

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS - PROFÁGUA

ROSINEI RUIZ DE ALMEIDA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO
HÍDRICA EM PROPRIEDADE RURAL LOCALIZADA NA REGIÃO NOROESTE DO
PARANÁ

CAMPO MOURÃO
2023

ROSINEI RUIZ DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO
HÍDRICA EM PROPRIEDADE RURAL LOCALIZADA NA REGIÃO NOROESTE DO
PARANÁ**

**Soil quality and possible water contamination in a rural property located in the
northwest region of Paraná**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, área de concentração em Instrumentos da Política de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Nelson Consolin Filho
Coorientadora: Profa. Dra. Ana Paula Peron

**CAMPO MOURÃO
2023**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ROSINEI RUIZ DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO
HÍDRICA EM PROPRIEDADE RURAL LOCALIZADA NA REGIÃO NOROESTE DO
PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação
de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23/Junho/2023

Nelson Consolin Filho
Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ana Paula Peron
Doutorado em Genética e Melhoramento
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Eudes José Arantes
Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Hilton Bernardino de Araújo
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO
2023**

Dedico este trabalho à minha mãe Luiza e meu pai João (*in memoriam*). Mesmo não estando mais entre nós, foram a razão principal para que eu não desistisse, são sinônimos de força, luta e fé, valores que sempre levarei comigo. Dedico também à minha filha amada Luiza e meu esposo Mario, presentes de Deus em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Sou grata ao meu esposo Mario Henrique Martins de Almeida, ao Técnico do Laboratório da UTFPR Fábio Rodrigo Kruger, à estagiária de Engenharia Ambiental Maria Eduarda Nardes Rodrigues Pinto, por me ajudarem nas coletas de solo e práticas laboratoriais. Aos meus sogros: Mario da Cruz Almeida e Lourdes Martins Almeida, agradeço pela acolhida e pela idealização deste trabalho.

Agradeço o professor Eudes José Arantes pelo apoio e disponibilidade neste trabalho, bem como a minha querida Coorientadora Ana Paula Peron, por ter me orientado e mostrado o melhor caminho. Ao meu Orientador Nelson Consolin Filho, muito obrigada por tanta cooperação, ajuda e incentivo, tanta sabedoria e humildade, continue assim.

Fecho os agradecimentos com Aquele que em minha vida tem maior importância: Deus. Grata Senhor, por ter me ofertado uma família tão maravilhosa: pais, filha, esposo e irmãos. Obrigada também, por ter colocado pessoas tão queridas, sábias e humildes no meu caminho. Que o Senhor abençoe cada um citado nestes parágrafos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPENº.2717/2015, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR pelo apoio recebido.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

RESUMO

A introdução de componentes tóxicos e práticas não eficientes de gestão podem ocasionar a poluição e degradação do solo e conseqüentemente das águas, afetando a segurança alimentar e a saúde humana de quem faz uso do solo e consome da água em regiões contaminadas. O local de estudo apresenta possíveis fontes poluidoras: agricultura e um ferro velho com desmanche de veículos que pode estar prejudicando a qualidade do solo aos arredores das fontes hídricas. Dessa maneira, o presente estudo teve o objetivo de analisar a qualidade do solo próximo a um ferro velho, a um poço artesiano, a um riacho na porção rebaixada e próximo a uma área agricultável. Após coleta do solo, foi feito um estudo físico-químico e ecotoxicológico sobre as células meristemáticas de *Allium cepa* L. A análise física da granulometria e a da massa específica, obedeceu ao disposto nas normas da ABNT 7181 e ABNT 6508, respectivamente. No que se refere à análise química, esta foi submetida à técnica de Espectrometria de Absorção Atômica, após digestão do solo por ataque sulfúrico (solubilização do H₂SO₄ 1:1). A avaliação de qualidade de solo, no que se refere à presença de substâncias químicas, teve como base o estabelecido na Resolução Conama nº 420/2009, alterada pela Resolução 460/2013, comparando os Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação. Também foi analisado o teor de matéria orgânica e pH do solo em todos os pontos amostrais. Os resultados demonstraram que não houve toxicidade por metais pesados, mas o teor de Cu, Mn, Zn e Fe estão muito acima do desejável, o que não descarta uma futura contaminação dos recursos hídricos da região de estudo.

Palavras-chave: degradação; solo; contaminação; ecotoxicidade.

ABSTRACT

The introduction of toxic components and inefficient management practices can cause pollution and degradation of the soil and consequently of the water, affecting food safety and human health of those who use the soil and consume water in contaminated regions. The study site presents possible polluting sources: agriculture and a junkyard with dismantling vehicles that may be harming the quality of the soil around the water sources. In this way, the present study aimed to analyze the quality of the soil close to a junkyard, an artesian well, a creek in the lowered portion and close to an arable area. After soil collection, a physical-chemical and ecotoxicological study was carried out on the meristematic cells of *Allium cepa* L. The physical analysis of granulometry and specific mass followed the provisions of ABNT 7181 and ABNT 6508, respectively. With regard to chemical analysis, this was submitted to the Atomic Absorption Spectrometry technique, after digestion of the soil by sulfuric attack (solubilization of H₂SO₄ 1:1). The assessment of soil quality, with regard to the presence of chemical substances, was based on what was established in Conama Resolution No. 420/2009, amended by Resolution 460/2013, comparing the Guiding Reference Values for Quality, Prevention and Investigation. It was also analyzed the ester of organic matter and pH of the soil in all sampling points. The results showed that there was toxicity by heavy metals, but the content of Cu, Mn, Zn and Fe are far above desirable, which does not rule out future contamination of which does not rule out future contamination of water resources in the study region.

Keywords: degradation; ground; contamination; ecotoxicity

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Curva granulométrica do ponto 1: profundidade 0 a 20 cm.....	64
Gráfico 2 - Curva granulométrica do ponto 1: profundidade 20 a 30 cm.....	64
Gráfico 3 - Curva granulométrica do ponto 1: profundidade 30 a 40 cm.....	65
Gráfico 4 - Curva granulométrica do ponto 2: profundidade 0 a 20 cm.....	65
Gráfico 5 - Curva granulométrica do ponto 2: profundidade de 20 a 30 cm.....	66
Gráfico 6 - Curva granulométrica do ponto 2: profundidade de 30 a 40 cm.....	66
Gráfico 7 - Curva granulométrica do ponto 3: profundidade de 0 a 20 cm.....	67
Gráfico 8 - Curva granulométrica do ponto 3: profundidade de 20 a 30 cm.....	67
Gráfico 9 - Curva granulométrica do ponto 3: profundidade de 30 a 40 cm.....	68
Gráfico 10 - Curva granulométrica do ponto 4: profundidade de 0 a 20 cm.....	68
Gráfico 11 - Curva granulométrica do ponto 4: profundidade de 20 a 30 cm.....	69
Gráfico 12 - Curva granulométrica do ponto 4: profundidade de 30 a 40 cm.....	69
Gráfico 13 - Porcentagem de partículas por amostras	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração 1 (300 g de solo em 500 mL de água); concentração 2 (300 g de solo em 1000 mL de água) e concentração 3 (300 g de solo em 2000 mL de água).....	50
Tabela 2 - Médias de crescimento de raízes em centímetros	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tamanho das partículas do solo	20
Quadro 2 - Valores orientadores para solos – CONAMA 420/2009 (VRQ: Valor de Referência de Qualidade, VP: Valor de Prevenção, VI: Valor de investigação) e VRQ a ser definido pelo Estado	25
Quadro 3 - Lista de valores orientadores para solos	41
Quadro 4 - Porcentagem de partículas no solo	45
Quadro 5 - Pontos de coleta e partículas	46
Quadro 6 - Comparativo de VP e VI expressos em solo mg.kg-1 de solo seco.....	47
Quadro 7 - Resultados para MOS e pH.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
AAS	Espectrometria de Absorção Atômica
C	Carbono
Cetesb	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
Cd	Cádmio
CTC	Capacidade de troca catiônica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CR	Comprimento radicular
Cu	Cobre
EPT	Elementos Potencialmente Tóxicos
ETAAS	<i>Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry</i>
FAAS	<i>Flame Atomic Absorption Spectrometry</i>
Fe	Ferro
MOS	Matéria Orgânica do Solo
NBR	Norma Brasileira
Pb	Chumbo
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema do Meio Ambiente
VI	Valores de investigação
VP	Valores de prevenção
VRQ	Valor de Referência de Qualidade
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Geral	17
2.2 Específicos	17
3 JUSTIFICATIVA	18
4 REVISÃO DE LITERATURA	20
4.1 Solo	20
4.1.1 Conceitos fundamentais do solo	20
4.2 A poluição do solo e dos corpos hídricos pela ação antrópica	21
4.3 Contaminação do solo por metais pesados	22
4.4 Análise físico-química do solo	23
4.4.1 Granulometria	24
4.4.2 Massa específica	24
4.4.3 Secagem das amostras de solo e digestão ácida	24
4.4.4 Espectrometria de absorção atômica	25
4.4.5 Avaliação da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas	25
4.4.6 Matéria Orgânica e pH	27
4.5 Bioensaios para avaliação de citotoxicidade, genotoxicidade no solo	28
4.5.1 Avaliação de citotoxicidade e genotoxicidade em células meristemáticas de raízes de <i>Allium cepa</i> L.	29
4.6 Influência do Solo na Qualidade dos Recursos Hídricos	30
4.7 Legislação Brasileira para corpos hídricos e solo	31
5 MATERIAIS E MÉTODOS	34
5.1 Legislação Brasileira para Corpos Hídricos e Solo	33
5.1.1 Caracterização da área de estudo	34
5.2 Período de coleta	34
5.2.1 Coleta do solo	35
5.3 Análise Físico-Química do Solo	36
5.3.1 Análise física do solo: granulometria, teor de umidade e massa específica	37
5.3.2 Digestão ácida do solo e espectrometria de absorção atômica de chama	40

5.3.4 Análise pH e matéria orgânica do solo (MOS).....	43
5.4 Teste Allium Ceba Solução Aquosa do Solo.....	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
6.1 Massa Específica do Solo.....	45
6.2 Ensaio Granulométrico: Curvas Granulométricas.....	45
6.3 Análise Química do Solo.....	47
6.4 PH E Matéria Orgânica do Solo (Mos).....	49
6.5 Teste <i>Allium cepa</i>: Citogenotoxicidade.....	50
6.6 Teste <i>Allium cepa</i>: Fitotoxicidade.....	51
7 PRODUTO.....	54
8 CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICES.....	64

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso finito e apesar de ser renovada pelo ciclo hidrológico é passível de escassez. Isso é notório devido à sua distribuição que não se encontra de forma uniforme e acessível em se tratando de qualidade e quantidade. Segundo Barros (2010), 89% do volume total da água doce do país está na Região Norte e Centro-Oeste está à disposição de 14,5% da população total, enquanto para as regiões Nordeste, Sudeste e Sul, onde estão distribuídas 85,5 % da população do Brasil, está disponível apenas 11 % deste recurso hídrico. Percebe-se que, enquanto há áreas ricas de água doce há poucos habitantes e vice-versa.

Com o aumento da população, urbanização e industrialização, os ecossistemas estão sendo alvos dos impactos produzidos. A questão da qualidade dos recursos hídricos está ligada aos fenômenos naturais e antrópicos em certa bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2007).

A introdução de componentes tóxicos e práticas não eficientes de gestão podem ocasionar a poluição e degradação do solo e conseqüentemente das águas, afetando a segurança alimentar e a saúde humana de quem faz uso do solo e consome da água em regiões contaminadas.

O aumento na utilização de insumos industriais, também aumentou a preocupação com a contaminação do solo (STEFFEN *et al.*, 2011). O uso de inseticidas, fungicidas e herbicidas diminuem os danos e aumenta a produtividade agrícola, mas, por outro lado esses compostos podem ser levados para o meio, dispersos pelo ar ou lixiviados pelo solo, chegando até os recursos hídricos (MELO *et al.*, 2016; LAVORENTI *et al.*, 2003).

O município de Engenheiro Beltrão-Paraná, possui atividade agropecuária ativa e na área de estudo além da agricultura, existe a instalação e funcionamento de um “ferro-velho”, com desmonte de veículos na cabeceira da vertente em estudo nesse trabalho. O desmonte de carros normalmente ocorre em locais sem infraestrutura adequada, ou seja, a céu aberto, em solo sem cobertura vegetal ou em solo pavimentado, mas sem impermeabilização e coleta de fluidos contaminantes (SORIANO *et al.*, 2016). O solo da região de estudo pode estar contaminado devido efluentes oriundos destas atividades por isso uma avaliação da qualidade do solo se faz pertinente.

O estudo em questão está em consonância com a Política Nacional dos Recursos Hídricos pois se constatado contaminação no solo, sugere-se a contaminação das águas da região. Segundo Medina e Gomes (2002) bem como Antonioli *et al.* (2013) estudos já demonstraram metais pesados como zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb) e cádmio (Cd) em níveis superiores aos encontrados na natureza em solos e aquíferos subterrâneos por meio de ações antrópicas, isso se procedeu principalmente em locais destinados à guarda de veículos apreendidos (MEDINA; GOMES, 2002). Devido a prática e funcionamento da atividade de ferro velho na vertente acima da chácara e atividades agrícolas no entorno, faz-se necessário avaliar a qualidade do solo por meio da análise físico e químico dos elementos do solo tais como: granulometria, massa específica, bem como a quantificação dos metais: Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Alumínio (Al).

Visando complementar a avaliação da qualidade do solo também foi realizada a análise ecotoxicológico com o bioensaio *Allium cepa* (raízes de cebola). Os bioensaios ecotoxicológicos, aliados a parâmetros físico-químicos, são frequentemente usados em avaliações de impactos ambientais dos corpos hídricos, onde os organismos utilizados funcionam como biosensores que respondem a presença de contaminantes (BRAGA; LOPES, 2015). Os biomarcadores empregados nesse ensaio são o índice mitótico, para avaliação dos diferentes níveis de citotoxicidade, e a frequência de alterações cromossômicas e de fuso mitótico serão para a avaliação de genotoxicidade (HERRERO *et al.*, 2012; MATOS *et al.*, 2017).

Este estudo está em consonância com a linha de pesquisa escolhida no que tange a segurança hídrica e usos múltiplos da água pois relaciona-se com a avaliação da qualidade do solo que pode contaminar como consequência, os corpos hídricos. O presente estudo terá como premissa, analisar a qualidade do solo da Chácara São José e seu entorno por meio de análises físico-químicos e ecotoxicológicos (citogenotoxicidade e fitotoxicidade) e como produto final será proposto um protocolo contendo os resultados do estudo realizado.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a qualidade do solo da Chácara São José e entorno, na cidade de Engenheiro Beltrão, Paraná, Brasil.

2.2 Específicos

- Caracterizar a área de estudo;
- Determinar criteriosamente os pontos de coleta, considerando as atividades antrópicas no entorno da chácara;
- Investigar a qualidade do solo por meio dos parâmetros físico-químicos;
- Analisar o potencial ecotoxicológico do solo sobre células meristemáticas do sistema-teste de *Allium cepa* L.;
- Avaliar a possibilidade de contaminação dos recursos hídricos no entorno da chácara considerando os resultados obtidos nas etapas anteriores;

3 JUSTIFICATIVA

Em razão do solo na região de estudo receber efluentes de fontes possivelmente poluidoras, justifica-se a avaliação da qualidade do mesmo por meio de parâmetros físico-químicos e ecotoxicológicos. Devido à atividade antrópica um solo pode ser contaminado se suas características naturais forem alteradas, levando em conta sua associação a componentes químicos de maneira indireta ou direta. Quando as substâncias contaminantes excedem o nível aceitável, estas podem limitar o uso do solo, degradando a qualidade do mesmo e conseqüentemente, das águas superficiais e subterrâneas, um risco para a saúde pública e ecossistema (BRITO, 2005; PELICA, 2017).

Jaradat *et al.* (2005), evidenciaram em seus estudos que a maior parte da contaminação por metais pesados estavam presentes na camada superficial do solo, de 0 a 3 cm de profundidade e diminuía com a profundidade, isso no entorno e sob ferros-velhos. Outros estudos como de Wu *et al.* (2013) e Adedeji *et al.* (2014) também tiveram resultados semelhantes, sendo que a maior parte foi observada contaminação por Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn.

A maneira como o solo é usado influencia a qualidade da água, tanto superficial quanto subterrânea, bem como dos ecossistemas aquáticos de uma bacia hidrográfica (LEE *et al.*, 2009; TRAN *et al.*, 2010; ROTHWELL *et al.*, 2010; BU *et al.*, 2014; MENEZES *et al.*, 2014; DUPASA *et al.*, 2015; FIA *et al.*, 2015).

