram valores de porosidade total considerados adequados sem indicação de qualquer tipo de compactação.

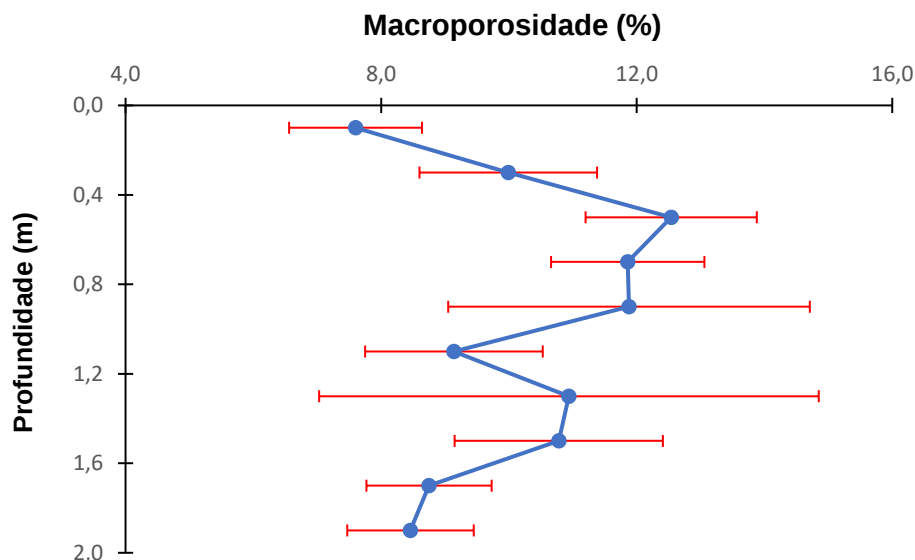
4.8 MACROPOROSIDADE, MESOPOROSIDADE, MICROPOROSIDADE E CAPACIDADE DE AERAÇÃO

A macroporosidade refere-se aos poros com diâmetro equivalente superior a $100 \mu\text{m}$. A principal função desses poros é promover a aeração da matriz do solo e a condução de água durante o processo de infiltração (Libardi, 2005). Esses poros são considerados os mais relevantes para a drenagem do excesso hídrico no solo após

eventos de precipitação intensa, em razão de seu papel fundamental na aeração e na percolação da água (Prevedello; Armindo, 2015).

Na Figura 25, são apresentados os resultados da variação da macroporosidade em função da profundidade para o solo em estudo.

Figura 25 – Variação da macroporosidade com a profundidade para diferentes camadas de C1 a C10 do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

Os valores obtidos neste estudo são compatíveis com aqueles reportados para o município de Ponta Grossa por Borkowski (2009), que observou valores próximos de $0,09 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ em área sob sistema de plantio direto.

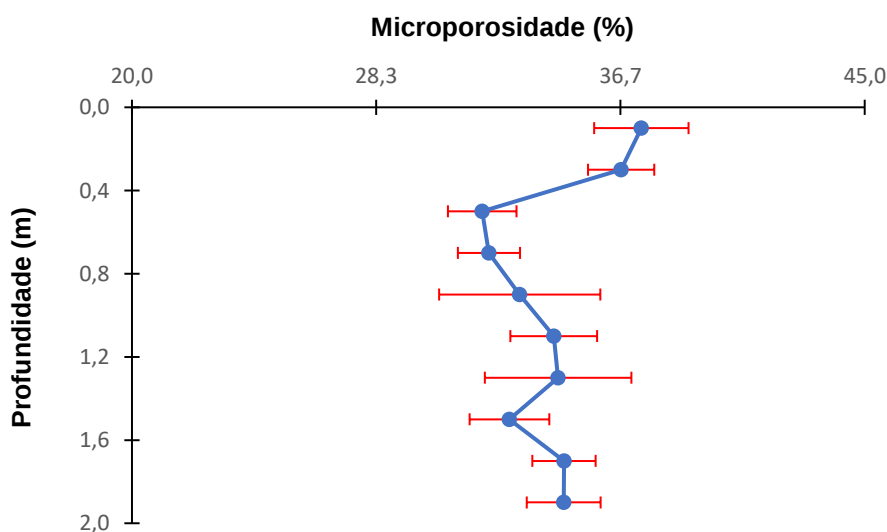
Os valores de macroporosidade observados podem ser interpretados considerando os valores adequados para Latossolos Vermelhos no Brasil, os quais, em geral, situam-se entre $0,10$ e $0,20 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, com limite crítico inferior em torno de $0,10 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (Klein; Libardi, 2002; Borkowski, 2009; Panini *et al.*, 2017; Bareta Junior *et al.*, 2022). Nesse contexto, valores superiores a esse limiar indicam condições estruturais favoráveis, caracterizadas por adequada aeração, infiltração de água e suporte à atividade microbiana aeróbia. Em contrapartida, valores inferiores podem refletir restrições à difusão de gases. Em Latossolos Vermelhos sob condições naturais, a macroporosidade tende a variar entre $0,12$ e $0,18 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, em função da estrutura granular estável típica desses solos altamente intemperizados (Pires *et al.*, 2019).

Em termos médios, considerando-se todas as camadas avaliadas, o valor de macroporosidade observado neste estudo situa-se em torno de $0,10 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, posicionando-se no limite inferior da faixa considerada adequada para esse tipo de solo. Entretanto, na camada C1 e nas camadas mais profundas, os valores são inferiores a $0,08 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, o que indica possíveis restrições à movimentação de água e à difusão de gases, refletindo condições estruturais menos favoráveis à aeração do solo.

Porém, em áreas submetidas ao uso antrópico, é comum a redução dos valores de macroporosidade a níveis críticos. No contexto de áreas cemiteriais, a macroporosidade assume papel fundamental, devendo ser suficiente para garantir adequada aeração e favorecer a decomposição aeróbia, sem, contudo, permitir a rápida percolação de necrochorume. Assim, valores intermediários, entre $0,10$ e $0,15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, são considerados mais adequados, pois promovem o equilíbrio entre a difusão de gases e a retenção de contaminantes ao longo do perfil do solo (Klein; Libardi, 2002; Oliveira; Gontijo, 2011; Iori *et al.*, 2015). As camadas C3 até C5 e C7 até C8 possuem valores neste intervalo.

