

Análise do reúso de um solo tropical laterítico para o ensaio de compactação tipo Proctor

Luiz Fellipe Lobo Campos

UFRJ, Macaé, Rio de Janeiro, Brasil, fellipelobo@outlook.com

Gustavo Vaz de Mello Guimarães

UFRJ, Macaé, Rio de Janeiro, Brasil, guimaraes@macae.ufRJ.br

Lucas Oliveira Carvalho

UFRJ, Macaé, Rio de Janeiro, Brasil, oliveiracarvalho.lucas@hotmail.com

Luiz Henrique Barbosa

UFRJ, Macaé, Rio de Janeiro, Brasil, henrique_vic@hotmail.com

Alexandre Barbosa

UFRJ, Macaé, Rio de Janeiro, Brasil, alexandredbufRJ@gmail.com

Bruno Ferreira Costa Barzellay

UFRJ, Macaé, Rio de Janeiro, Brasil, bruno.barzellay@macae.ufRJ.br

RESUMO: O processo de compactação dos solos é muito popular e empregado em quase todo o mundo para a melhoria de algumas características dos solos e rochas (e.g.: resistência ao cisalhamento, redução de índice de vazios, redução do coeficiente de permeabilidade, etc.). A curva de compactação de um solo é uma das informações importantes a ser considerada em um projeto de engenharia, principalmente quando um processo de compactação está envolvido, como por exemplo em obras de rodovias, aterros, barragens, fundações rasas, entre outras. Uma das formas mais utilizadas para a determinação da curva de compactação do solo é a execução do ensaio de compactação em laboratório do tipo Proctor, onde diferentes níveis de energia podem ser utilizados (e.g.: normal, intermediária ou modificada). Para a realização do ensaio de compactação, de acordo com as normas do ensaio NBR 7182/1986 - Ensaio de compactação e NBR 6457/86 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, alguns procedimentos referentes a preparação das amostras, sempre deformadas, devem ser seguidos, tais como: ensaio sem reúso do material, onde deve ser utilizada uma amostra virgem para construção de cada ponto da curva; e ensaio em solo com pedregulho (qualquer solo com material retido na peneira de abertura de malha de 19,1 mm), sendo a compactação realizada em um cilindro maior, além de um soquete mais pesado. Porém, as normas brasileiras, NBR 7182/86 e NBR 6457/86 não correlaciona a aplicação dos procedimentos descritos acima aos respectivos tipos de solos existentes no vasto território brasileiro. Esta pesquisa visa verificar a variação das curvas de compactação tipo Proctor com energia normal para um solo tropical laterítico virgem, com primeiro e segundo reúso após a compactação, da região de Macaé, litoral norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil. Em laboratório, são também obtidas e, posteriormente, comparadas as curvas granulométricas (por peneiramento), além dos limites de liquidez e limites de plasticidade também para o solo virgem e com primeiro e segundo reúso após a compactação. A umidade natural da amostra deformada virgem também foi obtida em laboratório conforme procedimento da NBR 6457/86. A pesquisa experimental foi toda realizada por alunos de graduação em engenharia civil e supervisionada por professores do campus

de Macaé da UFRJ. O laboratório utilizado para a realização dos ensaios foi gentilmente emprestado pela – CVT (unidade de Macaé) – FAETEC.

PALAVRAS-CHAVE: Solo Tropical Laterítico, Solo Virgem e Reúso e Ensaios de Compactação Tipo Proctor.

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 tem origem sedimentar, bem diferente de solos tropicais lateríticos (latossolos), não saturados, encontrados entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio. A formação dos solos lateríticos 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 laterização se caracteriza pela intensa migração de partículas sob a ação de infiltrações e evaporação, dando origem a um horizonte superficial poroso, permanecendo quase 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 tropical é elevada.