Existem muitos problemas atrelados à qualidade da água, destacando-se o mau uso do solo devido a fatores como a urbanização, as atividades industriais e agrícolas (NGOYE; MACHIWA, 2004; KANG *et al.*, 2010; DUPASA *et al.*, 2015).

A preocupação maior está em relação à adição de metais ao solo, seja por meio da agricultura, seja por meio do desmanche de veículos na cabeceira da área de estudo. O resíduo gerado pode entrar a nível de cadeia alimentar, acumulando-se no solo e alterando a atividade microbiana, possivelmente contaminando os recursos hídricos disponíveis e os seres vivos de forma cumulativa.

Esse estudo é relevante ferramenta tanto no aspecto social, quanto científico e ambiental, pois fornecerá dados sobre a contaminação ou não do solo e em caso positivo, trabalhos futuros poderão ser feitos analisando as águas.

Os resultados obtidos por meio dessas análises serão abordados em um artigo para servir de base para estudos futuros em regiões similares ou em anos seguintes na mesma área, como parâmetro comparativo, uma vez que possam ser generalizados, bem como será gerado um relatório para a comunidade ter noção da qualidade do solo e possível contaminação ou não das águas do entorno.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Solo

4.1.1 Conceitos fundamentais do solo

O solo faz parte da superfície terrestre como algo natural e sua composição é tanto mineral como orgânica, resultante da interação entre o meio biótico e abiótico, sendo em parte modificado pela ação antrópica, tendo a capacidade de sustentar plantas, reter água, armazenar e transportar resíduos bem como suportar edificações. (BECK *et al.*, 2000).

De acordo com Teixeira *et al.* (2009), o solo não é fácil de ser definido pelo fato de ser um material complexo, com muitas funcionalidades e seus conceitos variam em função de sua utilização, contudo, o mesmo autor o define como o produto do intemperismo, do remanejamento e da organização das camadas superiores do regolito, sob ação da atmosfera, da hidrosfera, da biosfera e das trocas de energia envolvidas.

Resende *et al.* (1999), define o solo como um material constituído por poros ocupados por ar e material orgânico e a porção mineral é constituída de partículas de tamanho variável desde argila até matacões de tamanho bem grande e, na fração argila ocorre o fenômeno mais importante do solo: a troca iônica, que seria as reações de intercâmbio de íons entre a solução do solo e a fase sólida (mineral e orgânica), tanto de cátions quanto de ânions.

Ainda segundo o mesmo autor, pode-se dizer que as frações inorgânicas do solo tais como a argila, o silte, a areia e as partículas maiores, formam a base de um sistema onde estão incluídas a solução do solo, ou seja, a fase líquida e o ar do solo (fase gasosa). Os organismos que vivem no solo e os produtos de suas atividades metabólicas interagem sobre todas essas fases e completam o sistema. O Quadro 1 apresenta o tamanho das partículas do solo

Quadro 1 - Tamanho das partículas do solo

PARTÍCULA	DIÂMETRO (mm)
Matacões	> 200
Calhaus	200-20
Cascalhos	20-2
Areia grossa	2-0,020
Areia fina	0,20-0,05
Silte	0,05-0,002
Argila	< 0,002

Fonte: Resende *et.al.* (1999).

No que tange a utilização agrícola do solo, sabe-se o quanto o mesmo é inquestionável e relevante, mas não se deve esquecer que o solo possui uma importante função ambiental, pois devido suas características físico-químicas, constitui um grande filtro biológico, de muita utilidade para a depuração de resíduos.

4.2 A poluição do solo e dos corpos hídricos pela ação antrópica

O avanço da industrialização acarretou o uso cada vez mais intenso dos recursos naturais e com isso um aumento significativo nos despejos de poluentes nos recursos hídricos de maneira constante. Esses despejos são oriundos de efluentes domésticos, industriais e do escoamento superficial de galerias pluviais das cidades, bem como das atividades agrícolas presentes no entorno dos rios (MARÇAL; SILVA, 2017).

Os efluentes de esgoto sanitário e industriais, a lixiviação do solo agrícola e ainda as águas de galerias pluviais, causam alterações na qualidade da água e, por muitas vezes, inviabilizar esse recurso a diferentes espécies (AZZOLINI; FABRO, 2013). Corrêa (2016) considera a ação antrópica como a maior fonte de degradação das águas superficiais, pois estas estão sujeitas a muitas formas de contaminação e poluição providas de tais atividades.

O crescimento populacional e urbanização, são os principais fatores que contribuem para a poluição de ambientes terrestres. O aumento das atividades antropogênicas associadas com as atividades industriais e agrícolas, tais como a mineração, metalúrgica, queima de combustíveis, tratamento de resíduos, aplicação de fertilizantes a longo prazo, irrigação residuária, são fatores determinantes deste

tipo de poluição, que atingem a economia e a saúde (DONG, *et al.*, 2010; KEHRIG; MALM, 2011; YABE; OLIVEIRA 1998).

O lançamento de resíduos com descarte inadequado no ambiente pode causar a contaminação e poluição do solo, da água, da atmosfera; dispersão de materiais que podem ou não ser recicláveis, e proliferação de vetores que podem causar danos à saúde humana (VALENTE; RODRIGUES; KIVEL, 2016). O lixiviado produzido pela decomposição dos resíduos sólidos dispõe de substâncias que alteram os padrões da água (MAGESWARI *et al.*, 2017).

4.3 Contaminação do solo por metais pesados

Os metais podem estar presentes no solo de acordo com a sua origem natural ou antrópica. A origem natural ocorre pelo processo de intemperismo pelo desgaste da rocha que deu origem ao solo, em baixas concentrações normalmente. Todavia as origens dos metais pesados no solo são de material parental e fontes antropogênicas de contaminação, como a atividade industrial (ALLOWAY, 2010; ALMEIDA JUNIOR, 2014; CHAVES *et al.*, 2008).

Os metais são elementos químicos sólidos no seu estado natural, com exceção do mercúrio que é líquido. Suas características são o brilho, a dureza, a boa condutividade elétrica e térmica, a maleabilidade, a ductilidade bem como pelos elevados pontos de fusão e ebulição (RIBEIRO, 2013).

Os metalóides são um grupo de elementos químicos que apresentam propriedades intermédias entre os metais e os não metais, estes apresentam brilho, mas não tão forte quanto o dos metais e são semicondutores elétricos. Tanto os metais quanto os metalóides apresentam origem natural e antrópica (RIBEIRO, 2013).

Os contaminantes oriundos da descarga de efluentes industriais, urbanos e agrícolas, os metais pesados têm uma importância pois não são biodegradáveis. Os metais provenientes das atividades antrópicas, muitas vezes, excedem o que suporta a natureza, representando um risco para a saúde humana e dos animais (PRIETO *et al.*, 2008). Segundo os mesmos autores, estes quando lançados na água, podem agregar-se a outros elementos, formando uma gama variada de moléculas, as quais apresentam diferentes efeitos nos organismos devido a variações no grau de absorção pelos mesmos.

Na natureza, os teores de metais pesados são influenciados por mudanças litológicas, hidrológicas, geológicas (JAIN *et al.*, 2007; ZAHRA *et al.*, 2014). O acúmulo de metais pesados pelos organismos pode atingir diversos níveis tróficos da cadeia alimentar. Tal efeito culmina com a ocorrência das maiores taxas de contaminação nos níveis mais altos da teia trófica (SILVA, 2015).

Os metais pesados são quimicamente definidos na tabela periódica como um grupo de elementos situados entre o Cobre (Cu) e o Chumbo (Pb). Estes metais são muito reativos e bioacumulativos, o organismo não é capaz de eliminá-los de uma forma rápida e eficaz, isso acontece devido ao fato de apresentarem um elevado número atômico e não propriamente devido a sua densidade (AZEVEDO, 2017).

Faz-se necessário uma atenção especial aos equipamentos eletrônicos pois estes podem conter metais pesados. Segundo Aquino *et al.* (2017), consideram ainda que uma parte da população não tem conhecimento da presença de substâncias tóxicas nos resíduos eletrônicos, principalmente os metais pesados, entretanto, esses continuam com a prática de descarte dos resíduos no lixo comum, contaminando o meio ambiente.

Outro fator que vem aumentando é a instalação de ferros-velhos com desmonte de veículos sujeitos à contaminação do ambiente com os Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT). Algumas instalações de serviços veiculares, podem ser considerados fontes de contaminação ambiental, dentre eles destaca-se os desmanches, oficinas, oficinas mecânicas, ferros-velhos, estacionamentos, recicladores de peças automotivas, pátios de recolhimento e apreensão de veículos (MARTIN; RIVERO; MARÍN, 1998; NWACHUKWU *et al.*, 2010; REVITT *et al.*, 2014).

Além destes possíveis contaminantes, a utilização em excesso de agroquímicos, fertilizantes e adubos orgânicos, podem conter concentrações relativamente altas de metais pesados, o que vem causando a degradação química dos solos (RAMALHO, 2000).

4.4 Análise físico-química do solo

A caracterização físico-química do solo torna-se necessária, para conhecimento das suas propriedades, deste modo, possíveis comportamentos podem ser explicados e previstos. A seguir serão apresentados os ensaios de

caracterização mais utilizados para análise do solo, visando explicar sua possível contaminação.

4.4.1 Granulometria

O tamanho dos grãos no solo determina a sua interação com os componentes da solução. As argilas por sua vez podem mudar o comportamento do solo, devido à alta atividade, como por exemplo, provocando alterações na deformabilidade, na resistência, na permeabilidade, na capacidade de retenção de água, do pH, na capacidade de troca catiônica (CTC), nas reações da superfície, dentre outras especificidades, (OLIVEIRA, 2012; TEIXEIRA, 2008).

Segundo Resende *et al.* (1999), as argilas estão divididas em grupos funcionais em relação ao argilomineral, sendo que o tipo de argila mineral interfere na retenção dos metais pesados. A atividade das argilas tende a crescer da caulinita, menos ativa, para a esmectita ou montmorilonitas, mais ativas.

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 7181 (2016), o ensaio granulométrico do solo deve proceder o peneiramento grosso, peneiramento fino, sedimentação, ou a associação de ambos, a depender das frações que ocorrem no material.

4.4.2 Massa específica

A massa específica do solo é a relação entre o peso e o volume de sólidos cheios, isto é, o volume dos grãos. As amostras de solos devem ser submetidas ao ensaio de massa específica real de acordo com a Norma ABNT NBR-6508, (1984).

4.4.3 Secagem das amostras de solo e digestão ácida

No que diz respeito à secagem das amostras, a mesma deve ser submetida à fragmentação manual, seguida de secagem ao ar ou em estufa a 40°C e a separação das frações é feita por peneiramento (TFSA), e no caso das frações grossas, a purificação é feita por dispersão das frações menores com uso de dispersante

químico sob agitação e lavagem final em água corrente com a posterior secagem em estufa. (FONTANA, *et al.*, 2017).

Uma das maneiras para proceder a digestão ácida de amostras do solo é a solubilização feita com H₂SO₄ 1:1, conhecida como ataque sulfúrico. Esta técnica além de determinar as relações moleculares (K_i e K_r) também avalia os estágios de intemperização de solos e indicam a composição mineral da fração argilosa. (FONTANA *et al.*, 2017).

4.4.4 Espectrometria de absorção atômica

A espectrometria de absorção atômica (AAS – do inglês *Atomic Absorption Spectrometry*), é uma técnica analítica utilizada na determinação quantitativa de elementos em baixas concentrações presentes numa variedade de amostras de metais, semimetais e alguns não metais. (AMORIM *et al.*, 2008).

Essa técnica consiste na medida da absorção da intensidade da radiação eletromagnética proveniente de uma fonte primária. Na AAS são frequentemente utilizados dois tipos de atomizadores; com chama (FAAS - do inglês *Flame Atomic Absorption Spectrometry*), e o de forno de grafite (ETAAS - do inglês *Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry*), respectivamente utilizados em concentrações da ordem de mg/L e µg/L (KRUG, NOBREGA, 2004).

4.4.5 Avaliação da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas

Quanto à avaliação de qualidade de solo, no que tange à presença de substâncias químicas, estes devem ter como base os Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação. Na legislação brasileira, os solos são considerados contaminados quando apresentarem concentrações de determinado elemento químico acima do valor pré-estabelecido e regulamentado (CONAMA, 2009).

A regulamentação é realizada pela resolução CONAMA nº 420/2009, alterada pela Resolução 460/2013, essas resoluções dispõem sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo no que se refere a substâncias químicas e

estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas em decorrência de atividades antrópicas (CONAMA, 2009).

O quadro 2 contém os valores estabelecidos pela resolução CONAMA. Os valores de prevenção (VP) representam as concentrações limite no solo, de maneira tal que ele seja capaz de sustentar suas funções principais. Esses valores foram estabelecidos de acordo com ensaios de fitotoxicidade ou avaliação de risco ecológico. Já os valores de investigação (VI) representam a quantidade de determinada substância no solo acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos à saúde humana.

O Valor de Referência de Qualidade (VRQ) é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos. O CONAMA estabeleceu as classes apresentadas a seguir para definir a qualidade dos solos, de acordo com a concentração de substâncias químicas.

Classe 1 - Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ;

Classe 2 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP;

Classe 3 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI;

Classe 4 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI.

Quadro 2 - Valores orientadores para solos – CONAMA 420/2009 (VRQ: Valor de Referência de Qualidade, VP: Valor de Prevenção, VI: Valor de investigação) e VRQ a ser definido pelo Estado

Substâncias	CAS n°	Solo (mg.kg ⁻¹ de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L ⁻¹)
		VRQ	VP	Investigação			Investig.
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
Inorgânicos							
Alumínio	7429-90-5	E	-	-	-	-	3.500**
Antimônio	7440-36-0	E	2	5	10	25	5*
Arsênio	7440-38-2	E	15	35	55	150	10*
Bário	7440-39-3	E	150	300	500	750	700*
Boro	7440-42-8	E	-	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	E	1,3	3	8	20	5*

Chumbo	7440-43-9	E	72	180	300	900	10*
Cobalto	7439-92-1	E	25	35	65	90	70
Cobre	7440-50-8	E	60	200	400	600	2.000*
Cromo	7440-47-3	E	75	150	300	400	50*
Ferro	7439-89-6	E	-	-	-	-	2.450**
Manganês	7439-96-5	E	-	-	-	-	400**
Mercúrio	7439-97-6	E	0,5	12	36	70	1*
Molibdênio	7439-98-7	E	30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	E	30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	E	-	-	-	-	10.000*
Prata	7440-22-4	E	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	E	5	-	-	-	10*
Vanádio	7440-62-2	E	-	-	-	1000	-
Zinco	7440-66-6	E	300	450	1.000	2.000	1.050**
Hidrocarbonetos aromáticos voláteis							
Benzeno	71-43-2	na	0,03	0,06	0,08	0,15	5*
Estireno	100-42-5	na	0,2	15	35	80	20*
Etilbenzeno	100-41-4	na	6,2	35	40	95	300**
Tolueno	108-88-3	na	0,14	30	30	75	700**
Xilenos	1330-20-7	na	0,13	25	30	70	500**
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos							
Antraceno	07/12/20	na	0,039	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	56-55-3	na	0,025	9	20	65	1,75
Benzo(k)fluoranteno	207-06-9	na	0,38	-	-	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	na	0,57	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	na	0,052	0,4	1,5	3,5	0,7*
Criseno	218-01-9	na	8,1	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	na	0,08	0,15	0,6	1,3	0,18

Fonte: CONAMA, 2009.

A quantificação dos metais no solo também foi interpretada segundo Oleynik (1998).

4.4.6 Matéria Orgânica e pH

O conceito de material orgânico é aquele constituído por compostos orgânicos, podendo comportar proporção variavelmente maior ou menor de material mineral, desde que apresente 8% ou mais de carbono orgânico na fração terra fina seca ao ar (ISBELL, 1996; SANTOS *et al.*, 2006).

Segundo Andriessse, 1998; Galvão e Vahl, 1996, o elevado teor de matéria orgânica tem influência direta com a porção mineral, com a natureza do material orgânico, com o grau de decomposição da matéria orgânica e também com a composição química da água de formação. Isso contribui para que aconteça uma

grande variação na composição do complexo sortivo (soma de bases trocáveis, CTC efetiva, CTC total, porcentagem de saturação por bases) dos solos entre si e entre os horizontes de um mesmo solo. O complexo sortivo é a fração do solo que tem o papel de reter os nutrientes minerais importantes para o desenvolvimento das plantas, sendo formado por partículas minerais, como argila, óxidos de ferro e alumínio. Esses tem a habilidade de reter cátions nutrientes de cálcio, sódio, magnésio e outros.

