

Estudo de Caso do Comportamento Hidráulico de Solos Compactados para uso em Pequenas Barragens e Açudes

Juliana Calage Quevedo

Universidade Federal do Pampa-UNIPAMPA e Instituto Federal Farroupilha-IFF, Alegrete, Brasil,
jcallage@bol.com.br

Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco

Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil, wilbertapahuasco@unipampa.edu.br

Filipe Ribeiro Almeida

Universidade Federal do Pampa-UNIPAMPA e Instituto Federal Farroupilha-IFF, Alegrete, Brasil,
fiil1995@hotmail.com

Lucas Torres de Rosso

Universidade Federal do Pampa-UNIPAMPA, Alegrete, Brasil, lucasrosso21@gmail.com

RESUMO: A atividade rural da região sul do Brasil exige uma demanda de uso dos recursos hídricos, sendo necessária na maioria das vezes a construção de barragens e açudes de terra, suprimindo em épocas de estiagem as necessidades de sistemas de irrigação e produção animal. No entanto, muitas vezes essas edificações são construídas sem um controle técnico apropriado. Este trabalho tem por objetivo estudar em laboratório a eficiência da compactação e a permeabilidade de quatro solos utilizados na construção de barramentos de açudes, localizados no município de Alegrete/RS. Justifica-se este estudo com o intuito de conhecer os diferentes tipos de solos que são utilizados na construção de barramentos, assim como suas características geotécnicas. Para isso, foram selecionados três açudes com localizações distantes e inseridas em formações geológicas distintas. Dessa forma, pretendeu-se avaliar as peculiaridades geotécnicas dos diversos afloramentos de solos da região, que possam ser utilizados na construção de açudes e barragens de pequeno porte. Seguidamente, coletaram-se amostras de solos das jazidas e encaminhadas para o laboratório. No laboratório foram executados ensaios de caracterização geotécnica, ensaios de compactação sob energia Proctor Normal e Proctor Modificada. Executaram-se também, em corpos de prova compactados pela energia normal, ensaios de permeabilidade com o permeâmetro de carga variável. A partir dos ensaios de caracterização e utilizando o Sistema Unificado de Classificação de Solos, os solos estudados foram classificados como sendo, argila pouco plástica (CL), argila muito plástica com areia (CH), areia argilosa (SC) e argila pouco plástica arenosa (CL). Os resultados dos ensaios de compactação permitiram constatar que o aumento da energia de compactação incrementa a massa específica seca máxima e reduz o teor de umidade ótimo, obtendo-se em média um incremento de 9,6% das massas específicas secas máximas. Em relação aos ensaios de permeabilidade sob carga variável, encontraram-se, para os corpos de prova compactados sob energia normal, valores de coeficientes de permeabilidade na faixa correspondente a 10^{-7} cm/s. Conseqüentemente, com base na descrição de Alonso (2007), valores de 10^{-7} cm/s são considerados solos de permeabilidade muito baixa a baixa. Finalmente, podemos concluir que os solos estudados nesta pesquisa mostraram-se, em termos de permeabilidade, apropriados para edificações de açudes de seção homogênea.

PALAVRAS-CHAVE: Pequenas Barragens, Açudes, Compactação, Permeabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Massad (2010, p.173) as barragens de terra e os açudes são construções muito antigas, havendo um registro a aproximadamente 6,8 mil anos de uma barragem de 12 m de altura, construída no Egito.

O município de Alegrete se caracteriza por ser uma região de atividade agrícola, com sua economia baseada principalmente na agricultura e pecuária. O IBGE (2014) registrou no município uma produção de arroz em casca de 461.785 toneladas e uma área plantada de 59.778 ha, a quantidade produzida de soja foi de 36.000 toneladas com uma área plantada de 20.000 ha, atividades estas que demandam o uso de recursos hídricos para a sua produção. Em consequência disso, nas últimas décadas foram construídos açudes e barragens de pequeno porte, servindo de reservatórios. No entanto, muitas vezes essas edificações são construídas sem um controle técnico apropriado. Razão pela qual há uma necessidade de avaliar o comportamento mecânico e hidráulico dos barramentos desses reservatórios. Dessa maneira, o presente trabalho teve por objetivo analisar em laboratório a eficiência da compactação e a permeabilidade de quatro solos utilizados na construção de barramentos de açudes, localizados no município de Alegrete/RS. Justifica-se este estudo com o intuito de conhecer os diferentes tipos de solos que são utilizados na construção de barramentos, assim como suas características geotécnicas, seus comportamentos mecânicos e hidráulicos.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionados três açudes, com localizações distantes e inseridas em formações geológicas distintas, tais como Formação Serra Geral, Depósitos Aluvionares e Formação Botucatu.

