

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

MYLENE VARGAS DOS SANTOS FERREIRA

**PERMEABILIDADE E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO EM ÁREA
DE DESCARTE IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE
CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Caçapava do Sul

2024

MYLENE VARGAS DOS SANTOS FERREIRA

**PERMEABILIDADE E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO EM ÁREA DE
DESCARTE IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE
CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de TCC II apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin.

Caçapava do Sul

2024

MYLENE VARGAS DOS SANTOS FERREIRA

**PERMEABILIDADE E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO EM ÁREA DE DESCARTE
IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30 de agosto de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin
Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich
(UFSM)

Me. Lenon Melo Ilha
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **LENON MELO ILHA, Técnico de Laboratório Área**, em 03/09/2024, às 19:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MATIAS FELTRIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/09/2024, às 14:17, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1535191** e o código CRC **146CAEF9**.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F997p Ferreira, Mylene Vargas Dos Santos
Permeabilidade e condutividade hidráulica do solo em área
de descarte irregular de resíduos sólidos no município de
Caçapava do Sul - RS / Mylene Vargas Dos Santos Ferreira.
75 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2024.
"Orientação: Rafael Matias Feltrin".

1. diagnóstico ambiental. 2. gestão de resíduos sólidos. 3.
contaminação do solo. 4. permeâmetro de Guelph. I. Título.

RESUMO

Atualmente, a produção de grandes volumes de resíduos é um dos maiores problemas enfrentados pelos gestores públicos, tal fato se agrava com o crescimento populacional desenfreado e precariedade técnica por parte dos órgãos responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos. Com o aumento na produção de resíduos sólidos, aumenta também o descarte em áreas irregulares, os lixões a céu aberto são um exemplo disso. Dentre os principais problemas relacionados a utilização de áreas irregulares para descarte de resíduos está a contaminação do solo pelo chorume, oriundo da decomposição de matéria orgânica, podendo trazer inúmeros impactos ambientais. Neste contexto, fica evidente a necessidade de caracterização destas áreas com intuito de definir se os poluentes estão percolando no solo e atingindo camadas mais profundas e o lençol freático. A área de estudo situa-se no município de Caçapava do Sul - RS, se caracteriza por ser local de descarte irregular de resíduos sólidos, principalmente de construção civil. Somado a isso, o local está próximo de aglomerações urbanas, o que pode implicar em diversos problemas de saúde para as pessoas que habitam esta região. Para caracterização do solo foram realizados ensaios de análise granulométrica, densidade do solo e das partículas e porosidade total. A determinação da permeabilidade foi feita em ensaios de campo com o permeâmetro de Guelph. A condutividade hidráulica saturada foi determinada através de ensaios em laboratório com permeâmetro de carga constante. A partir da obtenção e análise estatística dos dados foram determinados se os parâmetros de permeabilidade estão dentro dos valores definidos como adequados para áreas de descarte de resíduos sólidos. Nos ensaios de permeabilidade, os pontos analisados tanto na área de estudo, quanto em ponto testemunha apresentam valores superiores ao valor de 10^{-8} m/s recomendado na NBR 13896. Em relação a condutividade hidráulica saturada, houveram diferenças de valores em comparação com os testes de permeabilidade em campo, o que pode ocorrer devido ao ensaio em laboratório não conseguir reproduzir totalmente as dinâmicas de fluxos no solo.

Palavras-chave: diagnóstico ambiental; gestão de resíduos sólidos; contaminação do solo, permeâmetro de Guelph.

ABSTRACT

Currently, the production of large volumes of waste is one of the biggest problems faced by public managers, and this is aggravated by the uncontrolled population growth and technical precariousness of the agencies responsible for waste management. With the increase in waste production, the disposal of waste in irregular areas also increases, such as open-air dumps. One of the main problems related to the use of irregular areas for waste disposal is soil contamination by leachate, which comes from the decomposition of organic matter, and can cause numerous environmental impacts. In this context, it is clear that there is a need to characterize these areas in order to determine whether pollutants are percolating through the soil and reaching deeper layers and the water table. The study area is located in the municipality of Caçapava Do Sul - RS, and is characterized by having been a site of irregular disposal of solid waste, mainly from construction. In addition, the location is close to urban agglomerations, which can lead to several health problems for the people who live there. To characterize the soil, tests were performed to measure granulometric analysis, soil and particle density, and total porosity. Permeability was determined in field tests using a Guelph permeameter. Saturated hydraulic conductivity was determined through laboratory tests using a constant-load permeameter. Based on the data obtained and statistically analyzed, it was determined whether the permeability parameters were within the values defined as suitable for solid waste disposal areas. In the permeability tests, the points analyzed in both the study area and the control point presented values higher than the value of 10^{-8} m/s recommended in NBR 13896. Regarding saturated hydraulic conductivity, there were differences in values compared to the permeability tests in the field, which may occur because the laboratory test was unable to fully reproduce the flow dynamics in the soil.

Keywords: environmental diagnosis; solid waste management; soil contamination, Guelph permeameter.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. JUSTIFICATIVA	10
3. OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo geral	11
3.2 Objetivos específicos	11
4. REFERENCIAL TEÓRICO	12
4.1 Solo.....	12
4.1.1 Origem e Formação	12
4.1.2 Caracterização Dos Solos	15
4.1.2.1 Granulometria.....	15
4.1.2.2 Constituição Mineralógica.....	18
4.1.3 Água no solo.....	23
4.1.3.1 Permeabilidade	24
4.1.3.2.1 Métodos Experimentais em Laboratório	25
4.1.3.2.2 Métodos De Campo	26
4.1.3.2.3 Métodos Indiretos	27
4.1.3.3 Fatores Que Influenciam A Permeabilidade Do Solo	28
4.2 Resíduos Sólidos.....	29
4.2.1 Definição	29
4.2.2 Classificação Dos Resíduos Sólidos.....	30
4.2.3 Destinação Final	32
4.2.4 Impactos Ambientais	34
5. METODOLOGIA.....	35
5.1 Caracterização da Área de estudo.....	35
5.1.1 Clima	38
5.1.3 Geologia Local	38
5.1.2 Pedologia	39
5.2 Caracterização do solo.....	41
5.2.1 Coleta e Preparação das amostras.....	41
5.2.2 Determinação Terra fina seca ao ar, cascalho e calhaus.....	45
5.2.3 Fator de Umidade	46
5.2.4 Análise Granulométrica.....	46
5.2.4.1 Determinação da Classe Textural	47
Fonte: Lemos & Santos, (1996).	47
5.2.5 Densidade do Solo e das Partículas	47

5.2.5.1 Densidade das Partículas	48
5.2.3.2 Densidade do Solo	48
5.2.4 Porosidade total	49
5.2.5 Ensaio De Permeabilidade Com Permeâmetro de Guelph	50
5.2.5.1 Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada (Kfs)	52
5.2.7 Análise dos dados	55
5.2.8 Classificação do solo conforme Parâmetros mínimos para instalação de aterros sanitários	55
6. RESULTADOS	56
6.1 Granulometria	56
6.2 Índices físicos do solo.....	59
6.3 Permeabilidade	61
6.4 Condutividade hidráulica Saturada.....	64
6.5 Análise de dados	66
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

“Sabe-se que o crescimento das concentrações urbanas e o avanço tecnológico causaram um aumento substancial da produção e consumo de bens pela população, gerando, conseqüentemente, uma grande quantidade de resíduos sólidos” (Possamai, 2007, p. 172).

Santos *et al.*, (2014) destaca que a grande produção de resíduos acaba resultando na utilização de áreas inapropriadas para o descarte destes resíduos, formando-se dessa forma os lixões a céu aberto. Segundo esse mesmo autor, os aterros sanitários controlados seriam uma alternativa ambientalmente mais correta. Para Oliveira *et al.*, (2016) alguns fatores favorecem a grande dificuldade que os gestores públicos enfrentam no gerenciamento dos resíduos, entre eles estão a dificuldade em encontrar áreas disponíveis para instalação de aterros e os custos de adequação técnica dessas áreas; o licenciamento ambiental; e o custeamento do transporte.

“O aterro sanitário é a forma tecnicamente adequada de disposição dos resíduos, pois envolve a impermeabilização da base do aterro, construção de drenos, condutos e tanque de coleta de chorume, além de sistema de captação de gases e cobertura constante dos resíduos” (Santos *et al.*, 2014, p. 100).

Segundo Santos *et al.*, (2014), diversos são os impactos ambientais decorrentes do descarte incorreto dos resíduos, mas destaca-se as plumas de contaminação por lixiviado, líquido proveniente da decomposição de matéria orgânica que é altamente nocivo para o meio ambiente. Esse lixiviado, popularmente denominado de chorume, é um líquido escuro, de mau cheiro e com composição complexa, a qual é dependente dos estágios de decomposição da matéria orgânica, da natureza dos resíduos lançados, das condições ambientais e da idade e modo de operação da área de aterramento (Del Rey *et al.*, 2020 *apud* Silva *et al.*).

Conforme este mesmo autor, o lixiviado se forma através da soma do teor natural de umidade dos resíduos, acrescida da infiltração e absorção da água no solo. Autores como Mannarino (2010) e Maus *et al* (2009) destacam que as características do lixiviado e seu potencial poluidor dependem diretamente da composição dos resíduos que geraram tal lixiviado. “O lixiviado gerado a partir dos resíduos sólidos tem baixa biodegradabilidade, no entanto grande parte dos aterros sanitários utiliza apenas sistemas biológicos para tratamento desse efluente” (Maus, *et al*, 2009).

Possamai (2007) destaca que a nocividade destes poluentes se deve principalmente a sua percolação no solo, podendo atingir o lençol freático e ser absorvido por vegetais. Neste contexto enfatiza que a preparação do solo do aterro é fundamental para garantir a baixa permeabilidade na área de disposição dos resíduos.

Almeida; Schalch (2008) realizou estudo de permeabilidade em local de disposição de resíduos, com o intuito de definir possível percolação de chorume na área. Através de ensaios com permeâmetro de carga constante, definiu que os pontos amostrados possuíam $k > 10^{-3}$, sendo o ideal entre 10^{-4} e 10^{-6} . Segundo este autor, o solo possuía características arenosas e inadequadas para retenção de poluentes, podendo ocorrer nessas condições grande acúmulo de poluentes no solo. Indicando necessidade de melhoramento das características físicas desse solo.

Ramos *et al.*, (2017) desenvolveu ferramenta multicritério para análise ambiental de lixões, onde diversos parâmetros/situações são classificados em escala numérica, segundo seu grau de impacto ambiental. Como por exemplo a proximidade do lixão de áreas de águas superficiais, a densidade populacional em um raio de 500 m, presença de áreas de proteção permanente, volume de resíduos, entre outros. Constatou a grande carência de informações acerca da presença e características dos lixões, principalmente em municípios pequenos, que muitas vezes não possuem equipe técnica adequada e nem recursos para fazer tais diagnósticos. Segundo esse autor, raramente ocorrem ações de caracterização e recuperação ambiental ao se finalizar a utilização de um lixão, sendo o problema apenas esquecido e mascarado por ações insuficientes, como a simples cobertura dos resíduos com solo.

Dado o exposto, fica evidente a importância da realização de estudos de permeabilidade em locais utilizados para o descarte irregular de resíduos sólidos, com intuito de definir se os poluentes estão percolando no solo e atingindo camadas mais profundas e o lençol freático. Após a definição da magnitude da contaminação do solo, tais estudos podem servir de ferramenta para o planejamento de ações mitigadoras para esses locais.

2. JUSTIFICATIVA

As áreas utilizadas para descarte irregular de resíduos, populares lixões, são locais que, de modo geral, possuem altos índices de contaminação, principalmente devido ao chorume que se

forma pela decomposição de matéria orgânica e as outras diversas toxinas liberadas nesse processo. Estas substâncias podem contaminar o solo e percolar para camadas mais profundas, atingindo até mesmo o lençol freático.

Nesse contexto, vários autores destacam a importância de se conhecer as características do solo que recebeu esses resíduos, para assim identificar os problemas ambientais do local e determinar as ações mitigadoras adequadas.

O local de estudo é um exemplo de inadequada gestão de resíduos sólidos, pois por vários anos recebeu os resíduos de construção civil, sendo que nunca houveram estudos prévios para garantir a segurança do descarte desses resíduos. Somado a isso, temos que o local está próximo de aglomerações urbanas, o que pode implicar em diversos problemas de saúde para as pessoas que habitam esse local.

Portanto, essa área deve passar por extensos estudos, com intuito de identificar a dimensão da contaminação existente. Aumentando assim as possibilidades de planejamento de ações para recuperação do local e contribuindo para melhor gestão dos resíduos sólidos no município.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo geral caracterizar os parâmetros de permeabilidade e condutividade hidráulica saturada do solo em área de descarte irregular de resíduos sólidos no município de Caçapava Do Sul - RS.

3.2 Objetivos específicos

- I. Realizar a caracterização física do solo, ensaio de permeabilidade e condutividade hidráulica.

- II. Definir se os parâmetros físicos do solo estão adequados à legislação, para que não haja percolação de poluentes, considerando que a área de estudo recebeu descarte irregular de resíduos sólidos.
- III. Contribuir para o melhor diagnóstico desta área e planejamento de possíveis ações de remediação por parte dos responsáveis.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Solo

4.1.1 Origem e Formação

“Solo é qualquer reunião de partículas minerais soltas, ou fracamente unidas (cimentadas), formada pela decomposição de rochas por ação do intemperismo, com o espaço vazio entre as partículas ocupado por água e/ou ar ”(Craig, 2007, p. 1).

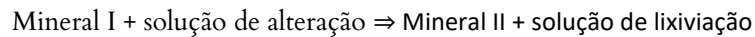
Santos *et al.*, (2018) apresenta um conceito mais amplo para definir solo:

O solo que classificamos é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (Santos et al., 2018, p. 27).

Segundo Caputo (1988), os processos de intemperismo das rochas se dividem em intemperismo físico e químico. No primeiro caso, ocorre a desintegração estrutural da rocha por ação de agentes físicos, como água, vento, vegetação e temperatura. Esse processo resulta na formação de solos de maior granulometria, como pedregulhos e areias, podendo ocorrer a presença de siltes em menor quantidade.

Conforme o mesmo autor, na decomposição química por sua vez ocorre alteração da constituição química ou mineralógica da rocha. Nesse processo a rocha sofre maior grau de decomposição, se comparado com a degradação física, e o principal produto são as argilas.

Toledo (2014) define a reação geral que ocorre no intemperismo químico:



- mineral I: mineral primário, ou seja, mineral existente na rocha dura (p. ex., quartzo, feldspato, mica, piroxênio etc.),
- solução de alteração: água da chuva carregada de elementos/substâncias dissolvidas, que se infiltra e percola a rocha em vias de alteração,
- mineral II: mineral secundário (ou neoformado), ou seja, formado pela recombinação de íons durante a reação de intemperismo (p. ex., goethita, gibbsita, argilominerais etc.) e
- solução de lixiviação: água da chuva, cuja composição foi modificada pelas reações do intemperismo e que caminhará em meio aos materiais geológicos até atingir um aquífero, um rio ou até voltar à superfície (Toledo, 2014, p. 7).

Caputo (1988), Lepsch (2011) e Toledo (2014) enfatizam que nesse processo, o principal agente é a água e os mecanismos de decomposição podem ser: dissolução, oxidação e hidrólise.

Segundo Lepsch (2011), a dissolução se caracteriza quando íons sólidos se desorganizam ao entrar em contato com a água, formando assim uma solução salina aquosa. Neste caso ocorre a dissolução da halita (NaCl), formando cátions de sódio (Na^+) e ânions de cloro (Cl^-). Outra forma de dissolução mais comum é a reação dos minerais presente no solo com íons H^+ e OH^- presentes na solução aquosa. Destaca-se a presença de gás carbônico dissolvido na solução, este aumenta a intensidade de ação da água.

