

INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE SECAGEM NOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DE PERFIL DE UM SOLO RESIDUAL TROPICAL

Gustavo Vaz de Mello Guimarães¹; André Soares de Castro²; Felipe Soares Santos³, Jonas Antunes de Souza⁴, Lucas Marques Pires da Silva⁵,

Resumo – Os limites de consistência são fundamentais para a caracterização de solos finos, isto é, constituídos de siltes e argilas. Dentre os solos com elevados teores de partículas finas estão os solos residuais. Os solos residuais são o produto de intemperismo em zonas de clima tropical, sendo comumente encontrados no Brasil. Geralmente possuem em sua composição presença de ferro, sua coloração avermelhada característica deve-se a isso. Muitas vezes a água presente no estado natural destes solos, dependendo da composição mineralógica existente, possui influência significativa no seu comportamento. Internacionalmente são realizados diferentes processos de secagem para preparação de amostras antes de se iniciar os ensaios de caracterização. Dessa forma, existem diferentes processos para a realização de ensaios que determinam os limites de liquidez e plasticidade o que pode conduzir a diferentes resultados. No caso dos limites de Atterberg esses processos são relativos aos teores de água iniciais para a realização dos ensaios, a saber: teor de água natural, teor de água higroscópico e secagem total em estufa. Assim, amostras de solo residual tropical da Cidade de Macaé no estado do Rio de Janeiro, Brasil, foram utilizadas para a verificação da influência desses três diferentes processos de secagem no resultado dos limites de Atterberg. Por fim, busca-se como objetivo específico analisar os efeitos dos mesmos limites para solos com diferentes processos de intemperização.

Abstract – The consistency's limits are fundamental to fine soil's characterization, in other words, the soil that is constitutes of clay and silt. Inside that group of soils, there are residuals soils. The lateritic soils are intemperism product at tropical zones and easily found in Brazil. Generally, they have iron in composition, because of that they have red color. Many times the water present in natural state of this kind of soil, depending on their mineralogic composition, has significance influence at his comportment. Internationally there are perform different drying processes to prepare the sample before the characterization's test. In that way, there are different process to perform test that determine liquidity's limit and plasticity's limit. In Atterberg's limits case this processes are concerning between initial humidity to do the test. These humidities are natural, hygroscopic and total drying at kiln. So, the tropical lateritic soil's sample of Macaé city at state of Rio de Janeiro, Brazil, was used to verify the influence of these three types of drying at Atterberg's limits results. Lastly, a specific objective to analyze the effects of these limits to soils with different intemperism process.

Palavras-Chave – Limites de consistência; perfil de solo residual tropical; processos de secagem.

¹ Docente, D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro – Macaé – RJ, (21) 99972-6651, guimaraes@macae.ufrj.br

² Discente, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Macaé – RJ, (21) 97129-8361, andresoareshcastro15@gmail.com

³ Discente, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Macaé – RJ, (11) 95135-9245, felipessantos95@gmail.com

⁴ Discente, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Macaé – RJ, (22) 99816-3198, jonasbanda1@hotmail.com

⁵ Discente, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Macaé – RJ, (22) 99908-0074, lucas.mmps@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

As diferentes regiões no planeta impõem diferentes comportamentos de vários elementos da natureza. No solo não poderia ser diferente. Diversos solos europeus e norte-americanos foram classificados e caracterizados ao longo dos anos. Muitos destes solos têm origem sedimentar, bem diferente de solos residuais tropicais, não saturados, encontrados entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio. A formação dos solos residuais se dá pela atuação dos processos de alteração pedológica que atuam após, ou conjuntamente, com os mecanismos de desagregação e decomposição, provocados pelos intemperismos físicos e químicos. O processo de intemperização se caracteriza pela intensa migração de partículas sob a ação de infiltrações e evaporação, dando origem a um horizonte superficial poroso, permanecendo quase que exclusivamente os minerais mais estáveis (p.ex.: quartzo). Além disso, esse processo é muito lento, atuando nas camadas superficiais, situadas acima do nível d'água. O Brasil possui grandes regiões com a presença deste tipo de solo. A figura 1 mostra uma faixa de solo onde a probabilidade de encontrar solo residual tropical é elevada.