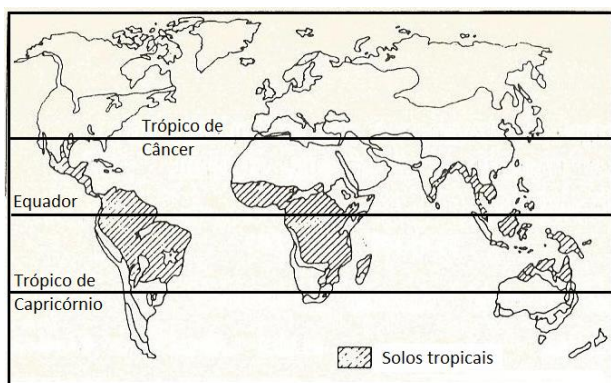


Figura 1 – Região com larga ocorrência de solos tropicais no planeta. (adaptado de Newill, 1985)

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 caulínicos 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 processo de compactação neste tipo de solo muitas vezes é a alternativa mais econômica para melhorar algumas características geotécnicas, tais como: resistência ao cisalhamento, compressibilidade e permeabilidade. É muito importante em um processo de compactação conhecer a curva de compactação do solo. A determinação da curva de compactação de um solo geralmente é realizada por meio do ensaio Proctor, onde diferentes níveis de energia podem ser utilizados. O nível de energia a ser empregado (normal, intermediária ou modificada) depende principalmente da utilização a que aquele solo vai ser solicitado em um determinado empreendimento. O ensaio para determinação da curva de compactação foi desenvolvido pelo engenheiro Ralph Proctor por volta de 1933 sendo normatizado nos Estados Unidos pela A.A.S.H.O - American Association of State Highway Officials e no Brasil sua execução segue a norma ABNT NBR 7182/1986 - Ensaios de Compactação. Outra norma brasileira, ABNT NBR 6457/86 – Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização

transcereve alguns cuidados a serem tomados na preparação do solo para os ensaios de compactação. Segundo a NBR 6457/86 o ensaio pode ser realizado de três formas distintas: preparação com secagem prévia até a umidade higroscópica; preparação a 5% abaixo da umidade ótima presumível e preparação a 3% acima da umidade ótima presumível.

Para alguns solos tropicais lateríticos, segundo Martinez (2003), durante o ensaio de compactação dinâmica, para cada ponto da curva de compactação obtida com qualquer energia, deve ser utilizada uma amostra virgem de solo, visando evitar uma possível quebra dos agregados passantes na peneira nº10. Os trabalhos de Garcia (2005) e Quito (2014) também demonstram a necessidade de usar solo virgem para a execução de cada ponto da curva de compactação para solos tropicais. Ainda associado ao aumento do volume do solo, a NBR 6457/86 também menciona a necessidade do ensaio, sob qualquer nível de energia, ser executado no cilindro grande toda vez que algum pedregulho ficar retido nas peneiras com abertura superiores a 19,1 mm ou, ainda, toda vez em que mais de 7% de solo (em peso) ficar retido na peneira com abertura de 4,8 mm. A massa total necessária à construção de uma curva de compactação com o cilindro grande de um solo em que o reúso não é permitido deve ser de 35 kg, enquanto para um solo onde o reúso seja permitido utiliza-se apenas 7 kg de solo (NBR 6457/86).

Um solo tropical laterítico localizado dentro do terreno do campus da UFRJ (faculdade de engenharia) no município de Macaé no norte do estado do Rio de Janeiro foi utilizado para a construção de uma curva de compactação sem reúso de solo. Após a construção da curva de compactação do solo virgem o solo foi reutilizado três vezes para a construção de mais três curvas sob a mesma energia de compactação. Para estes três tipos de solos (virgem, 1º reúso e 2º reúso) também foram realizados ensaios para determinação das curvas granulométricas da fração de solo retida na peneira #200 e a determinação dos limites de liquidez e de plasticidade.

2 PESQUISA EXPERIMENTAL

2.1 – Generalidades

A pesquisa experimental foi iniciada em dezembro de 2015 com a coleta de amostras de solo no município de Macaé, região norte do estado do Rio de Janeiro.

