

Parâmetros Geotécnicos de um Solo Residual Basáltico da Região do Alto Uruguai/RS

Pedro Eugênio Gomes Boehl

UFFS/Campus Erechim, Erechim - RS, Brasil, pedro.boehl@uffs.edu.br

Eduardo Pavan Korf

UFFS/Campus Erechim, Erechim - RS, Brasil, eduardo.korf@uffs.edu.br

Marco Strehl

UFFS/Campus Erechim, Erechim - RS, Brasil, marcostrehl_tecali6@yahoo.com.br

Luana Tortelli

UFFS/Campus Erechim, Erechim - RS, Brasil, luana_torte@hotmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta resultados da análise de ensaios básicos de caracterização, permeabilidade, compactação tipo Proctor Normal e Modificado, de um solo residual basáltico, naturalmente estruturado, da região Rio-Grandense do Alto-Uruguai. Foram extraídas amostras indeformadas e deformadas, de um solo proveniente de um corte recente no campus da Universidade Federal da Fronteira Sul (Erechim-RS). A caracterização do solo de estudo apresentou a indicação de forte estrutura natural coesiva, principalmente devido à presença de argilo-minerais. Os ensaios de compactação apresentaram os seguintes valores: Proctor normal - 13,8 kN/m³ e umidade ótima 35%; Proctor modificado – 14,96 kN/m³ e umidade ótima de 29,66%. O coeficiente de permeabilidade médio foi 6,94.10⁻⁷ m/s. A análise dos resultados dos limites de Atterberg (LL=56, LP=50, IP=6) permitiu inferir que a classificação unificada (SUCS), com base no ábaco de Casagrande por regiões, é MH, Solo Silteso de Alta Compressibilidade e média plasticidade. Esta análise não é corroborada pelos resultados da análise granulométrica que revela um Solo Argilo-siltoso com pouco de areia. O grau de atividade do solo pode ser considerado como não elevado (IA=0,1). Esta discrepância ressalta que muitas técnicas utilizadas nas análises e caracterização de solos sedimentares, não são adequadas, para análises dos solos residuais. Do ponto de vista do uso do solo em Terraplenagem e Obras de Engenharia, o solo apresenta-se como aceitável para sub-base e subleito, assim como a sua utilização em corpo de aterros e barragens, todavia a alta compressibilidade, poderá ocasionar plasticidade indesejável aos serviços de terraplenagem e deformações inaceitáveis as estruturas geotécnicas. Sob o ponto de vista de sua utilização como camada impermeabilizante, o solo necessitaria de permeabilidade mais baixa. Estes problemas poderiam ser resolvidos com compactação nas energias proctor normal ou modificada, ou através da correção por adição granulométrica estabilizante dependendo da aplicação pretendida.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização Geotécnica, Permeabilidade, Compactação.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, apesar de negligenciadas, são reconhecidas no meio técnico, as diferenciações existentes, entre solos sedimentares e residuais. Os processos, através dos quais, os solos residuais (solos intermediários e siltosos) são formados, são totalmente diferentes daqueles responsáveis pela formação dos solos sedimentares (argilas e areias puras) com comportamento muito mais homogêneo e isotrópico (BOEHL, 2011).

Os perfis residuais são heterogêneos, anisotrópicos e imprevisíveis com grande variabilidade mineral e condições físicas (SANTOS, 1997). Bishop (1972) definiu o solo coesivo estruturado, como aquele em que as forças de união interpartículas, contribuem significativamente no comportamento físico-mecânico do solo. Apesar do crescimento sociocultural da região, pouco foi realizado para se conhecer melhor as propriedades geotécnicas dos solos. Por isso os projetos realizados, em sua grande parte, baseiam-se em dados geotécnicos obtidos para a microrregião de Passo Fundo, que está inserida no mesmo contexto geológico. Por estas razões, estudos geotécnicos para estes solos, são necessários.

Para Cruz (1996), os solos da Região do Alto Uruguai possuem características associadas aos solos argilosos, heterogêneos com alto teor de umidade natural e comportamento francamente não-drenado. Segundo Pinto (2002), os valores típicos para a compactação dos solos residuais de basalto, são com umidade ótima de 25 a 30%, correspondente ao peso específico máximo de 14 a 15 kN/m³.