A matéria orgânica do solo (MOS) possui um papel fundamental na sua fertilidade, sendo que as substâncias húmicas constituem a maior parte do compartimento de carbono (C) estável da MOS. Os principais fatores que permitem a formação do húmus, são: temperatura, presença ou ausência de cátions básicos no solo, nitrogênio e drenagem (CERRI; VOLKOFF, 1998).

De acordo com Stevenson (1994), os ácidos húmicos são compostos estáveis, de difícil degradação. Quando se caracteriza a qualidade das substâncias húmicas, isso ajuda a compreender a MOS, pois funciona como um indicador do ambiente solo. (MIRANDA *et al.*, 2007).

Parâmetros como pH e matéria orgânica MO, exercem influência da interação de elementos traços em matrizes ambientais (OLIVEIRA; MARTINS, 2011). Estes componentes são favoráveis à retenção de muitos contaminantes, incluindo metais pesados, o que pode contribuir para sua retenção no solo.

Segundo Oliveira (2012), os íons metálicos no caso do Zn^{2+} e Cu^{2+} , possuem grande afinidade com os grupos funcionais OH, COOH, SH e CO encontrados nas substâncias húmicas presentes na matéria orgânica.

Borges e Coutinho (2004) também estudaram o efeito do pH no solo e concluíram que, com o aumento do pH ocorreu uma redistribuição dos metais Cu, Mn e Zn da fração trocável para a fração ligada a matéria orgânica e/ou de óxidos (menos disponível). Portanto, a solubilidade dos metais aumenta com a redução do pH.

4.5 Bioensaios para avaliação de citotoxicidade, genotoxicidade no solo.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Resolução 420/2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores quanto à qualidade do solo e à presença de substâncias químicas, no entanto, essas resoluções consideram apenas parâmetros físico-químicos, e não levam em consideração o potencial toxicológico de poluentes contaminantes como critérios de avaliação da qualidade do solo.

De acordo com Mendes (2019) muitas vezes somente as análises físico-químicas não são suficientes para determinar a qualidade de um corpo hídrico. Deste modo, testes de avaliação de citotoxicidade, genotoxicidade e fitotoxicidade de águas naturais, águas residuárias e de efluentes tratados são importantes por complementarem as avaliações físico-químicas.

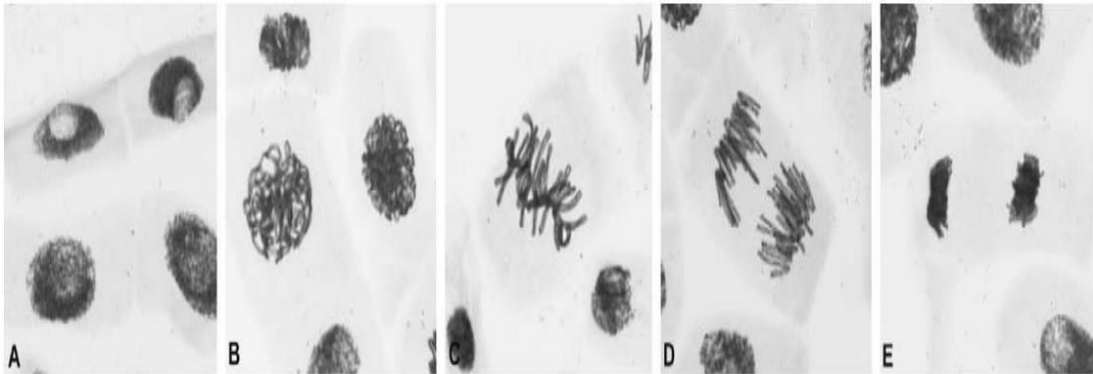
Dentre os testes comumente usados para avaliação de toxicidade sistêmica e em nível celular estão os bioensaios com *Allium cepa* L. que também se mostram eficientes nos estudos desenvolvidos (LEME; MARIN-MORALES, 2009; BRAGA; LOPES, 2015).

4.5.1 Avaliação de citotoxicidade e genotoxicidade em células meristemáticas de raízes de *Allium cepa* L.

O teste de bioensaio *Allium cepa* L. (cebola) está entre os aceitos internacionalmente na avaliação da qualidade da água. Neste teste utiliza-se os meristemas das raízes da cebola frequentemente para determinar os efeitos tóxicos de compostos presentes em corpos hídricos e terrestres, inclusive em baixas concentrações (MATOS *et al.*, 2017). Este teste pode ser realizado tanto para análise da qualidade da água quanto para análise da qualidade do solo em meio à solução aquosa.

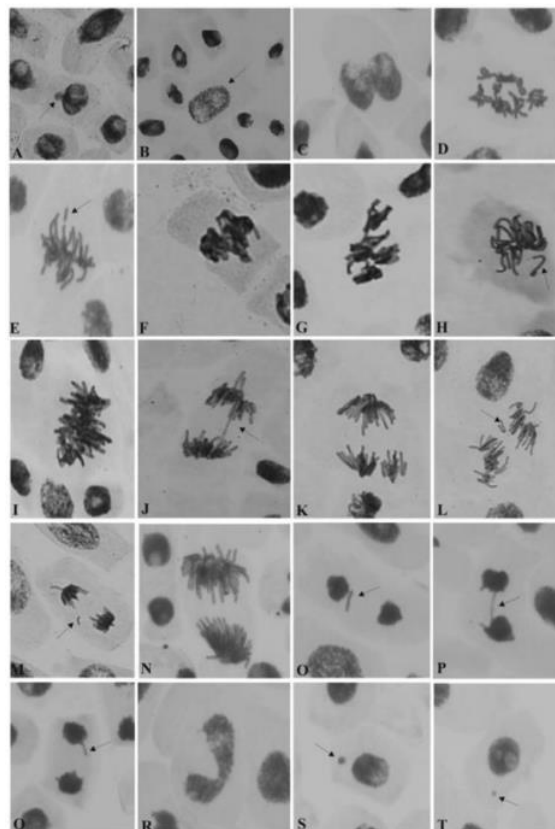
A avaliação da qualidade da água pode ser feitas por meio das células meristemáticas de raízes de *Allium cepa* L., elas são utilizadas mundialmente para avaliação da divisão celular ou de índice mitótico, levando em consideração o número de células em divisão (células em prófase, metáfase, anáfase e telófase) (Figura 1), bem como número de alterações de fuso mitótico e quebras/perdas cromossômicas (prófase poliplóide, broto nuclear; célula binucleada e C-metáfase, micronúcleos e outras alterações) (Figura 2), induzidos por águas de diferentes origens, de composto e substâncias químicas (MALAMAN, 2019; CARMO; LEAL; RIBEIRO, 2020).

Figura 1 - Fases mitóticas de células de *Allium cepa* L. (A) Interfase normal; (B) Prófase normal; (C) Metáfase normal; (D) Anáfase normal; (E) Telófase normal



Fonte: Leme e Marin-Morales (2009).

Figura 2 - Alterações celulares observadas em células meristemáticas de *Allium cepa* L. (A) Broto nuclear; (B) Prófase poliplóide; (C) Célula binucleada; (D) C- metáfase; (E) Metáfase com quebra cromossômica; (F-G) Aderências cromossômicas; (H) Metáfase com perda



Fonte: Bianchi *et al.* (2016).

A citotoxicidade pode ser determinada por meio do índice mitótico e a genotoxicidade de acordo com o número de alterações celulares aquilo que está se

analisando (LEME; MARIN-MORALES, 2009; MENDES, 2019). O bioensaio *A. cepa* possui alta sensibilidade, é de fácil manuseio e aquisição, conta com uma grande quantidade de células, pequeno número de cromossomos e cromossomos grandes, condições que facilitam muito a análise (FISKESJÖ, 1985; ZAHRA *et al.*, 2015; KLAUCK *et al.*, 2017).

4.6 Influência do solo na qualidade dos recursos hídricos

As alterações na qualidade da água têm relação direta ou indireta das atividades humanas que afetam os recursos hídricos de alguma forma, seja para atividades agropecuárias ou na incorporação de substâncias prejudiciais nos recursos hídricos. Tais alterações se deram devido ao crescimento populacional e as demandas de recursos, havendo uma crescente necessidade dos recursos hídricos. O crescimento populacional, intensifica também, a necessidade de desenvolvimento tecnológico e demanda por alimentos, moradia, energia, recursos naturais, dentre outros, gerando por consequência, maior poluição por conta destes fatores (ANA, 2020; DAMAME *et al.*, 2019).

De tal maneira, o uso e ocupação do solo aliados ao rápido crescimento da população são constatados nos ecossistemas aquáticos por meio da poluição que pode ser pontual ou difusa, danificando a qualidade da água superficial e subterrânea. Deste modo a água pode se tornar um meio de transmissão de agentes patogênicos e bem como de contaminação por agentes químicos, sendo necessário o tratamento da mesma para atingir padrões de potabilidade exigidos pelo Ministério da Saúde, Portaria n. 888 de 2021 que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, (FIA *et al.*, 2015; GUEDES *et al.*, 2017; MENEZES *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2017; SODRÉ, 2012).

Conforme Adeola *et al.*, Menezes *et al.*, (2016), é necessário compreender as relações entre o uso do solo e a qualidade da água para identificar as principais fontes de contaminação, entendendo que os inúmeros casos relacionados com a qualidade da água estão relacionados pelo mau uso do mesmo por meio da urbanização bem como atividades industriais e agrícolas. A articulação da gestão dos recursos hídricos atrelado ao uso do solo é uma das diretrizes da Política Nacional dos Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

4.7 Legislação Brasileira para corpos hídricos e solo.

A Lei Federal nº 9.638 de 31 de agosto de 1981 determina diretrizes e normas para garantir a preservação, melhoria e a recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e determina o conjunto de órgãos e entidades responsáveis pela preservação e melhoria da qualidade ambiental que constituem o Sistema do Meio Ambiente – SISNAMA (BRASIL, 1981).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, órgão consultivo e deliberativo, é um dos componentes do SISNAMA, que tem como uma de suas finalidades estabelecer normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida (BRASIL, 1981). Deste modo, existem muitas Resoluções do CONAMA que estabelecem diretrizes e normas técnicas, critérios e padrões relativos à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos ambientais.

A Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997 também é de suma importância pois instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), com base nos princípios de que: a água é um bem de domínio público sendo um recurso natural limitado e dotado de valor econômico; o uso prioritário é o consumo humano e dessedentação de animais; a sua gestão deve sempre proporcionar o uso múltiplo de maneira descentralizada e participativa; a hidrografia é a unidade territorial base para o planejamento das ações. A PNRH deixa evidente em seu Art. 2º, que um dos seus objetivos é assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequado aos respectivos usos. (BRASIL, 1997).

Esta mesma Lei Federal nº 9.433 de 1997 (Política Nacional dos Recursos Hídricos), também cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos que, dentre outros objetivos, atua no sentido de implementar a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1997).

Com relação aos parâmetros para água de consumo humano, o órgão responsável por determiná-los é o Ministério da Saúde. A sua atual Portaria, de nº 2.914 de 2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

No que diz respeito à Legislação Brasileira para a qualidade do solo, a mesma apresenta três valores orientadores distintos: Valores Orientadores de Referência de Qualidade (VRQs), de Prevenção (VP) e de Investigação (VI) (CONAMA, 2009).

No Brasil, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) foi a pioneira em propor os valores orientadores para substâncias potencialmente tóxicas em solos (CETESB, 2001). Mediante a extensão territorial do Brasil, destacando a sua diversidade geológica e pedológica, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), pela Resolução no 420, de 29 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo, quanto à presença de substâncias químicas, estabeleceu diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias tóxicas em provenientes de atividades antrópicas e determinou que cada estado da Federação estabeleça seus próprios VRQs, em virtude das suas peculiaridades regionais.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Legislação Brasileira para corpos hídricos e solo.

5.1.1 Caracterização da área de estudo.

O município de Engenheiro Beltrão possui área de 467,2 km², está localizado na região central do Paraná, deslocado ligeiramente para o noroeste, a 55 km de Maringá, 450 km da Capital do Estado e 350 km de Foz do Iguaçu. O clima é Subtropical Úmido Mesotérmico, verões quentes com tendência de concentração de chuvas, temperatura média superior a 22°C, invernos com geadas pouco frequentes, temperatura inferior a 18°C, sua economia se baseia na agropecuária (ENGENHEIRO BELTRÃO, 2011).

O município está a uma latitude 23° 47'49" sul e a uma longitude 52° 16' 08" oeste, estando a uma altitude de 520 metros acima do nível do mar. Localizado na região central do Paraná, se encontra ligeiramente deslocado para o noroeste (ENGENHEIRO BELTRÃO, 2011).

A chácara São José, área de estudo, está situada no município de Engenheiro Beltrão-Pr, e conforme Registro de Imóveis, está inserida na Gleba Rio Mourão, com área de 2.9040 ha e localiza-se na PR-317, na Rodovia Avelino Piacentini.

O poço para captação de água da área rural da Chácara São José é simples com 5 metros de profundidade e as minas são de escoamento superficial e seca em períodos de estiagem longa. As minas existem em vários pontos, em períodos chuvosos é possível visualizá-las, mas em épocas de estiagem prolongada as mesmas desaparecem. Possui também duas represas com peixes para consumo próprio da família. Ao lado da chácara, à direita, há um trecho destinado à agricultura e um riacho conhecido por rio do Bagre, este deságua no Rio Claro e este por sua vez no Rio Ivaí.

5.2 Período de coleta

A coleta do solo foi feita em pontos na área de estudo e nos arredores. A coleta para teste *Allium cepa* e análise física foi realizada no início do mês de março de 2022

e a coleta para análise química e matéria orgânica foi realizada no mês de abril de 2023. A área de estudo e os pontos de coleta estão destacados na Figura 3.

Figura 3 - Pontos de coleta em amarelo



Fonte: Autoria própria (2022)

5.2.1 Coleta do solo

Após delimitação da área de estudo, realizou-se o trabalho da coleta de solo em quatro pontos estratégicos: na cabeceira da vertente da chácara próximo ao ferro velho (ponto 1), um ponto próximo ao poço (ponto 2), um ao lado do riacho conhecido como Rio do Bagre (ponto 3), um ponto abaixo do ferro-velho em sua porção final (ponto 4) e um ponto controle em área de solo preservada, um jardim.

Cada ponto foi coletado duas amostras do solo (1000 g) cada em duas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm, para as análises químicas e teste *Allium cepa*. Os mesmos pontos foram usados para análises físicas, porém utilizou-se três profundidades: 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 centímetros, sendo que em cada ponto foram coletadas três amostras (2000 g) cada.

Utilizou-se um trado holandês para as respectivas coletas conforme Figura 4. O material coletado foi acondicionado em caixa térmica com gelo e transportado ao laboratório de Ecologia Molecular da Universidade Federal Tecnológica do Paraná - campus Campo Mourão.

Figura 4 - Ponto 1: na divisa chácara com ferro-velho, ponto 2: ao lado do poço, ponto 3: próximo ao riacho e ponto 4: próximo à porção final do ferro-velho, respectivamente



Fonte: autoria própria (2022)

O ponto 3, próximo ao riacho conhecido como Rio do Bagre, sofre influência da área agricultável, no momento da coleta com o plantio de milho, também há uma galeria pluvial da Rodovia Avelino Piacentini Km que desemboca no mesmo e despejo de lixo doméstico oriundo de uma área de periferia próximo à sua nascente, conforme Figura 5.

Figura 5 - Rio Bagre



Fonte: A autoria própria (2022).

5.3 Análise físico-química do solo

Para avaliar a qualidade do solo fez-se análise físico e químico dos elementos do solo tais como: massa específica e granulometria, bem como a quantificação dos metais: Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Manganês (Mn).

5.3.1 Análise física do solo: granulometria, teor de umidade e massa específica.

A metodologia foi realizada de acordo com as instruções normativas para cada ensaio de caracterização tendo em vista que cada tipo de ensaio é regido por uma Norma Brasileira (NBR) e que deve ser seguida para a obtenção do resultado mais preciso possível, próximo da realidade. Neste estudo foram realizados os ensaios de granulometria (peneiramento e sedimentação) bem como o ensaio para determinar a umidade e a massa específica do solo.

As amostras foram secadas à sombra, destorroadas, homogeneizadas e quarteadas antes dos respectivos ensaios. O preparo das amostras e o ensaio para obter a umidade higroscópica foi realizada conforme a norma da ABNT NBR 6457:1986.

A análise granulométrica foi realizada de acordo com ABNT NBR 7181:2016, para ensaio de sedimentação, as amostras foram colocadas em um Becker e

adicionado 125 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (defloculante) e ficou em repouso por 12 horas antes das etapas previstas para este tipo de ensaio.