Macaé está situada 180 quilômetros a nordeste da capital do estado. Sua população é de cerca de 240 mil habitantes. Possui uma área total de 1 215,904 km². É conhecida como a Capital Nacional do Petróleo. O município está localizado a uma latitude de -22°22'33" e longitude de -41°46'30" e faz divisa com as cidades de Carapebus, Conceição de Macabu, ao Norte; Rio das Ostras e Casimiro de Abreu, ao Sul; Trajano de Moraes e Nova Friburgo, a Oeste; e com o Oceano Atlântico, a Leste. Contando com 23 quilômetros de litoral, o clima é quente e úmido na maior parte do ano, com temperaturas que variam entre 23 °C e 38 °C, amplitude térmica considerável, ocasionada pela troca de ventos entre o litoral e a serra, relativamente próximos. A pluviosidade anual pode chegar perto de 2500 mm.

Para fins de caracterização geológica, geomorfológica e pedológica a bacia hidrográfica de Macaé pode ser subdividida em três níveis de altitudes: alto vale (acima de 1200 m), médio vale (entre 500 m e 1200 m) e baixo vale (abaixo de 500 m). A tabela 1 indica as classificações pedológicas da bacia de Macaé para estes três níveis.

Tabela 1 – Pedologia dos três níveis de vale na bacia de Macaé (adaptado de http://www.Planomacaeostras.com/pdf/rel_caracterizacao_apres_lanna-13-04-2012.pdf, em 21/03/2016).

Nível	Solo
Alto vale	Cambissolos e Neossolos litólicos
Médio vale	Cambissolos, Neossolos litólicos e Latossolos
Baixo vale	Latossolos, Gleissolos, Argilossolos, Organossolos, Neossolos Quartzarênicos Órticos e Espodossolos

2.2 – O campo experimental

O campus da escola de engenharia da UFRJ de Macaé fica localizado praticamente ao nível do

mar. A elevada presença de solos tropicais lateríticos ao redor do campus foi um dos principais motivos da escolha deste local como campo experimental. Outros fatores importantes relacionados à presença de um campo experimental dentro do campus da universidade podem ser ressaltados: apoio logístico; facilidade para que os alunos acompanhem e façam o trabalho prático; redução de custos com transporte e segurança.

A figura 2 mostra a localização do campo experimental de solos tropicais lateríticos do campus da UFRJ/Macaé.



Figura 2 – Localização do campo experimental de solos tropicais lateríticos do campus da UFRJ/Macaé. (<https://www.google.com.br/maps/@-22.3925595,-41.8077449,1037m/data=!3m1!1e3>, 21/03/2016).

A figura 3 mostra o local onde foi coletado o solo, perto de um dos taludes de corte realizados para a implantação do campus da UFRJ em Macaé.



Figura 3 – Local de coleta das amostras deformadas do solo.

A coleta das amostras foi realizada pelos próprios alunos da disciplina de Geotecnia e, cerca de 50 kg de solo, foram armazenados em recipientes protegidos das ações externas.

2.3 – Ensaios de laboratório

2.3.1 Análise Granulométrica

Inicialmente, cerca de 500 g de amostra virgem foram levadas para a estufa e permaneceram, por cerca de 24h, até a observação da constância de massa em uma temperatura de aproximadamente 105°C. Logo após a amostra foi destorroada em almofariz com a mão de grau. Durante o destorroamento os pedregulhos encontrados visualmente foram separados e ao término da utilização da mão de grau colocados na massa de solo novamente.

A partir daí a análise granulométrica prosseguiu seguindo os procedimentos descritos na NBR 7181/84, mas apenas com a fase de peneiramento até a peneira de abertura 0,075 mm (#200). Desta forma a sedimentação não foi realizada e consequentemente o defloculante (hexametáfosfato de sódio) não foi aplicado ao solo.

Ambos os procedimentos foram repetidos para o solo com 1º reuso e com o 2º reuso após a realização dos respectivos ensaios de compactação.

2.3.2 Limites de Atterberg

Uma fração da amostra coletada foi seca ao ar e passada na peneira com abertura de 0,42 mm (#40) para a realização dos limites de liquidez (L.L.) e de plasticidade (L.P.). Foram utilizadas as metodologias descritas na NBR 6459/84 e NBR 7180/84, respectivamente para o L.L. e o L.P.

Ambos os procedimentos foram repetidos para o solo com 1º reuso e com o 2º reuso após a realização dos respectivos ensaios de compactação.

