

Caracterização preliminar de um Solo Residual de Basalto do Oeste do Paraná: determinação dos limites de Atterberg e massa específica

Preliminary study on a Basaltic Residual Soil of Western Paraná: determination of Atterberg limits and specific mass

Yrys Sophya Lins Barreto¹, Sabrina Ilone Weisheimer², William Hideki Ito³, Guilherme Alan Souza Costa⁴

RESUMO

O conhecimento do comportamento do solo é indispensável na engenharia civil, uma vez que este material comporá, direta ou indiretamente, parte dos requisitos de segurança de edificações ou outras obras. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar o solo de origem basáltica da região oeste do Paraná (mais exatamente no município de Quatro Pontes) mediante os ensaios de limite de consistência e massa específica dos grãos. Foram ensaiadas amostras deformadas de solo residual maduro (camada mais superficial) e residual jovem (camada mais profunda). Assim, com os resultados dos limites de consistência, classificou-se o solo da região como um silte de alta compressibilidade e altamente plástico, pela Carta de Plasticidade e a classificação de Jenkins, respectivamente. Também foi determinada a massa específica dos grãos, dado este que proporcionará a determinação de outros índices físicos do solo. Os resultados alcançados de massa específica dos grãos para o solo residual maduro e jovem foram de 3,033 e 2,687 g/cm³, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Massa específica dos grãos; Limites de consistência; Solo residual de basalto.

ABSTRACT

Knowledge of soil behavior is paramount in civil engineering, since this material will compose, directly or indirectly, part of the safety requirements of buildings or other structures. In this sense, the present research aims to characterize the soil of basaltic origin of the western region of Paraná (more precisely in Quatro Pontes city) through the limit tests of consistency and density of grains. Disturbed samples of mature residual soil (superficial layer) and young residual (deeper layer) were tested. Thus, with the results of the consistency limits, the soil of the region was classified as a highly compressible and highly plastic silt, by the Plasticity Chart and the Jenkins classification, respectively. The specific mass of the grains was also determined, given that this will provide the evaluation of other soil physical indexes. The results of grain density for mature and young residual soil were 3.033 and 2.687 g/cm³, respectively.

KEYWORDS: Grain density; Consistency limits; Basaltic residual soil.

INTRODUÇÃO

A caracterização de um solo se faz primordial no âmbito da construção civil, uma vez que este é o alicerce de toda edificação, logo, exige o conhecimento das características físicas e mecânicas desse material. De acordo com Caputo e Caputo (2022), uma série de acidentes relacionados às obras de engenharia entre os séculos XIX-XXI, tais como instabilidade de taludes, rupturas de barragens, recalques, entre outros, evidenciaram a importância do estudo das propriedades do solo. Assim, o conhecimento do seu

¹ Bolsista voluntária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: yrys@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7826239406287794.

² Bolsista voluntária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: sabrinailone@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 5010595321675645.

³ Docente no Curso Engenharia Civil/COECI-TD. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: wito@utfpr.edu.br. ID Lattes: 9557561611337993.

⁴ Docente no Curso Engenharia Civil/COECI-TD. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: guilhermecosta@utfpr.edu.br. ID Lattes: 5228758148542935

comportamento, possibilita maior eficiência e segurança tanto no manejo como na aplicação de soluções requeridas.

A caracterização do solo, ocorre através dos ensaios de massa específica dos grãos, sendo a relação do peso das partículas do solo por seu volume total; análise granulométrica e, por fim, limites de consistência, também denominado limites de Atterberg, que são definidos pelo limite de liquidez (LL) que expressa a umidade limite entre o estado plástico e o líquido e limite de plasticidade (LP), que de acordo com Caputo e Caputo (2020), é a umidade em que o solo começa a se fragmentar no processo de moldagem. Para Souza (2000), uma das características mais importantes do solo é sua consistência, visto que é um fator determinante para a resistência à penetração e compactação. Nesse sentido, o conhecimento desse parâmetro fornece condições para estimativas razoáveis de parâmetros geotécnicos a serem utilizados posteriormente em projetos.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a caracterização preliminar realizada através dos ensaios de limite de consistência e peso específico dos grãos do solo de origem basáltica da região oeste do Paraná. Vale salientar que foram ensaiados dois tipos de amostras de solo, um de residual maduro e outro de residual jovem.