A amostra foi homogeneizada e feita as leituras do densímetro e no termômetro nos tempos em minutos de: 0,5; 1; 2; 4; 8; 15; 30; 60; 120; 240; 480 e 1440. Após a leitura de 24 h, o conteúdo da proveta foi passado nas peneiras determinadas e lavado em água corrente.

Para análise granulométrica utilizou-se alguns aparelhos dispostos na norma ABNT NB 7181, conforme as Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6 - Aparelho e copo de dispersão para homogeneizar amostras e proveta graduada



Fonte: A autoria própria (2022).

Figura 7 - Peneiras 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0,075mm para ensaio de peneiramento



Fonte: A autoria própria (2022).

Figura 8 - Densímetro

Fonte: Autoria própria (2022).

O que sobrou em cada peneira foi colocado na estufa por 24 horas para posteriormente medir a massa, antes os recipientes foram pesados vazios, antes os frascos haviam sido pesados vazios. Tal pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Solo seco na estufa após ensaio de densidade e peneiramento

Fonte: Autoria própria (2022).

Ao final, os resultados foram representados sob a forma de curvas granulométricas conjuntas (ABNT NB 6502), para demonstrar a composição e porcentagem de cada fração do solo das amostras em diferentes profundidades.

Para determinar a massa específica dos grãos o ensaio baseou-se na ABNT NBR 6458:2016. Foi misturado com água destilada cerca de 60 g do material destorroado e passado na peneira 4.8 mm (#4). Em seguida foi realizada a desaeração da mistura por meio da bomba de vácuo a fim de eliminar bolhas de ar com ajuda de uma bomba de vácuo.

Após passar pela bomba de vácuo, o mesmo foi pesado e a temperatura foi medida. Para calcular a massa específica do solo utilizou-se a expressão matemática que consta na norma ABNT 6458: 2016, conforme fórmula abaixo:

$$\delta = \frac{M_1 \cdot 100 / (100 + h)}{[M_1 \cdot 100 / (100 + h)] \cdot M_3 - M_2} \cdot \delta_T$$

Equação 1

δ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm³ M1 = massa do solo úmido.

M2 = massa do picnômetro + solo + água, na temperatura T de ensaio.

M3 = massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio.

h = umidade inicial da amostra.

δ_T = massa específica da água, na temperatura T de ensaio.

5.3.2 Digestão ácida do solo e espectrometria de absorção atômica de chama

As amostras de solo que analisadas quanto a presença de teor dos metais foram coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm nos pontos 1.2.3 e 4, as mesmas foram transportadas para o local de análise e armazenados em refrigerador até o momento dos testes.

Para a análise química do solo, realizou-se a secagem das amostras e a digestão do solo com ácido (ataque sulfúrico) para posteriormente realizar a quantificação dos metais. Fontana, *et. al.* (2017) afirmam que, antes da secagem das amostras, as mesmas devem ser fragmentadas manualmente, seguida de secagem ao ar ou em estufa 40 °C e a separação das frações feitas por peneiramento (TSA). O presente ensaio fez-se o peneiramento por TFSA, a secagem foi feita em estufa.

Após secagem, procedeu-se a digestão ácida das amostras com a solubilização em H_2SO_4 1:1. Esta técnica é importante pois determina as relações moleculares (K_i e K_r), avalia os estágios de intemperização de solos e indicam a composição mineral da fração argilosa. (TEIXEIRA; CAMPOS; FONTANA, 2017).

A curva de calibração foi feita com padrões analíticos certificados com concentrações de 1.000 mg/L com HNO_3 como agente de corte, com cinco concentrações. Essas concentrações irão depender da amostra a ser analisada.

Fez-se uma solução de concentração de 10 mg/L (solução mãe) a partir do padrão analítico certificado (1.000 mg/L ou 1 g/L), utilizou-se a fórmula $C_1.V_1 = C_2.V_2$, onde: C_1 é a concentração do padrão analítico (geralmente 1.000 mg/L); V_1 é o volume necessário do padrão analítico; C_2 é a concentração da solução mãe e V_2 o volume da solução mãe. Para se fazer uma solução mãe de 1.000 mL de concentração 10 mg/L:

$$C_1.V_1 = C_2.V_2 \rightarrow 1.000 \times V_1 = 10 \times 1.000 \rightarrow V_1 = 10 \text{ mL} \text{ Equação 2}$$

Ou seja, utilizou-se 10 mL do padrão analítico e completando para 1.000 mL de água deionizada em balão volumétrico de um litro. Foi adicionado 2 gotas de HNO_3 concentrado nesta solução, além de conservá-la em geladeira. A partir desta solução mãe (10 mg/L) foram feitas as diluições para as concentrações 2, 4, 6, e 8 mg/L. Para a concentração de 8 mg/L, retirou-se 80 mL da solução mãe e completou com água deionizada em balão volumétrico de 100 mL. Para a concentração de 6 mg/L, retirou-se 60 mL da solução mãe e completar com água deionizada em balão volumétrico de 100 mL, e assim por diante.

Depois de realizadas as medidas dos padrões, a curva de calibração foi plotada automaticamente no software do equipamento. Após isso, o equipamento pediu a injeção das amostras desconhecidas. Para tal procedimento, a amostra esteve líquida, não inflamável, com pouca viscosidade e límpida (sem substâncias sólidas) para que não houvesse entupimento durante a medida. Em cada medida das amostras desconhecidas, usou-se 4 a 5 mL.

O aparelho utilizado foi o espectrofotômetro de absorção atômica marca Analytik Jena, modelo NOVAA300. As soluções analíticas contendo Fe, Mn, Zn e Cu, foram preparadas a partir de soluções padrões comerciais com concentração de

1000±2 mg/L (SpecSol) dos respectivos íons, com diluição rigorosa em água deionizada. Foram realizadas diluições das soluções para construção da curva de calibração. As condições operacionais do espectrofotômetro de absorção atômica foram ajustadas no comprimento de onda característico para cada um dos metais com lâmpada específica, largura de fenda, intensidade da lâmpada e correção de ruído.

Após extração dos metais, os valores foram analisados para detectar se existe material tóxico a ponto de afetar a saúde humana, de acordo com a resolução CONAMA 420/2009 (CONAMA, 2009).

Os resultados obtidos nas 4 amostras foram comparados com padrões estabelecidos na Resolução Conama 420/2009 com objetivo de saber se o solo em questão atende aos padrões de qualidade de solo estabelecidos, de acordo com a quantidade de metais (CONAMA, 2009).

O quadro 2 ilustra os padrões estabelecidos com os metais ferro, cobre, manganês e zinco, nota-se que não há valores orientadores para ferro e manganês, por isso, somente o Cu e o Zn foram analisados.

Quadro 3- Lista de valores orientadores para solos

Investigação solo mg.kg ⁻¹				
Substâncias	Prevenção	Agrícola	Residencial	Industrial
Ferro	---	---	---	---
Cobre	60	200	400	600
Zinco	300	450	1000	2000
Manganês	---	---	---	---

Fonte: CONAMA 2009

Valor de prevenção: concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar suas funções principais e Valor de Investigação: concentração de determinada substância no solo, acima da qual existem riscos potenciais diretos ou indiretos, à saúde humana, segundo a Resolução CONAMA nº 420/09 (CONAMA, 2009).

Os valores encontrados e Cu e Zn foram analisados de acordo com os parâmetros do quadro acima: VP (valor de prevenção) e VI (valor de investigação). Neste caso optou-se por não utilizar VRQ (valor de referência de qualidade) de outro Estado, uma vez que o Estado do Paraná não possui estudos de tais valores.

Os resultados para Cu e Zn foram comparados com o VP desta resolução e o VI escolhido foi o agrícola, por se tratar de uma área localizada na região rural. Após,

o solo foi classificado obedecendo o estabelecido na resolução Conama 420/2009. Os valores dos metais encontrados também foram interpretados segundo Oleynik (1998).

5.3.4 Análise pH e matéria orgânica do solo (MOS)

Para análise do pH e da matéria orgânica do solo foram coletadas amostras nas profundidades 0-10 e 10 a 20 cm de cada ponto (p1; P2; P3 e p4) e a metodologia e parâmetro dos resultados foi realizada de acordo com a EMBRAPA, 2011. A oxidação da matéria orgânica via úmida foi aferida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento.

5.4 Teste *Allium cepa* solução aquosa do solo

Os parâmetros considerados em *A. cepa* foram analisados conforme Fiskejo (1985). O bioensaio *Allium cepa* foi feito com extrato aquoso do solo. Pegou-se 300 g de cada amostra de solo e colocou em contato com água no Becker medindo 2000 mL, 1000 mL e 500 mL, respectivamente, aguardou-se por dois dias até a decantação. Em seguida, foi retirado o sobrenadante e os bulbos das cebolas foram colocados em contato para germinar. Na Figura 10 isso pode ser verificado.

Figura 10 - Amostra do solo em decantação água de torneira



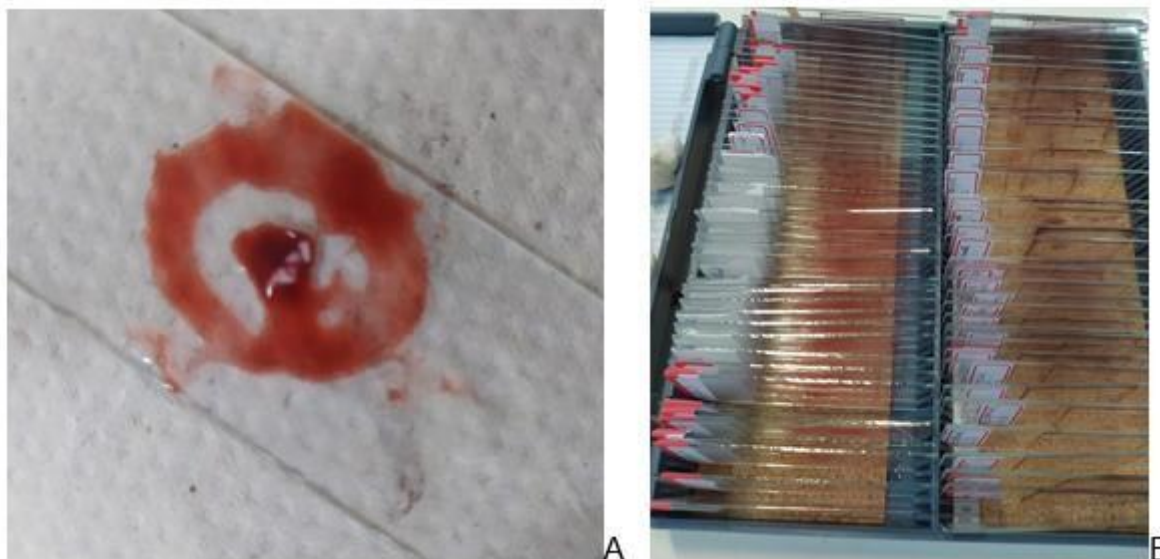
Fonte: Aatoria própria (2022).

Após cinco dias, mediu-se as raízes no paquímetro digital e anotou-se o comprimento, em seguida as raízes foram colocadas em tubos de ensaio com fixador (63 mL de etanol e 21 mL de ácido acético).

Na próxima etapa as raízes foram lavadas por três vezes com água destilada e adicionadas no tubo de ensaio com ácido clorídrico HCl (7mL de ácido para 100 mL de água destilada) por 10 minutos, procedeu-se nova lavagem com água destilada por três vezes e fez-se as lâminas. A avaliação citogenética foi realizada conforme Guerra e Souza (2002) hidrolisadas em HCl 5N por 10 minutos a 28°C, em seguida, foram lavadas em água destilada por 15 minutos cada lavagem e coradas com orceína acética 2%.

Cada raiz foi cortada na região meristemática, adicionada na lâmina com orceína acética 2% e macerada com repiques de bisturi, para posterior observação ao microscópio, conforme Figura 11.

Figura 11 - Região meristemática da raiz de *Allium cepa* repicadas com bisturi e coradas com orceína (A) e Lâminas para observação ao microscópio (B)



Fonte: Autoria própria (2022).

Depois de medida as raízes no paquímetro, os resultados das medições foram tabelados para verificar se houve interferência no crescimento das mesmas, em cada ponto analisado. Os resultados obtidos foram comparados com solo controle de uma região preservada localizada no Paraná. As lâminas foram analisadas em microscópio óptico em aumento de 400 x.

A citotoxicidade foi estabelecida com base no Índice de Alterações Celulares (IAC) calculado a partir do número de alterações celulares observados nos meristemas (equação 3). De cada bulbo observou-se 200 células, totalizando 1,000 células analisadas por tratamento.

$$IAC: \frac{\text{Número de alterações celulares}}{1000} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

A fitotoxicidade foi avaliada com base no comprimento de raízes. Mediu-se com paquímetro digital 5 raízes do feixe radicular de cada bulbo e se estabeleceu a média de comprimento radicular (CR) por tratamento (Equação 4). Outros sinais de toxicidade também foram considerados, como alterações na consistência e cor das raízes, presença de tumores, raízes em gancho e raízes torcidas.

$$CR (cm): \frac{\text{Soma do comprimento de raízes dos feixes radiculares}}{5} \quad \text{Equação 4}$$

As análises ecotoxicológicas em raízes meristemáticas *A. cepa* do solo (solução aquosa) foram feitas no Laboratório de Ecologia Molecular, da Universidade Federal Tecnológica do Paraná – campus Campo Mourão.

O foco com essa coleta de dados avaliou-se a possibilidade de contaminação dos recursos hídricos no entorno da chácara, deste modo, considerou-se os resultados obtidos nas etapas anteriores.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Massa específica do solo

No que se refere à massa específica, os cálculos analisados ficaram entre 2,704 e 2,970 g/cm³ nos pontos 1,2,3 e 4 nas profundidades (0-20, 20-30, 30-40 cm). Não houve grande dispersão entre os valores nas amostras nas profundidades analisadas.

6.2 Ensaio granulométricos: curvas granulométricas

A avaliação granulométrica das amostras foi analisada de acordo com a classificação do substrato por faixa granulométrica (pedregulho, areia, silte e argila) dos sedimentos. Os resultados dos ensaios de granulometria podem ser observados por meio das curvas granulométricas demonstradas nos Gráficos 1 a 12 que se encontram em apêndice.

Com relação à granulometria nos pontos 1, 2, 3 e 4 a maior porcentagem ficou entre silte e argila nas amostras até então analisadas. O resultado pode ser analisado no Quadro 4.

Quadro 4 - Porcentagem de partículas no solo

Partículas	P1 0 a 20 cm	P1 20 a 30 cm	P1 30 a 40 cm	P2 0 a 20 cm	P2 20 a 30 cm	P2 30 a 40 cm	P3 0 a 20 cm	P3 20 a 30 cm	P3 30 a 40 cm	P4 0 a 20 cm	P4 20 a 30 cm	P4 30 a 40 cm
Pedregulho	2,80%	1,20%	1,50%	1,90%	0,40%	0,50%	0,80%	0,90%	0,40%	3,80%	5%	2,80%
Areia	16,50%	6,60%	8,60%	9%	10,80%	3,30%	5%	2,70%	3,40%	12,30%	14,90%	7,80%
Silte	38,70%	65,60%	49,00%	45,20%	63,60%	67,00%	38,50%	31%	30,90%	38,40%	32,10%	29,30%
Argila	41,90%	26,70%	40,90%	43,90%	25,30%	29,30%	55,70%	65,40%	65,20%	45,50%	48%	60%

Fonte: Autoria própria (2023).

Por meio destes resultados, as amostras foram classificadas de acordo com a textura, baseando-se no modelo do triângulo proposto pelo Soil Survey Staff (Kiehl, 1979). A classificação do solo pode ser observada no Quadro 5.

Quadro 5 - Pontos de coleta e partículas

Pontos	Partículas
P1 0 a 20	argila
P1 20 a 30	franco siltosa
P1 30 a 40	argila siltosa
P2 0 a 20	argila siltosa
P2 20 a 30	franco siltosa
P2 30 a 40	franco argila siltosa
P3 0 a 20	muito argilosa
P3 20 a 30	muito argilosa
P3 30 a 40	muito argilosa
P4 0 a 20	argila
P4 20 a 30	argila
P4 30 a 40	muito argilosa

Fonte: Autoria própria (2023).

A comparação textural entre as 12 amostras analisadas, observa-se o predomínio da fração argila na maioria dos pontos de coleta, sendo que muito argilosa no ponto 3 (próximo ao riacho) e no ponto 04 (área de cultivo). Isso indica um ambiente com maior fertilidade, maior matéria orgânica bem como maior capacidade de troca de cátions. Este tipo de solo apresenta dificuldade de infiltração de água, ficando retida no perfil do solo o que proporciona maior presença de microporos (FREITAS, 2013).