Os resultados de microporosidade referentes aos poros com diâmetros equivalentes menores do que $30 \text{ }\mu\text{m}$ para as diferentes camadas analisadas são apresentados na Figura 26.

Figura 26 - Variação da microporosidade com a profundidade para diferentes camadas de C1 a C10 do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.



A microporosidade do solo refere-se à presença de poros muito pequenos responsáveis pela retenção de água e pela manutenção da umidade disponível para diferentes processos que ocorrem no solo (Libardi, 2005). Esses microporos armazenam água contra a força da gravidade e liberando-a lentamente, o que é essencial para o desenvolvimento das plantas em períodos de seca. Além disso, a microporosidade influencia diretamente a atividade biológica do solo, pois cria um ambiente favorável para microrganismos que participam da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes (Klein; Libardi, 2002; Panini *et al.*, 2017; Pires *et al.*, 2019). Assim, solos com boa microporosidade tendem a ser mais estáveis e resilientes, contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas naturais.

Nos Latossolos Vermelhos, amplamente distribuídos em regiões tropicais do Brasil, a microporosidade é uma característica importante devido à estrutura altamente intemperizada deste tipo de solo e à predominância de partículas finas, comprovada pelos resultados de textura, e bem agregadas (Silva *et al.*, 2012). Esses solos apresentam elevada quantidade de microporos, o que favorece a retenção de água (Maia; Bufon; Leão, 2018). Por outro lado, essa mesma característica pode limitar a aeração quando o solo está excessivamente úmido, influenciando processos biológicos (Funasa, 2007; Barros *et al.*, 2008). A microporosidade nesses solos está diretamente relacionada à sua mineralogia, rica em óxidos de ferro e alumínio, e à estabilidade estrutural proporcionada pela matéria orgânica, principalmente nas camadas mais superficiais.

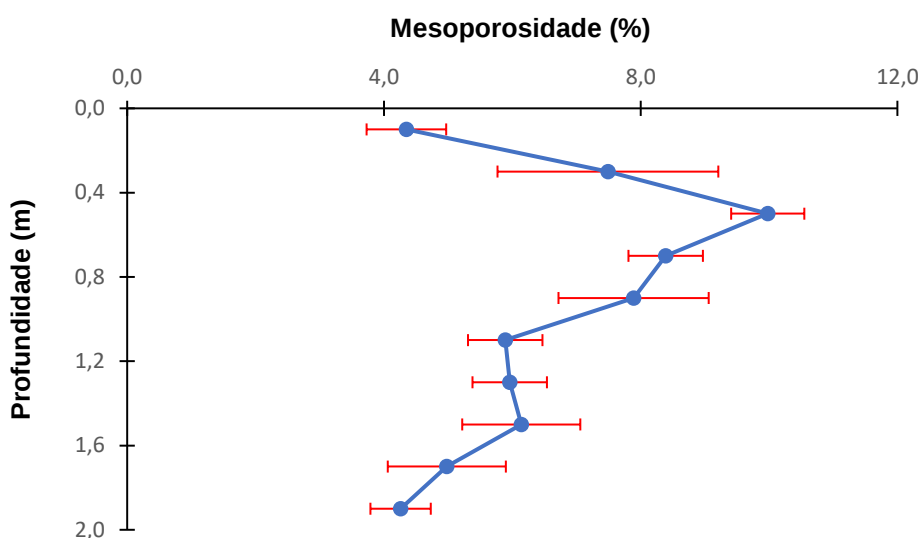
Em Latossolos Vermelhos, a microporosidade costuma representar uma fração significativa da porosidade total, com valores típicos variando entre 0,35 e 0,55 cm³/cm³ (Borkowski, 2009; Rosa *et al.*, 2018; Pires *et al.*, 2019). No presente estudo os valores variaram entre aproximadamente 0,32 cm³/cm³ (C3) e aproximadamente 0,37 cm³/cm³ (C1), com os valores estando próximos do limite inferior para esse tipo de solo. Considerando uma porosidade total média em torno de 0,50 cm³/cm³, isso indica que a maior parte dos poros é composta por microporos no solo estudado.

Quando é analisada a variação da microporosidade ao longo do perfil estudado, observa-se uma diminuição da microporosidade entre as duas camadas mais superficiais (C1 e C2) e as demais. A partir da camada C3 nota-se certa estabilidade nos valores de microporosidade nas camadas mais profundas, o que

pode estar associado com as variações dos conteúdos de site e argila com a profundidade.

Os resultados de mesoporosidade referentes aos poros com diâmetros equivalentes entre 30 e 100 μm para as diferentes camadas analisadas são apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Variação da mesoporosidade com a profundidade para diferentes camadas de C1 a C10 do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

A mesoporosidade do solo refere-se à fração intermediária dos tamanhos de poros, desempenhando um papel fundamental no equilíbrio entre a retenção de água e a aeração do solo. Esses poros estão relacionados principalmente com a redistribuição de água após infiltração (Libardi, 2005). Em termos numéricos, a mesoporosidade geralmente varia entre 0,10 e 0,20 cm^3/cm^3 , dependendo da textura e da estrutura do solo (Melo *et al.*, 2016). Além disso, os mesoporos facilitam a difusão de gases até os microrganismos, favorecendo processos biológicos essenciais, como a decomposição da matéria orgânica.