METODOLOGIA

Os ensaios foram conduzidos no laboratório de mecânica dos solos do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (campus Toledo) com amostras coletadas no município de Quatro Pontes – PR. Para os ensaios aqui propostos não há a necessidade de garantir a estruturação original do solo, portanto, foram utilizadas amostras deformadas.

Em primeiro momento, as amostras foram preparadas conforme a NBR 6457:2016 para a realização dos ensaios, assim, as mesmas foram quarteadas, destorroadas e passadas nas peneiras ideais de cada ensaio, para garantir uma amostra representativa e sem presença de grumos.

LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Com aproximadamente 100g de amostra passada na peneira de 0,425 mm, iniciou-se a homogeneização do solo após incremento de água destilada. Por fim, o material foi transferido para o aparelho de Casagrande, preenchendo cerca de um terço da concha, e com o auxílio de um cinzel foi realizada a ranhura na parte central.

Iniciou-se o ensaio de LL girando a manivela duas vezes por segundo, em conformidade com a NBR 6459, até que se observasse a união da ranhura. Assim, coleta-se o material unido para a obtenção da umidade higroscópica. Vale pontuar que este procedimento foi repetido até se obter pelo menos 5 pontos representativos no gráfico. Após a coleta dos resultados, de acordo com a norma, obtém-se o limite de liquidez na umidade correspondente a 25 golpes.

Para o ensaio de LP, seguindo a NBR 7180, após a homogeneização da amostra, formou-se uma esfera de solo de aproximadamente 10g na palma das mãos para que fosse rolada sobre a placa de vidro até a amostra atingir um formato cilíndrico, de cerca de 3mm de diâmetro e apresentar fissuras. Desta forma, quando as amostras atingiram seu limite de plasticidade, as mesmas eram pesadas e levadas à estufa por 24h para a verificação da umidade. Dessa forma, repetiu-se o processo até a formação de 3 corpos de prova.

MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS

Foram separados cerca de 500g de amostra tanto do solo residual maduro quanto jovem. Assim, para cada solo, foi colocado uma quantidade de 50 ou 100g de material (a depender do volume do recipiente) em dois béqueres, sendo a primeira massa destinada ao uso de balões volumétricos (500 ml) e a segunda para picnômetros (1000 ml); adicionou-se água destilada até que ficassem imersos por no mínimo 12h. Com o restante do material, determinou-se a umidade da amostra.

Na sequência, a amostra foi transferida para o aparelho de dispersão por 15 min, para a completa dispersão dos grãos. Ao fim deste processo, as amostras de 50g foram colocadas em balões volumétricos e as amostras de 100g em picnômetros. Posteriormente, foi adicionada água destilada até metade do volume das vidrarias.

Para auxiliar o processo de remoção de ar, as amostras foram submetidas a um processo de aquecimento a 100°C por 15 min. Além disso, foi previamente aplicado vácuo por 5 min. Após o processo de aquecimento, as amostras voltaram a ser submetidas à vácuo, desta vez, por 15 min.

Por fim, verificou-se as temperaturas e as massas do conjunto vidraria+solo+água, e com todos os dados obtidos, determinou-se a massa específica dos grãos do solo. Para a obtenção das massas do conjunto vidraria+água, adotou-se as curvas de calibração construídas previamente.

$$\rho_s = \frac{\frac{Massa\ do\ solo\ úmido \cdot 100}{100 + umidade}}{\frac{Massa\ do\ solo\ úmido \cdot 100}{100 + umidade} + Massa\ vidraria\ e\ água - Massa\ solo,\ água\ e\ vidraria} \times \rho_w \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os resultados dos limites de consistência do solo é possível traçar a caracterização do mesmo através da Carta de Plasticidade juntamente com o sistema de classificação unificada, no qual utiliza pares de letras para a indicação dos tipos de solo. Aqueles de granulação fina são categorizados através das letras M, C e O, as quais representam, respectivamente, silte, argila e solo orgânico. A partir daí o material pode ser categorizado pelas letras H (alta compreensibilidade) e L (baixa compreensibilidade) (PINTO, 2006).

