



O papel da Ciência no

enfrentamento às crises

## CARACTERIZAÇÃO DA CAMADA DE COBERTURA DE UM ATERRO SANITÁRIO

Poliana de Almeida Andrade, graduanda em Engenharia Civil  
Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira, Departamento de Tecnologia e Engenharia Civil

### RESUMO

Um dos maiores problemas no descarte dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil é o líquido altamente poluidor, denominado lixiviado, formado pelo contato da água, principalmente a água das chuvas, com os detritos depositados nas camadas de solo. Por meio da porosidade do solo, esse líquido percola entre as camadas de cobertura dos aterros, podendo causar sérios danos ao meio ambiente e também causando a proliferação de agentes causadores de doenças. Dessa forma, o presente trabalho descreve um estudo acerca das condições físicas do solo encontradas nas camadas de compactação sobre os bancos de detritos dispostos no aterro sanitário do município de Conselheiro Lafaiete – MG. Para esse estudo, foram analisados tanto parâmetros relacionados à compactação das camadas, por meio de amostras deformadas, quanto caracterizado os limites de liquidez e plasticidade da amostra, bem como massa específica e granulometria.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, lixiviado, aterro sanitário, limite de liquidez, limite de plasticidade, massa específica, granulometria.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação



Ministério da  
Educação

1



## INTRODUÇÃO

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 1987), os resíduos sólidos urbanos (RSU) podem ser classificados como os resíduos advindos de atividades domésticas, industriais, hospitalares, agrícolas e de serviços e que podem ser classificados quanto a sua origem e a sua periculosidade. O descarte desse material deve ser feito em aterros sanitários, os quais são obras da engenharia projetadas para receber esses resíduos de forma a não prejudicar a saúde pública e o meio ambiente. Os aterros possuem o solo impermeabilizado e camadas de cobertura de terra após o depósito dos resíduos (Kemerich, et al. 2014), sendo esse modo de destinação o mais recomendado.

Embora a destinação dos resíduos sólidos no Brasil para os lixões, ainda seja uma realidade, esse número vem diminuindo gradativamente. De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2020), em 2010, 70,8% dos municípios destinavam seus resíduos para lixões e aterros controlados, sendo que esse número diminuiu para 40,5% no ano de 2018. Em contrapartida, os municípios que descartam esse material de forma ambientalmente adequada eram de 29,2% em 2010 e em 2018 esse número teve um aumento para 59,5%.

Apesar da crescente melhoria no descarte dos RSU em aterros, esse deve ser feito de forma cautelosa uma vez que os resíduos em contato com a água produzem um líquido, denominado chorume, altamente poluidor, que pode causar poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos além de gerar a proliferação de agentes patogênicos (Tartari, 2005). Esse líquido percola pelas porosidades do solo do aterro até encontrar um solo impermeável ou um curso d'água. Dessa forma, faz-se importante um estudo acerca da caracterização dos solos que são utilizados nos aterros sanitários para que esse escoamento seja evitado e, conseqüentemente, não cause danos ao meio ambiente.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação



Ministério da  
Educação

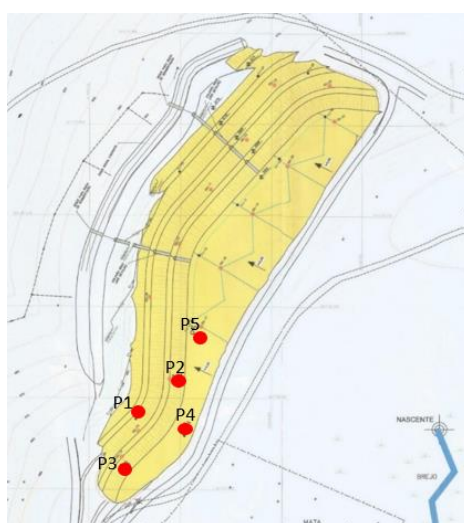
Com esse intuito, o Consórcio Público Intermunicipal de Tratamento de Resíduos Sólidos – ECOTRES, constituído pelos Municípios de Congonhas, Conselheiro Lafaiete e Ouro Branco, em parceria com a Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), por meio desta pesquisa, visaram estudar as características do solo utilizado para cobertura dos rejeitos a fim de minimizar a percolação por meio de processos mecânicos, químicos ou físicos, analisando os resultados dos índices físicos obtidos por meio do ensaio das amostras do aterro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

As coletas das amostras foram realizadas em cinco pontos distintos do aterro sanitário de Conselheiro Lafaiete – MG, de forma a se obter uma maior diversificação de resultados. O solo foi retirado de camadas de cobertura não finalizadas escavando-se a uma profundidade de 20 a 30 cm, em média. Apenas amostras deformadas foram coletadas. Os pontos de coleta de amostra podem ser vistos na Figura 1.