Lepsch (2011) e Toledo (2014) destacam que enquanto a dissolução se caracteriza pela liberação de íons ao entrarem em contato com os íons (H^+ e OH^-), na hidrólise ocorre a substituição destes íons nos minerais pelos mesmos elementos ionizados da água (H^+ e OH^-), desfazendo assim a estrutura cristalina do mineral. Este pode ser considerado o mais importante processo de transformação dos argilominerais em ambientes tropicais, ocorrendo também a liberação de cátions, como cálcio e potássio, e sílica solúvel. Lepsch também define de forma geral o processo de hidrólise:

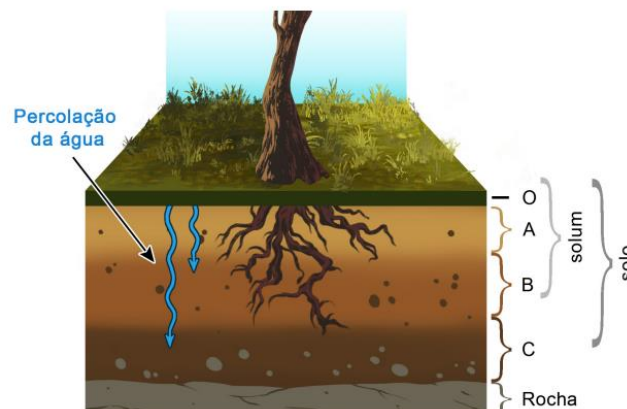
Apesar de as reações químicas envolvidas nesse processo não seguirem sempre o mesmo caminho, para todos os minerais primários ela sempre começa com a substituição dos cátions básicos, como potássio, cálcio e magnésio, estendendo-se também aos cátions silício e alumínio (Lepsch, 2011, p. 73).

No caso das zonas de clima tropical, onde as soluções de lixiviação têm facilidade em drenar os produtos solúveis, os minerais secundários são predominantemente constituídos por Fe, por Al, e também por parte do Si, constituinte maior das rochas da litosfera continental. Esses minerais são, respectivamente, goethita, gibbsita e caolinita (argilomineral sem cátions alcalinos e alcalinoterrosos) (Toledo, 2024, p. 144).

Lepsch (2011) define que a oxidação ocorre através da reação do oxigênio com os minerais, principalmente os que contêm ferro, presente nos minerais na forma de íon ferroso (Fe^{2+}), após reagir com o oxigênio Fe^{2+} perde elétrons e se converte em íon férrico (Fe^{3+}), este se combina com água e oxigênio, formando óxido de ferro (hematita) ou oxi-hidróxidos de ferro (goethita). “No solo, é comum tais óxidos recobrirem as partículas de caulinita, fazendo com que o solo tenha cor avermelhada, no caso da hematita, ou amarelada, no caso da goethita” (Lepsch, 2011, p. 75).

Segundo Toledo (2014), os materiais intemperizados associam-se à matéria orgânica, e se diferenciam verticalmente, formando horizontes, conforme ocorre o aprofundamento do perfil. Quanto mais próximo da superfície, maior é a atuação do intemperismo, sendo os horizontes mais profundos menos intemperizados, e portanto com características mais próximas da rocha de origem. A figura 1 apresenta ilustração representando horizontes de um solo.

Figura 1 - Ilustração da diferenciação vertical e formação de horizontes que ocorre em perfil do solo.



Fonte: Toledo (2014, p. 7)

Conforme Toledo (2014), em linhas gerais as características de cada horizonte do solo podem ser descritas da seguinte forma:

- O horizonte O se caracteriza por ser o mais rico em matéria orgânica, sendo o responsável pela nutrição vegetal e o mais suscetível a processos erosivos;
- O horizonte A recebe grande quantidade de húmus provenientes da decomposição orgânica no horizonte subjacente, por ser rico em matéria orgânica tem cor escura, com alta atividade biológica;
- Abaixo está o horizonte B, onde ocorre grande acúmulo de argila e óxidos de ferro, normalmente este horizonte apresenta coloração muito diferenciada dos outros horizontes, vermelha ou alaranjada, devido a oxidação do ferro e alumínio;
- Por fim o horizonte C, que está a maiores profundidades, sofreu pouca intensidade de intemperismo, compartilha diversas características com a rocha de origem e ainda apresenta minerais inalterados, este material é chamado de saprólito.

Segundo o mesmo autor, o nível de diferenciação horizontal dos solos é diretamente proporcional ao grau de intemperismo e a profundidade do perfil, em outras palavras, quanto mais profundo e intemperizado o solo mais diferenciado será um horizonte do outro.

4.1.2 Caracterização Dos Solos

4.1.2.1 Granulometria

Segundo Caputo (1988), o solo pode ser definido como material não consolidado que provém das rochas por intemperismo. “Dentre os vários tipos de classificação, os solos podem ser nomeados pela fração granulométrica dominante e subdominante” (Limas, 2008, p. 11).

“Numa primeira aproximação, pode-se identificar que alguns solos possuem grãos perceptíveis a olho nu, como grãos de pedregulho ou a areia do mar, e que outros têm os grãos tão finos que, quando molhados, se transformam numa pasta [...]” (Pinto, 2006, p. 15).

Contudo, em muitos casos não é possível identificar a granulometria dominante do solo a apenas a olho nu, sendo necessária a realização de ensaios para definir a classe textural do solo.

No Brasil as classes granulométricas são definidas pela NBR 6502 (ABNT, 1995), conforme a Tabela 1:

Tabela 1 - Classificação granulométricas do solo, conforme NBR 6502.

Classificação	Argila (mm)	Silte (mm)	Areia (mm)	Pedregulho (mm)
Diâmetro das partículas	<0,005	0,005 a 0,05	0,05 a 0,42(Fina); 0,42 a 2 (Média); 2 a 4,8 (Grossa)	4,8 a 76

Fonte: ABNT, 1995.

Diferentemente da terminologia adotada pela ABNT, a separação entre as frações silte e argila é frequentemente tomada como 0,075 mm, correspondente à abertura da peneira n 200, que é a mais fina peneira correntemente usada nos laboratórios. O conjunto de silte e argila é denominado fração de finos do solo, enquanto o conjunto areia e pedregulho é denominado fração grossa ou grosseira do solo. Por outro lado, a fração argila é considerada, com frequência, como a fração abaixo do diâmetro de 0,002 mm, que corresponde ao tamanho mais próximo das partículas de constituição mineralógica dos minerais-argila (Lima, 2012, p. 25).

Segundo Craig (2007) a definição da granulometria do solo deve ser feita através da determinação da porcentagem das frações de diferentes tamanhos presentes no solo. No caso dos solos com partículas de maiores diâmetros, areia e pedregulho, o método empregado para determinação da porcentagem é o peneiramento. Neste método a amostra de solo é submetida a peneiras com diâmetros de abertura de malha sucessivamente menores, e assim calcula-se a porcentagem retida em cada peneira, em outras palavras, o peneiramento se baseia na relação entre a abertura das diferentes malhas e o diâmetro das partículas.

No caso da fração fina do solo, com granulometria menor que 0,0075 mm, a menor peneira utilizável não é capaz de reter as partículas, então utiliza-se o método de sedimentação. Este método se baseia na Lei de Stokes, que relaciona a velocidade de sedimentação com o diâmetro equivalente das partículas. “[...] a velocidade de queda de partículas esféricas num fluido atinge um valor limite que depende do peso específico do material da esfera (γ_s), do peso específico do fluido (γ_w), da viscosidade do fluido (μ), e do diâmetro da esfera (D)” (Pinto, 2006, p. 22), conforme a equação 1:

$$V = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \times \mu} \times D^2 \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

V é a velocidade de sedimentação das partículas com diâmetro D ;

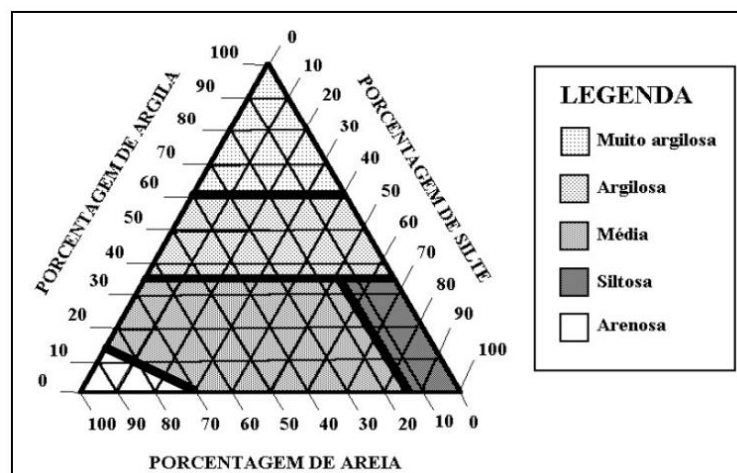
γ_s é o peso específico real do solo;

γ_w é o peso específico do fluido;

μ é a viscosidade do fluido.

Após a obtenção das porcentagens de areia, silte e argila do solo através do ensaio granulométrico, é possível utilizar o triângulo textural para determinar a classificação textural do solo. A figura 2 apresenta uma classificação textural simplificada.

Figura 2 - Triângulo textural simplificado.



Fonte: Limas (2008, p. 12)

Uma inspeção visual nesse triângulo mostra o impacto relativo da areia, silte e argila nas propriedades do solo. Quantidades de argila relativamente pequenas, como 30% são suficientes para enquadrar a amostra como franca argilosa. Para ser enquadrada em uma classe “siltosa”, deve haver pelo menos 40% de silte, enquanto é necessário pelo menos 55% de areia para que o nome areia (ou arenoso) seja incluído na classe (Lepsch, 2011, p. 123).

Segundo Limas (2008), as porcentagens de argila, mesmo que pequenas, também são determinantes para as características do solo, sendo que 10% de argila presente em solos arenosos já é suficiente para que este apresente características coesivas. E solos com frações argilosas a partir de 40% já apresentam todas as características de solos argilosos.

“Além do diagrama trilinear textural, pode-se classificar o solo por meio de sua curva granulométrica, que define a distribuição das diferentes dimensões das partículas encontradas segundo a escala empregada” (Limas, 2008, p. 12).

A curva granulométrica é traçada por pontos em um diagrama semi-logarítmico; no qual, sobre o eixo das abscissas, são marcados os logaritmos das dimensões das partículas e sobre o eixo das ordenadas as porcentagens, em peso, de material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada (Caputo, 1988, p. 25).

Segundo Craig (2007), através do formato da curva granulométrica pode-se extrair várias informações a respeito das características do solo: Solos com maiores granulometrias apresentam curva mais achatada; Assim como solos com predominância de partículas menores possuem curva mais íngreme.

Limas (2008) destaca que a curva granulométrica é muito útil para prever o comportamento de solos com maior granulometria (areias e pedregulhos). Neste caso, solos com curvas granulométricas iguais possuem também comportamentos semelhantes. Por outro lado, para as frações finas do solo (argilas e siltes) deve-se também conhecer a constituição mineralógica e o formato das partículas, pois embora tenham granulometria semelhante, não necessariamente terão comportamentos semelhantes.

4.1.2.2 Constituição Mineralógica

“Um mineral é uma substância inorgânica e natural, com composição química e estrutura definidas” (Caputo, 1988, p. 16).

Segundo Craig, (2006) a constituição mineralógica do solo depende diretamente da composição da rocha matriz (rocha mãe). Esta, por meio de processos físicos e químicos sofre intemperismo e constitui o que conhecemos propriamente como solo. Os diferentes níveis de desagregação determinam fatores como o tamanho das partículas. De modo geral, rochas constituídas por minerais mais resistentes ao intemperismo formam solos granulares, os quais possuem partículas de maiores diâmetros. Neste caso ocorre intemperismo físico.

“Algumas partículas maiores, dentre os pedregulhos, são constituídas frequentemente de agregações de minerais distintos. É mais comum, entretanto, que as partículas sejam constituídas de um único mineral” (Pinto, 2006, p. 16).

Conforme Caputo (1988), a constituição química dos principais grupos minerais constituintes de solos grossos, com granulometria maior que 0,05 mm, é a seguinte:

- Silicatos - feldspato, mica, quartzo, serpentina, clorita, talco;
- Óxidos - hematita, magnetita, limonita;
- Carbonatos - calcita, dolomita;
- Sulfatos - gesso, anidrita.

Caputo (1988) ressalta o quartzo como um dos principais minerais constituinte da fração grossa dos solos. Este mineral é constituído por íons do silício (Si^{4+}) e oxigênio (O^{2+}), formando um tetraedro. Lepsch (2011) destaca que a natureza covalente das ligações entre as moléculas de oxigênio e silício possuem grande força, o que faz desse mineral um dos mais estáveis e resistentes ao intemperismo.

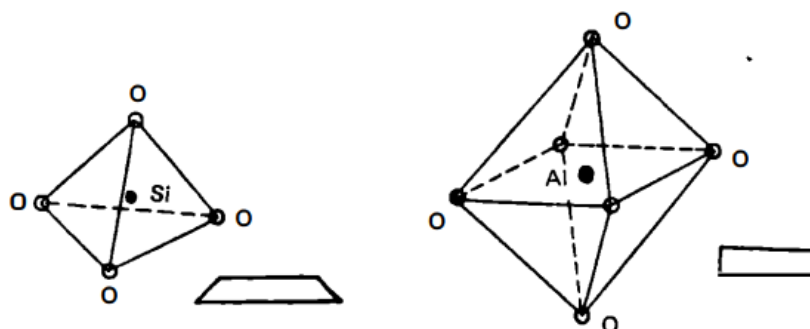
Para Craig (2006) em solos com granulometrias menores, de tamanho coloidal, a formação se dá através de intemperismo químico: “O processo químico resulta em modificações na forma mineral da rocha-mãe (especialmente se ela contiver traços de ácidos ou de bases alcalinas), oxigênio e dióxido de carbono” (Craig, 2006, p. 1).

Conforme Pinto (2007) a constituição das argilas é bastante complexa devido a grande variedade de argilominerais encontrados na natureza. De forma geral, por ser altamente suscetível a processos de intemperismo, o feldspato se desagrega com muita facilidade e dá origem aos argilominerais que constituem a fração fina dos solos.

“Na composição química das argilas, existem dois tipos de unidades básicas: uma estrutura de tetraedros justapostos num plano (SiO_2) e outra de octaedros, em que átomos de alumínio são circundados por oxigênio ou hidroxilas ($\text{Al}(\text{OH})_3$)” (Pinto, 2007, p. 16).

Conforme Caputo (1988), esta estrutura se caracteriza como do tipo 1:1, pois existe uma lâmina de tetraedro para 1 lâmina de octaedros. O segundo tipo de estrutura é na forma 2:2, onde uma estrutura de octaedro se liga a 2 estruturas de tetraedros, conforme figura 3.

Figura 3 - Unidades estruturais básicas das argilas, tetraedro de Silício e octaedro de Alumínio.



Fonte: Caputo (1988, p. 18).

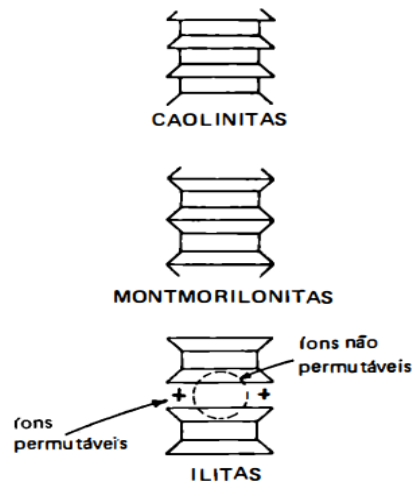
As caulinitas são um exemplo de estrutura 1:1, conforme a figura 4 ilustra, a caulinita apresenta um tetraedro de silício ligado a um octaedro de alumínio.

“As camadas assim constituídas encontram-se firmemente empacotadas, com ligações de hidrogênio que impedem sua separação e a introdução de moléculas de água entre elas” (Pinto, 2006, p. 17). “Em consequência, as argilas caoliníticas são relativamente estáveis em presença de água” (Caputo, 1988, p. 19).

Segundo Caputo (1988), as montmorilonitas são um mineral argílico que se caracteriza por apresentar estrutura 2:1, ou seja, um octaedro de alumínio ligado a dois tetraedros de silício. Essas moléculas são instáveis na presença de água, devido a sua grande expansividade, as ligações de sua estrutura não apresentam força para impedir a passagem da água.

As ilitas apresentam estrutura análoga às caulinitas. Em relação à interação destes argilominerais com água, Pinto (2006) destaca: “[...] não absorvem água entre as camadas, pela presença de íons de potássio, provocando uma ligação mais firme entre elas [...]” (Pinto, 2006, p. 19). A figura 4 ilustra os três tipos de estruturas citadas acima.

Figura 4 - Estrutura dos argilominerais caulinita, montmorilonita e ilíctas, formados a partir das duas unidades básicas de argilas.



Fonte: Caputo (1988, p. 19).