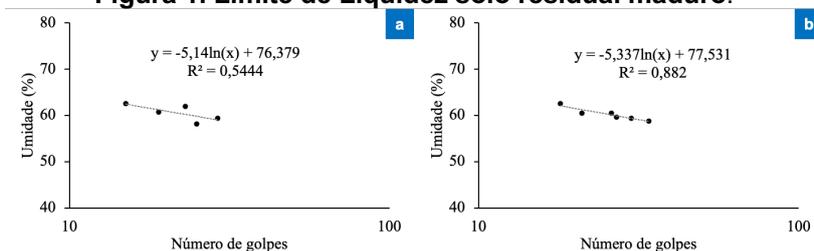
LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Limite de Liquidez

Em primeiro momento, foi realizado ensaio de LL com o solo residual maduro, em que se obteve 5 pontos de umidade com variação de 15 a 29 golpes. Assim, através da equação da reta, Figura 1, o LL obtido foi de 60%. No entanto, o R² da curva de tendência gerou questionamentos a respeito da variabilidade encontrada neste resultado.

Com isso, optou-se por realizar um novo ensaio a fim de buscar melhor aproximação da reta média. Desta vez, verificou-se que R² = 0,882 (Figura 1.b), além disso, o gráfico apresenta melhor disposição dos dados. Todavia, o limite de liquidez constatado foi novamente igual a 60%.

Figura 1. Limite de Liquidez solo residual maduro.



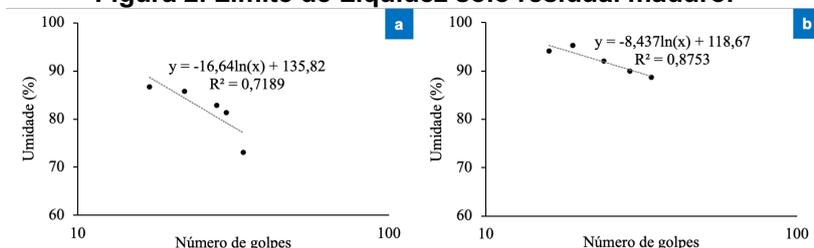
1.a) 1º ensaio de LL; 1.b) 2º ensaio de LL.

Fonte: autores.

Subsequentemente, deu-se início aos ensaios de limites com o solo residual jovem. No primeiro ensaio realizado, obteve-se uma variação de 17 a 34 golpes, e o limite de liquidez encontrado em 25 golpes foi igual a 82%, Figura 2.a. Observou-se que a adição de água destilada no processo de homogeneização era elevada, em comparação com o solo residual maduro. Portanto, solo residual jovem necessitou de cerca de um terço a mais de água para que fosse possível a cumprir com o limite de golpes expresso na norma, 15 a 35 golpes.

A disposição dos valores no gráfico e o valor do $R^2 = 0,7189$, impulsionaram a realização de um novo ensaio. Já no segundo ensaio, Figura 2.b, também foi possível notar a necessidade de aumentar a umidade da amostra novamente, uma vez que, a mesma atingiu valores igual a 50 golpes. Contudo, os resultados obtidos apresentaram melhor configuração gráfica e um valor de R^2 mais confiável, logo, foi determinado um LL de 92%.

Figura 2. Limite de Liquidez solo residual maduro.



2.a) 1º ensaio de LL; 2.b) 2º ensaio de LL.

Fonte: autores.

Limite de Plasticidade

Semelhantemente ao ensaio LL, o ensaio de limite de plasticidade também foi repetido com o intuito de assegurar a repetibilidade dos resultados obtidos já que este tipo de ensaio exige certa prática na execução. Foi possível obter resultados válidos de LP uma vez que os 3 valores de umidade não diferiram mais que 5% da média, como determina a norma. Portanto, para o solo residual maduro, foi obtido no 1º e 2º ensaio um limite de plasticidade igual a 44% e 45%.

Da mesma forma, ambos os ensaios de LP do solo residual jovem foram considerados satisfatórios, visto que nenhuma umidade verificada diferiu mais que 5% da média. Assim, foi obtido um limite de plasticidade de 59% no primeiro ensaio e 60% no segundo ensaio. Desta forma, conclui-se que para valores abaixo do LP encontrado, o solo analisado atingiu seu limite plástico, perdendo sua capacidade de moldagem.

Classificação do Solo

Com os resultados de limites de consistência, é possível identificar o solo analisado por meio da Carta de Plasticidade, Figura 3, e pela classificação de Jenkins, Tabela 1.