Figura 1 - Pontos de coleta das amostras no aterro sanitário de Conselheiro Lafaiete



Fonte: Autor.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

**CNPq**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

**CAPES**

Ministério da  
Educação



## O papel da Ciência no

## enfrentamento às crises

A amostra P1 foi retirada do talude da plataforma três, já as amostras P2 e P3 foram retiradas do talude da plataforma quatro, e as amostras P4 e P5 foram retiradas do platô da plataforma quatro.

O solo retirado nas amostras P1, P2 e P3 é de cobertura para conformação e plantio de grama, já o solo das amostras P4 e P5 é de cobertura intermediário que, posteriormente, será raspado para dar continuidade ao aterro através da construção da plataforma cinco.

### Preparação das amostras

De forma a se obter maior organização e otimização dos ensaios, todas as amostras coletadas foram identificadas e armazenadas em tambores. Os resultados apresentados nesse relatório se deram através da realização dos ensaios das amostras P1 e P5.

Para a preparação das amostras coletadas foram seguidos os procedimentos da NBR 6457 (ABNT, 2016). Dessa forma, primeiramente realizou-se a secagem do material em bandejas ao ar e à sombra, a fim de se atingir a sua umidade higroscópica. Em seguida, o solo era destorroado com um almofariz e pistilo para que partículas menores fossem obtidas. Assim, todo o material foi passado em uma peneira de malha. O procedimento foi repetido até que a maior quantidade de grãos passasse. Logo após, juntou-se o material retido, destorroado e o passante e realizou-se o quarteamento da amostra.

Metade das partes obtidas foi retirada de forma cruzada e um novo quarteamento foi realizado com essa parte. Após a realização desse procedimento, foi separada a quantidade adequada de solo para os ensaios realizados, sendo: 500g para Massa Específica dos Grãos; 3500g para Granulometria; 500g para Limites de Consistência; 15000g para Compactação.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação



Ministério da  
Educação

O material excedente foi identificado e fechado, sendo armazenado novamente no tambor. Após a preparação das amostras, foram retirados o teor de umidade higroscópica de cada uma delas para dar início aos demais ensaios.

## ENSAIOS

### Limites de liquidez

Para este ensaio, foram seguidas as diretrizes da NBR 6457 (ABNT, 2016) e a NBR 6459 (ABNT,1984). Após preparada, a mistura foi adicionada a concha do aparelho de Casagrande de forma a preencher 2/3 desta. Foi realizada uma ranhura com espessura de 10mm na parte central da concha. A concha foi colocada no aparelho e batidas sucessivas foram dadas com a finalidade de fechamento da ranhura ao longo de 13mm,

Os golpes cessavam quando o fechamento da ranhura era obtido e então se anotou o número de batidas. Em seguida, uma pequena parte do material da ranhura fechada foi transferida para uma cápsula com a finalidade de obter seu teor de umidade.

### Limite de plasticidade

Para esse ensaio foi seguida a NBR 7180 (ABNT, 2016). O procedimento inicial de preparação da amostra para o ensaio de limites de plasticidade foi feito conforme o ensaio de limites de liquidez. O material foi colocado em uma cápsula de porcelana e aos poucos foi adicionada água. Em seguida, retirou-se 10 g em média da amostra preparada para formar uma esfera. Rolou-se a esfera com a palma mão sobre uma placa de vidro de forma a se obter um cilindro de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, aproximadamente.

O ensaio deveria ser repetido se a amostra se fragmentasse antes de atingir os 3 mm e então essa deveria ser retornada para a cápsula de porcelana e seria

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

 CNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

 CAPES

Ministério da  
Educação

homogeneizada, com água destilada, por pelo menos cinco minutos. Se a amostra atingisse o diâmetro de 3 mm sem se fragmentar, o material deveria ser amassado e o procedimento se repetiria a partir da formação de esferas.