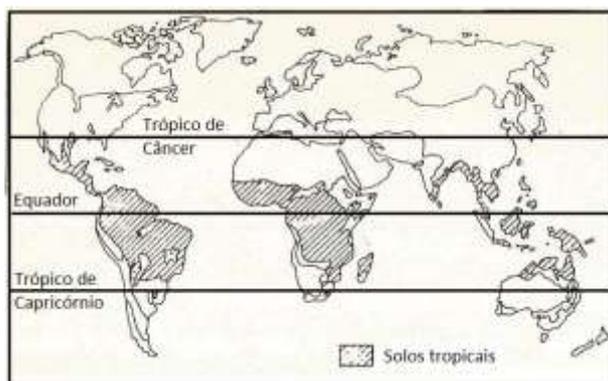


Figura 1. Região com larga ocorrência de solos tropicais no planeta. (adaptado de Newill, 1985)

Desta forma a Geotecnia Brasileira tem um interesse particular no estudo dos solos assim definidos, típicos da evolução de solos em clima quente, com regimes constantes de chuvas. Esses solos possuem fração de argila constituída predominantemente de minérios caulíníticos e apresentam elevada concentração de ferro e alumínio na forma de óxidos e hidróxidos, chegando a obter um tom avermelhado. Estes sais se encontram, geralmente, recobrendo agregados de partículas argilosas, culminando numa estrutura macroagregada muitas vezes até com pedregulhos. A macroestrutura, e a eventual presença de pedregulhos faz com que algumas vezes estes solos se encontrem na natureza com índice de vazios elevados além de elevada permeabilidade.

O objetivo principal do trabalho é avaliar como um solo residual tropical com a presença de cimentação e óxidos de ferro se comporta ao ser submetido a diferentes processos de preparação (destorroamento e umidade inicial) para a realização dos limites de liquidez e plasticidade.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1. Caracterização Geológica

Quanto à geologia da região, em Macaé existe a ocorrência de rochas do Pré-Cambriano com topografias arrasadas, destacando-se as unidades de gnaisses facoidais, migmatitos e gnaisses bandados e gnaisses bandados característicos da Serra do Mar. Morfoestruturalmente está inserida em duas unidades: O Cinturão Orogênico do Atlântico e as Bacias Sedimentares Cenozóicas (Dantas, 2000).

A figura 2 apresenta o mapa geológico do estado do Rio de Janeiro com destaque para a cidade de Macaé. O mapa executado pela equipe da Divisão de Geologia Básica do Departamento de Geologia da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), esboça as diferentes unidades geológicas que constituem a região de Macaé.