Segundo Bradl (2004), a mobilidade dos metais pesados costuma ser menor em solos argilosos e maior em solos arenosos. Vale ressaltar que em todos os pontos analisados há fração significativa de argila, como se pode observar no gráfico 13 em apêndice, classificando-os como argilosos, principalmente os pontos 3 e 4. Considerando o exposto, os solos do ponto 3 (próximo ao riacho) são aqueles em que há menor mobilidade de metais pois apresenta maior relação argila e areia, com maior teor de argila e menor teor de areia

A baixa mobilidade dos metais ocorre porque a adsorção em solos ocorre preferencialmente em argilominerais, isso ocorre devido ao desbalanceamento elétrico em virtude das substituições de cátions no retículo cristalino por outro de menor valência. Ademais, a capacidade de remoção de um soluto pelo solo relaciona-

se com a área superficial disponível, cuja tendência é ser maior nos minerais de argila (OLIVEIRA, 2015).

6.3 Análise Química do solo

Após digestão ácida, os metais foram submetidos aos testes, utilizando-se espectrometria de absorção atômica com chama, conforme descrito na metodologia. Os resultados para metais, em todas as amostras, foram comparados com o valor de prevenção (VP) e valor de investigação (VI), contido na Resolução CONAMA 420/09. (CONAMA, 2012). O valor referência de qualidade (VRQ) para o Estado do Paraná ainda não existe, por isso foi analisado somente com a resolução CONAMA, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Comparativo de VP e VI expressos em solo mg.kg⁻¹ de solo seco

Metal	Conama (VP)	Setor agrícola (VI)	P1	P2	P3	P4
Cobre mg/dm ³	60	200	17	22	23	11
Zinco mg/dm ³	300	450	21	27	18	10

Fonte: Autoria própria (2023).

Valor de prevenção: concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar suas funções principais e Valor de Investigação: concentração de determinada substância no solo, acima da qual existem riscos potenciais diretos ou indiretos, à saúde humana, segundo a Resolução CONAMA nº 420/09 (CONAMA, 2009).

Escolheu-se o valor de investigação (VI) para área agrícola por se tratar de terreno rural. Fez-se análise de ferro e manganês, porém a resolução Conama 420/2009 não possui valores para tais elementos no solo e por isso não foram elencados para este parâmetro. Pode-se observar que os valores tanto para zinco quanto para cobre estão abaixo do VP, sugerindo solo pertencente à classe I ou classe 2. A incerteza da classe se dá devido a inexistência dos valores de referência do Estado do Paraná.

Segundo resolução CONAMA 420/2009, o limite que separa a classe I da classe II é o VRQ, o limite que separa a classe II da classe III é o VP e o limite que separa a classe III da classe IV é o VI. Solos com elementos cujas concentrações sejam menores que o VRQ são considerados classe I, solos cujas concentrações sejam maiores do que o VRQ e menores ou iguais ao VP, são considerados da classe II, quando as concentrações são maiores que VP e menores ou iguais ao VI temos classe III e solos com concentrações acima do VI são considerados solos de classe IV (CONAMA 420/2009).

Segundo este mesmo órgão, solo pertencente à classe I não requer ações, e solos de classe II poderá requerer avaliação de um órgão ambiental para constatar se a substância tem ocorrência natural ou se provém de alguma fonte poluidora, podendo indicar ações de controle, não necessariamente de investigação. Pode-se afirmar com certeza que as amostras analisadas não são da classe III, uma vez que as concentrações de cobre e zinco não ultrapassam o VP, mas não se pode afirmar que não pertença à classe II, pois não se conhece o VRQ para saber se as concentrações de tais metais são maiores que este valor é menor que o VP.

As maiores concentrações de Zn estão nas amostras coletadas no P2 (ao lado do poço artesiano) próximo à residência dos moradores e P1 (região próxima a divisa do ferro-velho com a chácara). Com relação ao Cu, o mesmo teve maior concentração no P3 (porção final e rebaixada, próxima ao riacho) e também no P2.

Por outro lado, foram analisados os níveis destes metais no solo, os mesmos apresentaram tais resultados: o Cu (P1: 17; P2: 22; P3 23 e P4 11); o Zn (P1: 21; P2: 27; P3 18 e P4 10), o Fe (P1: 56; P2: 90; P3 63 e P4 50) e o Mn (P1: 97; P2: 109 ; P3:110 e P4: 73). Segundo Oleynik (1998), estes níveis são considerados elevados com relação a quantidade de metais encontrados nos pontos analisados, pode-se afirmar que o Cu, Zn, Mn e Fe atingiram uma proporção muito alta no solo, mesmo que não apresentem toxicidade no momento de análise. A não toxicidade pode ser explicada pelo fato desses metais não estarem disponíveis no nível de pH e MOS analisadas. O ponto 4, próximo à área de agricultura, foi a que demonstrou menor teor de todos os metais, talvez devido ao local estar sem plantio no momento da coleta.

A maior concentração do Cu no P3, área mais rebaixada, provavelmente tenha ocorrido devido a declividade do terreno, a infiltração dos escoamentos superficiais pode ter sido menor, aumentando a concentração de cobre nas partes mais baixas. O mesmo acontece com P2, onde a concentração dos dois metais é mais elevada.

6.4 pH e Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Os resultados para MOS (matéria orgânica do solo) e pH se encontram no quadro 7.

Quadro 7 - Resultados para MOS e pH

Pontos	pH (H ₂ O)	M.O.S mg/dm ³	Carbono g/dm ³
P1 0 a 10	6	26,65	15,46
P1 10 a 20	5,9	19,6	11,6
P2 0 a 10	6,3	29,88	17,33
P2 10 a 20	6,2	25,68	14,9
P3 0 a 10	6,9	24,88	14,43
P3 10 a 20	6,5	22,94	13,31
P4 0 a 10	6,4	14,87	8,6
P4 10 a 20	6,5	10,99	6,38

Fonte: Autoria própria (2023).

Por meio dos resultados, pode-se dizer que o ponto 1 em ambas as profundidades, possui pH no nível médio já os pontos 2, 3 e 4 possuem pH considerado alto em todas as profundidades, a quantidade de MOS nos pontos 1, 2 e 3 é considerada média, porém, as do ponto 4 é considerada baixa, análise de acordo com o Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo da Embrapa (SOBRAL, *et al.*, 2015).

Solos ácidos se caracterizam por apresentar maior mobilidade de metais, no que se refere a esse quesito, todos os solos não foram detectados como ácidos, está de médio a alto. Isso indica que estes solos apresentam menor mobilidade de metais, ficando os mesmos retidos no solo, principalmente nos pontos 2, 3 e 4 onde o pH é alto. Isso se explica porque grande parte das cargas presentes nos solos são dependentes de pH, ou seja, à medida que o pH aumenta o número de cargas negativas aumenta e à medida que ele diminui, aumenta o número de cargas positivas. Desta maneira, havendo um maior número de cargas negativas no solo (pH alto) essas cargas atrairão cargas opostas (metais) ocasionando a adsorção não específica, reduzindo a mobilidade dos metais pesados no solo, uma vez que não estarão mais disponíveis (TEMMINGHOFF *et al.*, 1995).

O local de pH e MOS no nível médio, está na porção alta, na divisa da chácara com o ferro velho e corresponde ao P1. Já o P2 e P3 possuem pH alto e MOS no nível

médio (ao lado do poço e próximo ao riacho) e ponto 4 com pH alto e MOS baixa, está próxima à área de cultivo, mas sem plantio no momento da coleta.

Em solos que apresentam alto teor de matéria orgânica (MO), sabe-se que há menor mobilidade de metais pesados. A afinidade da MO se justifica pela sua configuração e profusão de grupos fenólicos bem como carboxílicos, tal afinidade é similar à adsorção de argilas silicatadas e óxidos (SCHLAUTMAN e MORGAN, 1994).

Nos solos dos pontos 1,2 e 3 onde o teor de matéria orgânica é maior, a tendência é formar complexo com metais, como por exemplo, Cu e Zn, diminuindo a disponibilidade deste na solução, por outro lado, a disponibilidade destes metais poderia aumentar nos solos do ponto 4, onde o teor de matéria orgânica é considerado baixa, porém é compensada pelo pH alto.

6.5 Teste *Allium cepa*: citogenotoxicidade

A Tabela 1 indica o índice de crescimento de raízes e índices mitóticos de meristemas de raízes provenientes de bulbos de *Allium cepa* L. Expostos por 120 horas a diferentes extratos aquosos de solos provenientes de coleta de solo na área de estudo.

Tabela 1 - Concentração 1 (300 g de solo em 500 mL de água); concentração 2 (300 g de solo em 1000 mL de água) e concentração 3 (300 g de solo em 2000 mL de água)

	TR	IM/DP	IAC/DP
	Solo Co	100,00 ± 0,85	0,20±1,20
Solo P* (controle)	[1]	90,70 ±0,97	0,40±0,90
	[2]	88,44 ±1,25	0,20±1,24
	[3]	80,22 ±1,38	0,60±0,77
Solo P1	[1]	80,89 ±1,90	0,20±0,88
	[2]	82,90 ±1,90	0,20±1,08
	[3]	92,00 ± 0,85	0,20±0,95
Solo P2	[1]	91,40 ±0,92	0,60±0,50
	[2]	88,44 ±1,15	0,60±1,04
	[3]	85,22 ±1,24	0,60±0,97
Solo P3	[1]	89,80 ±1,92	0,40±0,88
	[2]	85,90 ±1,95	0,20±1,08

	[3]	88,90 ±1,93	0,20±1,00
	[1]	79,50 ±1,78	0,40±0,55
Solo P4	[2]	75,90 ±1,00	0,60±1,45
	[3]	76,90 ±1,93	0,20±1,13

P*: Ponto controle (área preservada, sem contaminação); P: de coleta de solo; TR: Tratamento; ICR: Índice de Crescimento Relativo; IM: Índice Mitótico, DP: Desvio Padrão, Co: Controle (água destilada). *Data are expressed as percentage of control values. Asterisks indicate statistically significant differences between concentrations and control, segundo o teste Kruskal-Wallis com Dunn teste post hoc (p≤0.05).*

Fonte: Aatoria própria (2023).

Com base nos resultados obtidos na Tabela 1, verificou-se que extratos aquosos de solos provenientes das coletas na Chácara São José, não foram citotóxicos e nem genotóxicos em meristemas de raízes de *A. cepa*. Isso representa o que já foi discutido pois, solo com textura argilosa, MO moderada a elevada, pH não ácido, dificulta a mobilidade destes metais, e a biodisponibilidade para as plantas fica reduzida.

6.6 Teste *Allium cepa*: fitotoxicidade

Os resultados da Tabela 2, indicam que é bem possível que haja contaminação no solo, uma vez que os metais são tóxicos ao sistema *Allium cepa*, Observa-se que nos pontos 2, ponto 3 (500 mL e 2000mL), bem como no ponto 2 (1000 mL) houve redução no crescimento das raízes, mas nada muito significativo. O teste em *Allium cepa* é um modelo que representa outras espécies de plantas bem como estudos de avaliação de toxicidade em animais.

Tabela 2 - Médias de crescimento de raízes em centímetros

	500 mL	1 L	2 L
P1	330,09	417,11	401,14
P2	147,11*	178,91*	192,59*
P3	176,22*	202,41	111,24*
P4	295,38	122,63	275,29
Co	250,09	233	219,8

*Co: controle

Fonte: Aatoria própria (2022).

O P2 e P3 são aqueles que demonstraram maior teor dos metais Cu, Zn, Mn e Fe, de acordo com as análises químicas realizadas, também maior MOS e maior pH o que dificulta a disponibilidade dos metais no solo. Devido a isso, pode ter afetado parcialmente o crescimento das raízes nestes pontos.

7 PRODUTO

Como produto será realizado um relatório técnico, disponibilizando a metodologia e resultados para futuros trabalhos em áreas similares.

8 CONCLUSÃO

Até o presente momento, o solo não foi considerado tóxico para a saúde humana de acordo com resolução Conama, porém, segundo Oleynik (1998), os metais Cu, Zn, Fe e Mn estão com níveis muito altos em todas as amostras analisadas. Todavia, a textura do solo (na grande maioria argila siltosa, argila ou muito argilosa), contribui para a adsorção dos metais, deixando-os com pouca mobilidade. O fator pH e MOS, de acordo com os resultados, também contribui para a adsorção dos metais, uma vez que sua mobilidade é facilitada pelo pH ácido e baixa matéria orgânica no solo, que não ocorreu na maioria das análises.

Em se tratando do Teste *Allium cepa*, as amostras analisadas não demonstraram genotoxicidade e quanto à fitotoxicidade, não atingiu níveis significativos. Pode-se afirmar que os recursos hídricos próximos à área ocupada pelo depósito de ferro-velho, não estão com uma contaminação significativa de metais pesados, de acordo com os resultados apresentados e discutidos referentes às análises físico-químico do solo no entorno.

Sugere-se um estudo mais detalhado com o passar do tempo, pois o ferro-velho está no local há cinco anos, e processos como lixiviação pelas águas das chuvas, no terreno em declive, pode vir a contaminar o solo de maneira tóxica. Outro detalhe seria coleta de amostras mais profundas e também no local em que as sucatas estão depositadas, não somente nos arredores. O local agricultável (P4) também não possui níveis de metais muito significativos, na verdade foi onde eles se apresentaram em menor concentração.

REFERÊNCIAS

ADEDEJI, O. H; OLAYINKA, O. O.; NWANYA, F. C. *Soil and water pollution levels in and around urban scrapyards*. **J Environ Sci Toxicol Food Technol**, 8, 60-68, 2014.

ADEOLA, O. *et al*. *Landuse and surface water quality in an emerging urban city*. **Applied Water Science**, v. 9, n. 2, p. 1–12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0903-2>. Acesso em: 10 out. 2022.

AMORIM, Fábio Alan Carqueija *et al*. Espectrometria de absorção atômica: o caminho para determinações multi-elementares. **Química Nova**, v. 31, p. 1784-1790, 2008.

ANDRIESSE, J. P. Nature and management of tropical peat soils. Rome, FAO, 1988. (FAO SOILS BULLETIN 59).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Amostras de solo preparação – NBR 6457, 1986**. Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2012/03/nbr-6457.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Análise granulométrica – NBR 7181, 1988**. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1968/abnt-nbr7181-solo-analise-granulometrica>. Acesso em: 20 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Determinação da massa específica, NBR-6508, 1984**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Massa específica dos grãos – NBR 6508, 2016**. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1964/nbr6508-graos-de-solos-que-passam-na-peneira-de-48-mm-determinacao-da-massa-especifica>. Acesso em: 20 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York. Springer, 2010.

ALMEIDA JUNIOR, A. B. **Teores naturais e valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do estado da Paraíba**. 2014. 93f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo – Universidade Federal Rural de Pernambuco, R

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2020: Informe anual**. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura-2020>. Acesso em: 19 mar. 2021

ANTONIOLLI, Zaida Inês *et al.* Metais pesados, agrotóxicos e combustíveis: efeito na população de colêmbolos no solo. **Ciência Rural**, v. 43, p. 992-998, 2013.

AQUINO, J. G. Perigos relativos ao descarte inadequado de resíduos eletroeletrônicos domésticos. In: BEZZERA, R. P. L.; AGUIAR, W. J.; EL-DEIR, S2010. G. (Org.). **Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias**. Recife: EDUFRPE, p. 174-187, 2017.

AZEVEDO, Joaquim Alexandre Moreira. **Biomonitoramento de metais traço (Fe, Zn, Cu, Mn, Cd e Cr) em áreas de manguezal de Alagoas(Brasil) usando ostras *ClassostrearrhizopHorae***. Dissertação (Mestrado Profissional em Análise de Sistemas Ambientais) - Programa de Pós-Graduação Análise de Sistemas Ambientais, Centro Universitário CESMAC, Maceió-AL, p.36, 2017.

AZZOLINI, J. C.; FABRO, L. F. Monitoramento da eficiência do sistema de tratamento de efluentes de um laticínio da região meio-oeste de Santa Catarina. **Unoesc & Ciência**, v. 4, n. 1, p. 43-60, 2013.

BARROS, J.G.C. Origem, distribuição e Preservação da Água no Planeta Terra. Revista GT Águas, ano 6,nº 11, Fev.2010.

DE AQUINO, Jurandy Gomes *et al.* 2.8. PERIGOS RELATIVOS AO DESCARTE INADEQUADO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS DOMÉSTICOS. **Resíduos Sólidos**, p. 174, 2017.

BECK, F. de L.; *et al.* **Projeto pedagógico-ensino de graduação**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 2000. 26p. (Boletim Técnico, n-6).

BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais Pesados do Solo após aplicação de Biossólido. I – Fracionamento. Revista Brasileira de Ciência do Solo 2004, 28, 543.