## Massa específica

O ensaio de massa específica foi realizado segundo a NBR 6457 (ABNT, 2016) e a NBR 6508 (ABNT, 1984). As três amostras preparadas para o ensaio foram colocadas, separadamente, em cápsulas de vidro com água destilada suficiente para cobrir o material por no mínimo 12 horas. Após o tempo de espera, uma das amostras foi transferida para um copo de dispersão. A cápsula que continha o material foi lavada com água destilada e o material lavado foi depositado no copo. Foi acrescentada água destilada até a metade do volume do corpo dispersor e a mostra foi dispersa por 15 minutos.

Finalizada a dispersão, a amostra foi transferida para o frasco de vidro com o auxílio de um funil. Em seguida, adicionou-se água destilada até a metade do balão volumétrico e aplicou-se vácuo em intervalos de três minutos. Anotou-se então a massa do composto e a temperatura do conteúdo do balão foi aferida através do béquer com água destilada que acompanhou o procedimento inclusive dentro do banho Maria. Os resultados foram considerados satisfatórios quando não diferiram em mais que 0,02 g/cm<sup>2</sup> entre si para pelo menos duas determinações. O resultado final foi obtido pela média dos resultados dos ensaios válidos realizados.

## Grau de compactação

O ensaio do grau de compactação foi realizado segundo a NBR 7182 (ABNT, 1986). Conforme orientação de norma, do material que não foi utilizado, foram pesadas e levadas três amostras em cápsulas para a estufa a fim de se obter a umidade higroscópica da amostra. Obtido esse valor, todo o material foi dividido em cinco amostras

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

**CNPq**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

**CAPES**

Ministério da  
Educação



de massa aproximadamente a 2,5 kg, conforme orientação de norma para solos argilosos. Após a divisão, foi feita uma análise táctil visual no solo para estimar o teor de umidade ótimo para a amostra global. Como a amostra do aterro se enquadra em uma areia silto-argilosa, foi determinada como teor de umidade ótimo estimado 16%, e, portanto, as cinco amostras que foram divididas deveriam ser ensaiadas para os teores de umidade iguais a 12%,14%,16%,18% e 20%.

Observando as recomendações da norma, o ensaio foi executado utilizando-se da energia de Proctor Normal, soquete pequeno. Com auxílio de uma régua marcada, o solo era introduzido ao cilindro de forma a completar a primeira marca de camada da régua e então submetido aos 26 golpes perpendiculares de soquete por toda sua superfície de modo homogêneo. Finalizado os golpes, a camada então era escarificada. O procedimento foi o mesmo para as outras duas camadas, sempre observando a régua, de forma a obter alturas equivalentes entre as camadas. Após a compactação da última camada foi retirado o cilindro complementar, e o solo compactado excedente removido e rasado com auxílio da régua biselada, para que então o cilindro fosse removido de sua base e levado para o extrator do corpo de prova.

Obtido o corpo de prova, esse então foi pesado e, em seguida, retiradas três amostras para determinação do teor de umidade, sendo a primeira amostra do topo do cilindro, a segunda do meio do cilindro e a terceira da base. As amostras foram pesadas, colocadas em cápsulas e levadas a estufa. O mesmo procedimento foi feito para as outras quatro amostras.

## Análise granulométrica

O ensaio de granulometria conjunta foi realizado para a amostra 5, pois ela representava o solo em seu estado real, ainda com detritos do aterro. Dessa forma, nessa amostra não foi realizada a retirada de impurezas, como foi feito na amostra 1.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação



Ministério da  
Educação

A preparação do material foi realizada seguindo os passos da NBR 6457 (ABNT, 2016) e o ensaio seguiu as diretrizes da NBR 7181 (ABNT, 2018). Para o peneiramento fino e sedimentação, foram separados os 70 g de solo argiloso e cerca de 100 g para a determinação do teor de umidade. Após a separação, o material reservado para a sedimentação foi transferido para um béquer de 250 mL e adicionou-se 125 mL de solução de hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7 g/L. Este material foi então agitado de forma com que todo o material ficasse imerso na solução em repouso por, no mínimo, 12 horas.

Após o tempo estipulado, o material do béquer foi transferido para o copo de dispersão e, então, adicionou-se água destilada no copo até que seu nível atingisse 5 cm abaixo da borda e se dispersou a mistura por 15 minutos. Ao finalizar esse procedimento, a dispersão foi transferida para a proveta, completada com água até a marca de 1000 cm<sup>3</sup> e colocada em repouso em local de temperatura constante. A proveta foi agitada verticalmente, tampando-se a boca com as mãos por um minuto.