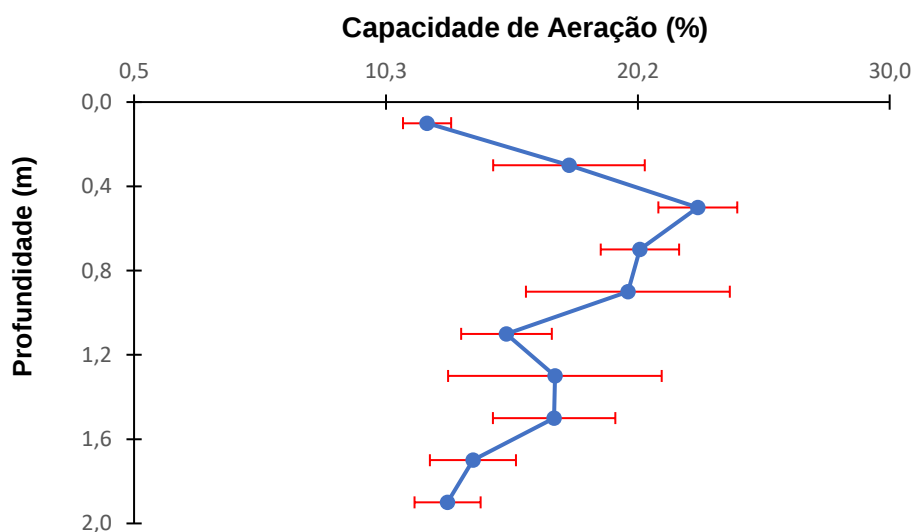
Nos Latossolos Vermelhos, a mesoporosidade desempenha papel essencial na disponibilidade de água, situando-se geralmente entre 0,08 e 0,18 cm^3/cm^3 , dependendo do grau de agregação e do uso do solo. Os mesoporos geralmente representam uma fração intermediária de tamanhos de poros, responsável por armazenar água em tensões que podem ser mais facilmente drenadas. No entanto, dependendo da textura e do uso do solo, a mesoporosidade pode sofrer reduções

para valores abaixo de $0,05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, comprometendo tanto a infiltração quanto a aeração do solo.

No presente estudo a mesoporosidade apresentou valores variando entre aproximadamente $0,04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (C1 e C10) e aproximadamente $0,10 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (C3). Analisando os resultados, não existe uma tendência clara de variação da mesoporosidade com a profundidade. Ocorre aumento entre C1 e C3 e depois diminuição entre C3 e as demais camadas. Esses resultados seguem a mesma tendência da macroporosidade, mostrando a influência dos mesoporos e macroporos na porosidade total.

Na Figura 28 são apresentados os valores da capacidade de aeração para as diferentes camadas do Latossolo Vermelho analisado.

Figura 28 - Variação da capacidade de aeração com a profundidade para diferentes camadas de C1 a C10 do Latossolo Vermelho estudado. As barras de erro (linhas vermelhas) indicam o desvio padrão da média.



Fonte: O autor.

A capacidade de aeração do solo, definida como a diferença entre a umidade do solo na saturação e a umidade na capacidade de campo, é um importante indicador da quantidade de ar disponível nos poros após a drenagem natural da água pela ação da gravidade (Primavesi; Melo; Libardi, 1988). Em termos quantitativos, valores considerados adequados geralmente situam-se acima de $0,10 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, garantindo espaço suficiente para a difusão de gases no solo (Tormena *et al.*, 2002; Prevedello *et al.*, 2013). Essa propriedade está diretamente relacionada à

presença de macroporos e influencia processos essenciais como a atividade microbiana e a ciclagem de nutrientes. Quando a capacidade de aeração é baixa, por exemplo, abaixo de $0,05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, o solo pode permanecer excessivamente úmido, favorecendo condições anaeróbias que podem levar à formação de compostos tóxicos. Portanto, manter uma adequada capacidade de aeração é essencial para o melhor funcionamento dos processos físicos e químicos que ocorrem no solo.

A variação da capacidade de aeração ao longo do perfil (Figura 28) revela um comportamento típico de Latossolos altamente intemperizados. Observa-se que, na camada superficial (próxima de 0,0–0,2 m), a capacidade de aeração é relativamente menor (em torno 12 %), o que pode estar associado à maior microporosidade e ao maior teor de umidade retida nessa região. Em seguida, há um aumento até aproximadamente 15–20 % entre 0,4 e 0,8 m, indicando uma zona com maior proporção de macroporos e mesoporos e melhor equilíbrio entre drenagem e retenção de água. Observa-se que a capacidade de aeração apresenta a mesma tendência da mesoporosidade e macroporosidade, evidenciando a importância desses poros para a aeração do solo.

A partir de cerca de 1,0 m de profundidade, nota-se uma tendência de redução gradual, com valores retornando para a faixa de 10–15 % e chegando a 13 % nas camadas mais profundas (próximas de 2,0 m). Essa diminuição pode estar relacionada ao aumento da densidade do solo e à menor atividade biológica, que reduz a formação de poros estruturais maiores. De modo geral, os valores observados permanecem próximos ou acima do limite crítico de 10%, sugerindo condições adequadas de aeração na maior parte do perfil, embora camadas mais profundas possam apresentar restrições moderadas à difusão de oxigênio, especialmente sob condições de alta umidade (Tormena *et al.*, 2002; Prevedello *et al.*, 2013).

5 CONCLUSÕES

Inicialmente, pode-se afirmar que os resultados obtidos contribuem significativamente para o avanço do conhecimento na área ambiental aplicada à implantação de cemitérios, destacando a importância de abordagens interdisciplinares na escolha de áreas adequadas. Ao caracterizar latossolos vermelhos, amplamente distribuídos no Brasil e comuns em áreas preferenciais para esse tipo de uso, reforça-se seu potencial aptidão, especialmente no contexto do Cemitério São Vicente de Paula, em Ponta Grossa. Além disso, reforçam a necessidade de observância da legislação pertinente às práticas de sepultamento, bem como de orientar os planos diretores que se encontram em revisão no Estado do Paraná, trabalho conduzido pelo Professor Dr. Marcio Ornat.

Ao final das análises, observa-se que as características físicas e mineralógicas do solo estudado estão diretamente relacionadas à sua composição, evidenciada pela baixa densidade de partículas, atribuída à presença de minerais como a gibbsita, que exerce influência significativa nesse parâmetro. A análise granulométrica confirmou elevados teores de argila ao longo de todo o perfil, com pouca variação entre as camadas, classificando o solo como argiloso a muito argiloso, condição típica de latossolos vermelhos e potencialmente favorável ao uso em necrópoles devido à menor permeabilidade (não medida neste estudo) e maior capacidade de retenção de contaminantes.

Os resultados obtidos por fluorescência de raios X evidenciaram a predominância de óxidos de alumínio, silício e ferro, sendo a alta concentração de alumínio indicativa da presença de gibbsita, responsável pela formação de agregados estáveis e adequada distribuição de poros. A sílica contribui para a homogeneidade do perfil, enquanto os óxidos de ferro, ainda que em menores proporções, desempenham papel relevante na agregação e na retenção de contaminantes. Esses resultados foram corroborados pela difração de raios X, que confirmou a presença de gibbsita, hematita e goethita, além de indicar uniformidade composicional ao longo do perfil.