BRAGA, J. R. M.; LOPES, D. M. Citotoxicidade e genotoxicidade da água do rio Subaé (Humildes, Bahia, Brasil) usando *Allium cepa* L. como bioindicador. **Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p. 130-140, 2015.

BRADL, HB (2004) Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. Journal of Colloid and Interface Science, 277:1-18

BRASIL. Senado Federal. **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 10 out. 2022.

BRASIL. Senado Federal. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Presidência da República, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 20 mar. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: MS, 2001.

BRITO, M.G. **Metodologia para avaliação e remediação da contaminação por metais pesados em áreas industriais degradadas**. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 360 pp. 2005.

BU, H. *et al.* *Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China*. **Ecological Indicators**, v. 41, p. 187-197. 2014.

CARMO, L. R.; LEAL, L. S.; RIBEIRO, L. R. *Allium cepa* e teste do Micronúcleo como bioindicadores de citogenotoxicidade em extratos aquosos de plantas medicinais. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 82419-82430, 2020.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B. Matéria orgânica de três solos dos campos inundáveis da Ilha de Marajó/PA. R. Bras. Ci. Solo, 12:93-100, 1988.2007.

CHAVES, L. H. G.; SOUZA, R. S. de; TITO, G.A. Adsorção de zinco em argissolos do estado da Paraíba: efeito do Ph. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 4, p. 511-516, 2008.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo. CETESB, 2001.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Res. 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. Brasília: CONAMA, 2009.

CORRÊA, L. R. de S. **Diagnóstico Da Qualidade Da Água Na Bacia Hidrográfica Do Rio Mucuri**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Tecnologia e Gestão) — Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e MucuriUFVJM. Teófilo Otoni – MG, 2016.

DAMAME, D. B. *et al.* Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub-bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 3, n. 1, p. 1, 2019.

DONG, X. *et al.* *A novel approach for soil contamination assessment from heavy metal pollution: a linkage between discharge and adsorption*. **J Hazard Mater**, v.175 p. 1022-1030, 2010

DUPASA, R. *et al.* *Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk*. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 396-407. 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 2011. 230p

ENGENHEIRO BELTRÃO. Prefeitura Municipal. **Dados estatísticos**. Disponível em: <https://www.engenheirobeltrao.pr.gov.br/portal/servicos/1004/dados-estatisticos/#:~:text=Possui%20uma%20%C3%A1rea%20de%20467,km%20de%200%20Foz%20do%20Igua%C3%A7u>. Acesso em: 10 out. 2022.

FIA, R. *et al.* Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p. 267–275, 2015.

FISKESJO, G. O teste *Allium cepa* como padrão em monitoramento ambiental. **Hereditas**, 102 (1), 99-112. 1985.

FONTANA A. *et al.* Preparo de amostras e separação de terra fina, cascalho e calhaus . In: Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev e ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2017. p. 265-9.

GALVÃO, F. A. D.; VAHL, L. C. Propriedades químicas dos solos orgânicos do litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 2, p. 131-135. 1996.

GUEDES, A. F. *et al.* Tratamento da água na prevenção de doenças de veiculação hídrica. **Journal of Medicine and Health Promotion**, v. 2, n. 1, p. 452-461, 2017.

HERRERO, O. *et al.* *Toxicological evaluation of three contaminant of emerging concern by use of Allium cepa test*. **Mutation Research**, v. 743, n. 1, p. 24-34, 2012.

ISELL, R. F. The Australian soil classification. Collingwood, CSIRO, 1996. 143p.

JAIN, C. K.; MALIK, D. S.; YADAV, Rashmi. Metal fractionation study on bed sediments of Lake Nainital, Uttaranchal, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 130, n. 1, p. 129-139, 2007.

JARADAT, Q.M. *et al.* *Heavy metal contamination of soil, plant and air of scrapyards of discarded vehicles at Zarqa City, Jordan*. **Soil Sediment Contam**, 14, 449–462, 2005.

KANG, J. H. *et al.* *Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan river basin*. **Water Research**, v. 44, p. 4.143-4.157. 2010.

KEHRIG, H.; MALM. O. **Bioconcentração e biomagnificação de metilmercúrio na baía de Guanabara**. Rio de Janeiro. *Quim. Nova*, v. 3, p. 377-384, 2011.

KIEHL, E.J. Manual de Edafologia: Relações solo–planta. São Paulo: Editora Agronômica CERES, Ltda, 1979, 264p.

KLAUCK, C. R. *et al.* *Evaluation of acute toxicity, cytotoxicity and genotoxicity of landfill leachate treated by biological lagoon and advanced oxidation processes.* **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 6, p. 6188-6193, 2017.

KRUG, F. J.; NÓBREGA, J. A. **Espectrometria de absorção atômica – fundamentos e atomização com chama.** Apostila CENA, USP, 2004. Disponível em: <http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/AAS-geral-parte-1-revisada.pdf>. Acesso em 24 de março de 2022.

LEE, S. W. *et al.* *Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics.* **Landscape and Urban Planning**, v. 92, p. 80-89

LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa test in environmental monitoring: A review on its application.* **Mutation Research**. v. 682, n. 1, p. 71–81, 2009.

MAGESWARI, S. *et al.* *Contamination of groundwater quality due to municipal solid waste disposal—a GIS-based study in Perungudi Dump Yard.* **Int. J. Eng. Technol**, v. 4, p. 952-964, 2017.

MALAMAN, A. C. P. **Avaliação da citogenotoxicidade de águas fluviais na área urbana do município de Presidente Prudente-SP através do teste *Allium cepa* L.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional), Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente – SP, 2019.

MARÇAL, D. A.; SILVA, C. E. Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, 2017.

MARTÍN, A. Chicharro; RIVERO, V. Cala; MARÍN, MT Larrea. *Contamination by heavy metals in soils in the neighbourhood of a scrapyard of discarded vehicles.* **Science of the total environment**, v. 212, n. 2-3, p. 145-152, 1998.

MATOS, L. A. *et al.* The influence of heavy metals on toxicogenetic damage in a Brazilian tropical river. **Chemosphere**, v. 185, n. 1, p. 852-859, 2017.

MEDINA, Heloisa Vasconcellos de; GOMES, Dennys Enry Barreto. **A indústria automobilística projetando para a reciclagem.** 2002.

MELO, C. A.; D., Dias, R. C., Mendes, K. F., Assis, A. C. L. P., & Reis, M. R. (2016). Herbicides carryover in systems cultivated with vegetable crops. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 15(1), 67-78.

MENDES, S. A. **Avaliação de recursos hídricos na região sudoeste do Estado do Paraná, Brasil, sob influência de atividades antrópicas.** 2019. Dissertação (Mestrado em Inovações Tecnológicas) - Curso de Pós-Graduação em Inovações Tecnológicas, Universidade Tecnológicas Federal do Paraná, Campo Mourão-PR, 2019.

MENEZES, J. P. C. *et al.* Correlation between land use and groundwater quality. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19. p. 173-186. 2015.

MENEZES, J. P. C. *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 519–534, 2016.

MIRANDA, Cristiana do Couto *et al.* Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 905-916, 2007.

NGOYE, E.; MACHIWA, J. F. *The influence of land use patterns in the Ruvu river watershed on water quality in the river system.* **PHysics and Chemistry of the Earth**, v. 29, p. 1.161-1.166. 2004.

NWACHUKWU, M. A.; FENG, Huan; ALINNOR, Jude. *Assessment of heavy metal pollution in soil and their implications within and around mechanic villages.* **International Journal of Environmental Science & Technology**. v. 7, n. 2, p. 347-358, 2010.

OLEYNIK, J. *et al.* **Análises de Solo: Tabelas para Transformação de Resultados Analíticos e Interpretação de Resultados.** 5ª Ed. Curitiba: EMATER, 1998. 64 p.

OLIVEIRA, Mônica Diene Rodrigues de *et al.* **Avaliação da contaminação do solo pela disposição inadequada de resíduos sólidos em Romaria-MG.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

OLIVEIRA, R. C. B.; MARTINS, R. V. Dinâmica de Metais-Traço em Solo e Ambiente Sedimentar Estuarino como um Fator Determinante no Aporte desses Contaminantes para o Ambiente Aquático: Revisão. **Revista Virtual de Química**. 3, 88. 2011.

OLIVEIRA, B. R; Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Brasil, 2012.

PELICA, J. P. F. **Fitorremediação em solos contaminados com arsênio, por duas espécies de Eucalyptus.** Dissertação (Doutorado em Ambiente e Sustentabilidade. Faculdade de Ciências e Tecno Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2017.

PRIETO, A. *et al.* *Levels and spatial distribution of inorganic and organic contaminants in sediments along the Bilbao estuary.* **Marine pollution bulletin**, v. 56, n. 12, p. 2094-2099, 2008.

RAMALHO, J.F.G.P.; SOBRINHO, N.M.B.A.; VELLOSO, A.C.X. Contaminação da microbacia de caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.7, p.1289-1303, 2000.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: Base para**

distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1999.

REVITT, D. Michael *et al.* The sources, impact and management of car park runoff pollution: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 146, p. 552-567, 2014.

RIBEIRO, M. A. do C. **Contaminação do solo por metais pesados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia. Lisboa, Portugal, 2013.

ROTHWELL, J. J. *et al.* A special and seasonal assessment of river water chemistry across North West England. **Sciences of the Total Environment**. v. 408, p. 841-855. 2010.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. v. 1. 306 p.

SCHLAUTMAN, M.A.; MORGAN, J.J. *Adsorption of aquatic humic substances on colloidal size aluminium oxide particles: influence of solution chemistry.* **Geochimica et Cosmochimica Acta**. v.58, n.20,p.4293-4303, 1994.

SILVA, R. A. S. *et al.* Aplicação de um Índice de Qualidade de Água para o sistema de abastecimento público. **Scientia Plena**, vol. 13, num. 10, 2017.

SILVA, Wildson de Moraes. **Metais pesados em solos de manguezais em estuários da bacia Paraíba, Nordeste do Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

SOBRAL, L. F. *et al.* **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015

SODRÉ, F. F. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. **Artigos Temáticos do AQUA**, 2012

SORIANO, Érico *et al.* *Water crisis in São Paulo evaluated under the disaster's point of view*. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 21-42, 2016.

STEFFEN, G. P. K., Steffen, R. B., & Antonioli, Z. I. (2011). **Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos.** **Tecnológica**, 15(1), 15-21

TEIXEIRA P.C, CAMPOS D.V.B, FONTANA A. Ataque Sulfúrico. In: TEIXEIRA P.C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev e ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2017f. p. 265-9.

TEIXEIRA, Wilson *et al.* **Decifrando a Terra.** 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

TEIXEIRA, R.S. **Caracterização e avaliação da contaminação do solo laterítico da área do depósito de resíduos sólidos urbanos de Londrina por metais pesados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC.2008.

TEMMINGHOFF, E.J.M.;ZEE, S.; HAAN, F.A.M. *Speciation and calcium competition effects on cádmium sorption by Sandy soil at various pHs*. **European Journal of Soil Science**. v.46, n.4,p.649-655, 1995.

TRAN, C. P. *et al. Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA)*.**Ecological Indicators**, v. 10, p. 727-733. 2010.

VALENTE, B. S. *et al. Impactos ambientais dos resíduos sólidos no município de Pelotas/RS: Um olhar fotográfico*. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 97-104, 2016.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 p.

WU Y, PENG X, HU X. *Vertical distribution of heavy metal in soil of abandoned vehicles dismantling area*. **Asian J Chem**. 25, 8423-8426, 2013.

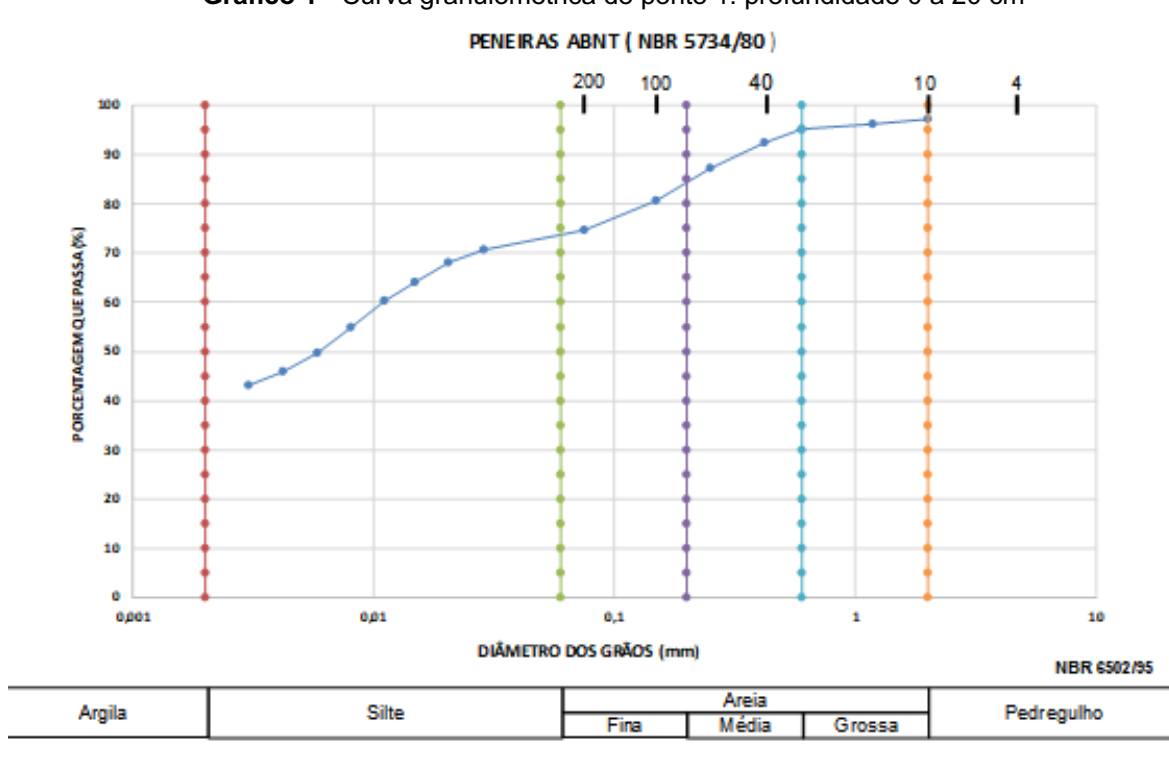
YABE, Maria Josefa Santos; OLIVEIRA, Elisabeth de. *Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas*. **Química Nova**, v. 21, p. 551-556, 1998.

ZAHRA, Azmat *et al. Enrichment and geo-accumulation of heavy metals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah—feeding tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan*. **Science of the Total Environment**. v. 470, p. 925-933, 2014.