Finalizado esse processo, imediatamente a proveta foi colocada sobre a mesa, o cronômetro foi acionado e o densímetro mergulhado na dispersão. As leituras do densímetro foram realizadas nos tempos de 0,5 min, 1 min e 2 min em relação ao fim da agitação. As demais leituras foram realizadas nos tempos de 4, 8, 15, 30 min, 1, 2, 4, 8 e 24 h, a contar do início da sedimentação.

Após cada leitura, foi medida a temperatura da dispersão. Ao finalizar o ensaio de sedimentação o material contido na proveta foi vertido sobre uma proveta nº 200 (0,075 mm), foi realizada a lavagem do material e feita a secagem em estufa à temperatura de 105°C a 110°C até a constância de massa. O material obtido foi utilizado no peneiramento fino.

Para o peneiramento do fino, o material retirado da estufa foi pesado com resolução de 0,01 g e seu valor foi anotado. Em seguida, as peneiras foram dispostas com a maior abertura na parte superior, sendo: #16 (1,19 mm), #30 (0,59 mm), #40 (0,42mm), #60

Realização:

Assessoria para  
Assuntos InternacionaisPró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
ComunitáriosPró-Reitoria de  
Ensino de GraduaçãoPró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-GraduaçãoCNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e TecnológicoCAPESMinistério da  
Educação



(0,25mm), #100 (0,149 mm) e #200 (0,074 mm) e o solo foi passado por ela, para que pudesse ser feito a pesagem acumulada do material retido.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Resultados da amostra do Ponto 1

#### Teor de umidade higroscópico

Para todos os ensaios foi necessário considerar o teor de umidade higroscópico da amostra, que é obtido ainda na fase de preparação das amostras após o processo de secagem ao ar e à sombra.

Após separado o material, pesado e levado a estufa até secagem completa, foi obtido a umidade higroscópica e os resultados são apresentados na Tabela 1.



Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

 **CNPq**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

 **CAPES**

Ministério da  
Educação

Tabela 1 – Resultados da umidade higroscópica

Determinação nº	1	2	3
Massa bruta úmida (g)	19,96	23,41	22,03
Massa bruta seca (g)	19,68	23,12	21,73
Tara da cápsula (g)	10,03	13,2	10,82
Massa da água (g)	0,28	0,29	0,3
Massa do solo seco (g)	9,65	9,92	10,91
% Teor de umidade	2,9	2,92	2,75
% Teor de umidade médio			2,86

Fonte: Autor.

Portanto, para as análises subsequentes, foi considerado teor de umidade higroscópico igual a 2,86%.

### Limite de liquidez

A principal observação a respeito do experimento foi quanto à dificuldade de obter as variações entre o número de golpes. Diversas vezes, a variação da quantidade de água adicionada não refletia no número de golpes obtido no ensaio de Casagrande. Outra observação importante foi a dificuldade de se encontrar a constância entre as revoluções do ensaio, o que acaba por refletir nos resultados obtido pelo ensaio. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

 CNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

 CAPES

Ministério da  
Educação

Tabela 2 - Resultados do ensaio de limite de liquidez

Determinação nº	1	2	3	4	5	6	7
Massa bruta úmida (g)	19,57	15,71	15,9	17,14	16,72	17,81	17,42
Massa bruta seca (g)	17,45	14,23	14,13	15,68	15,57	16,33	16,2
Tara da cápsula (g)	12,8	10,82	10,12	12,3	12,89	13,49	13,63
Massa da água (g)	2,12	1,48	1,77	1,46	1,15	1,48	1,22
Massa do solo seco (g)	4,65	3,41	4,01	3,38	2,68	2,84	2,57
% Teor de humidade	45,59	43,4	44,14	43,2	42,91	52,11	47,47
Número de golpes	20	37	26	33	27	25	27

Fonte: Autor.