Conforme Craig (2007) devido a complexidade do arranjo estrutural das argilas, raramente ocorrem ligações entre partículas isoladas de argila. Sendo mais comum a formação de complexos, que são agrupamentos e unidades básicas de argilas, chamados domínios.

O comportamento das argilas seria menos complexo se não ocorresse imperfeições na sua composição mineralógica. É comum um átomo de alumínio (Al^{3+}) substituir um de silício (Si^{4+}) na estrutura tetraédrica e, na estrutura octaédrica, átomos de alumínio serem substituídos por outros átomos de menor valência, como o magnésio (Mg^{++}). Essas alterações são definidas como substituição isomórfica, pois não alteram o arranjo dos átomos, mas as partículas ficam com uma carga negativa (Pinto, 2006, p. 17).

Segundo Pinto (2006) os cátions livres no solo, como Ca^{++} ou Na^{+} , são capazes de neutralizar o excesso de cargas negativas nas partículas de argila. Porém, as camadas contíguas que são atraídas não possuem força suficiente para impedir a entrada da água na molécula.

“A liberdade de movimento das placas explica a elevada capacidade de adsorção de água de certas argilas, sua expansão quando em contato com a água e sua contração considerável ao secar” (Pinto, 2006, p. 17).

4.1.2.3 Densidade

Segundo Lepsch (2011), a densidade do solo pode ser descrita como a relação entre massa e volume dos constituintes do solo, e é determinada pela mineralogia do solo e índices de vazios. Dois tipos de densidades podem ser determinadas:

Densidade das partículas: parâmetro que independe das características estruturais do solo, dependendo apenas da granulometria. É dada por massa por unidade de volume de solo.

Densidade do solo: também chamada de densidade global, representa a massa de solo seco por volume, considera em sua determinação o espaço poroso do solo, que podem estar ocupados por ar ou água, devido a isso é um parâmetro mais útil na prática do estudo de solos.

4.1.2.4 Porosidade

Conforme Lepsch (2011), o parâmetro porosidade é utilizado para determinar a quantidade de poros presentes no solo, sejam estes ocupados por ar ou por água. O mesmo autor destaca que a porosidade interfere na densidade global do solo, sendo uma inversamente proporcional a outra, ou seja, quanto maior a porosidade menor será a densidade do solo, e vice-versa.

Conforme Caputo (1988) a determinação da porosidade é feita através do índice de vazios e é calculada pela equação 2:

$$n\% = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$n\%$ é a porosidade em porcentagem;

V_v é o volume de vazios do solo;

V_t é o volume total do solo.

Levando em consideração a equação 3:

$$V_t = V_v + V_t \quad \text{Eq. 3}$$

4.1.3 Água no solo

“Todos os solos são materiais permeáveis, ou seja, a água está livre para fluir através dos poros interligados existentes entre as partículas sólidas” (Craig, 2007, p. 25).

Imaginemos a situação em que o espaço poroso esteja totalmente cheio de água, isto é, saturado. Quando a água em um solo nestas condições é drenada, o ar deve entrar para substituí-la no espaço poroso, resultando o solo não saturado. Portanto, um solo não saturado, também chamado por alguns de solo agrícola, é aquele cujo espaço poroso é parcialmente cheio de água e parcialmente cheio de ar. Esta saída de água do complexo espaço poroso do solo faz com que ocorra a formação de interfaces ar-água, resultantes dos processos de retenção da água pela matriz do solo (Libardi, 2005, p. 41).

“Com muita frequência, a água ocupa a maior parte ou a totalidade dos vazios do solo. Submetida a diferenças de potencial, a água desloca-se no seu interior” (Pinto, 2006, p. 113).

“A água no interior dos vazios, abaixo do nível d'água, estará sob uma pressão que independe da porosidade do solo; depende só de sua profundidade em relação ao nível freático” (Pinto, 2006, p. 98).

“A pressão da água nos poros (também chamada pressão neutra ou poropressão) é medida em relação à pressão atmosférica, e o nível no qual a pressão é atmosférica é definido como superfície do lençol de água, superfície do lençol freático ou ainda superfície freática” (Craig, 2007, p. 25). “Com a elevação do teor de água, forma-se no entorno das partículas a conhecida camada dupla” (Pinto, 2006, p. 18).

Conforme Libardi (2005) as interações entre a água e o solo ocorrem por dois fatores, o primeiro se deve a entrada de água nos microporos e está associado às forças de capilaridade. A segunda forma é por processo de adsorção, onde a água se fixa às partículas sólidas da superfície do solo formando camadas finas.

4.1.3.1 Permeabilidade

Segundo Caputo (1988), “a permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo o seu grau de permeabilidade expresso numericamente pelo coeficiente de permeabilidade” (Caputo, 1988, *apud* Pantoja, 2019, p. 7).

Os experimentos de Darcy tiveram grande contribuição na evolução dos estudos de permeabilidade. Segundo Jesus (2012), após realizar testes com o intuito de medir a infiltração vertical da água em tubos de areia, Darcy chegou a conclusão de que a vazão é diretamente proporcional à área de secção transversal e as diferenças de cargas piezométricas que atuam nas extremidades da coluna; e inversamente proporcional ao comprimento do filtro.

Por meio destas conclusões criou-se a Lei de Darcy. Essa lei bastante conhecida, define que a velocidade de percolação da água é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico i , este sendo a relação entre a variação da carga na percolação h pelo comprimento ao longo do qual a carga se dissipa L (Pantoja, 2019, p. 7).

A Lei de Darcy é expressa pela equação 4:

$$Q = k \times i \times A \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

Q é a vazão;

A é a área do perímetro;

k é a constante de cada solo, coeficiente de permeabilidade

4.1.3.2 Métodos Para Determinação Da Permeabilidade

“Para a determinação da permeabilidade de um solo existem três formas: Os métodos experimentais, os métodos de campo, e os métodos indiretos” (Pantoja, 2019, p. 5).

4.1.3.2.1 Métodos Experimentais em Laboratório

a) Permeâmetro de carga constante

Segundo Pantoja (2019) este é o método mais indicado para solos arenosos. Neste teste é mantida carga constante h , por um tempo t e mede-se a quantidade de água Q que passa por um volume de solo com dimensões (A e L) conhecidas.

A permeabilidade é obtida por correlação direta com a Lei de Darcy (Equação 5):

$$k = \frac{Q}{i} \times A \quad \text{Eq. 5}$$

Onde

i = gradiente hidráulico

b) Permeâmetro de carga variável

Conforme Aguiar, (2001) nestes ensaios, a coleta de amostra do solo no campo tem que ser feita sob condições controladas, com amostra indeformada que pode ser submetida a ensaios de carga constante ou variável. Em ambos os casos, a amostra é colocada em um cilindro de comprimento L e área transversal A e fechada entre duas placas porosas. É indicado para testes em solos finos, com baixa permeabilidade. A determinação do k é mais precisa do que com o permeâmetro de carga constante. A permeabilidade é dada pela equação 6:

$$k = 2,3 \times \left(\frac{a \times L}{A \times t} \right) \times \log \left(\frac{h_i}{h_f} \right) \quad \text{Eq. 6}$$

onde:

k é a constante de cada solo, coeficiente de permeabilidade

A é a área transversal do cilindro

h_i e h_f são respectivamente alturas iniciais e finais de carga.

t é o tempo de teste.

4.1.3.2.2 Métodos De Campo

“Esses procedimentos consistem na carga ou descarga d’água através de sondagens, poços ou cavas e na medição do tempo e da taxa de variação do nível d’água” (Pantoja, 2019, p. 10).

a) Poços e furos

Conforme Caputo (1988) obtém a condutividade hidráulica saturada, pode ser realizado com carga constante e variável. O ensaio de bombeamento é uma das possibilidades de determinação da permeabilidade in situ. “Por meio deste ensaio determina-se in loco, a permeabilidade de estratos de areia ou de pedregulho, situados abaixo do nível freático” (Caputo, 1988, p. 73).

b) Infiltrômetro de anel duplo

No ensaio utiliza-se dois cilindros metálicos de 3 mm de espessura e 30 cm de altura, com diâmetros de 30 e 50 cm [...] Para realizar o ensaio coloca-se água no cilindro interno até que se forme uma lâmina de 7,5 cm de altura entre os cilindros interno e externo de 5 cm. Com auxílio de uma régua, lê-se a posição de N.A. As medições são feitas nos minutos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120. No caso de resultados inconclusivos, repete-se as leituras com intervalos de 1 hora, até que a infiltração da água no solo alcance uma velocidade constante (Aguiar, 2001, p. 13).

c) Permeâmetro de Guelph

“Permeâmetro é um tipo de equipamento que visa determinar o coeficiente de permeabilidade saturada, cujos ensaios podem ser realizados diretamente em campo ou em laboratório” (Borges, 2001, p. 3).

Segundo esse mesmo autor, o permeâmetro de Guelph foi desenvolvido por Reynolds e Elrick (1983) e aprimorado pela University of Guelph, no Canadá. Esse equipamento é destinado somente para ensaios de campo, permitindo estimar a condutividade hidráulica em solos saturados. “É um aparelho leve e de fácil operação em campo, que possibilita a realização de ensaios de infiltração para obter a condutividade hidráulica saturada (k_{fs}) e potencial mátrico (Ψ_m)” (Ribeiro, 2006, p. 4).

4.1.3.2.3 Métodos Indiretos

a) Métodos indiretos ou empíricos

Pantoja (2019) destaca que os métodos indiretos permitem a determinação da permeabilidade através do conhecimento de alguns parâmetros específicos do solo, sem a necessidade de ensaios de permeabilidade. Conforme o mesmo autor, alguns dos métodos podem ser propostos para solos arenosos:

- Fórmula de Hazen: que possibilita a determinação da permeabilidade através da distribuição granulométrica do solo, este sendo o método empírico mais utilizado atualmente.
- Fórmula de Taylor: determina a permeabilidade por meio do diâmetro dos grãos, índice de vazios e propriedades do fluido percolante (viscosidade, peso específico, etc).
- Fórmula kozeny-Carman: Utiliza a superfície específica dos grãos, índice de vazios, viscosidade e peso específico do fluido.

Rocha et al (2020), destaca os modelos de Samarasinghe (1982), Carrier e Beckman (1984), Mesri e Olson (1971) e Mbonimpa (2002) para utilização em solos coesivos, pois estes incorporam parâmetros de consistência do solo em suas equações, como índice de plasticidade ou limite de liquidez.

4.1.3.3 Fatores Que Influenciam A Permeabilidade Do Solo

Conforme Caputo (1988), a permeabilidade do solo varia devido a temperatura e índices de vazios. Costa (2019), acrescenta que outros parâmetros são importantes, como grau de saturação, mineralogia, tamanho das partículas e estrutura do solo. Segundo Pinto (2006), a porcentagem de finos no solo é um fator extremamente relevante para determinação da condutividade hidráulica:

[...]Quanto menor o diâmetro dos grãos de solo, menor será seu coeficiente de permeabilidade do solo, isso acontece devido à tendência de melhor acomodação entre as partículas de grãos finos e que gera uma redução na dimensão dos tubos capilares do solo (Costa, 2019, p. 26 *apud* Pinto, 2006).

Conforme Costa (2019), as características mineralógicas são outro fator determinante para a condutividade hidráulica, principalmente para solos. Solos com composição mineralógica rica em montmorilonita possuem valores menores de condutividade hidráulica, devido a suas partículas possuírem maior superfície específica e menor capacidade de troca catiônica. Com isso, já é possível inferir que esses dois parâmetros - superfície específica e capacidade de troca catiônica (CTC) - são também características importantes para determinação da condutividade hidráulica do solo.

Mesri e Olon (1971), segundo cita Costa (2019), realizaram estudos com solos finos onde concluíram que ocorre uma relação inversamente proporcional entre o índice de plasticidade e a permeabilidade do solo. A tabela 2 apresenta o índice de plasticidade e condutividade hidráulica para três argilominerais distintos, ilustrando o decréscimo da condutividade conforme aumenta o Índice de plasticidade do solo.

Tabela 2 - Variação da permeabilidade do solo para três diferentes tipos de argilominerais com índices de plasticidade distintos.

Argilomineral	Índice de Plasticidade (%)	Condutividade Hidráulica (m/s)
Caulinita	20	$1,5 \times 10^{-8}$
Ilita	60	$2,0 \times 10^{-11}$
Montmorilonita	500	$1,0 \times 10^{-13}$

Fonte: Modificado de Costa (2019, p. 27)

Segundo Pinto (2006), o grau de compactação do solo também exerce influência na capacidade da água em fluir pelo solo. Isso ocorre devido ao processo de compactação destruir o macroporos do solo. Diferentes teores de umidade podem ser usados no processo de compactação do solo. Quando o solo é compactado mais seco a água tem maior liberdade para fluir através dos poros, por outro lado solos com maior umidade de compactação tendem a apresentar menor permeabilidade.

4.2 Resíduos Sólidos

4.2.1 Definição

A ABNT n° 10.004/2004 apresenta o seguinte conceito para resíduos sólidos:

[...] resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT, 2004).

Conforme Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída através da Lei n° 12.305, a definição de resíduos sólidos pode ser dada como:

XVI – resíduos sólidos: Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu

lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010).

Portanto nota-se que o conceito de resíduos sólidos apresenta variações. Segundo Santaella *et al* (2014), este conceito tem evoluído e se modificado conforme evolui também a sociedade como um todo, principalmente em relação à consciência ambiental. Este mesmo autor destaca que ao longo do tempo a visão do homem sobre a natureza tem se modificado. A ideia dos recursos naturais como ilimitados e a serviço apenas das necessidades humanas e econômicas, período marcado pela expansão industrial, tem cada vez menos espaço na sociedade contemporânea. Esta visão começou a se alterar a partir da mensuração dos impactos da utilização desenfreada dos recursos naturais. Portanto, atualmente se perpetuam ideias e ações no sentido de diminuir a demanda sobre os recursos e como consequência a geração de resíduos, bem como a gestão adequada destes.

Autores como Oliveira (2016) e Assis *et al* (2021) destacam que no Brasil a alta produção de resíduos aliada a uma inadequada gestão, principalmente na destinação final, caracterizam um grande desafio para os gestores públicos. Em muitos casos o problema já começa na falta de destinação de verbas para este setor, o que se soma em muitos casos a falta de equipes técnicas capacitadas para a elaboração de planos de gestão de resíduos.

Estima-se que no Brasil são produzidas diariamente mais de 200 mil toneladas de resíduos sólidos, sendo que desse total 90,4% passam por um sistema de coleta pública, porém, apenas 58,26% possuem uma destinação final adequada, e o restante é encaminhado a lixões ou aterros controlados (Albuquerque *et al.*, 2020 *apud* Assis, *et al.*, 2021, p. 2).

4.2.2 Classificação Dos Resíduos Sólidos

“A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido” (ABNT, 2004, p. 2).

Diversas classificações são propostas para os resíduos sólidos. As principais classificações e mais pertinentes a serem apresentadas são: classificação por origem, periculosidade, composição química, degradabilidade, riscos de contaminação ao meio ambiente,

A diferenciação por origem e periculosidade é prevista pela lei 12.305 (Brasil, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), conforme cita:

I - quanto à origem:

- a) **Resíduos domiciliares:** os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) **Resíduos de limpeza urbana:** os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) **Resíduos sólidos urbanos:** os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) **Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) **Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) **Resíduos industriais:** os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) **Resíduos de serviços de saúde:** os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) **Resíduos da construção civil:** os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) **Resíduos agrossilvopastoris:** os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) **Resíduos de serviços de transportes:** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) **Resíduos de mineração:** os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

I - quanto à periculosidade:

- a) **Resíduos perigosos:** aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) **Resíduos não perigosos:** aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I do caput, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal. (Brasil, 2010)

Conforme NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos perigosos, classe I, recebem uma sub-classificação: Resíduos Inflamáveis, tóxicos, corrosivos, reativos e patogênicos.

Segundo Assis *et al.*, (2021), a correta classificação e segregação dos resíduos é uma etapa muito importante no processo de gestão, visto que nem todos os resíduos receberam a mesma destinação, isto varia conforme suas características, podendo ser altamente nocivos ao meio ambiente se dispostos de forma incorreta.

“Os resíduos sólidos quando não acondicionados, coletados, transportados, tratados e dispostos de forma correta se tornam um problema sanitário. Medidas adequadas na gestão dos resíduos previnem e controlam doenças a eles relacionadas” (Lima, 2019 *apud* Wessler, 2014, p. 19).