A cidade de Alegrete/RS apresenta seis formações geológicas diferentes, como é possível de se verificar pelo mapa geológico, detalhado na figura 1. Nesta figura também se observa a real localização dos açudes

pesquisados, que estão representados por pontos na cor preta, onde o açude A localiza-se na Formação Serra Geral, o açude B está inserido entre a Formação dos Depósitos Aluvionares e a Formação Serra Geral, o açude C está inserido na formação Botucatu, e o ponto em vermelho, referece a localização da cidade de Alegrete/RS.

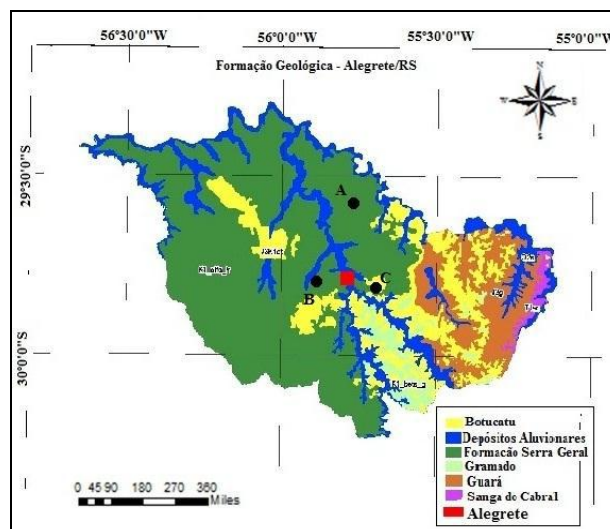


Figura 1. Mapa da Formação Geológica da cidade de Alegrete/RS.

O estudo pretendeu avaliar as peculiaridades geotécnicas dos diversos afloramentos de solos da região, que possam ser utilizados na construção de açudes e barragens de pequeno porte.

Os solos estudados foram denominados simbolicamente como solos A1, A2, B e C. A área de Jazida do solo A1 corresponde às coordenadas geográficas 29°34'48,5"S e 55°46'05,2"W. O solo A2 corresponde às coordenadas 29°34'44,7"S e 55°45'49,1"W. Ambos os solos (A1 e A2) pertencem ao mesmo barramento e encontra-se inseridos na formação Serra Geral. Na Figura 2 é possível visualizar o barramento constituído pelo solo A1 e A2. Já o solo B possui as seguintes coordenadas 29°47'51,0"S, 55°53'01,5"W e encontra-se inserido entre a formação Serra Geral e a formação dos Depósitos Aluvionares. A Figura 3 mostra o açude construído a partir do solo B. O solo C, possui as coordenadas 29°48'59,4"S, 55°41'10,5"W e está inserido na formação Botucatu, como se verifica na Figura 1.



Figura 2. Solo A1 e A2 referentes ao primeiro açude estudado.



Figura 3. Solo B referente ao segundo açude avaliado.



Figura 4. Solo C referente ao terceiro açude avaliado.

Para a execução deste trabalho foi necessário à realização de coletas de amostras deformadas dos solos. As coletas do solo A1 ocorreram na área que serviu de jazida para a construção do barramento, a mesma localiza-se próxima a extremidade esquerda a montante do barramento do açude. Para o solo A2 a coleta ocorreu na extremidade direita a montante do barramento. Já no solo B a coleta de solo ocorreu em uma extremidade à jusante do talude do próprio barramento. O solo C foi coletado na área da jazida utilizada para construção do barramento. Os implementos utilizados nas coletas foram pá,

inchada, picareta e sacos plásticos para acondicionar os solos.

Depois de realizadas as coletas de amostras, as mesmas foram encaminhadas para o laboratório. Seguidamente, no laboratório foram executados os ensaios de caracterização geotécnica, tais como granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e massa específica dos grãos.

O ensaio de granulometria foi executado conforme a norma NBR 7181 (ABNT, 1984), onde se divide em peneiramento grosso, sedimentação e peneiramento fino das partículas de solo. A Figura 5 mostra parte das atividades do ensaio de granulometria.



Figura 5. Ensaios de peneiramento e sedimentação do solo, sendo executado.

O ensaio de limite de plasticidade foi realizado segundo a norma NBR 7180 (ABNT, 1994), como mostra a Figura 6.



Figura 6. Ensaio de plasticidade de um dos solos analisados.

O ensaio de limite de liquidez obedeceu à norma NBR 6459 (ABNT, 1984) onde se utiliza o equipamento de casa grande, como se verifica na Figura 7. Já para a realização do ensaio de massa específica dos grãos do solo, utilizou-se a antiga ex-norma NBR 6508 (ABNT, 1984), baseado no uso do picnômetro, como detalha a Figura 8.



Figura 7. Equipamento de casa grande sendo utilizado para o ensaio de limite de liquidez.



Figura 8. Ensaio para determinação da massa específica dos grãos.

Os ensaios de compactação ocorreram segundo orientações da norma NBR 7182 (ABNT, 1986) sob energia Proctor Normal e Proctor Modificada. Na Figura 9 é possível se visualizar o ensaio de compactação sendo executado.