Neste sentido, este trabalho visa obter informações básicas, sobre a caracterização de solos residuais da suíte basáltica da bacia do Paraná, da micro-região de Erechim-RS, através de ensaios de laboratório.

2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA ESTUDADA

A região em estudo está localizada na Microrregião Geográfica de Erechim, no Estado

do Rio Grande do Sul, situado entre as coordenadas 27°29'09" e 27°47'08" de latitude Sul e 52°08'48" e 52°21'12" de longitude Oeste (ZANIN, 2002). O material utilizado nesta pesquisa está localizado na Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Erechim, às margens da BR 135, km 72. As coordenadas do local de coleta são: S 27°43'37.3" e W 052°16'58.3", estando a uma altitude de 774 m em relação ao nível do mar. A Figura 1 apresenta a localização geográfica da região explorada.



Figura 1: Localização geográfica da região explorada.

Fonte: Adaptado de GOOGLE, junho de 2010

(www.google.com.br).

Geologicamente, a região de pesquisa está localizada na formação Serra Geral, na Bacia do Paraná, onde há ocorrência de derrames eruptivos do período Fanerozóico, era Mesozóica e período juro-cretáceo (65-203 Ma), formando uma série de sobreposições de camadas de basaltos, andesitos, dacitos, riodacitos à riolitos, intercalações de leitos arenosos e conglomeráticos com arenitos eólicos intraderrames (DNPM, 1989). Mais especificamente, estas formações, são reconhecidas, litologicamente por Grupo São Bento “JKsg, α ”, Formação Serra Geral, Efusivas básicas, continentais, toleíticas, comumente basaltos e fenobasaltos. Normalmente, capeando as efusivas básicas, ocorre uma sequência de rochas de composição ácida (α), constituída por riolitos felsíticos, riodacitos felsíticos, dacitos felsíticos e seus correspondentes em termos vítreos (DNPM, 1989).

Os solos da região do Alto Uruguai, são essencialmente formados através de processos

residuais sobre a formação basáltica (BIGARELLA, LEPREVOST; BOLSANELLO, 1985). São constituídos basicamente por solos lateríticos de clima tropical à subtropical com forte influência de intemperismo químico, característico de áreas bem drenadas e predominância da fração argilo-siltosa, estruturados por agentes cimentantes, provavelmente devido à presença de óxidos de alumínio e ferro como material aglutinador. (BOEHL, 2011).

3 AMOSTRAGEM E ENSAIOS REALIZADOS

Os ensaios foram realizados, no laboratório de Geologia Geomorfologia e Física e Química da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, com o intuito de determinar as propriedades físicas do material coletado. O material utilizado na realização dos ensaios foi coletado de um talude localizado no próprio Campus, a uma profundidade de 0,90 m, caracterizando-se como horizonte B (Figura 2). Amostras indeformadas e deformadas foram retiradas do local apresentado na Figura 1.

As amostras foram preparadas em laboratório e foram realizados ensaios utilizando as normas:

- Rochas e solos – NBR 6502 (ABNT, 1995);
- Determinação da umidade in situ - NBR 6457 (ABNT, 1986);
- Grãos de solos que passa na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica – NBR 6508 (ABNT, 1984);
- Limite de Liquidez – NBR 6459 (ABNT, 1984);
- Limite de Plasticidade – 7180 (ABNT, 1984);
- Solo - Análise Granulométrica – Método de ensaio - NBR 7181(1984);
- Solo - Ensaio de compactação - Método de ensaio - NBR 7182 (1986), ensaio realizado com reuso de material, sobre amostras preparadas a 5% abaixo da umidade ótima presumível;
- Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável, NBR 14545 (2000), Método B, utilizando como líquido percolante, água

potável, com amostras indeformadas nas condições naturais.