Por meio dos resultados obtidos, nota-se que para os teores de umidade de 42,91 e 47,47%, obteve-se o mesmo número de golpes no ensaio, o que foge ao esperado do ensaio. Portanto, para construção da curva foi considerado o valor de 42,91%. Também foi retirado do gráfico o valor correspondente ao valor de 25 golpes, 52,11% que foge muito aos dados encontrados nos outros pontos, como pode ser visto na Figura 2.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

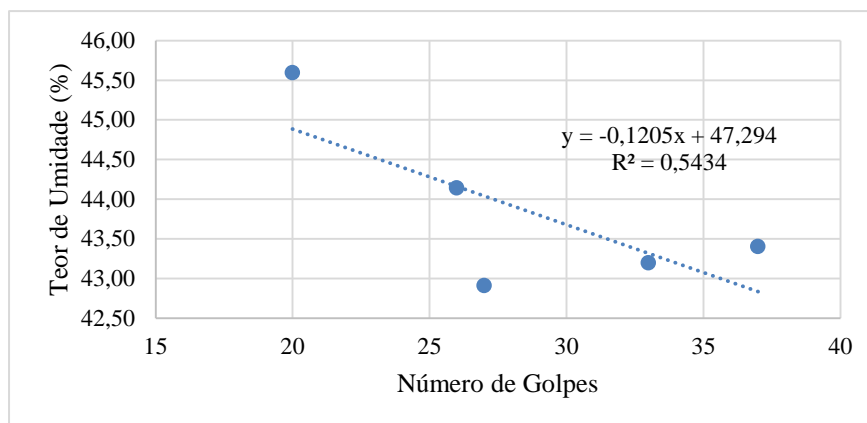
Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

 CNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

 CAPES

Ministério da  
Educação

Figura 2- Gráfico do limite de liquidez



Fonte: Autor.

O limite de liquidez é o teor de umidade correspondente a 25 golpes, obtido pelo gráfico acima. Portanto, conforme a equação apresentada no gráfico, o limite obtido é de 44,28%.

### Limite de plasticidade

Assim como no ensaio de limite de liquidez, para se encontrar o limite de plasticidade foram enfrentados problemas semelhantes. O primeiro deles foi a dificuldade em se fazer o cilindro de 3 mm, que apresentasse fissuras apenas nesse diâmetro. Várias foram as tentativas e muitas vezes a amostra homogeneizada em que se obtinha um cilindro perdia água fazendo com que mais água fosse adicionada. Também se pode destacar que muitas vezes a amostra se partia enquanto o ensaio era executado, ficando com menos de 10 cm e sendo descartada. Outro problema enfrentado foi com relação a padronização do diâmetro. Como o limite de plasticidade é um ensaio manual, muitas amostras não apresentaram a padronização desejada e também foram descartadas. Os resultados do ensaio são apresentados na Tabela 3.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos InternacionaisPró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
ComunitáriosPró-Reitoria de  
Ensino de GraduaçãoPró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-GraduaçãoCNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e TecnológicoCAPESMinistério da  
Educação

Tabela 3 -Resultados do limite de plasticidade

Determinação nº	1	2	3	4	5	6
Massa bruta úmida (g)	13,86	10,53	13,33	9,75	10,79	10,63
Massa bruta seca (g)	13,58	10,46	13,24	9,62	10,66	10,53
Tara da cápsula (g)	12,88	10,19	12,88	9,21	10,35	10,18
Massa da água (g)	0,28	0,07	0,09	0,13	0,13	0,1
MASSA DO SOLO SECO (g)	0,7	0,27	0,36	0,41	0,31	0,35
% Teor de umidade	40	25,93	25	31,71	41,94	28,57

Fonte: Autor.

Seguindo os critérios estipulados pela NBR 6458 (ABNT, 2016), as amostras aceitas não podem variar mais que 5%, sendo mínimo para verificação de três amostras. Analisando os resultados, percebe-se que as amostras 1 e 5 obtiveram resultados muito distantes dos demais e foram desconsiderados.

Através de média simples, os demais resultados obtiveram o valor de 27,80%. Portanto, todas as demais amostras deviam estar no intervalo de 29,19 e 26,41%, não sendo verdade, retirou-se também a amostra número 4. Através de média simples, obteve-se o novo valor de 26,5% e o intervalo de 27,82 e 25,17%. Ainda assim os resultados obtidos ficaram fora do intervalo. Porém, como o mínimo por norma para cálculo do limite de plasticidade, inclui-se o valor da amostra 6 no cálculo, encontrando-se o valor do limite de plasticidade igual a 26,5%.