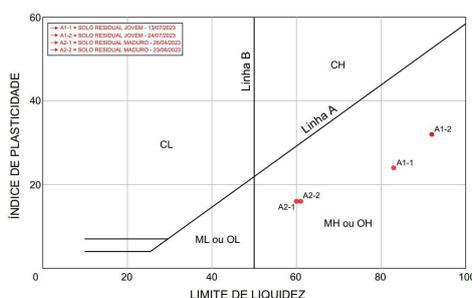
Tabela 1. Classificação de Jenkins

| Índice de Plasticidade (%) | Classificação |
|----------------------------|-----------------------|
| $1 < IP < 7$ | Fracamente plástico |
| $7 < IP < 15$ | Medianamente plástico |
| $IP > 15$ | Altamente plástico |

Fonte: Murrieta (2018)

Para ambos, faz-se necessário o cálculo do Índice de Plasticidade (IP), o qual é obtido através da diferença entre o limite de liquidez e o de plasticidade. Os IP calculados foram de 16%, 16%, 24% e 32%, na mesma ordem dos ensaios já citados. Sendo assim, foi possível plotar os valores na Carta de Plasticidade (Figura 3).

Figura 3. Carta de Plasticidade.
CARTA DE PLASTICIDADE



Fonte: Adaptado de Pinto (2006).

O solo residual maduro e jovem foram identificados como altamente plásticos, por meio da classificação de Jenkins. Na Carta de Plasticidade, verifica-se que todas as amostras analisadas se definem como MH ou OH, ou seja, silte de alta compressibilidade ou solo orgânico de alta compressibilidade. Uma vez que não foi observado material orgânico nas amostras, conclui-se que se trata de um solo siltoso de alta compressibilidade.

MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS

Os resultados de massa específica dos grãos são de extrema relevância na caracterização do material, uma vez que possibilitará o cálculo dos outros índices físicos, e estes auxiliarão na obtenção de outras propriedades do solo. Vale pontuar que, para os ensaios de massa específica, as amostras passaram pelo processo de secagem ao ar. Além disso, utilizou-se duas amostras de cada solo, uma vez que a NBR 6458 determina que os resultados devem ser considerados satisfatórios quando não diferem mais que $0,02 \text{ g/cm}^3$.

Assim, obteve-se $3,036 \text{ g/cm}^3$ e $3,029 \text{ g/cm}^3$, respectivamente para as amostras 1 e 2. A norma define como resultado final a média aritmética entre as duas amostras, com isso, a massa específica dos grãos do solo residual maduro é igual a $3,033 \text{ g/cm}^3$. Os resultados do ensaio com amostras de solo residual jovem, também são considerados satisfatórios, tendo em vista que $2,688$ e $2,686 \text{ g/cm}^3$ não diferem mais que $0,02 \text{ g/cm}^3$. Portanto, pode-se afirmar que a massa específica dos grãos do solo residual jovem é igual a $2,687 \text{ g/cm}^3$.

CONCLUSÕES

Com os ensaios realizados, foi possível caracterizar preliminarmente o solo da região oeste do Paraná, mais especificamente do município de Quatro Pontes. Constatou-se, mediante os ensaios de limites de consistência, que o solo analisado se caracteriza como um silte de alta compressibilidade, parâmetro este que implica da variação de volume quando submetido a carregamentos.

Ademais, foram obtidos resultados satisfatórios de massa específica dos grãos, sendo estes $3,033 \text{ g/cm}^3$ para o residual maduro e $2,687 \text{ g/cm}^3$ para o residual jovem. Esses dados são de extrema relevância para a completa caracterização do solo residual de basalto, pois o mesmo será usado no cálculo de índices físicos, tais como índice de vazios, utilizado no cálculo de adensamento, compactação e granulometria.

Vale ressaltar que, outros ensaios serão realizados para a completa caracterização do solo residual de basalto da região, a fim de contribuir para o entendimento do comportamento deste material na aplicação de projetos de fundação.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UTFPR pela concessão das vagas de Iniciação científica voluntária.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457: **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.**

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6458: **Grãos de solo que passam na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica (anexo B).**

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459: **Solo - Determinação do Limite de Liquidez.**

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180: **Solo - Determinação do Limite de Plasticidade.**

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N (2022). **Mecânica dos Solos: Teoria e Aplicações.** Rio de Janeiro: Grupo GEN, 8ª ed.

MURRIETA, Pedro (2018). **Mecânica dos Solos.** Rio de Janeiro: Grupo GEN, 1ª ed.

PINTO, C.S. (2006). **Curso básico de mecânica dos solos.** Oficina de textos: São Paulo, 3ª ed.

SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.460-464, 2000. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 2000. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v4n3/460.pdf>.