A curva de retenção de água revelou alta capacidade de retenção hídrica, associada a uma estrutura porosa heterogênea, com influência da matéria orgânica nas camadas superficiais e maior diversidade de poros em profundidade. Nesse contexto, a coexistência equilibrada entre microporos, responsáveis pela retenção

de contaminantes, e macroporos, essenciais para trocas gasosas, mostra-se adequada para o funcionamento do solo em ambientes cemiteriais. Esse equilíbrio também foi observado na porosidade de aeração e na porosidade total, que apresentaram valores compatíveis com a manutenção de processos como difusão de oxigênio e decomposição da matéria orgânica.

Apesar dos baixos valores de densidade do solo, esses se mostram adequados, pois evitam limitações à aeração e reduzem riscos de acúmulo excessivo de água, o que poderia comprometer os processos de decomposição. De forma geral, os atributos físicos analisados indicam um solo estruturalmente estável e funcional para uso em necrópoles.

Entretanto, destacam-se como limitações deste estudo: i) a ausência de análises químicas mais aprofundadas, que poderiam ampliar a compreensão das interações entre contaminantes e a matriz do solo; ii) a concentração das análises em um único perfil, caracterizando um estudo pontual, sem contemplar a variabilidade espacial da área; iii) a não realização de medições de permeabilidade, condutividade hidráulica e infiltração, fundamentais para avaliar a capacidade do solo em conduzir solutos; e iv) a ausência de investigações biológicas que permitam verificar o potencial de contaminação ao longo do perfil do solo.

Nesse contexto, para o avanço das pesquisas na área, recomenda-se a aplicação de técnicas como a tomografia computadorizada de raios X, visando à análise detalhada da arquitetura dos poros e de suas alterações decorrentes do processo de decomposição. A integração de análises baseadas em imagens com medições de condutividade hidráulica e infiltração pode fornecer informações essenciais sobre o papel da estrutura do solo na retenção e no transporte de poluentes, bem como na proteção do lençol freático. Além disso, considerando que a área de estudo apresenta variações de declividade, a realização de análises em diferentes pontos torna-se fundamental para compreender como essas variações influenciam, sobretudo, as propriedades físicas do solo.

Em síntese, os resultados deste estudo reforçam o papel do solo como elemento fundamental na proteção ambiental, atuando como um sistema dinâmico capaz de regular processos físicos e contribuir para a preservação dos recursos hídricos em áreas de necrópoles.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, L. A. et al. Contaminação de Recursos Naturais por Necrópoles. *Revista Disciplinarum Scientia, Santa Maria*, v.11, n.1, p.17-28. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1263/1195>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- ALLEONI, L. R. F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 27, n. 4, p. 729-737, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3030/303026560022.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 415-422, maio/jun. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/G97ZVzGf6Xr6D6RzrWnKkP/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200012>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, maio/jun. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300013>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- ASSINE, M. L. Fáceis, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas no flanco sudeste da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 29, n. 3, 1999. Disponível em: <https://papegeo.igc.usp.br/portal/wp-content/uploads/tainacan-items/15906/42222/11067-13389-1-SM.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- BAMBERG, S. M.; TEIXEIRA, A. F. S.; CARVALHO, J. M.; BERNARDES, L. F.; TASSINARI, D.; DIAS JUNIOR, M. S. Diferentes metodologias de densidade de partículas em solos na região de Lavras -MG. *In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo*, 35., Natal. *Anais* [...] Natal: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2015. P. 1-4. Disponível em: <https://eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1511.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- BARETA JUNIOR, E.; GENÚ, A. M.; RAMPIM, L.; UMBURANAS, R. C.; POTT, C. A. Critical limits of soil physical attributes for corn and black oat in a Xanthic Hapludox. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 53, e20207533, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220003>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; ZANELLO, S.; ROMANÓ, E. N. L. LUCIANO, P. R. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1763-1773, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400041>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BARROS, Y. J.; KUMMER, L.; MELO, V. DE F.; ROMANÓ, E. N. DE L.; ZANELLO, S. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica dos solos do cemitério municipal do Boqueirão, Curitiba (PR). **Holos**, v. 5, nov. 2013. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1735>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BATISTA, A. M.; SILVA, B. M.; ARAÚJO, G. S. S.; MELO, M. L. A.; GUIMARÃES, E. V. BERTOLINO, K. M.; MOURA, M. S.; BORGHI, E. Curva de retenção de água em Latossolos Distrófico sob sistema intensificados d cultivo em Sete Lagoas – MG. In.: Congresso Nacional de Milho e sorgo, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Anais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. P. 1552-1556. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1054488>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; Roque, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 829-834, out./dez. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300029>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BORKOWSKI, A. K. **Análise de curvas de retenção e de distribuição de poros de um latossolo vermelho distrófico submetido aos sistemas de plantio convencional e direto**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de Concentração: Física) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/878>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BOWEN, M. W. Principles of Soil Science Exercise Manual. Oshkosh: University of Wisconsin Oshkosh; LibreTexts, [2022].

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 101, p. 98-99, 28 maio 2003. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=355. Acesso em: 20 abr. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudanças do Clima. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 368, de 28 de março de 2006. Altera a Resolução CONAMA nº 335/03 (altera os arts. 3º e 5º, revoga o inciso III do § 3º, do art. 3º). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 61, p. 149-150, 29 mar. 2006. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=479. Acesso em: 20 abr. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 402, de 17 de novembro de 2008. Altera os arts. 11 e 12 da Resolução CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 224, p. 66, 18 nov. 2008. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=571. Acesso em: 20 abr. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 249, p. 81-84, 30 dez. 2009. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=111046>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 460, de 30 de dezembro de 2013. Altera a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 253, p. 129, 31 dez. 2013. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=676. Acesso em: 20 abr. 2026.

CALDERANO, S. B.; DUARTE, M. N.; GREGORIS, G. Análise mineralógica das frações argila e silte por difratometria de raios-X. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 452-468. Disponível em: [Manual de métodos de análise de solo. - Portal Embrapa](#). Acesso em: 20 abr. 2026.