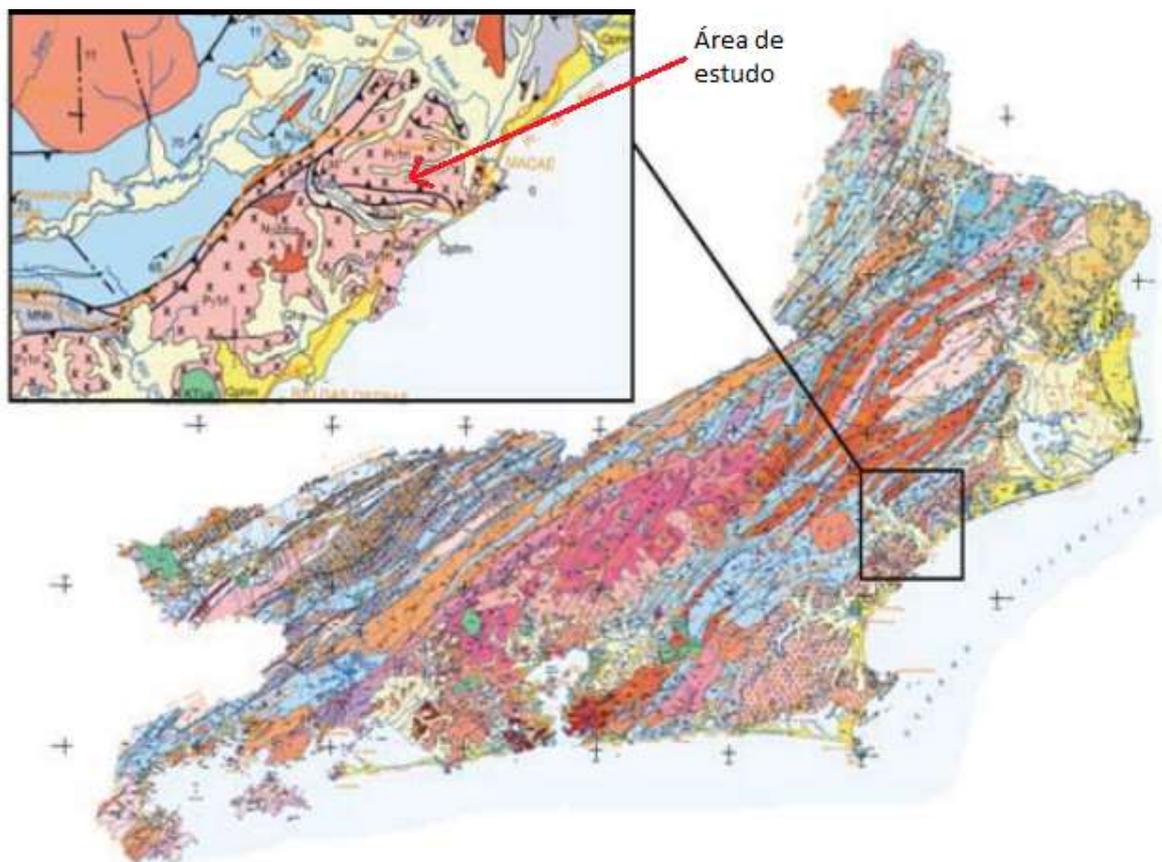


Figura 2. Mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro com destaque para a cidade de Macaé, no litoral Norte Fluminense (adaptado de CPRM/R.J. 2008)

A tabela 1 apresenta as características principais da região de estudo.

Tabela 1 – Unidades geológicas da região de Macaé (CPRM/R.J., 2008)

Unidade geológica		Descrição
Simbologia	Denominação e Período	
	Complexo Região dos Lagos/Proterozóico.	Hornblenda-biotita ortognaisse cálcico-alcalino, granodiorítico a tonalítico com textura granoblástica a porfírica recristalizada (porfiroclástica) e forte foliação tangencial. Frequentes veios anatéticos, sintangenciais, de leucossomas graníticos (fusão, in situ), bem como paleodiques máficos (anfíbolitos) dobrados.

2.2. Caracterização Geotécnica

Como é possível observar na Figura 3a e 3b, os solos que ocorrem na área de estudo apresentam coloração avermelhada. Este tom avermelhado pode indicar a presença de óxidos de ferro.



Figura 3a. Local de retirada das amostras - Campus UFRJ/Macaé e Figura 3b. Detalhes das lateritas.

Uma classificação tátil visual do material foi realizada e as amostras foram classificadas inicialmente como um solo argilo-siltoso com pouca areia de cor vermelha e presença de pedregulhos.

3. ENSAIOS REALIZADOS

3.1. Coleta de amostras

A coleta de amostras foi realizada no Campus UFRJ Macaé – Professor Aloísio Teixeira. Todas as amostras coletadas foram deformadas, ou seja, sem que a estrutura natural do solo fosse mantida.

As amostras foram extraídas em um mesmo talude em alturas diferentes a fim de se estudar, também, os efeitos dos diferentes processos de intemperização na formação do solo. Foram coletadas amostras na altura da base, meio e topo do talude. As amostras foram devidamente embaladas a fim de manter a umidade natural do solo coletado e, posteriormente transportadas até o laboratório. Cabe salientar que o talude possui cerca de seis metros de altura.