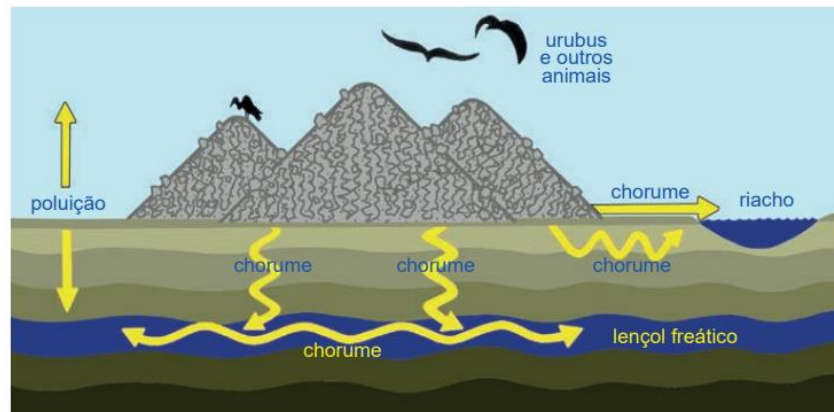
4.2.3 Destinação Final

Segundo Wessler (2014), é importante no contexto de gestão dos resíduos sólidos diferenciar o conceito de resíduo e rejeito, sendo o primeiro apto a ser reutilizado para alguma outra função, mesmo que seja necessário algum tratamento prévio, portanto seu ciclo de vida ainda não chegou ao fim. No caso dos rejeitos, não se apresentam nenhuma alternativa para tratamento e recuperação, tendo seu ciclo de vida esgotado pela falta de variabilidade de reutilização, resta a esses apenas o descarte de forma menos nociva possível.

Conforme Santaella *et al.*, (2014), atualmente existem três principais formas de disposição final de resíduos: os lixões, os aterros controlados e os aterros sanitários.

Os lixões se caracterizam por não apresentarem nenhum sistema técnico de disposição que garanta a segurança do local que recebe os resíduos. Nestes locais a disposição ocorre na superfície do solo, sem nenhuma cobertura dos resíduos. Segundo Santaella (2014) dentre os muitos problemas dessa opção, destaca-se a total ausência de coleta e tratamento do chorume proveniente da decomposição de matéria orgânica, podendo percolar pelo solo, que também não recebe impermeabilização, e contaminar as águas superficiais, camadas profundas do solo e o lençol freático, conforme ilustra a figura 5. Outro problema igualmente significativo se deve aos animais que podem ter contato livremente com os materiais descartados, visto que estes estão a céu aberto, aumentando a chance de proliferação de doenças.

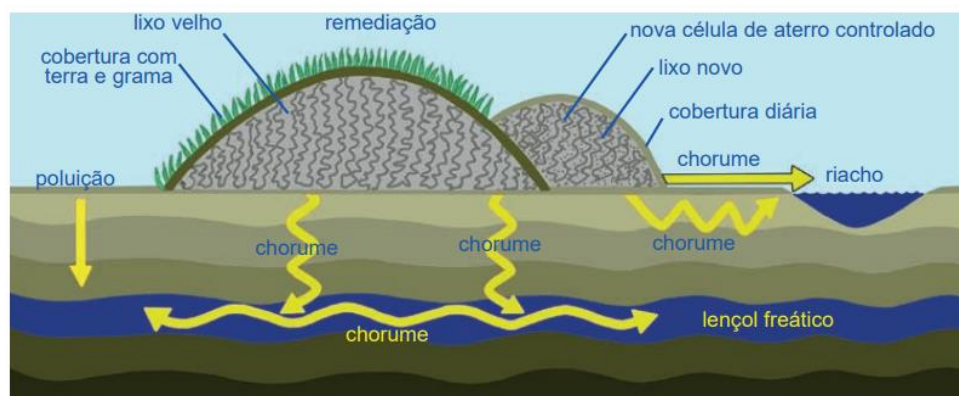
Figura 5 - Ilustração de descarte de resíduos sólidos em lixão.



Fonte: Santaella *et al.*, (2014)

Os aterros controlados se caracterizam pelo descarte e posterior cobertura com solo dos resíduos, conforme figura 6. Por mais que os resíduos não fiquem dispostos a céu aberto, os aterros controlados ainda são uma alternativa tecnicamente inadequada. Conforme Santaella *et al.*, (2014), este método também não tem nenhuma coleta ou tratamento do chorume produzido, somado ao fato dos aterros controlados não disporem de sistema de impermeabilização do solo, e serem instalados sem respeitar os critérios de declividade do solo.

Figura 6 - Ilustração de aterro controlado.

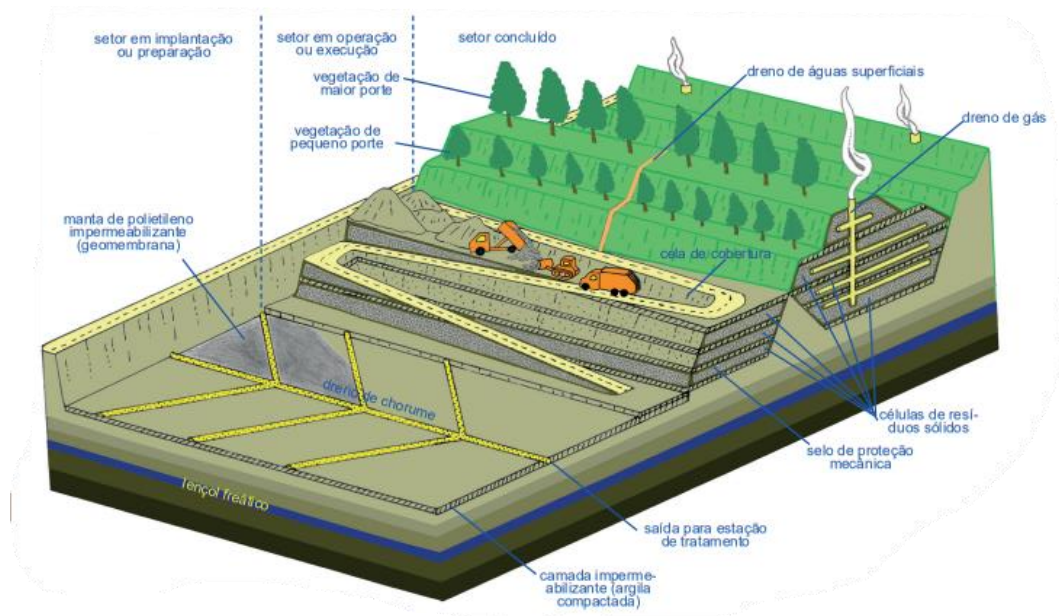


Fonte: Santaella *et al.*, (2014)

Por fim, os aterros sanitários se destacam no cenário da gestão dos resíduos sólidos, por apresentarem uma série de soluções técnicas capazes de diminuir a nocividade dos resíduos sólidos descartados, causando o menor impacto ambiental possível. Santaella *et al.*, (2014) cita alguns sistemas utilizados nos aterros sanitários, também ilustrado na figura 7:

a) controle de entrada e saída de materiais e de pessoas; b) impermeabilização da base (argila ou manta sintética); c) compactação dos resíduos; d) sistema de drenagem pluvial e de chorume; e) sistema de tratamento de chorume e de drenagem de biogás; f) cobertura diária dos resíduos com solo (camadas de 20 cm); g) cobertura final do aterro com solo (camadas de solo de 60 cm) (Santaella *et al.*, 2014, p. 28).

Figura 7 - Desenho esquemático de aterro sanitário.



Fonte: Santaella *et al.*, (2014).

4.2.4 Impactos Ambientais

Conforme Oliveira *et al.*, (2016), o descarte de resíduos sólidos em lixões se caracteriza como um grande problema, principalmente devido aos danos ambientais como degradação através da contaminação do solo e água, proliferação de doenças, desperdício de material reciclável e presença irregular de catadores em lixões.

Dentre os atributos físicos do solo, Assis (2021) destaca o aumento de densidade em decorrência do fluxo de grandes veículos. Segundo este mesmo autor, a ausência de medidas como o revolvimento do solo e incorporação de matéria orgânica intensifica a degradação.

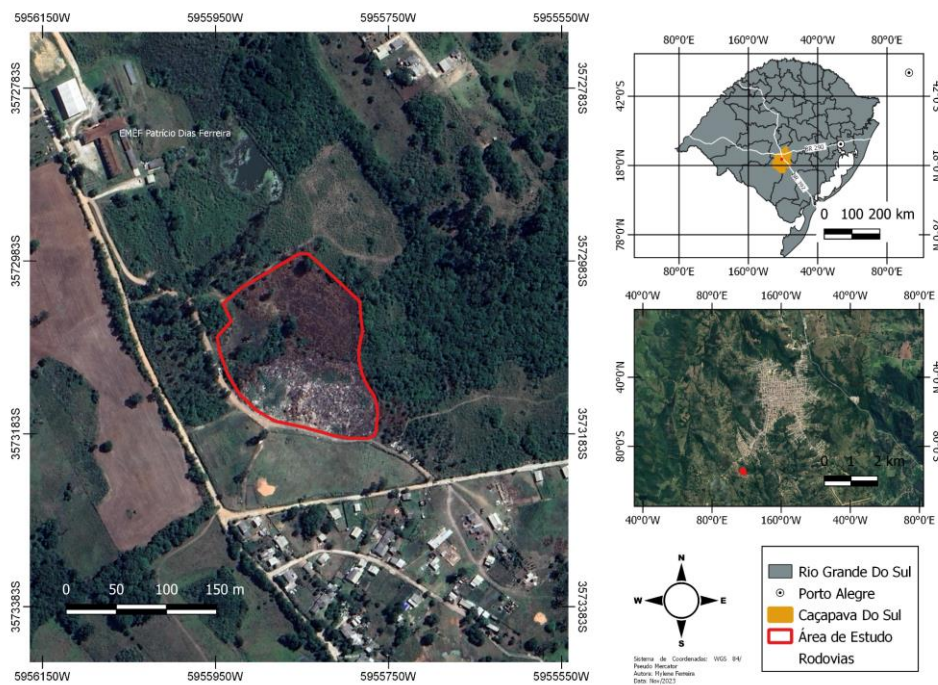
Oliveira *et al.* (2016), em seu estudo com solos de lixão com 20 anos de atividade, constatou alta concentração de metais pesados, como mercúrio, arsênio e chumbo.

5. METODOLOGIA

5.1 Caracterização da Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Caçapava do Sul. Conforme Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2022), o município possui área total de 3.048.147 km², está situado na região central do estado do Rio Grande do Sul, mesorregião Sudeste Rio-grandense e microrregião da Serra de Sudeste, a 260 km da capital Porto Alegre, conforme mapa de localização (Figura 8). O último censo demográfico (IBGE, 2022) indica que Caçapava do Sul conta com uma população de 32.515 habitantes, e densidade demográfica de 10,67 habitantes por quilômetro quadrado.

Figura 8 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autora (2023).

Segundo informações da secretaria municipal de meio ambiente, a área de estudo foi utilizada entre os anos de 2010 e 2013 para descarte de resíduos de construção civil, onde

nenhuma medida técnica foi aplicada para diminuir o impacto ambiental deste descarte, exceto a colocação de uma camada de solo para cobertura da área mais afetada. Atualmente a área é utilizada apenas para descarte de resíduos de poda de árvores. Ocorrendo também o descarte irregular de resíduos por parte da população, conforme pode-se constatar na visita de campo, onde identificou-se grande volume de resíduos dos mais diversos tipos (Figura 9),

Figura 9 - Acúmulo de resíduos na área de estudo.



Fonte: Autora (2024).

Dentre as irregularidades identificadas, destaca-se os restos de animal de grande porte em decomposição sendo descartado sem nenhum tipo de cuidado (Figura 10), o que caracteriza mais uma fonte de contaminação, principalmente para os animais que fazem a ingestão deste material em decomposição, e para moradores da região devido ao acúmulo de insetos, liberação de gases e mau cheiro.

Figura 10 - Restos de animal em decomposição.



Fonte: Autora (2024).

Conforme projeto de lei n.º 4.681, de 2023, que dispõe sobre a recolha, o transporte, a armazenagem, o manuseio e a destinação final de animais mortos, domésticos ou domesticados, e dá outras providências, o procedimento ideal para restos de animais domesticados seria a

incineração em local adequado. Nestes casos, é essencial que haja grande cuidado nas etapas de acondicionamento, identificação como substância infectante e transporte destes resíduos, evitando a ocorrência de contaminações.

Segundo Embrapa (2019), as principais vantagens da incineração de cadáveres de animais mortos de grande porte são:

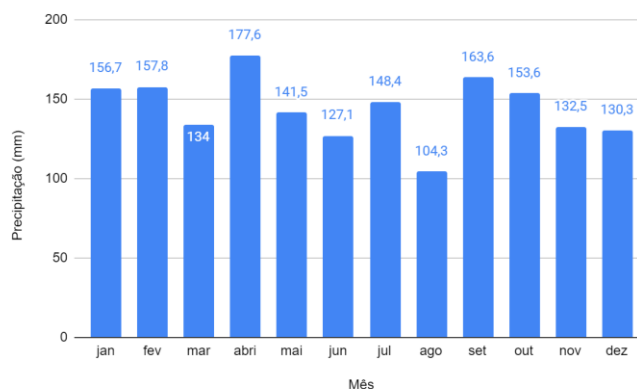
“[...] evita a disseminação de agentes infecciosos nocivos, controlando, desse modo, doenças consideradas graves; evita a poluição da água, solo e atmosfera por meio da queima dos animais mortos, incineradores móveis possuem a vantagem de fácil deslocamento, poluição atmosférica mínima, pouca emissão de odores devido ao emprego de alta temperatura” (Embrapa, 2019, p. 6).

Portanto, certamente este animal descartado de forma incorreta está gerando grande carga poluidora neste local, evidenciando descaso tanto dos proprietários, quanto dos gestores públicos, visto que um animal em decomposição em local público torna-se um problema não só para o meio ambiente, mas principalmente para a saúde de toda população do entorno.

5.1.1 Clima

Segundo Ferreira (2020) a região apresenta clima Subtropical Cfa, conforme a classificação climática de Köppen-Geiger (1936), sendo as principais características desse a ocorrência de clima úmido com precipitações bem distribuídas ao longo de todo ano, sem estação seca definida, classificado como clima temperado úmido com verão quente. Conforme Wrege *et al.*, (2012) o município apresenta precipitação média anual de 1727,4 mm, a figura 11 ilustra que abril e agosto são respectivamente os meses com maior e menor média de precipitação mensal.

Figura 11: Gráfico com média de precipitação mensal ao longo do ano em Caçapava Do Sul.



Fonte: Modificado de Wrege *et al.*, (2012).

5.1.3 Geologia Local

Conforme Becker (2008), Caçapava do Sul está inserida em uma região do escudo sul-riograndense, o que ocupa cerca de 1/3 do estado. Geologicamente esta região é constituída por rochas metamórficas e ígneas.

“Os granitos são expressivos em várias áreas como São Sepé, Caçapava do Sul, Lavras do Sul, Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul” (Departamento nacional da produção mineral 1984; medeiros, 1995 *apud* Becker, 2020, p. 33).

5.1.2 Pedologia

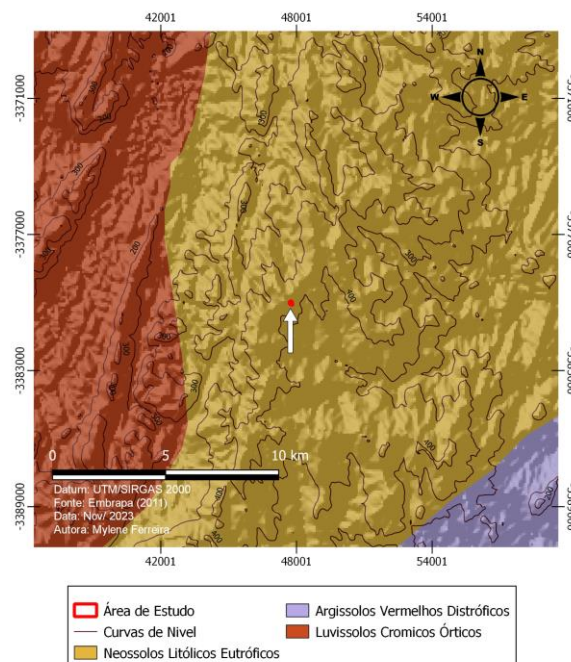
Conforme Medeiros (1995) citado por Becker (2008) a região do escudo se caracteriza por apresentar solos rasos, variando de bem drenados a pouco drenados e baixa CTC. Isto se deve principalmente às características do relevo da região e as altitudes elevadas.