2.3.3 – Ensaio de compactação tipo Proctor

O restante da amostra foi toda seca ao ar

desmembrada e passada na peneira de abertura de 19,1 mm. O material retido na peneira foi separado do conjunto. No restante do material adicionou-se água até se obter uma umidade cerca de 5% abaixo da umidade ótima presumível. Após esse procedimento os pedregulhos foram novamente misturados ao material, conforme pode ser observado na figura 4.



Figura 4 – Pedregulhos sendo misturados novamente na massa de solo.

Devido a presença de pedregulhos foi necessária a utilização do cilindro grande para a execução do ensaio de compactação tipo Proctor. A energia utilizada no ensaio foi a normal.

No caso do ensaio de compactação, os procedimentos descritos acima foram realizados pelo menos três vezes para o solo virgem, três vezes para o solo com 1º reuso e mais três vezes para o solo com 2º e 3º reuso. Este procedimento foi necessário para haver coerência nos resultados na construção da curva de compactação.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 – Umidade natural do solo virgem

O primeiro procedimento realizado no laboratório foi a determinação do valor da umidade natural do solo deformado virgem. O valor da umidade natural determinado conforme os procedimentos sugeridos pela NBR 6457/86 foi da ordem de 11,1%.

3.2 – Análise granulométrica

A análise granulométrica foi determinada por peneiramento para a amostra virgem, com 1º reuso e 2º reuso e está apresentada na figura 5.

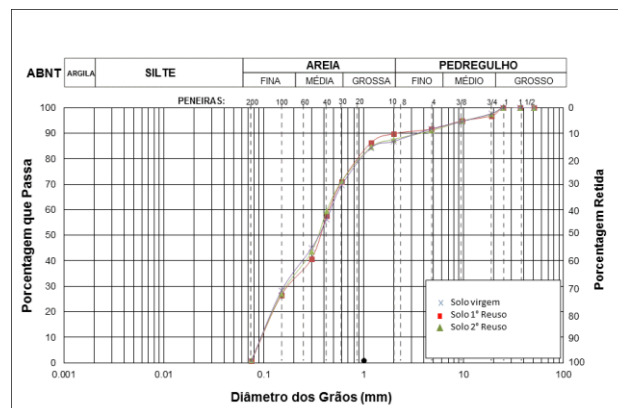


Figura 5 – Curvas granulométricas em amostras de solo tropical laterítico virgem e com reusos.

As três curvas se apresentam bem semelhantes e com um comportamento bem definido para o material em questão. Uma ligeira faixa de variação entre as três amostras pode ser observada para os grãos com diâmetros entre 0,1 mm e 2 mm. Observa-se, por exemplo, para um solo virgem que cerca de 40,7% passa pela peneira com abertura de 0,3 mm (#50), enquanto para o solo com o 2º reuso mais solo passa pela mesma peneira, cerca de 44,9%.

3.3 – Limites de liquidez

A figura 6 mostra a determinação por interpolação dos limites de liquidez para a amostra virgem, com 1º reuso e 2º reuso.

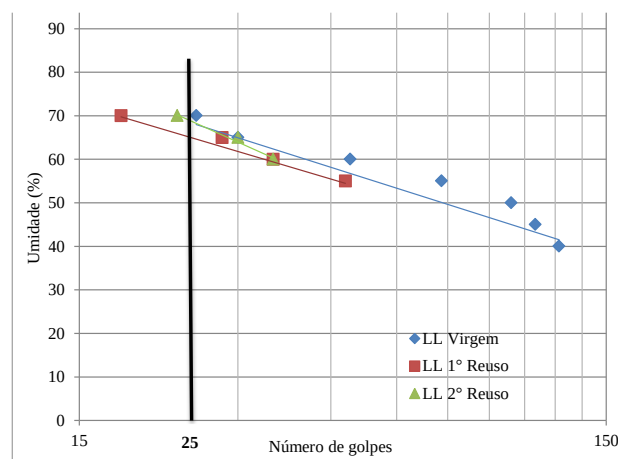


Figura 6 – Determinação dos limites de liquidez em amostras de solo tropical laterítico virgem e com reusos.