CARNEIRO, V. S. Impactos causados por necrochorume de cemitérios: Meio ambiente e saúde pública. **Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. Natal, RN. 2009. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21956>. Acesso em: 20 abr. 2026.

CÁSSARO, F. A. M.; OLIVEIRA, J. A. T. de; CRUZ, H.; PIRES, L. F. Utilização de um sensor de umidade para o Arduino na determinação da curva característica de retenção de água por um sistema poroso. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20190130, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0130>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0130>. Acesso em: 20 abr. 2026.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, out./dez. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000400027>. Acesso em: 20 abr. 2026.

CHAVES, N. B. **Coluna Fragmentos: Histórias de Ponta Grossa nas páginas do Jornal da Manhã**. Editora Fi, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://www.editorafi.org/ebook/a039-coluna-fragmentos>. Acesso em: 20 abr. 2026.

CORREA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; Fontes, M. P. F.; TORRENT, J.; CURI, N. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1017-1031, jun. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/6dB3LsXsr838J8G5KGkS8yk/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 20 abr. 2026.

CRUZ, G. C. F. Alguns aspectos do clima dos Campos Gerais. In: MELO, Mário Sérgio de; MORO, Rosemeri Segecin; GUIMARÃES, Gilson Burigo (org.). **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1. ed. atual. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014. p. 59-72. E-book. DOI: 10.5212/7798-183-0. Disponível em: https://www.academia.edu/2921046/Patrimonio_natural_dos_Campos_Gerais_do_Paran%C3%A1. Acesso em: 20 abr. 2026.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 452-468. Disponível em: [Manual de métodos de análise de solo. - Portal Embrapa](#). Acesso em: 20 abr. 2026.

DUTRA, L. de A.; SOUZA, M. **Análise de pH, matéria orgânica e textura do solo, no Cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages-SC**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Análises Químicas) – Instituto Federal de Santa Catarina, Lages, 2015. Disponível em: <https://docente.ifsc.edu.br/michael.nunes/MaterialDidatico/Analises%20Quimicas/TC%20II/TCC%202015%201/TCC%20Leticia-Mayne.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

DUZGOREN-AYDIN, N. S.; AYDIN, A.; MALPAS, J. Re-assessment of chemical weathering indices: case study on pyroclastic rocks of Hong Kong. **Engineering Geology**, [S. l.], v. 63, n. 1-2, p. 99-119, jan. 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00073-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00073-4). Acesso em: 20 abr. 2026.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. 2 t. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR. Boletim Técnico, 16) Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/336076>. Acesso em: 20 abr. 2026.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. **Embrapa Brasília**, Brasília-DF, ed. 3, 2017. Disponível em: [Manual de métodos de análise de solo. - Portal Embrapa](#). Acesso em: 20 abr. 2026.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 515-524, jul./set. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300004>. Acesso em: 20 abr. 2026.

FERREIRA, R. B. **Geoquímica e geofísica em latossolo vermelho originado do diabásio da formação Serra Geral, sob extremo intemperismo, Campinas-SP**. 2019. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2019.1092060>. Acesso em: 20 abr. 2026.

FIGUEIREDO FILHO, Y. A.; PACHECO, A.; MANFREDINI, S. Solos tropicais, cemitérios e impactos ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 22, p. 195-212, 2011. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28183>. Acesso em: 20 abr. 2026.

FÖETSCH, A. A.; OLIVEIRA, C. D. M. Geografia Simbólica dos cemitérios em perspectivas. **London Journal of Research Humanities and Social Sciences**. Londres, v. 20, n. 3, p. 7-25, 2020. Disponível em: https://journalspress.com/ejournal/ejournal_LJRHSS_Vol_20_Issue_3.pdf. Acesso em: 20 abr. 2026.

FRANCO, F. O.; WENDLING, B.; MIKHAEL, J. E. R.; CABRAL, D. A.; SANTANA, L. M. F. de; SANTOS NETO, J. V.; VINHAL-FREITAS, I. C. Avaliação da porosidade e densidade de um latossolo argiloso situado no Triângulo Mineiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. Disponível em: [Avaliacao-da-porosidade-e-densidade.pdf](#). Acesso em: 20 abr. 2026.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Cemitérios como fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas: Região de Cuiabá e Várzea Grande - MT**. Brasília: Funasa, 2007. 118 p. Disponível em: <https://l1nk.dev/94dnywu>. Acesso em: 20 abr. 2026.

FU, Y.; HORTON, R.; HEITMAN, . **Estimation of Soil Water Retention Curves from Soil Bulk Electrical Conductivity and Water Content Measurements**. [S. l.]: ScienceDirect, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198721000180>. Acesso em: 20 abr. 2026.

GOES, D. G. M.; SANTOS, I. N.; SANTOS, S. L. S.; BARREIROS, H. S. JESUS, E. L. S. **1195 - Ensaios de permeabilidade do solo em áreas de cemitérios, no município de Pojuca-BA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 33.; FITABES, 2025. Anais [...]. [S. l.]: ABES, 2025. p. 1-8. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/33cbesa/1195_tema_vi.pdf. Acesso em: 20 abr. 2026.

GONÇALVES, D.; LEITE, W. C.; BRINATTI, A. M.; SAAB, S. C.; IAROSZ, K. C.; MASCARENHAS, Y. P.; CARNEIRO, P. I. B. ROSA, J. A. Mineralogia de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos por 24 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. especial, p. 2647-2652, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700006>. Acesso em: 20 abr. 2026.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo: exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 664-668, mar./abr. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000200049>. Acesso em: 20 abr. 2026.

GUIMARÃES, G. B.; MELO, M. S.; GIANINI, P. S. F.; MELEK, P. R. Geologia dos Campos Gerais. in: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. (org) **Patrimônio Natural dos Campos Gerais**. Ponta Grossa: Editora UEPG, p 230, 2007. Disponível em: <http://ri.uepg.br:8080/riuepg/handle/123456789/446>. Acesso em: 20 abr. 2026.

GOMES, F. S.; Santos, R. A.; Guariz, H. R. Levantamento de propriedades de densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total em Latossolos Amarelo. **Agrarian Academy**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 119-130, jan./jun. 2019. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2019B/levantamento%20de.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 abr. 2026.