Quanto aos processos de formação do solo Becker (2008) ressalta que o intemperismo ocorre de forma mais intensa em Caçapava do sul, se comparado com outras cidades da serra do sudeste:

“Em Caçapava do Sul, a única estação meteorológica da metade sul do Estado em que se observa a ocorrência de intemperismo químico forte, pois aí a precipitação pluvial é mais elevada do que nas outras estações meteorológicas da mesma região, em função da altitude” (Becker, 2008, p. 59)

Conforme dados da Embrapa (2011), ilustrados na figura 12, a área de estudos é composta por Neossolos Litológicos Eutróficos.

Figura 12: Mapa pedológico da área de estudo.



Fonte: Modificado de Embrapa (2011).

Santos *et al.*, (2018) destaca as seguintes características dos Neossolos:

Solos com contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície, apresentando horizonte A ou hístico assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos grosseiros (por exemplo, cascalheira de quartzo) com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões). Admitem um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (Santos et al., 2018, p. 221).

Segundo o mesmo autor, o termo Eutrófico se refere a solos com saturação de bases superior a 50 %.

Contudo, através da avaliação do perfil do solo da área de estudo foi possível identificar que trata-se de um Argissolo ou Luvisolo, o que corrobora com o mapeamento de solos realizado por Streck *et. al.*, (2018). Conforme este autor, os luvisolos Crômicos Pálicos abruptos podem ser encontrados na região de Caçapava do Sul. Sendo estes solos considerados originados de arenitos e conglomerados, com pouca profundidade.

Os Argissolos por sua vez, conforme Steck (2018), são a classe dominante de solos no estado do Rio Grande do Sul, com grande distribuição espacial. Apresentam solos profundos ou muito profundos.

“Estes solos apresentam tipicamente um perfil com um gradiente textural, onde o horizonte B é significativamente mais argiloso do que os horizontes A e E. Os solos podem ser originados de diversos tipos de materiais, tais como basaltos, granitos, arenitos, argilitos e siltitos” (Steck *et. al.*, 2018, p. 46).

Steck *et. al.* (2018), destaca que tanto Argissolos quanto Luvisolos possuem drenagem variando entre bem drenados ou imperfeitamente drenados.

Por fim, como não foram feitas análises químicas para definir com exatidão a classe de solos da área, considerou-se que neste local ocorre uma associação entre as três classes citadas anteriormente, sendo estas: Neossolos, conforme Embrapa (2011); Argissolos e Luvisolos segundo Streck *et al.* (2018) e dados de campo.

5.2 Caracterização do solo

5.2.1 Coleta e Preparação das amostras

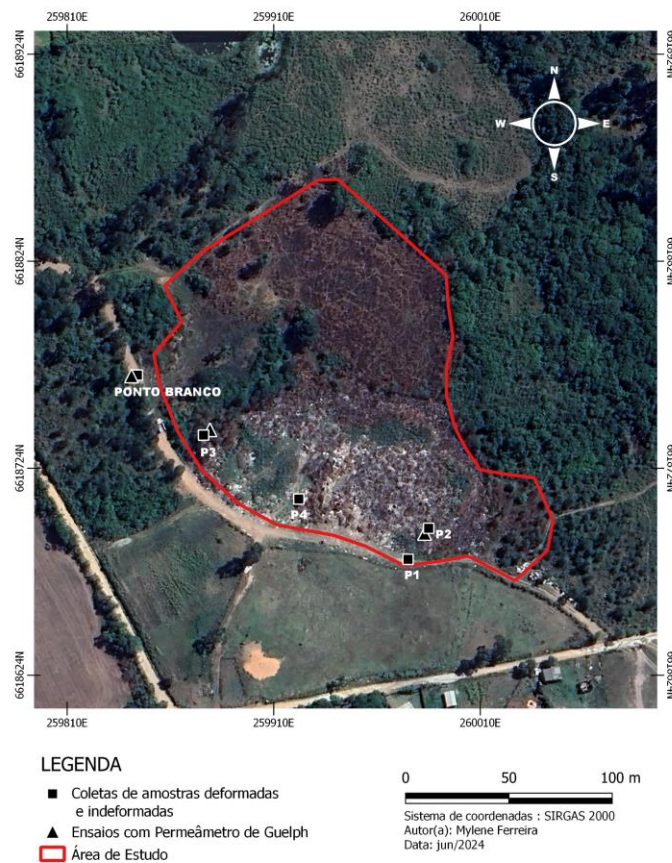
A coleta de amostras foi realizada em 5 pontos, conforme tabela 3. Os Pontos 1, 2, 3 e 4 localizam-se dentro da área de estudo, onde são feitos descartes irregulares de resíduos. O Ponto Branco foi coletado fora da área de estudo, sendo este o ponto testemunha. Na Figura 13 é apresentado mapa com os pontos de estudo georreferenciados.

Tabela 3 - Coordenadas dos pontos de coleta.

Ponto	Coordenadas
1	22J 259975 6618680
2	22J 259985 6618695
3	22J 259876 6618740
4	22J 259881 6618736
Branco	22J 259844 6618769

Fonte: Autora (2024).

Figura 13 - Mapa da área de estudo e pontos de coleta.



Fonte: Autora (2024).

As coletas de amostras deformadas e indeformadas foram realizadas em 30 cm, 50 cm e 1 m de profundidade no ponto branco (Figura 14), com o intuito de se obter maior caracterização do solo natural; e 30 cm nos Pontos 1, 2, 3 e 4, devido a dificuldade de realizar a coleta em maiores profundidades dentro da área de estudo. As coletas foram realizadas no dia 17 de abril. Para cada ponto foi utilizado um trado manual para coletar uma amostra de aproximadamente 1 kg de solo. O acondicionamento foi feito em sacos plásticos devidamente identificados.

Figura 14 - Perfil do solo no Ponto branco durante a coleta de amostras.



Fonte: Autora (2024).

Em relação às amostras indeformadas, com o auxílio de trado manual, foram coletados 4 anéis em cada ponto (Figura 15), sendo estes acondicionados em maleta para o transporte. Após, as amostras foram levadas e armazenadas no laboratório de Solos e Meio Ambiente da Unipampa, campus Caçapava do Sul.

Figura 15 - Coleta de amostra indeformada com trado manual.



Fonte: Autora (2024).

Para caracterização do solo, primeiramente foi necessário fazer a preparação das amostras, conforme a Embrapa (1997). Este método deve ser utilizado em todos os testes com amostras deformadas, e tem os seguintes passos:

- Secagem da amostra em temperatura ambiente até próximo da umidade hidrocópica, nesta etapa foram utilizadas bandejas para o secagem natural do solo (Figura 16);

Figura 16 - Secagem do solo em bandejas.



Fonte: Autora (2024).

- Realizar o destorroamento manual e homogeneização da amostra, tomando o cuidado de não quebrar os grãos do solo (Figura 17);

- Dividir a amostra em quantidades menores, suficientes para serem utilizadas nos ensaios.

Figura 17 - Destorroamento das amostras



Fonte: Autora (2024).

5.2.2 Determinação Terra fina seca ao ar, cascalho e calhaus

Na primeira parte da análise granulométrica é feito a determinação da Terra fina seca ao ar (TFSA), cascalho e calhaus, conforme Embrapa (2017). Este método consiste em passar a amostra de terra seca ao ar (TSA) pela peneira de 2 mm. Sendo a fração retida constituída de cascalhos e calhaus, e a fração passante é a TFSA.

A amostra retida na peneira de 2 mm passa por lavagem com NaOH e água destilada e seca em estufa. Após, são utilizadas as peneiras de 20 mm e 200 mm para separar as frações de cascalho, calhaus e terra fina. Por fim, pesa-se cada amostra e é calculada a porcentagem pelas equações 7,8 e 9. A porcentagem de matações é determinada por diferença.

$$\% \text{ de cascalho} = \frac{m \text{ de cascalho}}{m \text{ de amostra TSA}} * 100 * f \quad \text{Eq. 7}$$

$$\% \text{ de calhaus} = \frac{m \text{ de calhaus}}{m \text{ de amostra TSA}} * 100 * f \quad \text{Eq. 8}$$

$$\%Terra\ Fina = \frac{(m\ de\ amostra\ TSA/f) - m\ de\ cascalho - m\ de\ calhaus}{(m\ amostra\ TSA/f)} * 100 \quad Eq. 9$$

5.2.3 Fator de Umidade

Tem como intuito estimar a umidade presente no solo seco ao ar, que varia conforme a umidade do ar e tipo de solo. Para isto é feito uma relação entre a TFSA e TFSE. Na determinação da umidade higroscópica, utiliza-se aproximadamente 20 g de TFSA, a qual é levada para estufa a 105 °C por um período de 24 horas. Após, pesa-se a amostra de Terra Fina Seca em Estufa (TFSE) e calcula-se o fator de umidade pela equação 10, conforme metodologia da Embrapa (1997).

$$F = \frac{TFSA}{TFSE} \quad Eq. 10$$

5.2.4 Análise Granulométrica

A análise granulométrica é feita pelo método da pipeta, segundo Embrapa (1997). Nesta etapa deve-se adicionar TFSA, NaOH e água destilada para fazer a dispersão. A amostra é submetida à peneira de número 270 (0,053 milímetros). A peneira deve ser lavada com água destilada, e as areias retidas são colocadas em becker previamente pesado e levada para estufa até a secagem total. Por fim, é feita separação entre areias finas e grossas com a peneira número 70 (0,210 mm)

O material passante é colocado em proveta de 1000 ml até o total preenchimento da proveta. Deve ser verificada a temperatura da amostra e determinado o tempo de sedimentação. Após, utiliza-se a pipeta para retirar 25 ml da amostra em suspensão. Este material é então levado à estufa até a secagem total, e após é pesado para determinação da fração argila. As equações 11, 12, 13 e 14 são utilizadas para calcular as frações de areia, silte e argila.

$$\% \text{ de areia grossa} = (PDA - PAF) \times 5 \times f \quad Eq. 11$$

$$\% \text{ de areia fina} = PAF \times 5 \times f \quad Eq. 12$$

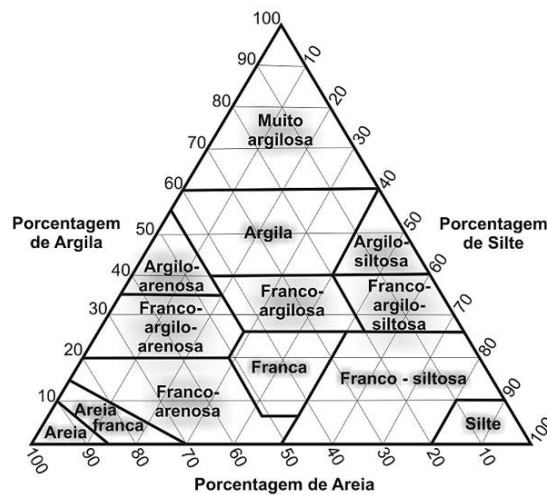
$$\% \text{ de argila} = PA \times 100 \times f \quad \text{Eq. 13}$$

$$\% \text{ de silte} = 100 - (\% \text{ de AG} + \% \text{ de AF} + \% \text{ de argila}) \quad \text{Eq. 14}$$

5.2.4.1 Determinação da Classe Textural

Com a determinação das porcentagem de areia, silte e argila do solo deve-se utilizar os valores no triângulo textural, conforme Figura 18, definindo assim a classe textural do solo estudado.

Figura 18 - Triângulo de classificação Textural de solos.



Fonte: Lemos & Santos, (1996).

5.2.5 Densidade do Solo e das Partículas

5.2.5.1 Densidade das Partículas

A densidade das partículas se refere ao espaço ocupado apenas por sólidos, sem considerar os poros vazios ou ocupados por água/ar. “O método de determinação da densidade de partículas visa medir a densidade média das partículas minerais e orgânicas na amostra de solo, refletindo sua composição média” (Embrapa, 2017, p. 76).

A metodologia para determinação da densidade das partículas seguiu o manual de Métodos de Análise de Solos (Embrapa, 2017). O método utilizado foi o do balão volumétrico, no qual é feita a determinação da densidade através da diferença de volume de um líquido necessário para preencher um balão volumétrico com e sem presença de solo. Neste caso, utiliza-se aproximadamente 20 mg de solo e o líquido utilizado no ensaio foi o álcool etílico.

O cálculo da densidade das partículas é feito através da equação 15:

$$Dp = \frac{ma}{(vt-vu)} \quad \text{Eq. 15}$$

onde:

Dp é a densidade das partículas, em kg dm^{-3} ;

ma é a massa da amostra seca a 105°C , em g;

vt é o volume total aferido do balão, em mL;

Vu é o volume utilizado para completar o balão com a amostra, em mL.

5.2.3.2 Densidade do Solo

A determinação da densidade do solo foi feita através do método do anel volumétrico, tendo como objetivo a obtenção da massa da amostra seca em estufa e do seu volume. Este método permite determinar o volume de uma amostra indeformada de forma indireta, através do volume do anel utilizado para coletar a amostra de solo.

Primeiramente, deve-se pesar cada anel para obter a massa do anel. Os anéis então são levados para estufa a 105°C por 48 horas, e pesados depois da secagem para obtenção da massa de solo seco.

Cada anel foi medido individualmente com paquímetro para determinar as dimensões e volume médio. Apresentaram volume médio de $100,45 \text{ cm}^3$, com diâmetro médio de $51,19 \text{ mm}^3$ e altura de 51 mm^3 , assim pode-se determinar o volumes da amostras de solo contidas os anéis, conforme determina o Manual de Métodos de Análise de Solos (Embrapa, 2017).

Após o procedimento aplica-se os valores obtidos na equação 16:

$$D_s = \frac{ma}{v} \quad \text{Eq. 16}$$

Onde:

D_s é a densidade do solo;

ma massa da amostra de solo seco a 105 °C;

v é o volume do cilindro.

5.2.4 Porosidade total

A determinação da porosidade total (P_t) foi feita pelo método indireto, utilizando os valores obtidos de densidade do solo (D_s) e de partículas (D_p), conforme Embrapa (2017). A equação 17 é usada para determinar a porosidade pelo método indireto:

$$P_t = \frac{[D_p - D_s]}{D_p} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde:

P_t é a porosidade total em %;

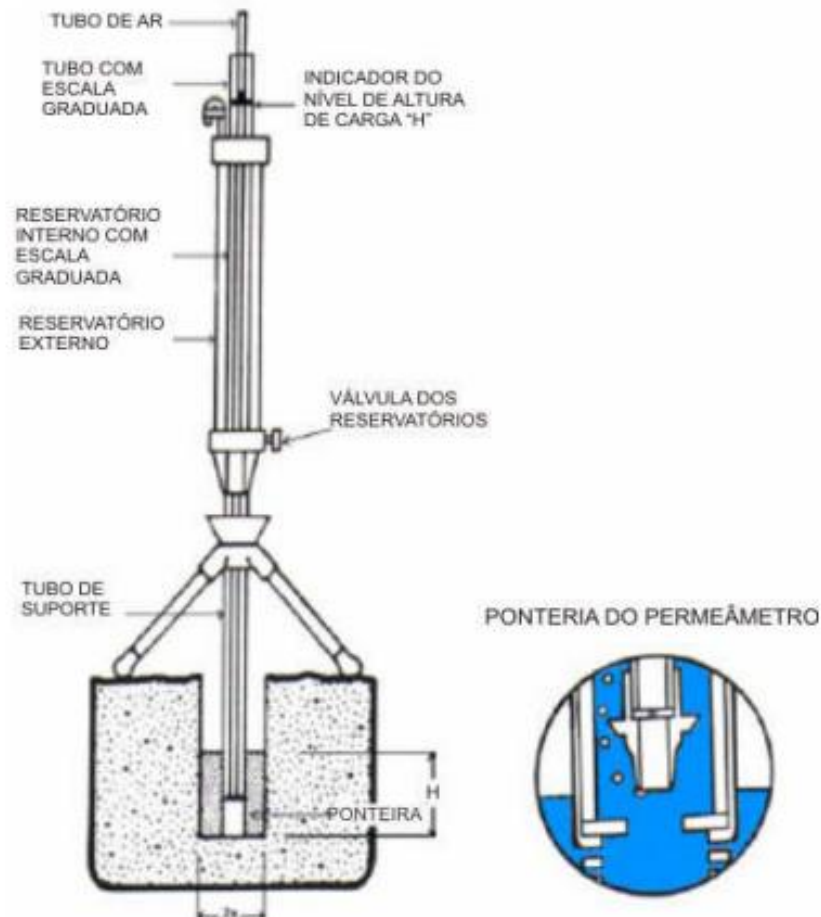
5.2.5 Ensaio De Permeabilidade Com Permeâmetro de Guelph

Conforme Ribeiro et al., (2009) com o permeâmetro de Guelph pode-se determinar e condutividade hidráulica saturada (K_{fs}) e potencial mátrico (ϕ_m). Este método consiste na realização de ensaio de infiltração em campo, a carga hidráulica aplicada deve ser constante, sendo possível a medição na superfície do solo ou no perfil.