Figura 2. Amostragem do solo de estudo

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios para determinação dos índices físicos do solo estruturado em condições natural e dos índices físicos correspondentes aos ensaios de compactação na energia Proctor normal e modificado. Analisando-se os resultados médios, obtidos para três amostras (3), destacam-se as seguintes propriedades geotécnicas para o solo natural coletado no ponto P2: teor de umidade 42% (32 a 42%); teor de umidade higroscópica de 7,47% (5 a 8%); peso específico natural de 16,42 kN/m³ (15,5 a 18 kN/m³); peso específico saturado de 17,35 kN/m³, índice de vazios de 1,38 e grau de saturação de 83,69 %, apresentando-se in situ com teor de umidade elevado e naturalmente poroso.

Tabela 1: Índices físicos e ensaios de compactação para o solo estudado

Parâmetros	In situ	Proctor Normal*	Proctor Modificado*
Umidade (ω)	42,00 %	*35,29 %	*29,66 %
Índice de vazios (e)	1,38	*0,99	*0,84
Porosidade (η)	57,98%	*49,49%	*45,65%

Parâmetros	In situ	Proctor Normal*	Proctor Modificado*
Grau de saturação (Sr (100%))	83,69%	*99%	*97,1%
Peso específico aparente natural (γ_n - kN/m ³)	16,42	*18,70	*19,40
Peso específico aparente seco máximo (γ_d - kN/m ³)	11,56	*13,82	*14,96
Peso específico real dos grãos (γ_s - kN/m ³)	27,50	*27,50	*27,50
Peso específico saturado (γ_{sat} - kN/m ³)	17,35	*18,84	*19,52

* corresponde ao ponto de V_s máximo e ω ótimo.

Com análise dos resultados da Tabela 1, verifica-se que para os ensaios de compactação foram obtidos para a energia Proctor normal: densidade seca máxima 13,82 kN/m³ e teor de umidade ótimo de 35,29%. Já para a Energia Proctor modificado, obteve-se os seguintes valores: densidade seca máxima 14,96 kN/m³ e teor de umidade ótimo de 29,66%. A análise dos valores de peso específico seco máximo em função da umidade na compactação indicam valores baixos de densidade máximas associadas a teores de umidade altos, bem abaixo dos valores desejados na prática para obras de terraplenagem. Durante a compactação Proctor, observou-se que ao retirar o corpo de prova compactado do cilindro compactador, havia aumento de volume lateral do corpo de prova, o que muitas vezes desagregava totalmente a amostra. Este ganho de volume, parece aumentar conjuntamente com os acréscimos de teor de umidade durante a compactação (STREHL, 2016).

Os resultados de distribuição granulométrica deste solo estão apresentados na Tabela 2. Percebe-se pelos resultados que o solo apresenta a fração fina dominante distribuída da seguinte forma: fração argilosa de 61,82% e siltosa de 29,65%. Os resultados de caracterização física confirmam a característica pedológica esperada para o solo analisado, sendo que o valor de peso específico real dos grãos está dentro da faixa de

valores esperada para solos oriundos da decomposição de rochas basálticas (27,5 kN/m³ - Tabela 2).

Tabela 2: Distribuição granulométrica das partículas do solo de estudo

Propriedades Físicas	Resultados
Argila	61,82%
Silte	29,65%
Areia Fina	5,38%
Areia Média	1,57%
Areia Grossa	1,46%
Pedregulho Fino	0,12%

A Tabela 3 apresenta os resultados de determinação dos limites de Atterberg.

Tabela 3: Limites de Atterberg do solo de estudo

Parâmetros	Valor
Limite de Liquidez (LL)	56%
Limite de Plasticidade (LP)	50%
Índice de Plasticidade (IP)	6%
Índice de Atividade (IA)	0,1

Segundo a Tabela 3, os resultados dos limites de Atterberg apresentaram-se: Limite de liquidez de 56; Limite de plasticidade de 50; Índice de plasticidade de 6; Índice de Atividade de 0,1. Conforme apresentado na Figura 3, a análise dos limites de Atterberg permitiu inferir que a classificação unificada (SUCS), com base no ábaco de Casagrande por regiões, é MH, Solo Siltoso de alta Compressibilidade e média plasticidade, o que não é corroborado pelos resultados da análise granulométrica (Tabela 2) que revela um Solo Argilo-siltoso com pouco de areia e também não correspondente com o comportamento clássico esperado para solos residuais, do mesmo modo que, o grau de atividade do solo pode ser considerado como não elevado (IA=0,1). Não obstante, na inspeção tátil-visual, observa-se que o arcabouço sólido destes solos residuais, sofre forte influência da coesão, produzida intrinsecamente pela presença da partícula argilo-mineral.