### Massa específica

Quanto ao ensaio de massa específica, a maior dificuldade encontrada foi evitar a perda do material durante as transferências entre as diversas vidrarias utilizadas, mas o procedimento em si não é complicado e sim demorado. Os resultados das aferições são apresentados na Tabela 4.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

 CNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

 CAPES

Ministério da  
Educação

Tabela 4 - Resultados do ensaio de massa específica

Determinação nº	1	2	3	4	5	6
Temperatura °C	25	24,5	20	17,5	26	19,5
Amostra total úmida (g)	60,87	60,87	60,15	60,15	60,16	60,16
Amostra total seca (g)	59,18	59,18	58,48	58,48	58,49	58,49
Balão + água (g)	650,76	650,71	656,52	656,57	643,63	644,37
Balão + amostra + água (g)	689,06	689,31	677,89	678,15	678,15	678,15
Massa específica da água (g/cm <sup>3</sup> )	0,997	0,997	0,998	0,999	0,997	0,998
Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,826	2,868	1,573	1,583	2,432	2,63
Média (g/cm <sup>3</sup> )	2,274					

Fonte: Autor.

Conforme orientação da NBR 6508 (ABNT, 1984), o resultado do ensaio é a média dos valores encontrados que não divergirem em mais de 0,02 g/cm<sup>3</sup>. Porém, como se observa pelos resultados obtidos, todos os valores divergem muito entre si. Portanto, foi considerado como valor final a média entre os valores obtidos pelos ensaios 1, 2, 5 e 6. Assim, a massa específica da amostra analisada foi admitida como 2,274 g/cm<sup>3</sup>.

### Grau de compactação

O ensaio de compactação também apresentou dificuldades para sua execução, sendo a primeira delas com relação ao material ser muito fino, o que ocasionava a perda de material no contato do soquete com a sua superfície. Para evitar este problema, o material antes de receber os 26 golpes era antes ligeiramente compactado em sua superfície. Outro problema enfrentado na realização do ensaio se deu devido ao aumento da altura das camadas pré-compactação onde muitas vezes, ao final da terceira camada, ao se retirar o colarinho do cilindro, o corpo de prova cisalhava e parte da amostra era perdida e por não apresentar o volume do cilindro também se perdia o ensaio. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

 **CNPq**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

 **CAPES**

Ministério da  
Educação

Tabela 5 - Quantidade de água a ser adicionada

Determinação nº	1	2	3	4
Massa de solo para ensaio (g)	2960	2673	2640	2890
% Teor de umidade higroscópica	2,86	2,86	2,86	2,86
Massa de solo seco (g)	2878	2599	2567	2810
% Teor de umidade desejado	12	14	16	18
Massa de água (g)	263,1	289,5	337,3	425,4

Fonte: Autor.

Conforme determinação do tipo de amostra, esperava-se encontrar o teor de umidade ótimo próximo ao valor de 16%. A Tabela 6 abaixo mostra os resultados obtidos pelo ensaio. Para a amostra 1 era esperado um teor de umidade de 12% e foram encontrados resultados muito variados, que geraram um teor de umidade de 4,96%, não sendo um ponto adequado para ser inserido no gráfico de compactação. Por recomendação da norma, o ensaio, quando bem-sucedido, deve ter dois pontos no ramo seco, dois no úmido e um próximo ao ponto de umidade ótimo. Porém, para o traçado da curva, utilizaram-se apenas três pontos, uma vez que a amostra 1 não pode ser aproveitada e uma amostra foi perdida. Os resultados podem ser vistos na Tabela 6 e na Figura 3.

Tabela 6 - Resultados do ensaio de grau de compactação

Determinação nº	1			2			3			4		
Volume do cilindro (cm <sup>3</sup> )	998,95			998,95			998,95			998,95		
Massa amostra (g)	1554			1600,28			1655			1648,25		
Peso específico aparente úmido (kN/M <sup>3</sup> )	15.26			15.72			16.25			16.19		
Massa bruta úmida (g)	20	17,42	19,41	23,6	22,47	25,26	17,68	24,58	21,09	21,79	23,34	20
Massa bruta seca (g)	19,9	17,25	18,76	22,25	20,96	23,88	16,61	23,02	19,98	19,97	21,8	18,3
Tara da cápsula (g)	12,91	10,39	12,83	12,25	9,99	13,82	9,64	13,61	12,94	9,82	12,89	9,21