IORI, P.; SILVA, R. B. da; NAKAMURA, R.; BENTO, M. de S.; TAVARES, P. H. D. C.; GAVA, J. L. Efeito de operações mecânicas na macroporosidade do solo em áreas de Eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais**. Natal: SBCS, 2015. Disponível em: <https://eventossolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1066.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

KATO, E.; RAMOS, M. L. G.; VIEIRA, D. de F. A.; MEIRA, A. D.; MOURÃO, V. C. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 732-738, set./out. 2010. Disponível em: https://www.repositorio.unb.br/handle/10482/7929?locale=pt_BR. Acesso em: 20 abr. 2026.

KEMERICH, P. D. C. ; Schmachtenberg, N.; Graepin, C. Borba, W. F.; Gerhardt, A. E.; Flores, C. E. B. Barros, G.; França. Potencial de contaminação do solo em cemitério na cidade de Seberi - RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 119-125, dez. 2013. Disponível em: [10.5902/2179460X12566](https://doi.org/10.5902/2179460X12566). Acesso em: 20 abr. 2026.

KEMERICH, P. D. C.; Schmachtenberg, N.; Graepin, C. Borba, W. F.; Gerhardt, A. E.; Flores, C. E. B. Barros, G.; França, J. R. Concentrações de metais em solo ocupado por cemitério - uso da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva - EDXRF. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 2875-2889, fev. 2014. Edição Especial. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236130810931>. Acesso em: 20 abr. 2026.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 17-40, 1997. Disponível em: [LATOSSOLOS DO BRASIL: UMA REVISÃO | Geonomos](#). Acesso em: 05 ago. 2026.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147-265, abr./jun. 1956.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857-868, 2002. Disponível em: [10.1590/S0100-06832002000400003](https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400003). Acesso em: 20 abr. 2026.

KLEIN, V. A.; Vieira, M. L.; Durigon, F. F.; Massing, J. P.; Fávero, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, mar./abr. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200011>. Acesso em: 20 abr. 2026.

KODUM, K. S. **Caracterização de solos da caverna Abrigo da Areia Solta – GO – BR por técnica de espectroscopia e simulação de parâmetros de interação com a radiação**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3484>. Acesso em: 20 abr. 2026.

LEPSCH, I. F. As necessidades de efetuarmos levantamentos pedológicos detalhados no Brasil e de estabelecermos as séries de solos. **Revista Tamoios**, São Gonçalo, ano 9, n. 1, p. 1-17, jan./jun. 2013. DOI: 10.12957/tamoios.2013.5665. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/tamoios/article/view/5665/5196>. Acesso em: 20 abr. 2026.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água nos solos**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. de. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio**. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/67899>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 495-502, mar./abr. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200004>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MAIA, F. C. de O.; BUFON, V. B.; LEÃO, T. P. Retention curves and available water capacity in Latosols. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 4, p. 546-552, jul./ago. 2018. Disponível em: doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n4p546-552/2018. Acesso em: 20 abr. 2026.

MARCOLIN, L.; CALEGARI, M. R. Atributos químicos, físicos e mineralogia de Latossolos e sua relação com a paisagem no oeste do Paraná. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 39, p. 48-61, 2020. DOI: 10.11606/rdg.v39i0.158400. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/158400>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MATIAS, S. S. R.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. Modelos de paisagem e susceptibilidade magnética na identificação e caracterização do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 93-103, jan./mar. 2013. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/19473>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MARTINS, D. ALMEIDA, V. Marcas da ditadura ainda persistem em Ponta Grossa. Periódico redação de mídia integrada, cidade e cidadania, Jornalismo UEPG, mar. de 2021. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgjor/wp-content/uploads/sites/26/2025/03/Seminario-de-Inverno.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026

MARTINS, R.; MELO, V. F.; SERRAT, B. M. Reserva mineral de potássio em solos dos Campos Gerais, Estado do Paraná. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, n. 296, p. 521-533, jul./ago. 2004. Disponível em: <https://ojs.ceres.ufv.br/ceres/article/view/2996>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MELO, M. L. A. de; SILVA, B. M.; BATISTA, A. M.; GUIMARÃES, E. V.; ARAÚJO, G. S. S.; MOURA, M. S. de; BORGHI, E.; CAIXETA, S. P. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho distrófico sob sistemas intensificados de produção de grãos em Sete Lagoas - MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Anais**. Sete Gonçalves: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016. Disponível em: https://www.abms.org.br/cnms2016_trabalhos/docs/1220.pdf. Acesso em: 20 abr. 2026.

MELO, V. L.; SANTOS, M. B.; PRADO, T. G. Caracterização mineral de um latossolo vermelho distrófico da região dos Campos Gerais por difração de raios-x, espectroscopia do infravermelho e fluorescência de raios-x. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 17.; ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, 7., 2017, São José dos Campos. **Anais** [...]. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2017. p. 1-6. Disponível em: inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_1057_1254_01.pdf. Acesso em: 20 abr. 2026.

MIARA, M. A.; OKA FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental- Um estudo de caso: Bacia hidrográfica do rio Cará-

Cará, Ponta Grossa/PR. **Revista RA 'E GA**, Curitiba, n. 13, p. 85-98, 2007. Disponível em: <file:///C:/Users/PC/Downloads/fabiobreunig,+9.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MINEROPAR. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2006.

MINEROPAR. **Mapeamento geológico da Folha de Ponta Grossa**. Curitiba, 2007.

MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da; CARLESSO, R.; LUZ, F. B. da. Curva de retenção de água de um Latossolo sob estados de compactação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 19., 2012, Lages. **Anais**. Lages: SBCS, 2012. 1 CD-ROM. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/942381/1/trab7714831.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MOTTA, A. Estilos mortuários e modos de sociabilidade em cemitérios brasileiros oitocentistas. **Horizontes Antropológicos**, Porto Alegre, ano 16, n. 33, p. 55-80, jan./jun. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-71832010000100005>. Acesso em: 20 abr. 2026.

NASCIMENTO-DIAS, B. L. do; OLIVEIRA, D. F.; ANJOS, M. J. dos. A utilização e a relevância multidisciplinar da fluorescência de raios X. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, n. 4, e4308, 2017. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0089>. Acesso em: 20 abr. 2026.