O solo mais próximo a superfície, como definido por Vargas (1974), é denominado solo residual maduro, pois o intemperismo atuou de forma a descaracterizar a textura da rocha-mãe. Logo abaixo está o solo denominado residual jovem, em que apesar de manter grande parte do aspecto visual da camada superior, encontra-se fragmentos da rocha-mãe. Por baixo do solo residual jovem encontra-se o saprólito que é uma camada intermediária entre a cobertura do maciço terroso e o maciço rochoso. (adaptado de Fernandes, 2015).

As Figuras 4a e 4b apresentam o talude estudado, um esquema com a classificação dos tipos de solo e amostras de cada um dos três tipos de solos coletados para a pesquisa em laboratório. O solo retirado no topo do talude é classificado como solo residual maduro, já no meio do talude verificou-se uma formação de solo residual jovem e, por fim, no pé do talude um exemplar de saprólito. Para fins didáticos a seguinte legenda foi utilizada nas Figuras 4a e 4b: 1 – Maduro; 2 – Jovem e 3 – Saprólito.

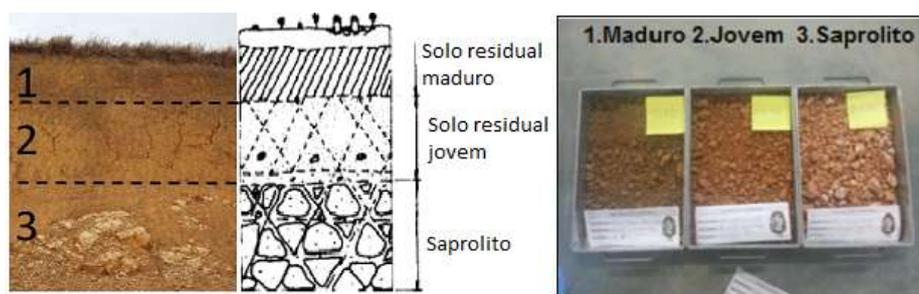


Figura 4a: Talude analisado e classificação dos tipos de solo (Adaptado de Nogueira 1995); Figura 4b: Amostras dos três solos coletados para a pesquisa.

3.2. Preparação das amostras

A primeira ação executada no laboratório foi a determinação do teor de umidade natural de todas as amostras de solo coletadas, conforme NBR 6457/1986.

Para a realização dos ensaios de granulometria foram separadas as quantidades necessárias de cada amostra conforme NBR 6457/1986. As amostras foram secas em estufa e posteriormente destorroadas. A Figura 5 mostra o solo sendo destorroado no almofariz com a mão de grau. Cabe ressaltar que neste procedimento boa parte da cimentação existente no solo deve ter sido perdida devido à manipulação do mesmo.



Figura 5. Destorroamento do solo em laboratório.

Para os limites de Atterberg também foram separadas as quantidades necessárias de cada amostra conforme a NBR 6457/1986. Cabe ressaltar que todas as amostras foram destorroadas e passadas na peneira de abertura #40 (0,425 mm) antes da realização dos ensaios para a determinação dos limites de Atterberg.

3.3. Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado apenas pelo processo de peneiramento. Devido à natureza do solo residual desta pesquisa optou-se por fazer o processo de lavagem do solo antes de se realizar o peneiramento. A lavagem foi realizada com água corrente na peneira de abertura #200 (0,075 mm). Cabe ressaltar que não foi utilizado o defloculante durante a lavagem.

O material retido na peneira # 200 foi secado em estufa e depois utilizado para o peneiramento segundo a NBR 7181/1984. No peneiramento grosso utilizou-se peneiras com abertura de 25 mm; 19,1 mm; 9,52 mm; 6,7 mm; 4,75 mm; 3,35 mm; 2,36 mm e 2,00 mm. Já para o peneiramento fino foram utilizadas as peneiras 1,70 mm; 1,18 mm; 0,85 mm; 0,60 mm; 0,425 mm; 0,30 mm; 0,212 mm; 0,15 mm; 0,106 mm e 0,075 mm. Para ambos peneiramentos foi utilizado um agitador de peneiras por cerca de quinze minutos na frequência máxima.