APÊNDICES

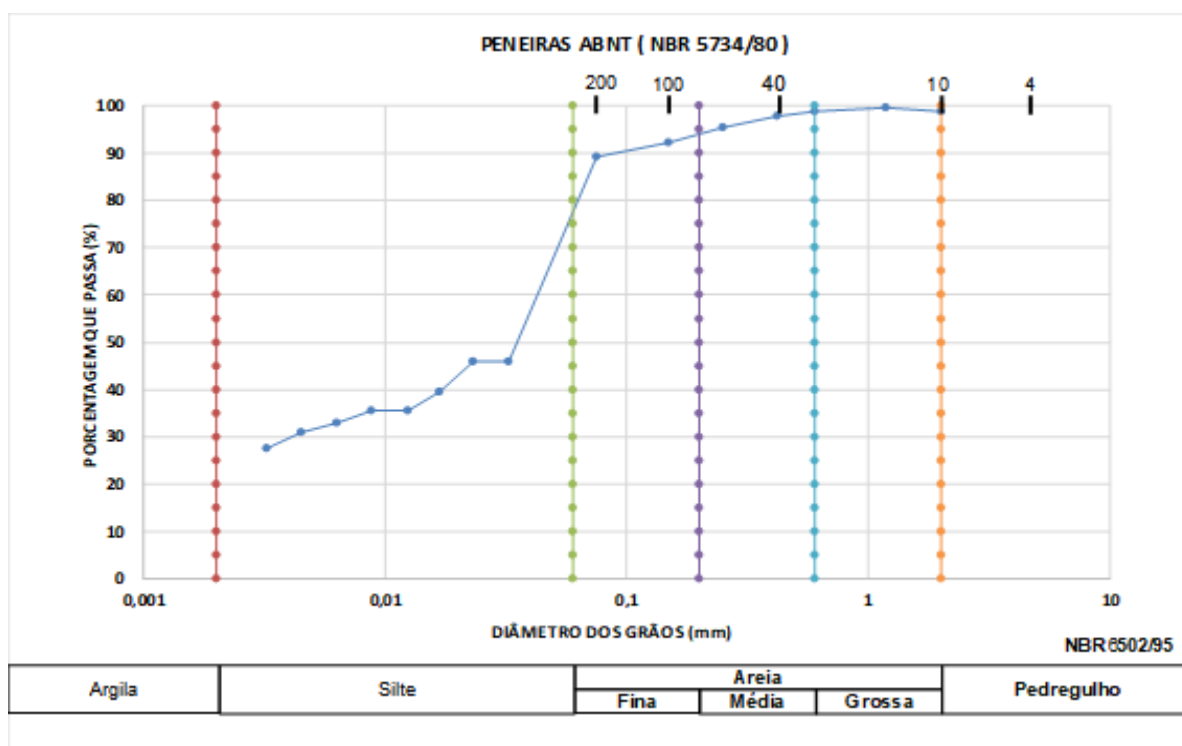
APÊNDICE 1 - GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica do ponto 1: profundidade 0 a 20 cm



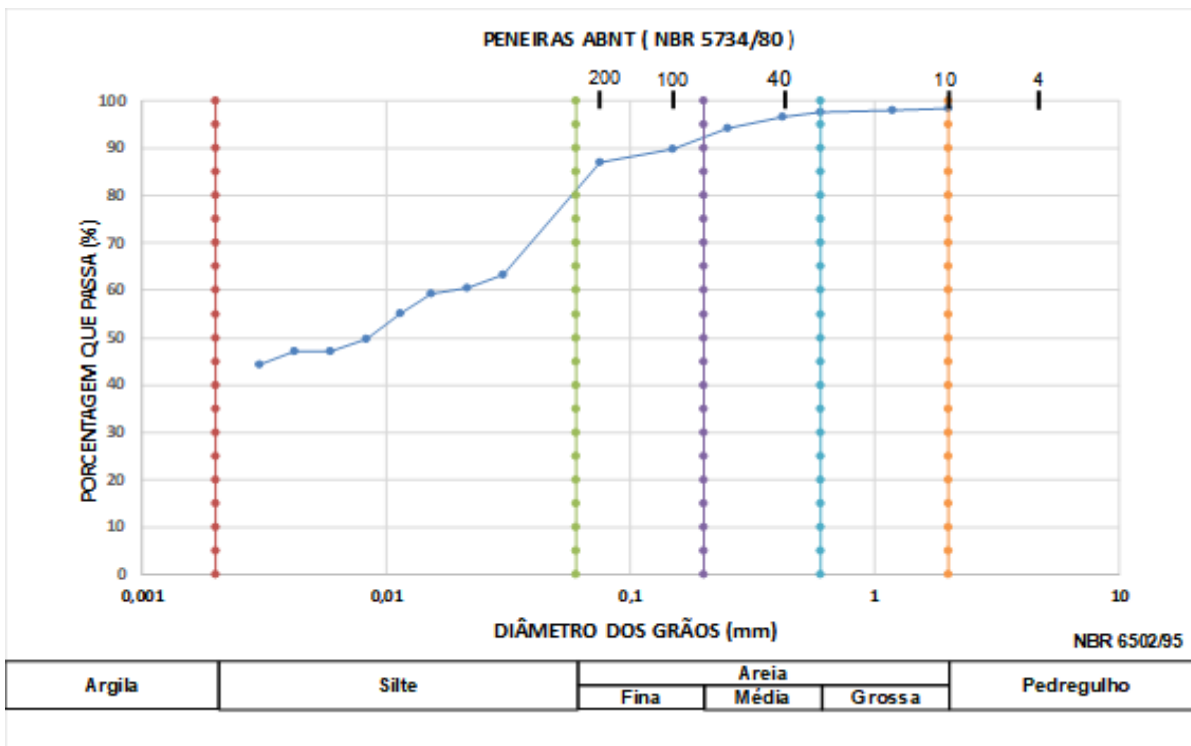
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 2 - Curva granulométrica do ponto 1: profundidade 20 a 30 cm



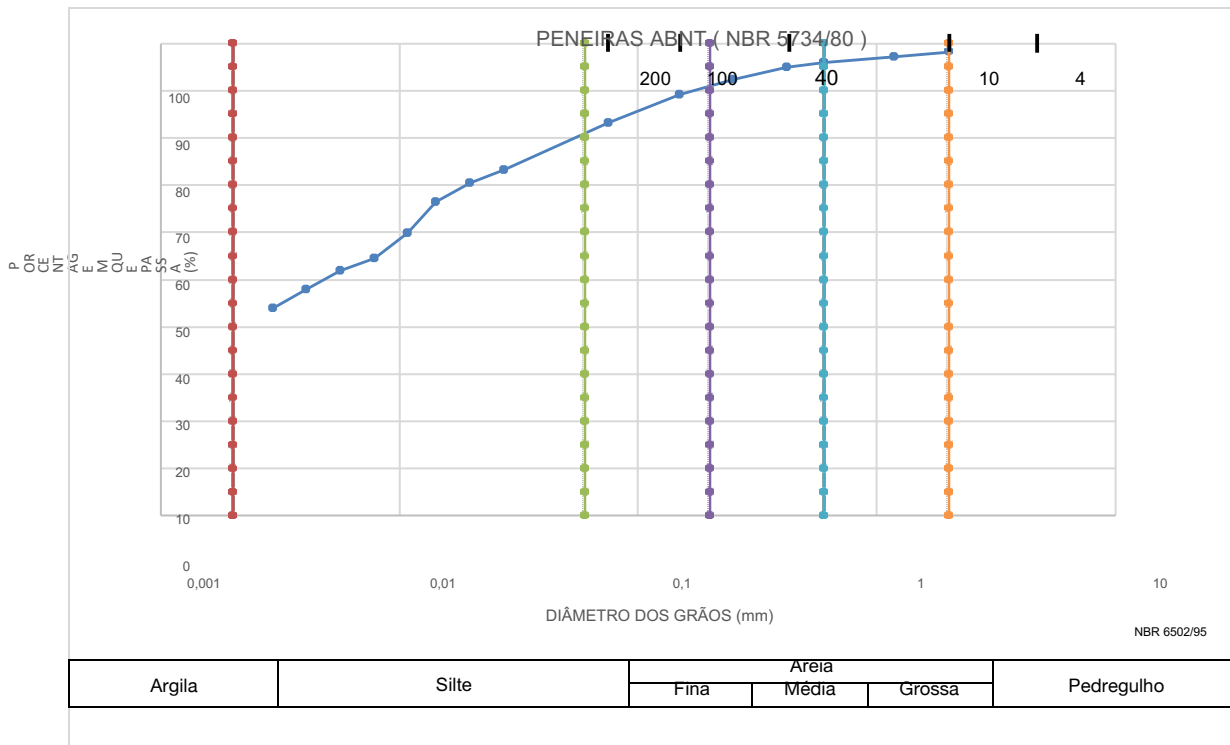
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 3 - Curva granulométrica do ponto 1: profundidade 30 a 40 cm



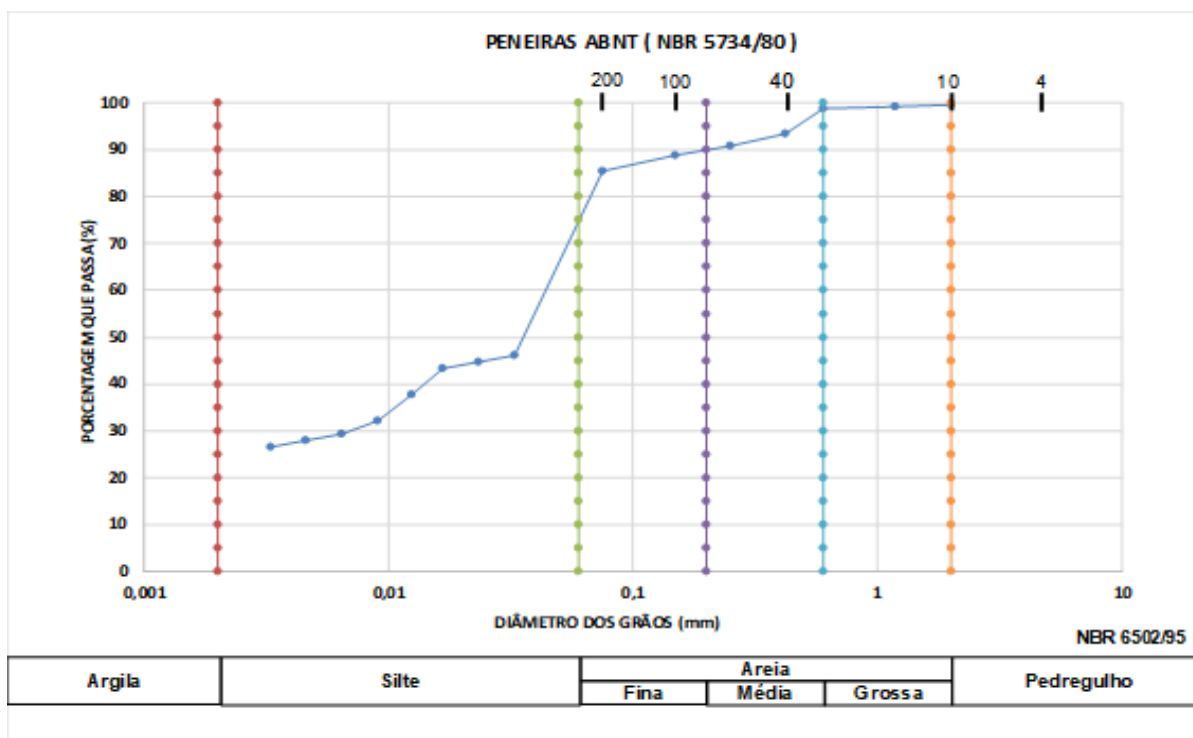
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 4 - Curva granulométrica do ponto 2: profundidade 0 a 20 cm



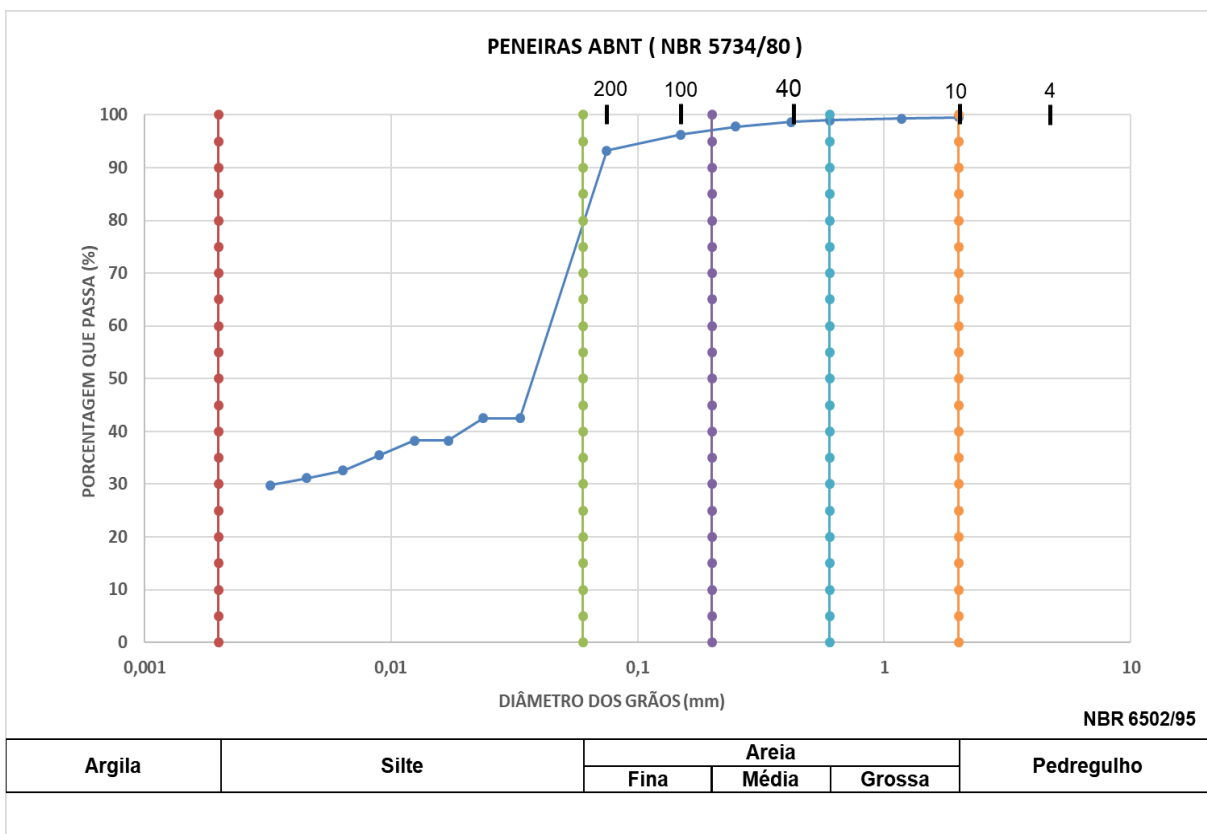
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 5 - Curva granulométrica do ponto 2: profundidade de 20 a 30 cm



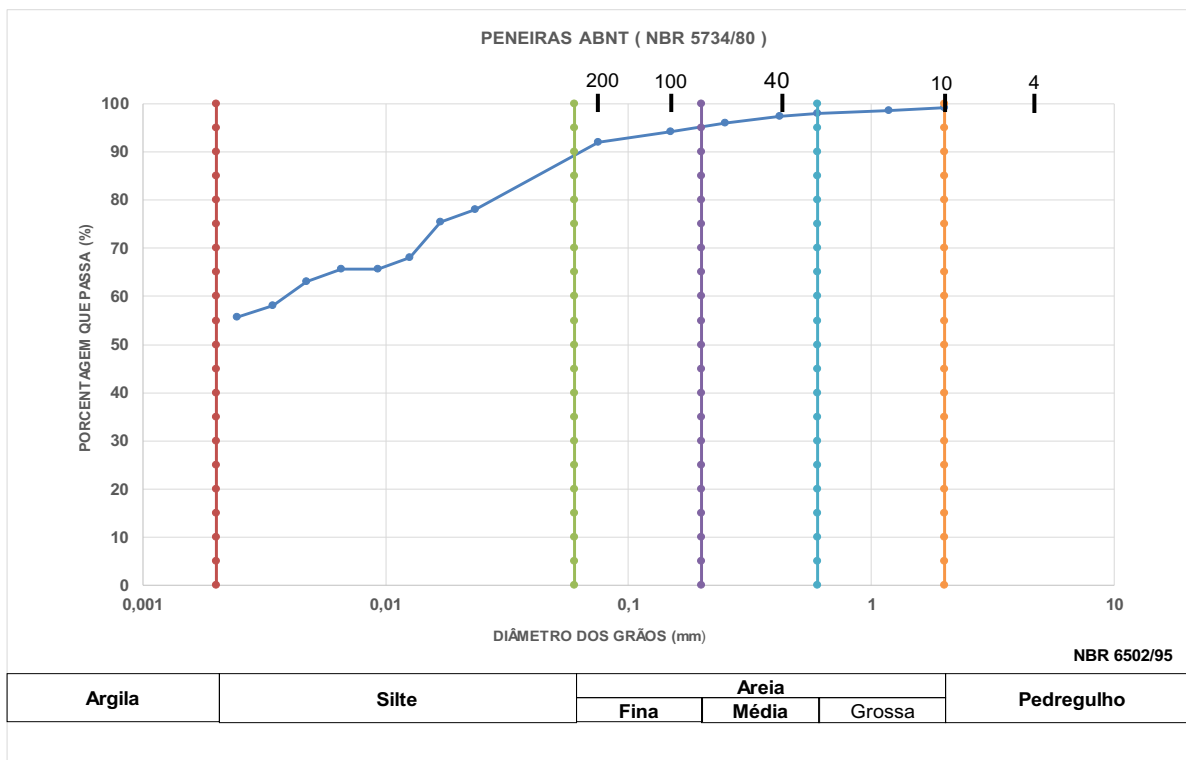
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 6 - Curva granulométrica do ponto 2: profundidade de 30 a 40 cm



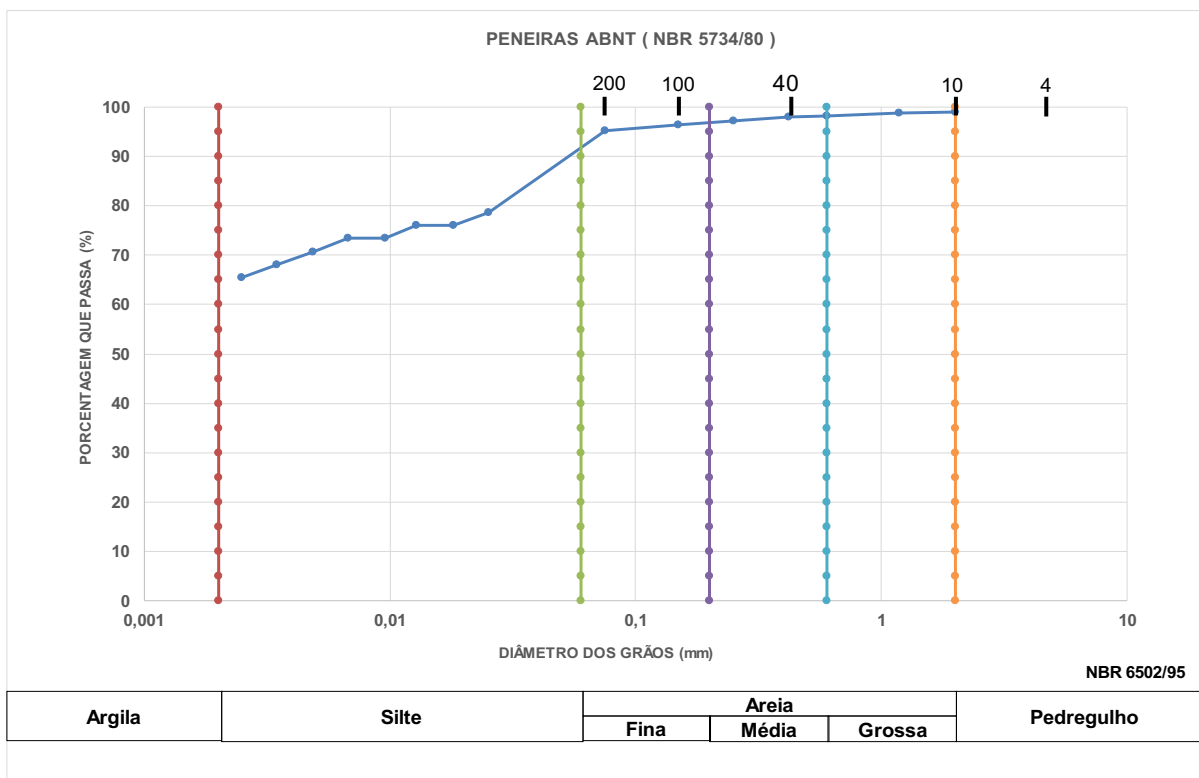
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 7 - Curva granulométrica do ponto 3: profundidade de 0 a 20 cm.