NASCIMENTO, E.; MATIAS, L. F. O processo de favelização na cidade de Ponta Grossa (PR): Notas sobre a dinâmica Recente (1989- 2004). **Conference: Simpósio Nacional o Rural e o Urbano no Brasil, At: Universidade de São Paulo, São Paulo**, v. 1, 2006.

NASCIMENTO, E. F. DO; PEREIRA, F. A. DE C.; AGUIAR NETTO, A. DE O.; CAMPECHE, L. F. DE S. M.; SANTOS, C. A. Comportamento físico-hídrico dos solos do Perímetro Irrigado Curaçá em Juazeiro/BA. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 435-447, out./dez. 2012. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/103/314>. Acesso em: 20 abr. 2026.

NAVARRO, Guillermo Rafael B.; ZANARDO, Antenor; MONTIBELLER, Cibele Carolina; LEME, Thais Gützla. **Livro de referência de Minerais Comuns e Economicamente Relevantes: HIDRÓXIDOS**. Rio Claro: Museu de Minerais, Minérios e Rochas "Prof. Dr. Heinz Ebert", 2017. Disponível em: <https://museuhe.com.br/site/wp-content/uploads/2018/02/Museu-HE-GIBBSITA.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. O solo: caminho, abrigo e pão. In: VILLALOBOS, J. U. G. (Org.). **Ambiente, Geografia e Natureza**. Maringá: Programa de Pós-graduação em Geografia - UEM, 2001.

OH LAND, T.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; RAMPIM, L.; BERGMANN, J. R.; CABREIRA, D. T. Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial do pinhão-mansão cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 622-630, set./out. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461050004>. Acesso em: 20 abr. 2026.

OLIVEIRA, G. C.; JUNIOR DIAS, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, mar./abr. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/zKqjbbskqkZkwMzVkpSpZfQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 abr. 2026.

OLIVEIRA, J. A. T.; CÁSSARO, F. A. M. Estudo comparativo da função capacidade de água, obtida por diferentes modelos analíticos de ajuste da curva de retenção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 1-4. Disponível em: <https://eventossilos.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/569.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

OLIVEIRA, J. A. T. de; VAZ, C. M. P.; CÁSSARO, F. A. M. A curva de distribuição de poros obtida pela análise de imagens tomográficas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2014, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 665-668. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1005953/1/665siagro2014print01.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

OLIVEIRA, J. A. T. de; CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F. Quantification of the pore size distribution of a Rhodic Hapludox under different management systems with X-ray microtomography and computational simulation. **Soil & Tillage Research**, [S. l.], v. 209, p. 104941, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104941>. Acesso em: 20 abr. 2026.

OLIVEIRA, L. R.; Gontijo, E. L. Indicadores de qualidade química, física e biológica de solos como critérios de escolha para localização de cemitérios. **Conexão Ciência (Online)**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 07-14, 2011. DOI: 10.24862/ccco.v6i1.42. Disponível em: <https://revistas.uniformg.edu.br/conexaociencia/article/view/42>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PACHECO, A. **Cemitério e meio ambiente**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/44/tde-23062015-131326/pt-br.php>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PACHECO, A.; MENDES, J. M. B.; HASSUDA, S. O PROBLEMA GEO-AMBIENTAL DA LOCALIZAÇÃO DE CEMITÉRIOS EM MEIO URBANO. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 1988. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22667>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PANINI, R. L.; JUNIOR, A. C. B.; ARAUJO, M. A.; BERTOLDI, I. R. BUREI, T. R.; JUNIOR MORAES, J. C. Caracterização da densidade e porosidade do solo em perfis de latossolo submetidos a diferentes usos agrícolas. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 10., 2017, Maringá. **Anais**. Maringá: UniCesumar, 2017. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/1056/1/epcc--80374.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PAPA, R. DE A.; LACERDA, M. P., C.; CAMPO, P. M.; WENCESLAU, J. G.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Qualidade de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos sob vegetação nativa de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 564-571, out./dez. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.13234>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 1-9, 2003. Disponível em: doi.org/10.1590/S0100-06832003000100001. Acesso em: 20 abr. 2026.

PEREIRA, J. S.; JESUS, T. S.; OLSZEWSKI, N.; MENDES, A. M. S.; GRANJA, G. P. Porosidade e densidade de solos sob uso agrícola no município de Sobradinho-BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. Disponível em: [Alessandra3.pdf](#). Acesso em: 20 abr. 2026.

PIRES, L. F.; ROQUE, W. L.; ROSA, J. A.; MOONEY, S. J. 3D analysis of the soil porous architecture under long term contrasting management systems by X-ray computed tomography. **Soil & Tillage Research**, [S. l.], v. 191, p. 197-206, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.02.018>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PIRES, L. F. Changes in Soil Water Retention and Micromorphological Properties Induced by Wetting and Drying Cycles. **Soil Systems**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 51, maio 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/soilsystems7020051>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PRADO, T. G.; MELLO, V. L. de; SANTOS, M. B. dos; FERNANDES, L. Caracterização mineral de um Latossolo vermelho distrófico da região dos Campos Gerais utilizando Difração de raios-x, Espectroscopia do Infravermelho e Fluorescência de Raios-X. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 58-69, ago. 2018. ISSN 2176-7270. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11901/209209210136>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. **Física do Solo: com problemas resolvidos**. 2 ed. Curitiba: Celso Luiz Prevedello, 2015.

PREVEDELLO, J.; VOGELMANN, E. S.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J. A funcionalidade do sistema poroso do solo em floresta sob Argissolo. **Sci. For.**,

Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 557-566, dez. 2013. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr100/cap13.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PRIMAVESI, O.; MELLO, F. A. F. de; LIBARDI, P. L. Porosidade de aeração de solos para a máxima produção de grãos de feijoeiro, em casa de vegetação. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 45, parte 2, p. 381-396, 1988. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aesalq/a/jCztWDjvcyPvxsjrdRqqXyy/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

QUEVEDO, H. D.; NISHISAKA, C. S.; MENDES, R. O microbioma do solo e sua relação com a matéria orgânica. In: **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical subtropical**. Brasília, DF. Embrapa, 2023. cap. 4. p. 125-144. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1161306>. Acesso em: 20 abr. 2026.