Lisboa (2006) destaca que o permeâmetro de Guelph é constituído por 4 partes, segundo figura 19:

- Arranjo do tripé;
- Tubo de apoio e embaixo ajustes do tubo de ar;
- Reservatório de água;
- Cabeça de medição graduada e ajustes no tubo de ar superior.

Figura 19: Permeâmetro de guelph.



Fonte: Soto (1999)) *apud* Borges (SA).

Segundo metodologia de Lisboa (2006), o procedimento para ensaio em campo com o permeâmetro de guelph seguiu os seguintes passos:

- Abertura com o trado do furo de 6,0 cm de diâmetro.
- Escarificação das paredes da perfuração, evitando assim o fechamento dos poros em decorrência da perfuração.
- Montagem e abastecimento dos reservatórios de água do permeâmetro, garantindo que não haja saída de água ou vazamentos
- Posicionamento de permeâmetro no furo de sondagem (Lisboa, 2006, p. 18).

A perfuração de pequeno diâmetro é feita com o auxílio de um trado manual até a profundidade a ser ensaiada. Durante o ensaio e após algum tempo de aplicação de carga constante, uma pequena área em torno do furo estará saturada, formando um bulbo de saturação. Nesta região, o fluxo se torna constante possibilitando o cálculo da condutividade hidráulica (K_{fs}) (Ribeiro, 2009, p. 4)..

O ensaio consiste na utilização de sistema com um tubo de Mariotte, o qual faz conexão com o reservatório de água do permeâmetro. Por meio desse sistema, é aplicada uma carga constante de água numa abertura de 3,0 cm do tubo de Mariotte em furos de 10 cm de profundidade em relação à superfície do solo. O resumo do procedimento de ensaio em campo com permeâmetro de Guelph está na tabela 4, conforme metodologia apresentada por Aguiar (2001).

Tabela 4 - Etapas para ensaio com Permeâmetro de Guelph.

Procedimento para Ensaio com Permeâmetro de Guelph, conforme Aguiar (2001)	
Etapa	Descrição
1	Realizar a perfuração e medir a profundidade com o trado manual;
2	Fazer a montagem do permeâmetro;
3	Nivelar o arranjo do tripé sobre a perfuração;
4	Preencher os reservatório com água e verificar possíveis vazamentos;
5	Ajustar altura e pressão que serão utilizadas no ensaio;
6	Realizar as leituras em intervalos de 30 segundos, até que a diferença entre uma medida e sua anterior se torne constante por no mínimo três medições consecutivas.

Fonte: Modificado de Aguiar (2001)

O ensaio com permeâmetro de Guelph foi realizado nos pontos Branco, 1 e 3. Foi utilizado o permeâmetro da marca Soilmoisture equipment corp., da linha 2800k1, conforme figura 20.

Figura 20: Permeâmetro de guelph instalado na área de estudo.



Fonte: Autora (2024).

5.2.5.1 Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada (K_{fs})

Segundo Ribeiro et al., (2009), diferentes equações podem ser utilizadas para determinação da condutividade hidráulica saturada (K_{fs}). No contexto deste trabalho foi utilizada a técnica de duas alturas de carga ou dois estágios, com $H=12$ cm e $H=24$ cm. As equações utilizadas foram as apresentadas por Ribeiro et al., (2009) e também estão descritas no manual de instruções do permeâmetro de guelph.

O método de dois estágios consiste em aplicar duas alturas H_i de carga sucessivas no furo de sondagem. Uma vez determinadas as vazões para o regime permanente Q_i , correspondente a cada H aplicado, os parâmetros K_{fs} e ϕ_{Gm} são obtidos a partir de duas equações simultâneas (Soto, 2009, p. 140).

Os cálculos de K_{fs} devem ser feitos pela equação 17:

$$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1 \quad \text{Eq. 17}$$

Para resolução da equação 15 deve-se utilizar as equações 18, 19, 20 e 21:

$$Q1 = R1 * 35,22 \quad \text{Eq. 18}$$

$$Q2 = R2 * 35,22 \quad \text{Eq. 17}$$

$$G_1 = \frac{H_2 \times C_1}{\pi(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad \text{Eq. 20}$$

$$G_2 = \frac{H_1 \times C_2}{\pi \times (2H_1 + H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad \text{Eq. 21}$$

A determinação do fator de forma C_1 e C_2 foi feita a partir de equações apresentadas em tabela no manual de instruções do permeâmetro de guelph, onde a escolha da equação deve ser feita de acordo com as características do solo analisado. As equações que foram consideradas mais adequadas para calcular C na área de estudo foram as de solos de aterro sanitário (Eq. 22 e 23); para o Ponto branco as equações de C utilizadas (Eq. 24 e 25) foram as determinadas para solos com maior fração de silte e areias finas (Tabela 5).

Tabela 5 - Equações para o cálculo de C .

Solos de coberturas e revestimentos de aterros.	$C_1 = \left(\frac{H_1/a}{2.102 + 0.118(H_1/a)} \right)^{0.655}$ $C_2 = \left(\frac{H_2/a}{2.102 + 0.118(H_2/a)} \right)^{0.655}$ <p style="text-align: right;">Eq. 22 e 23</p>
Solos com estrutura fina (argilosos, siltosos), também podem incluir areias finas.	$C_1 = \left(\frac{H_1/a}{1.992 + 0.091(H_1/a)} \right)^{0.683}$ $C_2 = \left(\frac{H_2/a}{1.992 + 0.091(H_2/a)} \right)^{0.683}$ <p style="text-align: right;">Eq. 24 e 25</p>

Fonte: Manual de instruções permeâmetro de guelph da Soilmoisture equipment corp.

5.2.6 Ensaio de condutividade hidráulica com permeâmetro de carga constante

O ensaio de condutividade hidráulica com permeâmetro de carga constante foi realizado no laboratório de solos e meio ambiente da UNIPAMPA, campus Caçapava. Para realização do

ensaio primeiramente foi feito o fechamento do fundo dos anéis com TNT e atilhos de borracha para evitar perda de solo. Os anéis foram então colocados em bandeja com água e deixados por 48 horas para a saturação gradual do solo (Figura 21).

Figura 21: Saturação das amostras.



Fonte: Autora (2024).

Após, realizou-se o ensaio com permeâmetro de carga constante (Figura 22). O método consiste em estabelecer fluxo hidráulico constante por um tempo determinado. Decorrido o tempo de teste, foi feita a verificação do volume de água que passou por cada amostra de solo contida no anel. Neste caso, também é necessário definir o diâmetro e o comprimento médio dos anéis, com utilização de paquímetro, conforme metodologia desenvolvida por (Somavilla; Gubiani), inspirada no roteiro metodológico de Klute (1986), descrito no Methods of Soil analysis.

Figura 22 - Permeâmetro de carga constante utilizado para determinação da condutividade hidráulica saturada.



Fonte: Autora (2024).

O tempo de ensaio utilizado foi de 30 segundos para cada amostra, sendo cada ponto analisado em quadruplicata. A condutividade hidráulica foi calculada com a equação 26.

$$K_{sat} = \frac{V \cdot H}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot t \cdot (H+h)} \quad \text{Eq. 26}$$

Onde:

D é o diâmetro do anel;

t é o tempo de coleta;

h é a altura de lâmina de água sobre a amostra;

V é o volume de água coletado;

H é o comprimento da amostra de solo.

5.2.7 Análise dos dados

A análise estatística foi feita através da comparação das médias, mediana e análise de desvio padrão e coeficiente de variação. O software utilizado foi o Microsoft Excel.

5.2.8 Classificação do solo conforme Parâmetros mínimos para instalação de aterros sanitários

Os resultados obtidos nos ensaios deverão ser comparados com as normas mínimas estabelecidas para utilização de áreas para disposição de resíduos sólidos, conforme NBR 13896 (ABNT, 1997) que determina critérios para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos; e NBR 15849 (ABNT, 2010) que dita normas especificamente para aterros de pequeno porte. A tabela 6 apresenta os parâmetros do solo ditados pelas normas acima, que são pertinentes e serão utilizados para comparação no contexto deste trabalho.

Segundo a NBR 13896, os locais de disposição de resíduos sólidos devem possuir permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s.

Quanto à granulometria, a NBR 15849 orienta a utilização de solos de base com permeabilidade natural baixa, como solos argilosos, argilo-arenosos, ou argilo-siltosos. Este

não sendo uma obrigatoriedade, mas um fator positivo na escolha do local, principalmente por não ter a necessidade de impermeabilização complementar.

Tabela 6 - Parâmetros mínimos do solo determinados na legislação para implantação de aterro sanitário.

Consistência e granulometria das camadas de base do aterro (NBR 15849)	Permeabilidade (NBR 13896)
Solos Naturalmente pouco permeáveis: solos argilosos, argilo-arenosos, ou argilo-siltosos	$k < 10^{-6}$ cm/s

Fonte: Modificado de NBR 15849 (2010) e NBR 13896 (1997).

6. RESULTADOS

6.1 Granulometria

Conforme ilustrado na tabela 7, com as porcentagens de areia, silte e argila encontradas em cada ponto amostrado, nota-se que a argila possui menor fração em todos os pontos estudados, e fração dominante de areia, seguido de silte.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de granulometria.

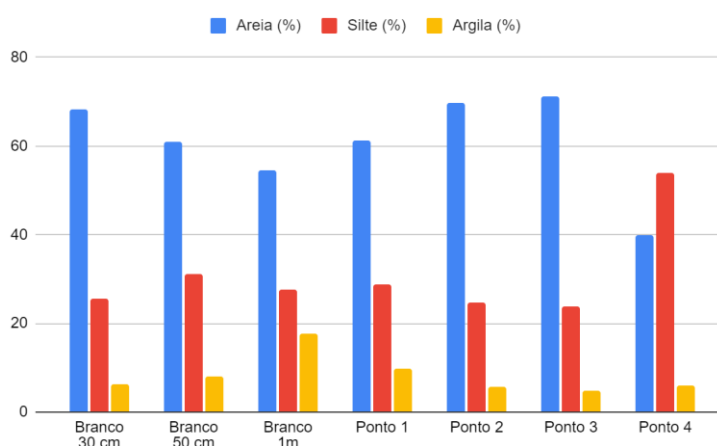
Amostra	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
Branco 30 cm	68,2	25,6	6,3	FRANCO ARENOSO
Branco 50 cm	60,9	31,0	8,1	FRANCO ARENOSO
Branco 1m	54,6	27,7	17,7	FRANCO ARENOSO
Ponto 1	61,3	28,9	9,8	FRANCO ARENOSO
Ponto 2	69,6	24,8	5,6	FRANCO ARENOSO
Ponto 3	71,2	23,9	4,9	FRANCO ARENOSO
Ponto 4	40	54,0	6,0	FRANCO SILTOSA

Fonte: Autora (2024).

Autores como Limas (2008), afirmam que pequenas porcentagem de argila já são suficientes para que o solo possa apresentar algumas características de argila, como maior coesão e plasticidade quando úmido. Isso pode explicar o porquê do solo estudado ter aspecto pastoso do solo quando úmido, visualmente muito semelhante a solos argilosos.

Conforme gráfico ilustrado na figura 23, observou-se os maiores percentuais de areia em pontos dentro da área de estudo (Ponto 1, 2, 3), se comparado com as amostras do ponto branco. Uma explicação possível seria a incorporação desta fração através do descarte de resíduos de construção civil que ocorreu na área. O ponto 4 teve as maiores porcentagem de silte com 54%, valor determinante na classe textural desta amostra, que foi distinta das demais.

Figura 23 - Gráfico com valores de areia, silte e argila em %.



Fonte: Autora (2024).

Em relação a fração argila, observou-se no ponto branco um aumento desta fração conforme aumentou a profundidade do solo, com maior percentual na profundidade de 1 m, com 17,7% de argila. Paralelo a isto, houve diminuição da fração areia com o aumento da profundidade.

Este maior percentual de argila em maiores profundidades pode ocorrer devido às características dos Argissolos. Conforme Embrapa (2018), nesta classe de solos pode ocorrer acúmulo de argila no horizonte textural B, devido a remoção de argila da parte mais superficial do solo. Huber (2013) realizou estudo com argissolo vermelho de textura franco arenosa, no qual também identificou crescimento na fração argila em horizontes subsuperficiais, principalmente a partir de 40 cm de profundidade e maior quantidade de areia nos primeiros 40 cm de perfil de solo. Isto indica que nos Argissolos existe a tendência predomínio da fração

areia na parte superficial do solo, devido a remoção seletiva de argila para profundidades maiores.

Os ensaios de granulometria demonstraram que o solo da área de estudo apresenta classe textural franco-arenosa nas amostras do Ponto branco, 1, 2 e 3. Em um contexto geral, a fração areia foi a dominante, com média geral de 60,8 %; seguida do silte com 30,8 %; e por fim a argila com menor porcentagem média geral, com 8,3 %.

O ponto 4 foi classificado como franco-siltosa, com 54% de silte e menor percentual de areia identificado, com 40%. Conforme Centeno (2017), solos da classe franco apresentam equilíbrio entre as proporções de areia, silte e argila, sendo uma classe textural média, isto faz com que estes solos tenham boa drenagem, não sendo recomendado sua utilização para aterros, devido a sua baixa capacidade de retenção de líquidos. Conforme Quissini (2009), os solos normalmente indicados para cobertura de aterros são do tipo argiloso compactado, compostos principalmente por bentonita que tem baixa condutividade (10^{-9} m/s).

“A cobertura final deve minimizar a infiltração de água na célula, exigir pouca manutenção, não estar sujeita à erosão, acomodar assentamento sem fratura e possuir um coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural do aterro.” (Quissini, 2009, p. 32)

Todos os pontos de amostragem apresentaram textura franco-arenosa, exceto o Ponto 4, classificado como Franco-Siltosa. Nenhum dos pontos analisados estão conforme a NBR 15849, a qual recomenda a utilização de solos de base com permeabilidade natural baixa. Além disso, Almeida; Schalch (2008) destaca que solos arenosos não devem ser utilizados como base para descarte de resíduos, devido principalmente a alta condutividade hidráulica e baixa capacidade de sorção dos contaminantes.

Lee *et al.* (2002) comparou a capacidade de sorção de solos com diferentes classes texturais, obtendo melhores resultados em solos argilosos com maior superfície específica e capacidade de retenção de cátions devido às cargas negativas presentes nas argilas. Maeso *et. al* (2019) realizou estudo de sorção de contaminantes de preocupação emergente, onde identificou melhores taxas de adsorção de solos com maiores teores de argila em detrimentos de solos arenosos. Embora ambos autores destacam que os mecanismos de sorção e adsorção de contaminantes do solo sejam bastante complexos e dependentes de muitas variáveis como Ph, características e interações químicas solo/contaminante, quantidade de matéria orgânica, etc;

sabe-se que a classe textural do solo também é uma das variáveis que podem afetar esse processo.

Portanto, essa classe de solos franco-arenosa e franco-siltosa, com baixos teores de argila, não é recomendada e pode não ser totalmente eficiente para ser utilizada como barreira natural de contaminantes.

6.2 Índices físicos do solo

Na tabela 8 são apresentados os resultados obtidos para densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt) em cada ponto.

Tabela 8 - Resultados obtidos para os atributos do solo

Ponto	Profundidade	Dp (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Pt (%)
Branco	30 cm	2,42	1,6468	32,0
Branco	50 cm	2,97	1,7268	41,9
Branco	1 m	2,34	1,6795	28,3
Ponto 1	30 cm	2,53	1,6275	30,5
Ponto 2	30 cm	2,48	1,6275	34,3
Ponto 3	30 cm	2,47	1,6450	33,3
Ponto 4	30 cm	2,45	1,4533	40,7

Fonte: Autora (2024).