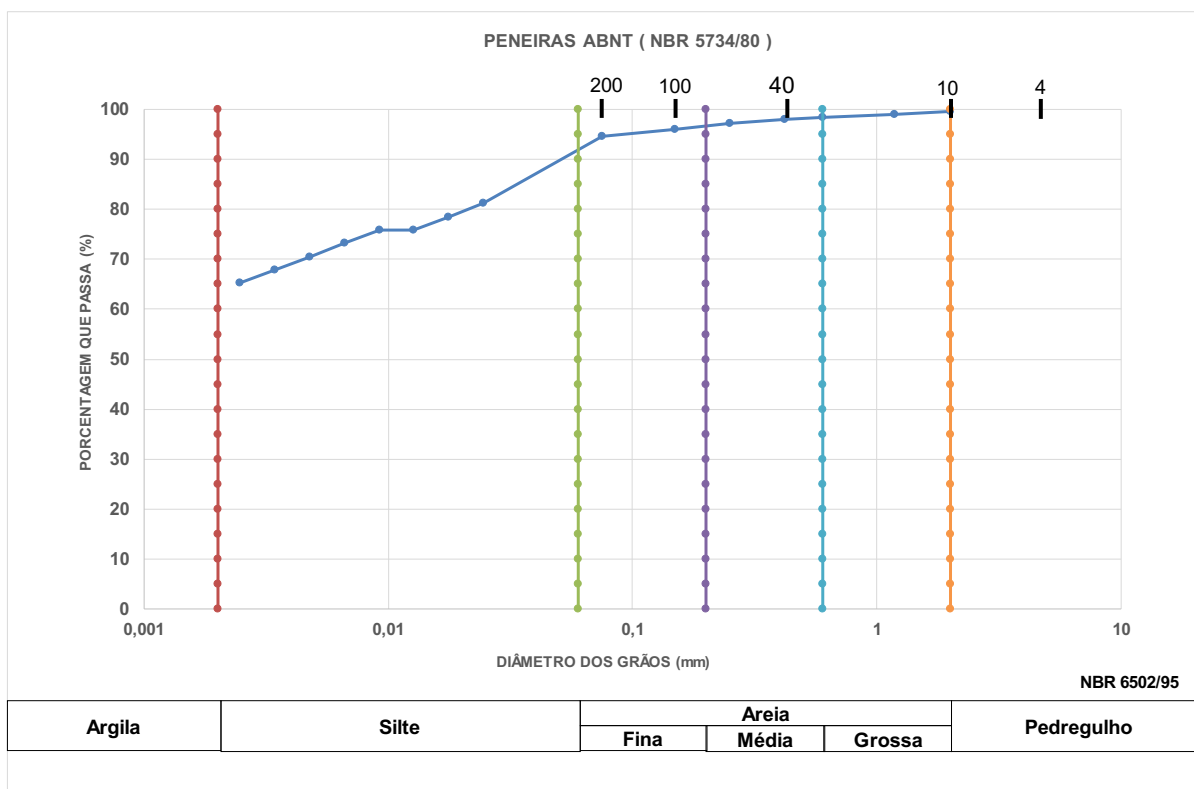


Fonte: Autoria própria (2022).

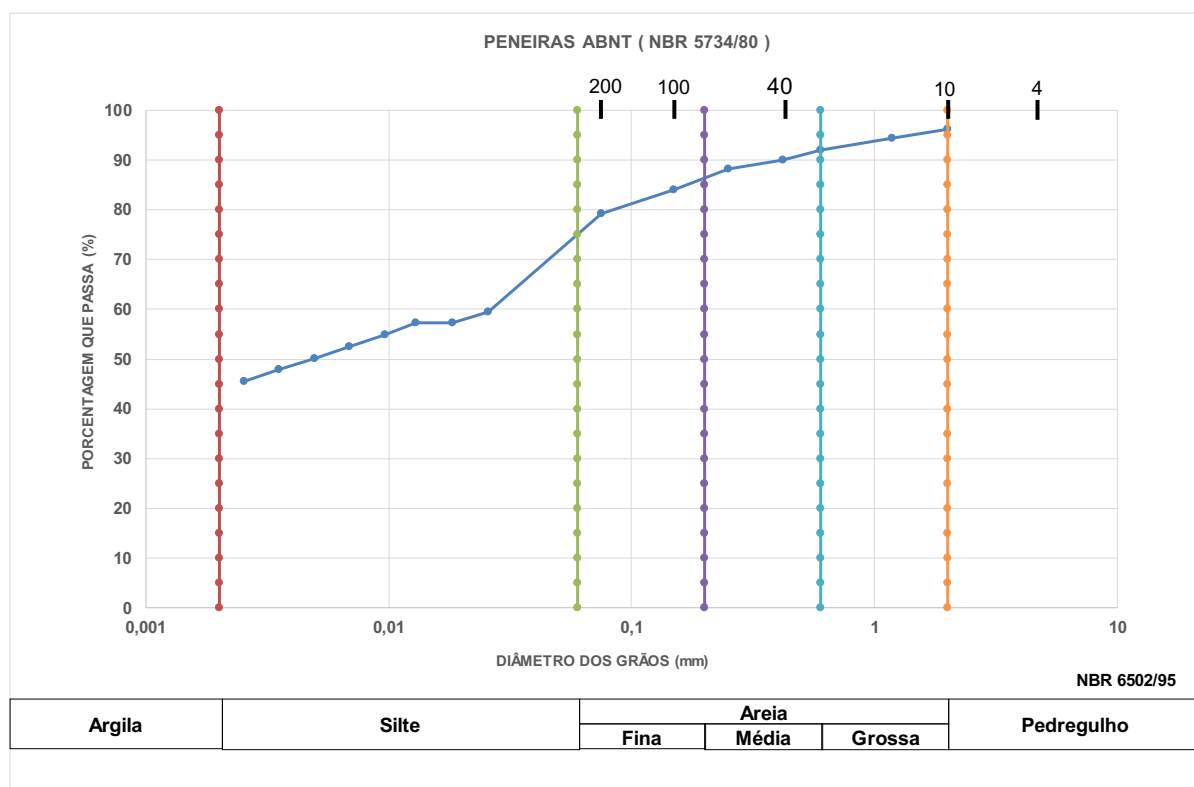
Gráfico 8 - Curva granulométrica do ponto 3: profundidade de 20 a 30 cm



Fonte: Autoria própria (2022).

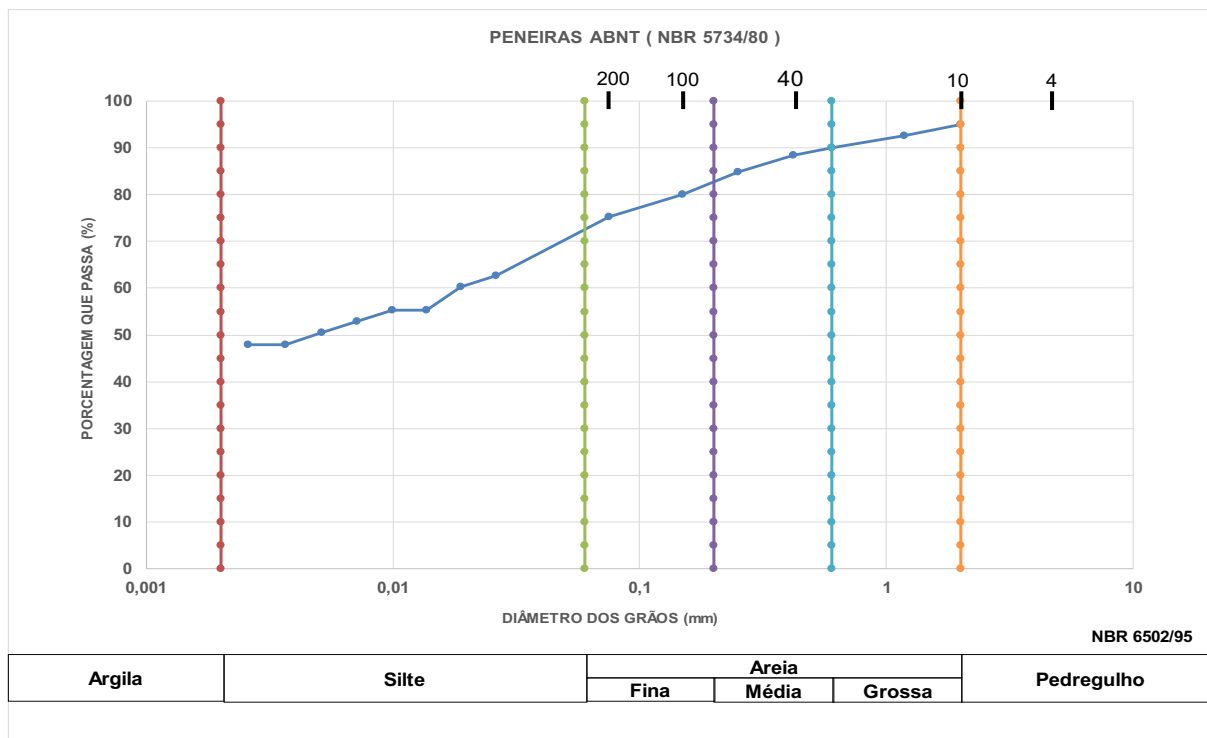
Gráfico 9 - Curva granulométrica do ponto 3: profundidade de 30 a 40 cm

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 10 - Curva granulométrica do ponto 4: profundidade de 0 a 20 cm

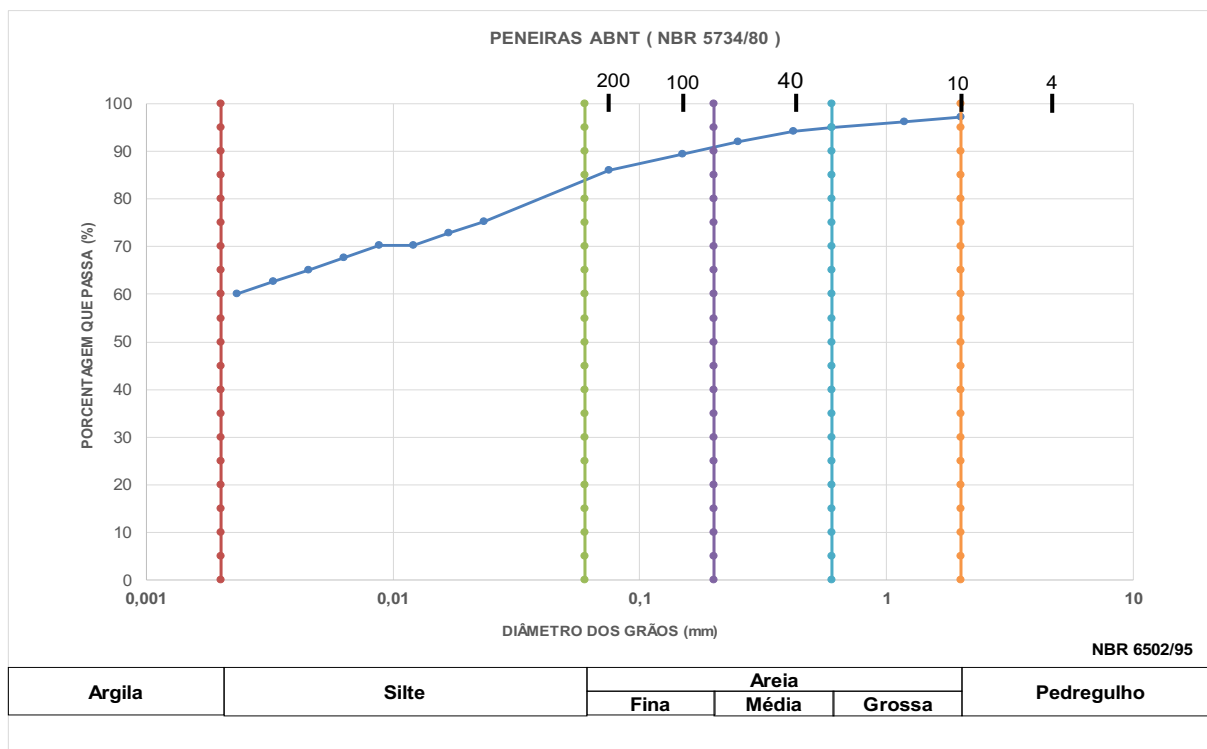
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 11 - Curva granulométrica do ponto 4: profundidade de 20 a 30 cm



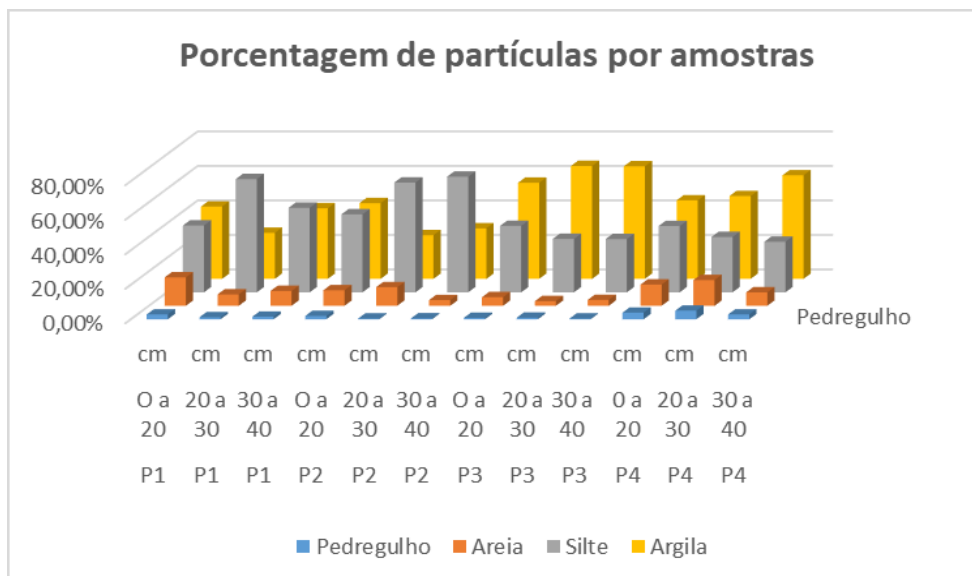
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 12 - Curva granulométrica do ponto 4: profundidade de 30 a 40 cm



Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 13 - Porcentagem de partículas por amostras



Fonte: Autoria própria (2022).