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

CNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

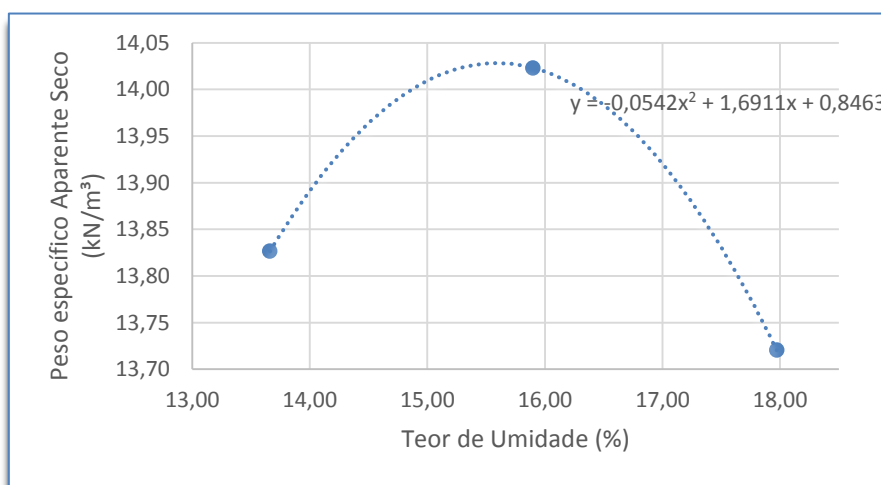
CAPES

Ministério da  
Educação

% Teor de umidade	1,43	2,48	10,96	13,5	13,76	13,72	15,35	16,58	15,77	17,93	17,28	18,7
% Teor de umidade médio		4,96			13,66			15,9				17,97
Peso específico aparente seco (kN/M <sup>3</sup> )		14,54			13,83			14,02				13,72

Fonte: Autor.

Figura 3 - Gráfico de compactação



Fonte: Autor.

Por análise do gráfico, obteve-se o peso específico aparente seco de 14,037 kN/m<sup>3</sup>, com um teor de umidade ótimo de 15,7%.

## RESULTADO DA AMOSTRA DO PONTO 5

### Teor de umidade higroscópico

A umidade higroscópica da amostra 5 foi obtida da mesma forma que para a amostra 1. Seus resultados podem ser vistos na Tabela 7.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

CNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

CAPES

Ministério da  
Educação



Tabela 7 - Resultados da umidade higroscópica da amostra 5

Determinação nº	1	2	3
Massa bruta úmida (g)	23,86	25,64	26,81
Massa bruta seca (g)	21,17	23,08	24,22
Tara da cápsula (g)	10,03	12,29	12,87
Massa da água (g)	2,69	2,56	2,59
Massa do solo seco(g)	11,14	10,79	11,35
% Teor de umidade	24,15	23,73	22,82
%Teor de umidade médio			23,56

Fonte: Autor.

Portanto, para as análises subsequentes, foi considerado um teor de umidade higroscópica igual a 23,56%.

### Análise granulométrica

Para o ensaio de peneiramento do fino puderam se obter os resultados apresentados na Tabela 8.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

 **CNPq**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

 **CAPES**

Ministério da  
Educação

Tabela 8 - Resultados obtidos na sedimentação

Hora	Tempo	Temp..	Leitura	Correção	Leitura corrigida
	min	°C			
10:59:30	0,5	23	1,025	-0,0022	1,0228
11:00:00	1	23	1,0245	-0,0022	1,0223
11:01:00	2	23	1,024	-0,0022	1,0218
11:03:00	4	23	1,023	-0,0022	1,0208
11:07:00	8	23	1,022	-0,0022	1,0198
11:14:00	15	23	1,0215	-0,0022	1,0193
11:29:00	30	23	1,021	-0,0022	1,0188
11:59:00	60	24	1,019	-0,002	1,017
12:59:00	120	25	1,015	-0,0018	1,0132
14:59:00	240	25	1,008	-0,0018	1,0062
18:59:00	480	25	1,003	-0,0018	1,0012
10:59:00	1440	25	1,003	-0,0018	1,0012

Fonte: Autor.

Juntamente com o peneiramento do fino, pode-se traçar a curva granulométrica. O resultado do peneiramento é demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados do peneiramento do solo fino

Peneira	Material				
		Retido	Passante	%Passante parcial	%Passante total
#	f (mm)	g	g		
16	1,2	0,01	61,45	99,98	99,94
30	0,6	0,02	61,44	99,97	99,92
40	0,42	0,08	61,38	99,87	99,82
50	0,3	1,18	60,28	98,08	98,03
100	0,15	29,5	31,96	52	51,98
200	0,075	38,9	22,56	36,71	36,69

Fonte: Autor.