Observa-se de uma forma geral valores

elevados de limite de liquidez para este tipo de solo. Outro importante fator é que a variação no limite de liquidez para as três amostras ensaiadas não é tão grande. O maior dos valores é para a amostra virgem, sendo o L.L. de cerca de 70%. Já para o solo com 1º reuso, o L.L. é o menor encontrado, cerca de 66% e, por fim, para o segundo reuso perto de 68% de umidade.

3.4 – Limite de plasticidade

A tabela 2 mostra os valores dos limites de plasticidade encontrados para o solo virgem, com 1º reuso e 2º reuso.

Tabela 2 – Valores de L.P. para as amostras de solo.

Amostra	Limite de plasticidade (%)
Virgem	38%
1º reuso	41%
2º reuso	35%

Os limites de plasticidade para o solo, assim como os limites de liquidez, também são elevados. A variação entre os limites de plasticidade não são tão grandes, embora sejam um pouco maior que no caso do limite de liquidez.

A tabela 3 mostra o índice de plasticidade (IP) das três amostras ensaiadas.

Tabela 3 – Valores de I.P. para as amostras de solo.

Amostra	Índice de plasticidade (%)
Virgem	32%
1º reuso	25%
2º reuso	23%

Os valores do índice de plasticidade mostram-se usuais para o solo em questão. Resultados semelhantes foram encontrados em Garcia (2005) e Guimarães (2007). Ainda pode-se observar uma tendência de queda nos valores do I.P. a medida que o solo vai sendo reusado no processo de compactação.

3.4 – Ensaio Proctor

A figura 7 apresenta as curvas de compactação tipo Proctor para um nível de energia normal para as quatro amostras: virgem, 1º reuso, 2º reuso e 3º reuso.

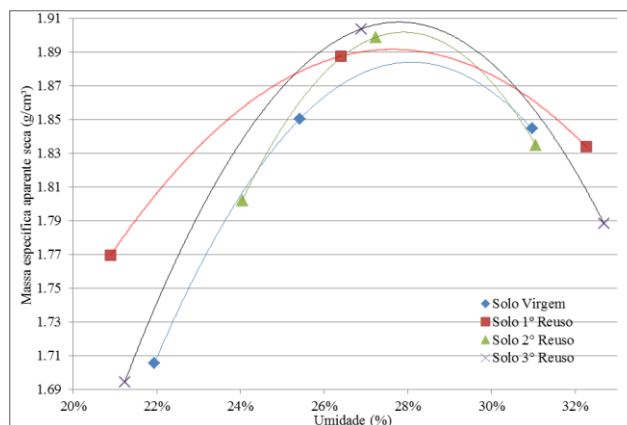


Figura 7 – Curvas de compactação com ensaios Proctor em amostras de solo tropical laterítico virgem e com reusos

As quatro curvas de compactação apresentam um comportamento bem definido para o solo em questão. Um bom ajuste foi obtido para os pontos de cada curva. Os valores de massa específica aparente seca do material crescem a medida que o solo vai sendo reusado. Os valores variaram entre cerca de 1,885 g/cm³ para o solo virgem, 1,891 g/cm³ para o solo com 1º reuso, 1,902 g/cm³ para o solo com 2º reuso e 1,909 g/cm³ para o solo com 3º reuso. Resultados semelhantes foram obtidos por Weirich Neto et al. (2002), Braidia et al. (2006) e Ramos et al. (2012). Os valores das umidades ótimas quase não variaram para as quatro amostras, ficando em torno de 28%.

4 CONCLUSÕES

Um solo tropical laterítico (latossolo) do município de Macaé, norte do estado do Rio de Janeiro foi ensaiado em laboratório. O campo experimental de onde as amostras deformadas do solo foram coletadas fica localizado no próprio campus da escola de engenharia da UFRJ/Macaé. Foram realizados os ensaios para determinação da curva granulométrica por peneiramento, os ensaios para determinação dos limites de liquidez e de plasticidade e os ensaios de compactação tipo Proctor normal para a construção da curva de compactação. Todos os ensaios foram realizados com amostras virgem de solo e seus respectivos 1º, 2º e 3º reusos após o ensaios de compactação. Os próprios alunos da instituição foram capazes de coletar e fazer

os ensaios de laboratório mencionados no trabalho.