Em relação à densidade de partículas, obteve-se valores médios de 2,58 g/cm⁻³ no ponto branco e 2,48 g/cm⁻³ na área de estudo. Este parâmetro se refere à relação entre massa da amostra utilizada e volume de sólidos. Conforme Santos *et al.* (2015), os valores de Dp refletem muito a mineralogia e textura do solo. Solos com predominância de quartzo, e feldspatose silicatos tendem a apresentar maior densidade de partículas, variando entre 2,3 e 2,9 g/cm⁻³, refletindo a alta densidade destes minerais. De forma oposta, solos com maior acúmulo de matéria orgânica tendem a apresentar valores menores, normalmente variando entre 0,6 e 1,0 g/cm⁻³. Conforme o mesmo autor, solos mais argilosos tendem a ter menor Dp em relação a solos arenosos.

Os valores encontrados de D_p indicam presença de solos formados por minerais de alta densidade, o que corrobora com a granulometria identificada, com predominância da fração areia e menores porcentagens de argila. Avaliando a variação de D_p no ponto branco, obteve-se diminuição da profundidade 30 cm para 1 m, isso se deve ao fato de que nestes pontos houve diminuição da fração areia e aumento da argila em maiores profundidades. Da mesma forma, era esperado que houvesse decréscimo na D_p de 30 cm para 50 cm, porém o acréscimo pode ter ocorrido por algum fator desconhecido que esteja influenciando esta variação da densidade de partículas nesta profundidade.

Para densidade do solo (D_s) O ponto branco apresentou valor médio de $1,68 \text{ g/cm}^3$, com acréscimo de 30 cm para 50 cm, e decréscimo de 50 cm para 1 m. Neste caso era esperado que houvesse diminuição de D_s de 30 para 50 cm, devido à maior porosidade total e acúmulo de argila em profundidade, visto que D_s é inversamente proporcional a P_t . Sabe-se que solos com maior percentual de argila apresentam menor densidade, assim é condizente que na profundidade de 1 m ocorra diminuição de D_s , devido ao maior percentual de argila em relação à parte mais superficial deste ponto.

Nos pontos da área de estudo, obteve-se $1,57 \text{ g/cm}^3$ de média de densidade do solo e valores bastante próximos entre os pontos 1, 2 e 3. O menor valor de D_s foi no ponto 4 com $1,45 \text{ g/cm}^3$, o que se deve a menor fração de areia neste ponto e maior percentual de silte, também resultando em maior porosidade total. De forma geral, na área de descarte de resíduos o solo se encontra em estado de compactação, devido ao trânsito de máquinas pesadas que realizam descarte de resíduos de poda. O processo de compactação consiste em redução de densidade do solo, devido a aplicação de forças sobre o perfil do solo, também causando a redução de porosidade total. Deve-se lembrar também, que na área de estudo ocorre acúmulo de resíduos dos mais diversos tipos, tamanhos e a disposição é feita de forma heterogênea, sem presença de cobertura total com camada de solo. Assim, o processo de compactação nesta área ocorre de forma acidental e pode não ser efetiva para evitar a infiltração da água. Conforme Quissini (2009), a faixa ideal para D_s está entre $1,3$ e $1,9 \text{ g/cm}^3$. Com isso todos os pontos estudados estão adequados a estes valores.

A Porosidade total é um parâmetro que quantifica a porcentagem de espaço disponível no solo, podendo ser ocupado tanto por água, quanto por solo. De forma geral, é inversamente proporcional a densidade do solo, no contexto deste trabalho o principal fator que influenciou na porosidade é o alto grau de compactação na área de estudo e constituição granulométrica, visto

que solos arenosos apresentam menor porosidade total em comparação com solos siltosos e argilosos. O alto valor de Pt no ponto 4 pode se explicar por esta amostra ter valor mais baixo de densidade do solo, menor percentual de areia e quase o dobro de porcentagem de silte, em relação aos outros pontos da área de estudo. Apenas no ponto branco com 1 m de profundidade apresentou valores inferiores aos recomendados por Quissini (2009), entre 30 a 70%. Os demais pontos estão dentro desta faixa.

Dado o exposto, pode-se concluir que as variações tanto de densidade, quanto de porosidade total na área de estudo está sendo influenciada pela heterogeneidade do local, com grande quantidade de resíduos misturados ao solo superficial e ausência de cobertura uniforme destes resíduos.

6.3 Permeabilidade

Conforme orienta o manual de utilização do permeâmetro de Guelph, os parâmetros de cálculo utilizados bem como os resultados obtidos através dos ensaios de permeabilidade, podem são apresentados através da tabela 9, onde o ponto testemunha apresentou condutividade hidráulica saturada (K_{fs}) de $3,08 \text{ m/s}^{-6}$ o ponto 1 teve K_{fs} de $5,84 \text{ m/s}^{-6}$; e no ponto 3 obteve-se o menor valor de K_{fs} igual a $2,99 \text{ m/s}^{-7}$.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de permeabilidade com permeâmetro de Guelph.

Ponto	Condutividade hidráulica saturada K_{fs} (m/seg)
Ponto Branco	3,08E-06
Ponto 1	5,84E-06
Ponto 3	2,99E-07

Fonte: Autora (2024).

A menor condutividade hidráulica no ponto 3, em comparação com o ponto testemunha e ponto 1 pode se justificar devido ao trânsito de máquinas pesadas que pode estar causando maior compactação, visto que esta área atualmente é utilizada pela prefeitura para o descarte de resíduos vegetais provenientes de podas de árvores. Conforme Streck *et al.* (2004) e Rocha *et al.* (2022), o processo de compactação é responsável por alterações significativas dos

parâmetros físicos do solo, com aumento de densidade e diminuição de porosidade e condutividade hidráulica, principalmente nos primeiros 20 cm de profundidade.

Segundo Streck *et al.* (2004), a diminuição da permeabilidade, e conseqüente aumento da capacidade de retenção de água no perfil do solo é uma das principais conseqüências da compactação. Este decréscimo ocorre pelo aumento da densidade do solo, diminuição da porosidade total e descontinuidade de poros, devido à destruição da macroporosidade. Além disso, haveria um acréscimo da resistência à penetração do solo e menor disponibilidade de água no perfil do solo. Fator que pode ser favorável para solos utilizados em locais de descarte de resíduos sólidos.

Os valores obtidos de K_{fs} estão dentro do intervalo recomendado por Almeida; Schalch (2008) (entre $\sim 10^{-6}$ e 10^{-7} m/s). Com isso, conforme este autor, o solo da área de estudo apresenta condutividade hidráulica saturada dentro da faixa indicada para retenção de fluidos. Entretanto, conforme Quissini (2009), a permeabilidade ideal do solo de aterro para reduzir a possibilidade de contaminação de maiores profundidades do solo e águas subterrâneas não pode ser maior que 10^{-9} m/s. O ponto branco, 1 e 3 apresentam valores superiores a este.

Conforme a tabela 10, os valores de K_{fs} são característicos de solos compostos por silte e argilas, o que está em conformidade com as classes texturais franco obtidas nos ensaios granulométricos.

Tabela 10 - Permeabilidade característica de diferentes classes texturais do solo.

Tipo de solo	Permeabilidade k (m/s)
Pedregulhos	10^{-3}
Areias	10^{-3} a 10^{-5}
Baixa siltes e argilas	10^{-5} a 10^{-7}
Muito baixa (Argila)	10^{-7} a 10^{-9}
Baixíssima (Argila)	$<10^{-9}$

Fonte: Quissini (2009).

Além disso, pode-se constatar que nos 3 pontos analisados a condutividade hidráulica saturada K_{fs} é maior que o valor de 10^{-6} cm/s ou 10^{-8} m/s recomendado na NBR 13896. De acordo com esta norma, seria necessária prévia impermeabilização do solo para que este possa receber o descarte de resíduos.

Autores como Naves (2019) e Costa (2019), destacam a importância da escolha de materiais adequados para base e cobertura superior dos resíduos, sendo possível um nível de impermeabilização que impeça o fluxo dos líquidos percolados com possíveis contaminações oriundos dos resíduos. Ainda conforme Neves (2019), para que a atenuação de contaminantes por meio do solo seja eficiente, a concentração dos poluentes deve diminuir proporcionalmente à profundidade do solo, e o fluxo de lixiviado através do solo deve ser retardado.

Para Costa (2019), a utilização apenas de solo compactado em aterros é uma técnica antiga e nem sempre eficiente na contenção dos contaminantes. Sendo atualmente mais usual uma mistura de materiais como geossintéticos, concreto, solo compactado, membranas de bentonita, entre outros. Estas técnicas têm como objetivo a combinação de uma série de propriedades, com o intuito de diminuir a permeabilidade deste material.

6.4 Condutividade hidráulica Saturada

A tabela 11 apresenta os valores obtidos de condutividade hidráulica saturada, Observou-se um aumento do valor K_{sat} conforme aumentou-se a profundidade no ponto branco. Neste ponto, esperava-se que houvesse decréscimo da condutividade hidráulica em maior profundidade, visto que na profundidade de 1 m houve diminuição da porosidade total e aumento da densidade do solo, em relação à superfície. Com esta configuração de parâmetros e considerando também a maior porcentagem de fração argila na profundidade de 1 m, deveria haver decréscimo de condutividade do solo nesta profundidade. Este aumento pode ter sido causado por algum outro fator não avaliado no escopo deste trabalho, como por exemplo macro e micro estruturas e conectividades de poros. Não se pode descartar também a possibilidade de alguma falha na aplicação da metodologia ou na realização dos ensaios.

É importante ressaltar que a caracterização do perfil do solo no ponto branco em relação a K_{sat} é fundamental, considerando que na área de estudo houve descarte de resíduos em solo natural, sem prévia impermeabilização, sistema de drenagem e recolhimento de lixiviado. Desta forma, pode-se inferir que o solo sob o qual os resíduos foram depositados apresenta características de condutividade hidráulica saturada semelhantes às identificadas no ponto branco.

Nos pontos selecionados na área de estudo, os seguintes valores foram determinados a profundidades de 30 cm: 1,46 m/s⁻⁷ no P1 e P2 2,15 m/s⁻⁷ no P3; e 11,4 m/s⁻⁷ no P4. Deve-se destacar o valor elevado de condutividade hidráulica no ponto 4, em relação aos outros pontos de dentro da área de estudo. Porém, neste caso a explicação pode estar no baixo valor de densidade do solo e maior porcentagem de porosidade total entre todos os pontos da área de estudo.

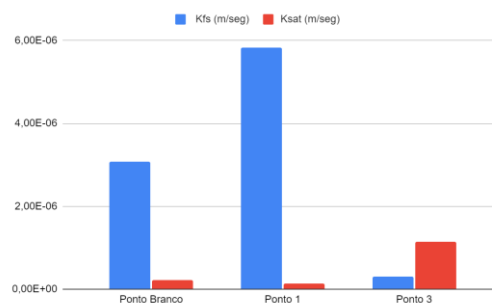
Tabela 11 - Resultados do teste de condutividade hidráulica saturada.

Ponto	Profundidade	Condutividade Hidráulica Saturada (Ksat) m/s ⁻⁷
Branco	30 cm	2,15
Branco	50 cm	2,79
Branco	1 m	4,06
P1/P2	30 cm	1,46
P3	30 cm	2,15
P4	30 cm	4,5

Fonte: Autora (2024).

Através da Figura 24 ilustra-se graficamente a variação entre os valores de K_{fs} e K_{sat} nos pontos analisados pelos dois métodos. Os valores de K_{sat} de 10⁻⁷ no P4 foram condizentes com a condutividade hidráulica saturada (K_{fs}) encontrado no P3 com ensaio com permeâmetro de Guelph realizado in situ. Nos pontos Branco e P1 os valores de K_{sat} foram inferiores a K_{fs} .

Figura 24 - Gráfico de variação entre valores de K_{fs} e K_{sat} .



Fonte: Autora (2024).

Conforme Gupta *et al.* (2021), as diferenças entre valores obtidos em laboratório e em ensaios de campo é comum e ocorre principalmente devido à escala de realização do ensaio. A exclusão de estruturas do solo em muitas amostras de laboratório limita a capacidade de replicar observações de campo, que são mais influenciadas por macro e micro estruturas, conectividades de poros, textura do solo, porosidade total, entre outras.

“Em outras palavras, a variabilidade nos valores de K_{sat} depende da consideração (e existência) da estrutura do solo pelos métodos de medição. Os poros estruturais do solo alteram a distribuição do tamanho dos poros e, subsequentemente, afetam os valores de K_{sat} ” (Tuller e Or , 2002 apud Gupta *et al*, 2021). “A condutividade hidráulica saturada de um solo é determinada pela geometria e continuidade dos poros preenchidos com água, tornando-se dependente, portanto, da forma, quantidade, distribuição e continuidade dos mesmos.” (Mesquita; Moraes, 2003,p.2)

Portanto, conforme os autores citados acima, é aceitável que haja variação entre o método de condutividade hidráulica saturada em laboratório e o ensaio de permeabilidade com permeâmetro de Guelph, visto que em laboratório a utilização de menores amostras não torna possível representar totalmente as dinâmicas de fluxos no solo.

6.5 Análise de dados

Na tabela 12, pode-se observar os valores estatísticos de cada parâmetro estudado no ponto branco (Pb) e na área de estudo (Ae), apenas para o K_{sat} não foi possível o cálculo de desvio padrão e coeficiente de variação no ponto branco, devido ao fato de que neste ponto foi obtido apenas um valor de K_{sat} .

Em comparação entre dados do Ponto branco (Pb) e área de estudo (Ae), em K_{fs} obteve-se valores quase iguais de média e mediana. D_s e D_p apresentaram valores similares de mediana, com pequena diferença de média entre Pb e Ae de cada parâmetro. Conforme Mesquita *et al.* (2003), menores diferenças entre média e mediana indicam distribuição simétrica de valores ao redor da média e mediana. Portanto D_s e D_p tendem à distribuição mais simétrica em relação aos outros parâmetros. O valor de desvio padrão abaixo de 1 de D_s também corrobora para tendência de homogeneidade, pois esta variável estatística indica o grau de dispersão de um conjunto de dados, ou seja, expressa em valores numéricos a uniformidade dos valores obtidos em cada parâmetro. Quanto mais próximo de 0 o desvio padrão, mais homogêneas são os dados.

Em relação à D_p , embora tenha média e mediana com valores próximos, este parâmetro apresentou maior diferença de desvio padrão, o que também foi identificado no coeficiente de variação, com valores de 10,94 no Pb e apenas 1,40 na Ae, esta diferença de 9,54% indica que a área de estudo teve valores de D_p mais homogêneos em comparação com o ponto branco.

Sabe-se que a densidade de partículas independe de fatores relacionados com estrutura do solo, como por exemplo grau de compactação, porosidade e densidade do solo, refletindo principalmente a composição mineral e granulométrica do solo.

Tabela 12 - Valores estatísticos dos resultados obtidos no ponto branco (Pb) e na área de estudo (Ae).

Estatística/pro priedade	Dp		Ds		Pt		Kfs		Ksat	
	Pb	Ae	Pb	Ae	Pb	Ae	Pb	Ae	Pb	Ae
Média	2,54048	2,48102	1,6601	1,5754	36,12686	35,31288	3,08E-06	3,070E-06	3,44E-07	2,70E-07
Mediana	2,42155	2,47131	1,6084	1,6254	31,99527	33,77802	3,08E-06	3,070E-06	2,79E-07	2,15E-07
Desvio Padrão	0,278053	0,034791	0,170936	0,189936	7,157991	3,633912	-	3,92E-06	1,70E-07	1,59E-07
Coefficiente de variação %	10,944906	1,402298	10,30	12,06	19,81	10,29	-	127,64550	49,5	58,9

Fonte: Autora (2024).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do ensaio de granulometria identificou-se que os pontos branco (30cm, 50cm e 1m) e pontos 1, 2 e 3 apresentam textura franco-arenosa e o ponto 4 franco-siltosa. Com características de terem maior permeabilidade e não é recomendada por não ser totalmente eficiente como barreira natural de contaminantes. As classes texturais estão em desconformidade com a NBR 15849, a qual recomenda a utilização de solos de base com permeabilidade natural baixa, compostos majoritariamente de argila.