As porcentagens obtidas, através do material passante nas peneiras, foram utilizadas para se obter a curva granulométrica do solo. De acordo com essa

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

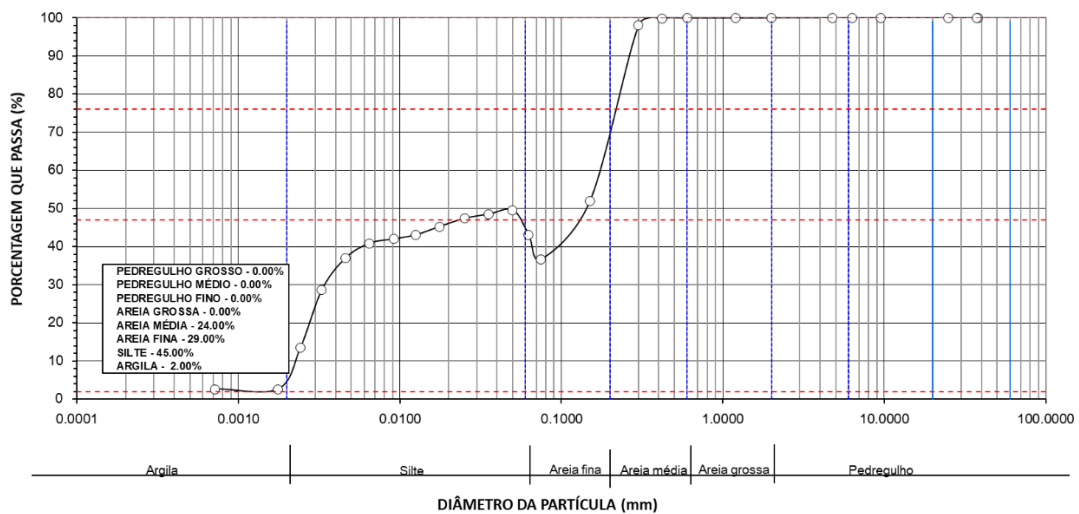
CNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

CAPES

Ministério da  
Educação

porcentagem, o solo dessa amostra pode ser definido como siltoso, visto que sua composição é formada majoritariamente por silte, cerca de 45%, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Curva granulométrica do solo



Fonte: Autor.

## CONCLUSÃO

Como relatado nos tópicos anteriores, no decorrer dos procedimentos houve muitos empecilhos e dificuldades, o que impediu que obtivéssemos dados mais precisos acerca dos ensaios realizados. Além disso, outro fator que impossibilitou a caracterização do solo foi a quantidade de amostras ensaiadas, apenas duas das cinco amostras.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Emmanuel pela oportunidade de aprendizado e pelo suporte durante toda a pesquisa. Agradeço também ao meu amigo Gabriel, que me auxiliou no desenvolvimento desse estudo.

Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação

CNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

CAPES

Ministério da  
Educação



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kemerich, P.; e Barros, G.; Borba,W.; Gerhardt, A.; Flores,C.; Schwaab, E.; Cardozo, B.; Ucke, F. 2014. Caracterização do solo em área submetida a derramamento de lixiviado decorrente de aterro sanitário. Revista Monografias Ambientais, v.14, n1, p.2950-2959. <http://dx.doi.org/10.5902/2236130810939>

NBR 10.004: Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro. ABNT, 1987.

NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016. Errata: 2016.

NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2016. Errata: 2017.

NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

NBR 6508: Solo– Determinação da densidade real dos grãos. Rio de Janeiro, 1984.

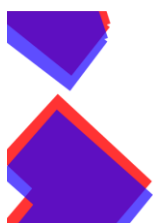
NBR 7182: Solo –Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm — Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.

Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2020. Disponível em: <<http://www.slu.df.gov.br>>. Acesso em: 06 set. 2021.

TARTARI, L. C. 2005. Avaliação do Processo de Tratamento do Chorume de Aterro Sanitário de Novo Hamburgo. Revista Liberato (Novo Hamburgo), Novo Hamburgo RS, v. 6, n. 6, p. 66-74.



Realização:

Assessoria para  
Assuntos Internacionais

Pró-Reitoria de  
Extensão e Assuntos  
Comunitários

Pró-Reitoria de  
Ensino de Graduação

Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação



Ministério da  
Educação