3.4. Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg definem um teor de água em que o solo deixa de se comportar como semi-sólido e passa a se comportar como plástico - Limite de plasticidade - e quando o solo deixa de se comportar como plástico e passa a se comportar como líquido - Limite de liquidez - (Pinto, 2015). O limite de plasticidade foi definido por Atterberg, 1911 e o limite de liquidez em Terzaghi,

1948. Os ensaios seguiram a NBR 6459/1984 para o limite de liquidez e a NBR 7180/1984 para o limite de plasticidade.

Na presente pesquisa esses limites foram determinados a partir de três diferentes teores de umidades oriundos de três distintos processos de secagem: i) sem secagem prévia; ii) secagem realizada ao ar e iii) secagem em estufa.

3.4.1. Preparação das amostras sem secagem prévia

Esse primeiro processo, naturalmente, utilizou o solo com sua umidade natural. Desta forma, bastou que as amostras coletadas de cada solo fossem bem armazenadas afim de que não houvesse perda de umidade entre a coleta e a realização dos ensaios para a determinação dos limites de Atterberg no laboratório.

3.4.2. Preparação das amostras com secagem ao ar

Esse processo foi, sem dúvidas, o mais difícil de ser controlado. O objetivo era obter uma amostra somente com a umidade higroscópica. Devido ao longo tempo para atingir essa umidade (foram cerca de três dias) foi necessário abrigar as amostras em locais protegidos. Os maiores problemas encontrados durante esse processo foram a chuva e vento, além de animais. Assim o local mais adequado encontrado foi o espaço existente entre o telhado e o teto do laboratório. A Figura 6a apresenta o local onde as amostras foram colocadas, por até quatro dias, para secar ao ar. A Figura 6b exibe as amostras, identificadas, em bandejas secando neste local.



Figura 6a. Local de Secagem (telhado) e Figura 6b. Amostras durante processo de secagem.

3.4.3. Preparação das amostras com secagem na estufa

Esse processo, embora não seja preconizado pela NBR 6457/1986, foi testado neste trabalho. Assim os solos foram colocados em bandejas e levados para a estufa com temperatura de 105°C até constância de peso.

A Figura 7a apresenta uma das amostras executadas sendo comparada com o gabarito para a determinação do limite de plasticidade. A Figura 7b apresenta uma amostra no aparelho de Casagrande antes da execução do ensaio para determinação do limite de liquidez.



Figura 7a. Comparação da amostra e o gabarito para determinação do limite de plasticidade (NBR 7180/1984) e Figura 7b. Amostra no aparelho de Casagrande para determinação do limite de liquidez.

4. RESULTADOS

4.1. Granulometria

A Figura 8 apresenta as curvas granulométricas obtidas por peneiramento em laboratório para o solo residual maduro, solo residual jovem e o saprólito.

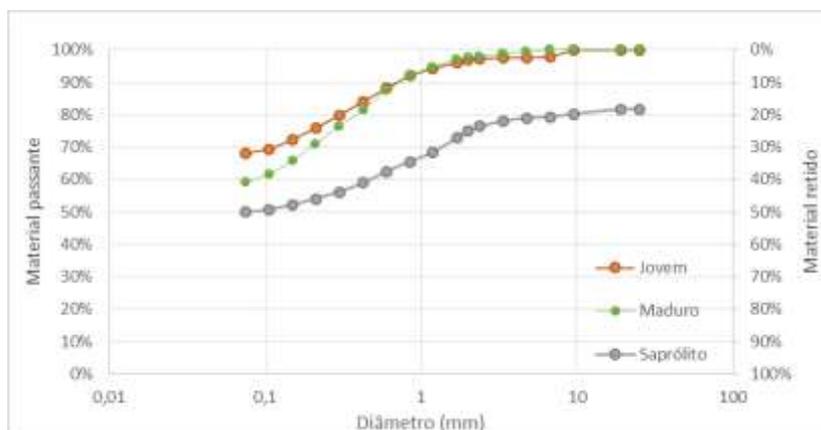


Figura 8. Curvas granulométricas dos solos ensaiados.