No ensaio de permeabilidade com permeâmetro de Guelph a permeabilidade ideal do solo de aterro para reduzir a possibilidade de contaminação de maiores profundidades do solo e águas subterrâneas não pode ser maior que 10^{-09} m/s. O ponto branco, 1 e 4 apresentam valores superiores a este. Além disso, nos 3 pontos analisados o valor de *Kfs* também é superior ao valor de 10^{-6} cm/s ou 10^{-8} m/s recomendado na NBR 13896. Neste caso, a área necessitaria de um processo de impermeabilização anterior ao descarte de resíduos.

Em relação ao ensaio de condutividade hidráulica, os valores de *Ksat* de 10^{-7} no P3 foram condizentes com a condutividade hidráulica saturada (*Kfs*) encontrado no P3 com ensaio com permeâmetro de Guelph. Nos pontos Branco e P1 os valores de *Ksat* foram inferiores a *Kfs*.

Essa variação pode ocorrer principalmente pela diferença de tamanho das amostras utilizadas em laboratório em comparação com os ensaios em campo, que possibilita a representação fiel das dinâmicas de fluxo no solo.

De modo geral, os métodos de caracterização de permeabilidade do solo evidenciaram condutividade hidráulica saturada superior aos valores recomendados pela legislação brasileira e pela bibliografia consultada, de modo que esta área não apresenta características recomendadas para o descarte de resíduos no solo sem prévia impermeabilização que garanta a segurança deste processo de gestão dos resíduos.

Dentre as possíveis ações de remediação para esta área, pode-se citar a remoção dos resíduos e destinação adequada em aterros sanitários, esta alternativa se justifica principalmente pelo grande volume de resíduos neste local, incluindo resíduos de construção civil, eletrônicos, plásticos e até mesmo infectantes, como restos de animais em decomposição. Outra possibilidade seria o isolamento do local, através da impermeabilização do solo e da cobertura dos resíduos. Conforme determina a resolução Conama nº 420/200 de 2009, a escolha do método de remediação deve ser definida com base em estudos de caracterização da área contaminada, a natureza dos resíduos presentes e a população potencialmente afetada.

Portanto, o método ideal para remediação de áreas de descarte irregular de resíduos sólidos deve ser selecionado pelos gestores públicos, considerando a legislação brasileira e buscando a minimização dos impactos socioambientais.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Adriana Briggs de. **O emprego do permeâmetro de guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura**. 2001. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-de-brasilia/engenharia-civil/adriana-briggs-de-aguiar/9536535>. Acesso em 19 out. 2023.

ALMEIDA, Tânia Leme de; SCHALCH, Valdir. Avaliação da movimentação de líquidos contaminantes percolados nos poros do solo em locais de disposição de resíduos sólidos. **Águas Subterrâneas**, [s. l.], 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23367>. Acesso em: 10 nov. 2023.

ASSIS, Juliana Malta de; FILHO, Elilson Gomes de Brito; CAMPOS, Milton César Costa; BRITO, Wildson Benedito Mendes; MARTINS, Thalita Silva; LIMA, Alan Ferreira Leite de; RODRIGUES, Anderson Vieira; PINHEIRO, Elyenayra Nogueira. Dinâmica da sazonalidade e atributos físicos e químicos de solos em lixão a céu aberto no Sul do Amazonas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. [S. l.], v.15, n. 3, e9237, p. 1-14, jul./set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n3e9237>. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/9237>. Acesso em: 2 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/nbr-7181.pdf>. Acesso em 11 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio De Janeiro: ABNT, 1995. Disponível em: https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/02/abnt_nbr_06502_-_1995_-_rochas_e_solos_-_terminologia.pdf. Acesso em: 27 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**: aterro de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: engcivil20142.files.wordpress.com/2018/04/nbr-13896-aterros-de-resc3adduos-nc3a3o-perigosos.pdf. Acesso em: 23 out. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15849**: Resíduos sólidos urbanos - aterros sanitários de pequeno porte - diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/500914941/NBR-15849-de-06-2010-Residuos-solidos-urbanos-Aterros-sanitarios>. Acesso em 29 out. 2023.

BECKER, Elsbeth Léia Spode. **Solo do rio grande do sul e sua relação com o clima**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em agronomia, Santa Maria, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3174>. Acesso em: 18 out. 2023.

BORGES, Fabiano Alves; BORGES, Raffaella Fernandes; NISHIYAMA, Luiz; CAMPOS, Eduardo Humberto. **A Utilização do Permeâmetro Guelph em Diferentes Tipos de Uso e Ocupação dos Solos da Chapada Uberlândia/Uberaba – MG.** SINAGEO. [s. l.]. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0115.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.

BRASIL. **Decreto lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da república. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 10 out. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 81-84, 30 dez. 2009. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acs.pdf>. Acesso em: 1 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3-7, 3 ago. 2010.

BRASIL. **Projeto de Lei n.º 4.681, de 2023.** Dispõe sobre a recolha, o transporte, a armazenagem, o manuseio e a destinação final de animais mortos, domésticos ou domesticados, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao/?idProposicao=2390630#:~:text=PL%204681%2F2023%20Inteiro%20teor,Projeto%20de%20Lei&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20recolha%2C%20o,domesticados%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias>. Acesso em: 30 ago. 2024

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6ª edição. Rio De Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1988. E-book. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>. Acesso em 21 de set. 2023.

CENTENO, Luana Nunes; GUEVARA, Miguel David Fuentes; CECCONELLO, Samanta Tolentino; SOUSA, Rogério Oliveira de; TIMM, Luís Carlos. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista brasileira de Engenharia e Sustentabilidade.** v. 4, n. 1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15210/rbes.v4i1.11576>. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/RBES/article/view/11576>. Acesso em: 20 jun. 2024.

COSTA, Wlysses Wagner Medeiros Lins. **Estudo da permeabilidade em solos utilizados em camada de base de aterro sanitário no semiárido paraibano**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/12673/WLYSSES%20WAGNER%20MEDEIROS%20LINS%20COSTA%20-%20DISSERTA%C3%87%C3%83O%20%28PPGECA%29%202019.pdf?sequence=3&isAllowed=>. Acesso em: 25 set. 2023.

CRAIG, R. F.. **Mecânica dos solos**. 7ª Edição. [s. l.]. 2007.

EMBRAPA. **O novo mapa de solos do Brasil**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 3ª edição Brasília: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em 10 out. 2023.

FABÍOLLA, Xavier Rocha Ferreira Lima; **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações**. 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília. Programa de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2013. Disponível em: https://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/15550/1/2013_Fab%C3%ADollaXavierRochaFerreiraLima.pdf. Acesso em: 13 out. 2023.

FERREIRA, Athos Matheus de Castro. **Análise química de solos e água para caracterização ambiental de um antigo lixão no município de Caçapava do Sul – RS**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Geologia) - Universidade Federal do Pampa. Curso de Geologia, Caçapava Do Sul, 2020. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/5808>. Acesso em: 15 nov. 2023.

GUPTA, Surya; HENGL, Tomislav; LEHMANN, Peter; BONETTI, Sara; OR, Dani SoilKsatDB: global database of soil saturated hydraulic conductivity measurements for geoscience applications. **Earth Syst. Sci.** V. 13, ed. 4, p. 1593–1612, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3752721>. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/13/1593/2021/>. Acesso em: 28 jul. 2024.

HUBER, R.; SOUZA, B. S. P. e. Estudo da fragilidade do relevo-solo através da resistência à penetração de estaca em argissolos e neossolos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.

l., v. 14, n. 3, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v14i3.322. Disponível em: <https://rbg.emnuvens.com.br/rbg/article/view/322>. Acesso em: 18 ago. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cacapava-do-sul/panorama>. Acesso em: 12 out. 2023.

JESUS, Lucas Scarpanti de. **Estudo da permeabilidade dos solos de fundação do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Paulista "Júlio de Mesquita", Bauru, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/3899d3a0-260a-42c7-aba1-156c3d82dda5>. Acesso em: 3 out. 2023.

LEMOS, R. C., SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: SBCS. 84 p. 1996.

LEPSCH, Igo F.. **19 Lições de pedologia**. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos. 2011.

LEE, Dal-Heui; CODY, Robert D; KIM, Dong-Ju; CHOI, Sangil. Effect of soil texture on surfactant-based remediation of hydrophobic organic-contaminated soil. **Environment International**, V. 27, p. 681-688, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00130-1](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00130-1). Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412001001301?casa_token=LB3nVWLwBe0AAAAA:DumoiGkIHudsmIvFPXNmzUP0STucwMX_fW9wwBL16XJaX9uXMxcILls451wQk7dWkBmwB859_T1C. Acesso em: 10 jul. 2024.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. E-book. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qdZyHlGaXGsC&oi=fnd&pg=PA291&dq=%C3%A1gua+no+solo&ots=_4-8ElX3T1&sig=3Z8aMhKR0O3L3GmWsl5VC0Lmik&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true. Acesso em: 1 de out. de 2023.

LIMAS, Mariana Moller de. **Avaliação dos fatores que influenciam a permeabilidade de solos percolados por hidrocarbonetos de petróleo**. 2008. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/124378/89.pdf?sequence=1&isAllowed=>. Acesso em: 2 de out. 2023.

LISBOA, Rafael Luis Lobato. **Determinação da condutividade hidráulica não saturada de solos residuais com o permeâmetro de guelph e ensaios de laboratório**. 2006. Tese (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Viçosa, 2006. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3852/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 27 set. 2023.

MAESO, Miriam Biel; GONZÁLEZ, Carmen González; MARTÍN, Pablo A. Lara; FERNÁNDEZ, Carmen Corada. Sorption and degradation of contaminants of emerging concern in soils under aerobic and anaerobic conditions. **Science of The Total Environment**, vol. 666, p. 662-671, 2019. DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.279. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719307788?casa_token=PGj4tEwpSHoAAAAA:xaOGgIzpQIPdT846zvXjrTzD4TH4UubMPBKSmY1DSFpB1bnyxplBUMZuNfIUvFqFuM0mp4RvCUCA. Acesso em 25 jul. 2024.

MESQUITA, Maria da Glória Bastos de Freitas; MORAES, Sergio Oliveira. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300052>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/rnCSHLVVgsbypCgKH4cXKJc/#>. Acesso em: 20 jul.2024.

NAVES, Leandro Coelho. Influência da compactação do solo sobre a produção e o potencial poluidor de lixiviados de resíduos sólidos urbanos. **Eng. Sanit. Ambient.** 2019. DOI:<https://doi.org/10.1590/S1413-41522019118989>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/fwyN4Q8ZQxJCGnF9xNbCRjv/#>. Acesso em: 27 jun. 2024.

OLIVEIRA, Benone Otávio Souza de; TUCCI, Carlos Alberto Franco; JÚNIOR, Afrânio Ferreira Neves; SANTOS, Aldecy de Almeida. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Eng. sanit. ambient**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 593-601, jul./set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016133274>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/XLdpSSxpXLFyZmBVHnz3F4S/?lang=pt#>. Acesso em: 2 de nov. 2023.

PANTOJA, Ricardo Gabriel Brito. **Análise da fórmula empírica de hazen para determinação do coeficiente de permeabilidade**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Curso de Engenharia Civil, Natal, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40507/1/An%c3%a1lisedaf%c3%b3rmula_Pantoja_2019.pdf. Acesso em: 19 de set de 2023.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3ª edição. São Paulo: Oficina de Textos. 2006. ISBN 978-85-86238-51-2.

POSSAMAI, Fernando Pagani; VIANA, Ednilson; SCHULZ, Harry Edmar; COSTA, Marcel Madeira de. Casagrande, Everson. Lixões inativos na região carbonífera de Santa Catarina: análise dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente. **Ciência e saúde coletiva**, [s. l.], 2007. Doi:<https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/dRkvDpYGGZ9SSNCSyw5zk64Q/?lang=pt#>. Acesso em: 12 set. 2023.

QUISSINI, Carina Soldera. **Estudo da aplicação de areia descartada de fundição como material alternativo para camada de cobertura de aterro de resíduos**. Dissertação (mestrado em engenharia e ciência dos materiais). Universidade de Caxias do Sul, Caxias Do Sul, 2009. disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/431/dissertacao%20carina%20soldera%20quissini.pdf?sequence=1&isallowed=y>. acesso em: 10 jul. 2024.

RAMOS, Naiara Francisca; GOMES, Juliano Cunha; CASTILHOS, Armando Borges; GOURDON, Rémy. **Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Biblioteca virtual em saúde. 2017. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017165817>. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-891612>. Acesso em: 23 set. 2023.

RIBEIRO, Glaucielen Faria; Pereira, Sueli Yoshinaga; Iwashita, Fábio. Estudo comparativo entre métodos de cálculo da condutividade hidráulica através de ensaios com permeâmetro guelph. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, [s. l.], [2009]. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/152/f23663766cf3a139f4c44415db810437_153858a2f861a452f9a88ec293c7f41b.pdf. Acesso em 9 out. 2023.

SANTAELLA, Sandra Tédde; BRITO, Ana Emília Ramos de Matos; COSTA, Francisco de Assis Pereira da; CASTILHO, Natalia Martinuzzi; MIO, Geisa Paganini De; FILHO, Edward Ferreira; LEITÃO, Renato Carrhá; SALEK, Jaciara Mota. Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira. Fortaleza: UFC / LABOMAR / NAVE, 2014. E-book. Disponível em: <https://www.repositoriobib.ufc.br/000011/00001121.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2023.

SANTOS, A. C. O. dos; KAMPHORST, J. de S. C.; MELLO, F. V. de; MOREIRA, C. A. Estudos geoeletricos em aterro controlado no município de Caçapava do Sul – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 99–112, 2014. DOI: 10.5902/2236117010808. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/10808>. Acesso em: 26 set. 2023.

SANTOS, Mikhael Varão dos; PORTELA, Jeane Cruz; SILVA, Eulene Francisco da; MARINHO, Ana Cecília C. Sinclair ; SILVA, Jucirema Ferreira da ; FERREIRA, Ana kaline da Costa. Análise de granulometria e densidade de partícula de um cambissolo em diferentes locais da paisagem e usos agrícolas. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência dos Solos**. Natal, 2015. Disponível em: <https://www.sbc.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1026.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2024.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antonio de; FILHO, José Coelho de Araújo; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª edição. Brasília: Embrapa. 2018. E-book. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.

SILVA, Carolina Nunes da. Intemperismo Químico. **Jovem Explorador**, [S. l.], mai. 2021. Disponível em: <http://www.jovemexplorador.iag.usp.br/?p=blog_intemperismo-quimico>. Acesso em 25 set. 2023.

SOTO, Miguel Alfaro; CHANG, Kiang Hung; VILAR, Orencio Monje. Análise do método do permeâmetro guelph na determinação da condutividade hidráulica saturada. **Águas Subterrâneas**. v.23, n.01, p.137-152, fev. 2009. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v23i1.17004>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/17004>. Acesso em: 4 nov. 2023.

STRECK, Edeimar Valdir; KÄMPFET, Nestor; DALMOLIN, Ricardo Simão Diniz; KLAMT, Egon; NASCIMENTO, Paulo César do; GIASSON, Elvio; PINTO, Luiz Fernando Spinelli; **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed., rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252 p. ISBN 978-85-98842-20-2. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236965550_Solos_do_Rio_Grande_do_Sul. Acesso em: 28 jul. 2024.

STRECK, C. A. et al.. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, 2004, v. 34, n. 3, p. 755–760. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/Kt5CKxHjCjd5c8qwfQxTFLC/?lang=pt#>. Acesso em: 10 ago. 2024.

TOLEDO, Maria Cristina Motta de. **Intemperismo e pedogênese**. São Paulo: USP/UNIVESP/EDUSP, 2014. E-book. Disponível em: https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo02/geologia_PLC0011/geologia_top07.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

WESSLER, Lara Possamai. **Construção de cenários futuros para o gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares do município de Gravataí - RS**. 2014. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharel em Engenharia Sanitária). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4146/1/LARA%20POSSAMAI%20WESSLER.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.

WREGGE, Marcos Silveira; STEINMETZ, Silvio; JÚNIOR, Carlos Reisser; ALMEIDA, Ivan Rodrigues de; GARRASTAZU, Marilice Cordeiro; HERTER, Flávio Gilberto; CARAMORI, Paulo Henrique; MATZENAUER, Ronaldo; RADIN, Bernadete; BRAGA, Hugo José; PANDOLFO, Cristina; PRESTES, Solismar Damé; CUNHA, Gilberto Rocca da; MALUF, Jaime Ricardo Tavares. **Atlas climático da região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2012. E-book. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202005/13110041-atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil.pdf>. Acesso em: 12 out. 2023.