A umidade natural do solo deformado virgem foi obtida em laboratório e seu valor é de 11,1%.

As três curvas granulométricas obtidas para as amostras apresentaram um comportamento bem definido e pouca variação entre si. De uma forma geral, para uma determinada abertura de peneira, observou-se que um percentual menor de solo virgem passava em relação ao solo com 1º reuso e com 2º reuso, respectivamente. Para a peneira com abertura de 0,3 mm (#50), cerca de 40,7% de solo virgem passou, enquanto pouco mais de 43,5% do solo com o 1º reuso conseguiu passar e, por fim, após o 2º reuso, cerca de 44,9% de solo passou.

Os valores dos limites de liquidez obtidos foram elevados e não variaram tanto entre as amostras. O menor valor foi de 66% e o maior de 70%, para a amostra com 1º reuso e amostra virgem, respectivamente.

Os valores dos limites de plasticidade obtidos também foram elevados e variaram um pouco mais entre as amostras. O menor valor foi de 35% e o maior de 41%, para a amostra com 2º reuso e amostra com 1º reuso, respectivamente.

Os índices de plasticidade para as amostras mostraram uma tendência de queda nos valores a medida que o solo foi sendo reusado no processo de compactação. Para o solo virgem o valor foi de 32% e para o solo com 2º reuso o valor foi de 23%.

Um bom ajuste foi obtido para as três curvas de compactação obtidas através do ensaio de compactação Proctor normal. Os valores de massa específica aparente seca do material tiveram uma tendência de crescimento a medida que o solo foi sendo reusado. Os valores variaram entre cerca de 1,885 g/cm³ para o solo virgem, 1,891 g/cm³ para o solo com 1º reuso, 1,902 g/cm³ para o solo com 2º reuso e 1,909 g/cm³ para o solo com 3º reuso, ou seja, uma variação pequena, de quase 1%. Os valores das respectivas umidades ótimas para as três amostras foram da ordem de 28%.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial para a CVT - FAETEC (unidade de Macaé) e para os alunos da disciplina de Geotecnia da faculdade de engenharia civil da UFRJ, polo Macaé, Rio de Janeiro. Ambos foram determinantes para a elaboração dos ensaios de laboratório.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986, Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. NBR 6457.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984, Solo – Determinação do Limite de Liquidez. NBR 6459.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984, Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. NBR 7180.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984, Solo – Análise Granulométrica. NBR 7181.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986, Solo: Ensaio de compactação. NBR 7182.
- Braida, J. A.; Reichert, J. M.; Veiga, M. Da; Reinert, D. J. (2006). Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.605-614.
- Garcia, O.C. (2005). Influência da qualidade da compactação dos reaterros na capacidade de carga de fundações submetidas a esforços de tração Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 133p.
- Guimarães, G.V.M. (2007). Utilização do ensaio de dilatômetro para o dimensionamento de estacas rígidas carregadas transversalmente. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 243p.
- INEA (2012) Relatório de Caracterização da Região Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras (RD-01) - http://www.planomacaeostras.com/pdf/rel_caracterizacao_apres_lanna-13-04-2012.pdf, em 21/03/2016).
- Martínez, G.S.S., (2003) Estudo do Comportamento Mecânico de Solos Lateríticos da Formação Barreiras. Dissertação de Mestrado, UFRGS – R.S., 266 p.
- Newill, D., (1985), Peculiarities of tropical lateritic and saprolitic soils used as construction materials: selection,

control and acceptance criteria – roads – Transport and road research laboratory, U.K.

Quito, V.S., (2014). Estudo Sobre a Influência das Raízes do Capim Vetiver na Permeabilidade de um Solo Tropical Compactado. Trabalho final de curso, Escola Politécnica, UFRJ, 76p.

Ramos F.T, Ramos, D.T., Maia, J.C.S., Serafim, M.E., Azevedo, E.C., e Roque, M.W. (2013). Curvas de compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo: Com e sem reuso de amostras. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.17, n.2, p.129–136.

Weirich Neto, P. H; Rosa, A. L. T. da; Gomes, J. A. (2002). Suscetibilidade de dois tipos de solos à compactação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, p.349-353.