Observa-se, naturalmente, que o solo laterítico da parte mais inferior do talude (saprolito) possui uma quantidade de material grosso maior e menos material fino que os outros dois solos. As parcelas de solo do meio do talude (residual jovem) e do topo do talude (residual maduro) possuem praticamente a mesma quantidade de material grosso. Entretanto as quantidades de material fino são maiores no solo jovem.

Uma característica importante do solo é a quantidade do material que passa pela peneira #200. Este valor (F200) mostra, em parte, a quantidade de finos do solo (silte e argila). Então a partir da curva granulométrica foi possível determinar o F200 dos solos ensaiados. A Tabela 2 apresenta o F200 para o saprólito, solo residual jovem e solo residual maduro.

Tabela 2 – Material passante na peneira #200 (F200)

Tipos de solo	F200
Saprolito	50%
Jovem	68%
Maduro	59%

Cabe ressaltar que a obtenção do percentual de solos finos só foi possível devido ao processo de pesagem dos solos antes e depois da lavagem na peneira #200.

4.2. Limite de liquidez

4.2.1 Solos sem secagem prévia

A Figura 9 apresenta os resultados dos ensaios para determinação do limite de liquidez do solo residual maduro, solo residual jovem e o saprólito. Ressalta-se que neste caso o solo estava inicialmente com a umidade natural e que para cada ponto das curvas foi sendo adicionado uma certa quantidade de água para realização do ensaio no aparelho de Casagrande.

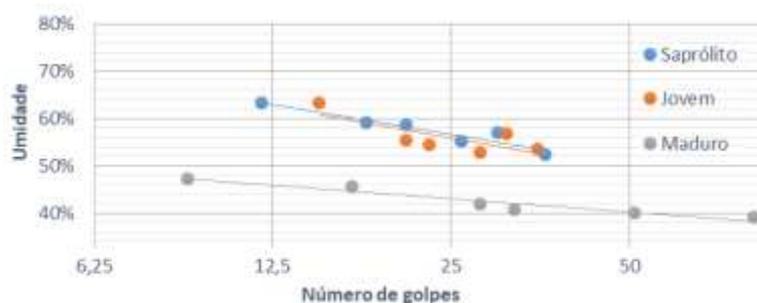


Figura 9. Curvas para a determinação do limite de liquidez dos solos sem secagem prévia.

O limite de liquidez para o solo maduro é o menor entre eles. Para o solo residual jovem e o saprólito os limites de liquidez são praticamente os mesmos. Os limites de liquidez para o solo saprolítico, jovem e maduro são, respectivamente, 55%, 56% e 43%.

4.2.2 Solos secos ao ar

A Figura 10 apresenta os resultados dos ensaios para determinação do limite de liquidez do solo residual maduro, solo residual jovem e o saprólito, sendo que neste caso, antes do início dos ensaios, as amostras de cada solo foram secas ao ar até a umidade higroscópica. A partir daí foi adicionada água para cada ponto ensaiado no aparelho de Casagrande.

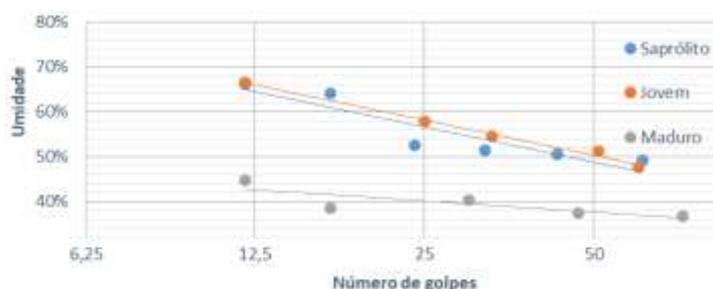


Figura 10. Curvas para a determinação do limite de liquidez dos solos a partir da umidade higroscópica.