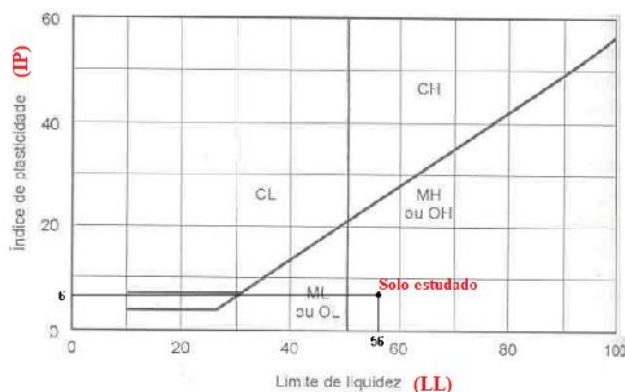


Figura 3. Classificação do Solo de estudo pelo ábaco de classificação de Casagrande

O coeficiente de permeabilidade médio apresenta-se com magnitude de $6,94.10^{-7}$ m/s, denotando permeabilidade intermediária à fechada, característica de solos residuais e comportamento não drenado. Utilizou-se água potável para percolação com temperatura média de 22,5 °C (TORTELLI, 2016).

Com relação ao aproveitamento do solo para serviços de terraplenagem e obras de engenharia, observa-se que o solo possui limite de liquidez acima do recomendado, igual a 56,20, e o índice de plasticidade no limite aceitável, igual a 5,99, sendo assim um material problemático para utilização como base. Por outro lado, estes valores, são aceitáveis para sub-base, subleito e leito assim como a sua utilização em corpo de aterros e barragens, todavia a alta compressibilidade, poderá ocasionar plasticidade indesejável aos serviços de terraplenagem e deformações inaceitáveis as estruturas geotécnicas. Índícios destes problemas, foram observados, durante os ensaios.

A utilização deste material, nas condições naturais, como camada ou núcleo impermeabilizante, da mesma forma apresenta-se problemática, pois o valor de $6,94.10^{-7}$ m/s, ainda não é suficiente para cumprir esta função, sendo necessário uma permeabilidade ainda mais baixa. Esta verificação foi realizada, com o solo nas condições indeformadas e naturais, pois, indubitavelmente se compactado nas condições de grau de compactação mínima e condições ótimas, a sua permeabilidade diminuiria, a valores na ordem de 10^{-9} m/s, plenamente aceitáveis, na utilização como camada impermeabilizante.

5. CONCLUSÕES

A caracterização do solo de estudo apresentou a indicação de forte estrutura natural coesiva, principalmente devido à presença de partículas de argilo-minerais. A análise dos resultados permitiu inferir que a classificação unificada (SUCS), com base no ábaco de Casagrande, é MH, Solo Siltoso de Alta Compressibilidade e plástico, o que não é corroborado pelos resultados da análise granulométrica que revela um Solo Argilo-siltoso com pouca areia e também não corresponde com o comportamento clássico esperado para solos residuais, do mesmo modo que, o grau de atividade do solo pode ser considerado como não elevado (IA=0,1).

O comportamento observado prova que muitas técnicas utilizadas nas análises de solos sedimentares, não são adequadas, para análises dos solos residuais, como por exemplo: os processos de reconstituição; os procedimentos de granulometria, que acabam por destruir a estruturação natural destes solos, inclusive com quebra de partículas friáveis, que deveriam ser considerados como inteiras; os limites de Atterberg; e a classificação unificada SUCS. Estes contrapontos são explicados pelas limitações destas técnicas, elaboradas para solos sedimentares, inadequadas, muitas vezes, para aplicação direta em solos residuais intemperizados como os lateríticos e saprolíticos. Não obstante, o arcabouço sólido destes solos residuais, sofre forte influência da coesão, devido ao agente argilo-mineral, intrínseco e irreconstituível, que aumenta na prática a resistência e a rigidez de tais solos.