REATTO, A.; BRUAND, A.; MARTINS, E. S.; MULLER, F.; SILVA, E. M.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; BROSSARD, M. Variation of the kaolinite and gibbsite content at regional and local scale in Latosols of the Brazilian Central Plateau. **Comptes Rendus Geoscience**, [s. l.], v. 340, n. 11, p. 741-748, nov. 2008.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações**. 2. Ed. ver. E ampl. Lavras: Editora UFLA, 2011. 192 p. ISBN 978-85-87692-96-2.

RODRIGUES, S.; SILVA, A. P. da; GIAROLA, N. F. B.; ROSA, J. A. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 105-114, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100010>. Acesso em: 20 abr. 2026.

ROSA, S. L. K.; SOUZA, J. L. M.; TSUKAHARA, R. Y.; PIEKARSKI, K. R.; OLIVEIRA, C. T. Determinação dos atributos físico-hídricos de três tipos de solos dos Campos Gerais. In: **CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO (CONVIBRA)**, 15., 2018. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <http://www.convibra.org>. Acesso em: 20 abr. 2026.

RYE, R.; HOLLAND, H. D. Geology and geochemistry of paleosols developed on the Hekpoort basalt, Pretoria Group, South Africa. **American Journal of Science**, New Haven, v. 300, p. 85-141, fev. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2475/ajs.300.2.85>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SÁ, M. F. M.; Os solos dos Campos Gerais. In: Melo, M. S. de; Moro, R. S.; Guimarães, G. B. (org.). **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1. ed. atual. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014. p. 73-84. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1YyXAS8SwFMfpyTjRmXPDsslyedyHS9UQ/view>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SALGADO, A. A. R. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 64-78, jan./jun. 2007. Disponível em:

<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13218/10450>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SANTOS, A. R. **O processo de dessacralização da morte e a instalação de cemitérios no Seridó, século XIV e XX. 2011.** Tese (Doutorado em História) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/1223>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G. KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Viçosa: SBCS, ed. 7, 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 398 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SCHAEFER, C. E. G. R.; GILKES, R. J.; FERNANDES, R. B. A. EDS/SEM study on microaggregates of Brazilian Latosols, in relation to P adsorption and clay fraction attributes. **Geoderma**, [S. l.], v. 123, n. 1-2, p. 69-81, nov. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.025>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SCHMACHTENBERG, N.; KEMERICH, P. D. C.; GRAEPIN, C.; BAIROS, P. Variação da concentração de metais pesados em diferentes profundidades em área ocupada por necrópole na região noroeste do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2013, Goiânia. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2013. p. 1-7. Disponível em: [iii-005 - XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental](#). Acesso em: 05 ago. 2026.

SILVA, C. O.; RODRIGUES, L. B. O.; OLIVEIRA, R. S. Impactos ambientais causados pelo necrochorume do Cemitério Municipal da Cidade de São José da Laje/AL. **Revista Científica do IFAL**, v. 3, n. 2, jul./dez., 2012. Disponível em: <https://periodicos.ifal.edu.br/educte/article/view/86>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SILVA, F. G.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MESQUITA, R. O.; MARQUES, S.; MOTA, J. C. Trocas gasosas e crescimento do milho em função da porosidade de aeração e compactação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 51, n. 3, e20196834, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200043>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SILVA, R. B. P.; Pinheiro, E. N.; Campos, M. C. C.; Lima, A. F. L.; Santos, L. a> C.; Filho, E. G. B.; Cunha, J. M. Atributos físicos e químicos de solos em área de cemitérios na Amazônia, Brasil. **Revista Geociências**, [S. l.], v. 40, n. 3, p. 815-826, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22408/rev602021590e-6004>. Acesso em: 20 abr. 2026.

SILVA, S. G. C.; SILVA, A. P. da; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; SÁ, J. C. de M. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 547-555, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200024>. Acesso em: 20 abr. 2026.

TEXEIRA, W. G.; BHERING, S. B. Retenção de água no solo pelos métodos da Mesa de Tensão e da Câmara de Richards. In: TEXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. P. 452-468. Disponível em [Manual de métodos de análise de solo. - Portal Embrapa](#). Acesso em: 20 abr. 2026.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolos cultivados sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 795-801, out. /dez. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000400026>. Acesso em: 20 abr. 2026.

VIANA J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade de Partículas. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 452-468. Disponível em: [Manual de métodos de análise de solo. - Portal Embrapa](#). Acesso em: 20 abr. 2026.

WARR, L. N. Recommended abbreviations for the names of clay minerals and associated phases. **Clay Minerals**, Cambridge, v. 55, n. 3, p. 261-264, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1180/clm.2020.30>. Acesso em: 20 abr. 2026.

WASTOWSKI, A. D. *et al.* Caracterização dos níveis de elementos químicos em solo, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, utilizando espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva (EDXRF). **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1449-1452, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000700005>. Acesso em: 20 abr. 2026.

WIDDOWSON, Mike. Laterite and Ferricrete. In: NASH, David J.; MCLAREN, Sue J. (ed.). **Geochemical Sediments and Landscapes**. Oxford: Blackwell Publishing, 2007. cap. 3, p. 45-94. Disponível em: [10.1002/9780470712917.ch3](https://doi.org/10.1002/9780470712917.ch3). Acesso em: 20 abr. 2026.

YADA JUNIOR, G. M. **Propriedades geotécnicas do solo sob o depósito de resíduos de Rolândia-PR**. 2014. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11960>. Acesso em: 20 abr. 2026.

YANAGUISAWA, V. A. **Caracterização mineralógica de um Neossolo Flúvico por técnicas de espectroscopia, microscopia e difração de raios X**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de concentração: Física) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2949>. Acesso em: 20 abr. 2026.

XUE, B.; Huang, L.; Huang, Y.; Zhou, F. Li, F.; Kubar, K.; Li, X.; Lu, J. Zhu, J. Roles of soil organic carbon and iron oxides on aggregate formation and stability in two paddy soils. **Soil & Tillage Research**, [S. l.], v. 187, p. 161-171, abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.010>. Acesso em: 20 abr. 2026.

ŻYCHOWSKI, J.; BRYNDAL, T. Impact of cemeteries on groundwater contamination by bacteria and viruses - a review. **Journal of Water and Health**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 285-301, jun. 2015. DOI: 10.2166/wh.2014.119. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2014.119>. Acesso em: 20 abr. 2026.