A mesma tendência encontrada anteriormente foi observada, ou seja, o limite de liquidez para o solo maduro também é o menor entre eles. Para o solo residual jovem e o saprólito os limites de liquidez são semelhantes. Os limites de liquidez para o solo saprolítico, jovem e maduro são, respectivamente, 57%, 58% e 40%.

4.2.3 Solos secos na estufa

A Figura 11 apresenta os resultados dos ensaios para determinação do limite de liquidez do solo residual maduro, solo residual jovem e o saprólito. Neste caso, antes do início dos ensaios, as amostras de cada solo foram secas na estufa a 105°C até constância de massa. A partir daí foi adicionada água para cada ponto ensaiado no aparelho de Casagrande.

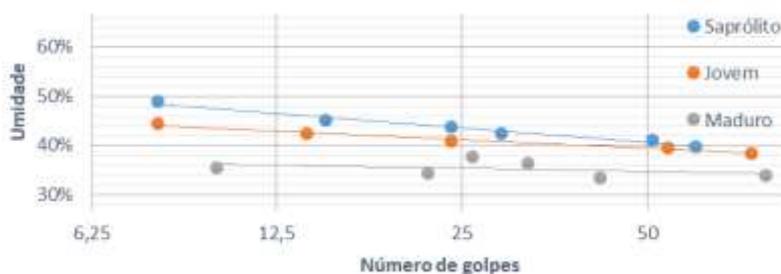


Figura 11. Curvas para a determinação do limite de liquidez dos solos secos na estufa a 105°C.

O limite de liquidez para o solo maduro também foi o menor entre eles. Já para o solo residual jovem e o saprolito os limites de liquidez são próximos, mas possuem uma pequena diferença. Os limites de liquidez para o solo saprolítico, jovem e maduro são, respectivamente, 44%, 41% e 35%.

4.3. Limite de plasticidade

4.3.1 Solo com teor de água natural (Sem secagem prévia)

Neste caso o solo estava inicialmente com a umidade natural e que para cada ensaio foi sendo adicionado uma certa quantidade de água nas amostras de solo. O limite de plasticidade para o solo residual maduro é o menor entre eles. Para o solo residual jovem e o saprolito os limites de plasticidade são praticamente os mesmos. Os limites de plasticidade para o solo saprolítico, jovem e maduro são, respectivamente, 34%, 35% e 28%.

4.3.2 Solo seco ao ar

Neste caso, antes do início dos ensaios, as amostras de cada solo foram secas ao ar até a umidade higroscópica. A partir daí foi adicionada água para cada determinação dos limites de plasticidade das amostras. A mesma tendência anterior foi observada, ou seja, o limite de plasticidade para o solo maduro também é o menor entre eles. Para o solo residual jovem e o saprolito os limites de plasticidade são semelhantes. Os limites de plasticidade para o solo saprolítico, jovem e maduro são, respectivamente, 35%, 37% e 28%.

4.3.3 Solo seco na estufa

Neste caso, antes do início dos ensaios, as amostras de cada solo foram secas na estufa a 105°C até constância de massa. A partir daí foi adicionada água para cada determinação dos limites de plasticidade das amostras. O limite de plasticidade para o solo residual maduro também foi o menor entre eles. Já para o solo residual jovem e o saprolito os limites de plasticidade são próximos, mas possuem uma pequena diferença. Os limites de plasticidade para o solo saprolítico, jovem e maduro são, respectivamente, 37%, 33% e 26%.

4.4. Resumo dos resultados obtidos

Um resumo dos dados obtidos foi elaborado com a finalidade de uma melhor avaliação dos resultados dos ensaios realizados para o solo residual maduro, solo residual jovem e o saprolito em seus diferentes processos de secagem. Além dos limites de liquidez e plasticidade, também são apresentados na Tabela 3 as umidades naturais e índices de plasticidade das amostras de solo.