Com relação ao aproveitamento deste material para serviços de terraplenagem, observa-se que o solo possui valores aceitáveis para uso como sub-base e subleito, bem como para a sua utilização em corpo de aterros e barragens, todavia a alta compressibilidade, poderá ocasionar plasticidade indesejável aos serviços de terraplenagem e deformações inaceitáveis as estruturas geotécnicas. O material apresenta-se naturalmente poroso, e também muito possivelmente expansível com o aumento do teor de umidade na compactação.

A utilização deste material como camada ou

núcleo impermeabilizante, apesar do valor baixo de permeabilidade, $k=10^{-7}$ m/s, ainda não é suficiente para cumprir esta função, sendo necessário uma permeabilidade ainda mais baixa, a qual poderia se obter com compactação nas energias proctor normal ou modificada. Outra possibilidade seria a correção por adição granulométrica estabilizante utilizando materiais granulares ou argilosos, dependendo da aplicação pretendida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL-UFFS, CAMPUS ERECHIM-RS, ao Laboratório de Geomorfologia, Geologia, Química e Física, dos Solos e sua equipe; ao Grupo de Pesquisa em Geotecnia e geologia da engenharia da UFFS e seus integrantes, a UNOCHAPECÓ-SC e ao Laboratório de Engenharia Civil e sua equipe.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1986). *NBR 6457: Determinação da umidade in situ*. Rio de Janeiro.
- _____. *NBR 6459: (1984). Solo - determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 6 p.
- _____. (1995). *NBR 6502:- Rochas e solos*. Rio de Janeiro.
- _____. (1984). *NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira 4.8mm – determinação de massa específica*. Rio de Janeiro, 8 p.
- _____. (1984). *NBR 7180: Solo - determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 3 p.
- _____. (1984). *NBR 7181: Solo - análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 13 p.
- _____. (1986). *NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação*. Rio de Janeiro.
- _____. (2000). *NBR 14545: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável*. Rio de Janeiro.
- Bigarella, j.j.; Leprevost, a.; Bolsanello, A. (1985). *Rochas do Brasil*. São Paulo, v.01, 1985, 310p.
- Bishop, A. W. (1972). *Shear strength parameters for undisturbed and remoulded soils specimens*. In *Stress-strain behaviour of soils*, (ed.R. H. G. Parry). London, p.3-58.
- Boehl, P. E. G. (2011). *Algumas observações sobre as propriedades geotécnicas de solos estruturados derivados de granito da Grande Florianópolis*.

- [dissertacao] / Pedro Eugenio Gomes Boehl; orientador, Marciano Maccarini. - Florianópolis, SC, 228p.
- Cruz, P.T. (1996). *100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto*. São Paulo: Oficina de textos, 645p.
- Diemer, F.; Rambo, D.; Specht, L. P.; Pozzobon, C. E. (2008). Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto da região de Ijuí/RS. *Teoria e prática na engenharia civil*, n. 12, p. 25-36.
- DNPM. (1989) Departamento Nacional de Produção Mineral. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*, DNPM.
- Pinto Carlos de Souza. (2002). *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. São Paulo. Oficina de Textos. 247 p.
- Santos, G.T. (1997). *Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas Aplicadas ao Uso do Solo Urbano em Obras de Engenharia*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, 209p.
- Zanin, E. M. (2002) *Caracterização ambiental da paisagem urbana de Erechim e do Parque municipal Longines Malinowski*, Erechim-RS. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, SP, 163 p.
- Strehl, M.J. (2016). *Ensaio preliminares para realização de Trabalho de conclusão de curso de engenharia ambiental, com o título “ Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo do campus Erechim-RS através dos ensaios de compactação tipo Proctor, Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim (RS), UFFS*.
- Tortelli, L. (2016). *Ensaio preliminares para realização de Trabalho de conclusão de curso de engenharia ambiental, com o título “Percolação de água contaminada com Diesel em solos da região de Erechim-RS”*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim (RS), UFFS.