Tabela 3 – Umidade natural, limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade para os solos ensaiados com os diferentes processos de secagem.

Processo de secagem	Prof. (m)	Tipos de solo	Umidade natural	Limite de plasticidade	Limite de liquidez	Índice de plasticidade
Sem secagem prévia	0	Maduro	16%	28%	43%	15%
	3	Jovem	5%	35%	56%	21%
	6	Saprolito	12%	34%	55%	21%
Seco ao ar	0	Maduro	16%	28%	40%	12%
	3	Jovem	5%	37%	58%	21%
	6	Saprolito	12%	35%	57%	22%
Seco na estufa (105°C)	0	Maduro	16%	26%	35%	9%
	3	Jovem	5%	33%	41%	8%
	6	Saprolito	12%	37%	44%	7%

5. CONCLUSÕES

Observando as curvas granulométricas o solo saprolítico apresentou mais material grosso provavelmente devido a sua maior proximidade ao maciço rochoso. Os solos residuais jovem e maduro apresentaram quantidades semelhantes de material grosso entre eles. Já o percentual de material fino no solo residual maduro foi menor que no solo residual jovem, provavelmente devido a ação de intemperes físicos (como chuvas e ventos) que são mais atuantes no topo do talude, onde se encontra o solo residual maduro.

A umidade natural obtida para o solo residual maduro foi a maior encontrada – 16%. Para o solo residual jovem a umidade natural foi de 5% e para o saprolito de 12%. Essas diferenças podem ser explicadas pelo perfil do solo, onde o solo residual maduro, por estar na camada do topo do talude e possuir mais matéria orgânica (p.ex.: raízes) apresenta um acúmulo maior de água. O meio do talude – solo residual maduro – por ser uma camada de transição retém menos água. Já o saprolito por estar na camada inferior, perto do maciço rochoso pode ter um acúmulo de água maior devido a retenção de água da chuva pelo próprio maciço, porém como não possui raízes seu valor foi inferior ao do solo residual maduro.

De uma forma geral, o solo residual maduro apresentou os limites de liquidez e plasticidade menores que o solo residual jovem e o saprolito. Este fato pode ser explicado pela menor presença de finos em sua composição.

Considerando os diferentes tipos de processos de secagem, constata-se que os solos analisados secos em estufa obtiveram valores de índice de plasticidade bem menores que os solos analisados com umidade natural e os solos secos ao ar. Cabe lembrar que a NBR 6457/1986 não menciona o processo de secagem em estufa como preparação inicial dos solos. Assim, conclui-se que este tipo de procedimento não deve ser utilizado para a determinação dos limites de liquidez e plasticidade para o solo residual tropical de Macaé analisado.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6457/1986 – Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização – Método de ensaio.
- ABNT NBR 6459/1984 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Método de ensaio.
- ABNT NBR 7180/1984 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Método de ensaio.
- ABNT NBR 7181/1984 – Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio.
- ATTERBERG, A. Die Plastizität der Tone. Int. Mitt. Bodenkd, 1911.
- CPRM, Mapas Geológicos do estado do Rio de Janeiro, 2008.
- DANTAS, M. E., Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro, Brasília/CPRM. Mapa. CD-ROM, 2000.
- FERNANDES, M.M. Mecânica dos Solos: Conceito e princípios fundamentais, Vol.1 São Paulo, 2016.
- NEWILL, D., Peculiarities of tropical lateritic and saprolitic soils used as construction materials: selection, control and acceptance criteria – roads – Transport and road research laboratory, U.K., 1985.
- NOGUEIRA, J.B. Mecânica dos solos: ensaios de laboratório. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1995.
- PINTO, C.S. Mecânica dos Solos 3ª ed. São Paulo, 2015.
- TERZAGHI, K. Theoretical Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York, 1948.
- VARGAS, M. Engineering properties of residual soils from south-central region of Brazil. In: International Congress of the International Association of Engineering Geology, 2, 1974, São Paulo. Proceedings, São Paulo, 1974. v. 1.