Executaram-se também, em corpos de prova compactados pela energia normal, ensaios de permeabilidade com o permeâmetro de carga variável. Esse ensaio seguiu orientações do item 7.1.b da norma NBR 14545 (ABNT, 2000). A Figura 10 mostra o equipamento de carga variável utilizado nesta pesquisa.



Figura 9. Corpo de prova sendo moldado sob energia de compactação normal.



Figura 10. Permeâmetro de carga variável.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização e Classificação dos Solos Estudados

Para realizar a classificação dos solos estudados, utilizou-se o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), onde se analisou o gráfico de granulometria de cada solo, através da forma de curva de distribuição das partículas, onde o eixo das abscissas encontram-se os diâmetros das peneiras em milímetros (mm) e em escala logarítmica e no eixo das ordenadas estão às porcentagens que passam nas peneiras em escala aritmética.

Na figura 11, se visualiza o gráfico completo com a distribuição granulométrica dos quatro solos estudados.

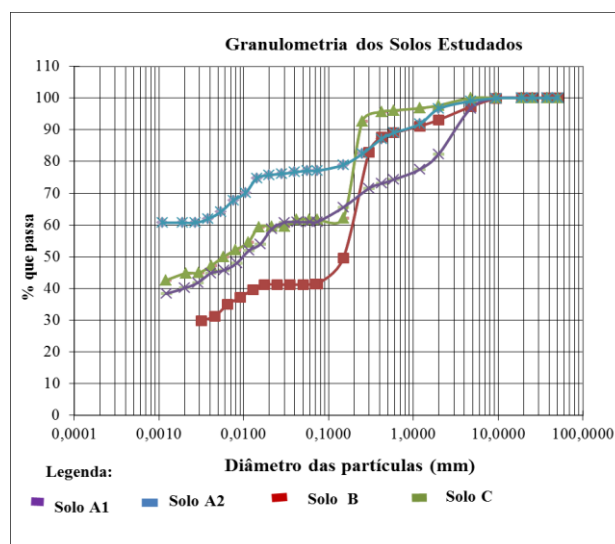


Figura 11. Gráfico Granulométrico dos solos estudados.

Segundo a ABNT, pedregulhos possuem tamanho das partículas entre o intervalo de 2,0 a

60 mm, a areia compreende a um intervalo de 0,06 a 2,0 mm, o silte de 0,002 a 0,06 mm e a argila é no intervalo de 0 a 0,002 mm. Na prática, costuma-se separar os solos finos dos grossos pela peneira nº200, onde sua abertura corresponde a 0,075 mm.

É possível verificar na Figura 11, que nos solos A1, A2 e C mais de 50% em peso passam na peneira nº 200, mostrando assim, tratarem-se de solos de granulometria predominantemente fina. Já o solo B caracteriza-se por ter uma fração retida na peneira 200 superior a 50%.

A Tabela 1 detalha para os solos estudados, os valores referentes a limite de liquidez, limite de plasticidade, Índice de plasticidade e densidade relativa dos grãos.

Tabela1. Características dos Solos Pesquisados.

Tipos de Solos	Solo A1	Solo A2	Solo B	Solo C
Densidade relativa dos grãos (Gs)	2,862	2,862	2,629	2,721
Limite de Plasticidade	34,520	30,385	21,03	25,722
Limite de Liquidez	45,277	65,719	32,74	40,506
Índice de Plasticidade	10,757	35,334	11,71	14,784

Fonte: QUEVEDO, J.C.

Conforme observado na Tabela 1, os solos A1, B e C apresentam índices de plasticidades bem próximos, segundo Caputo (1988), esses solos podem ser classificados como mediantemente plásticos, ficando em um intervalo de $7 < IP > 15$. Apenas o solo A2 apresenta um IP elevado ficando em um intervalo de $IP > 15$, sendo considerado como altamente plástico.

Segundo Silva et. al (2010) a maioria dos solos inorgânicos apresentam densidade real dos grãos variando entre 2,60 e 2,80, sendo que a maior frequência desses valores esta no intervalo de 2,65 a 2,75. Como se pode observar na tabela 1, os valores encontrados nos solos estudados enquadram-se realmente como solos inorgânicos.

Através da obtenção das curvas granulométricas (Figura 11) e dos dados obtidos

nos ensaios de limite de consistência (Tabela 1), foi possível realizar a classificação dos solos pesquisados. A seguir a Tabela 2 detalha a classificação SUCS encontrada com sua respectiva sigla.

Tabela 2. Classificação Geotécnica dos Solos.

Sistema Unificado de Classificação de Solos_SUCS		
Solo	Classificação	Sigla
Solo A 1	Argila pouco plástica	CL
Solo A 2	Argila muito plástica com Areia	CH
Solo B	Areia Argilosa	SC
Solo C	Argila pouco Plástica Arenosa	CL

Fonte: QUEVEDO, J.C 2015.

3.2 Compactação

A partir da compactação sob energia normal, a Figura 12 apresenta as curvas de compactação dos quatro solos pesquisados (A1, A2, B e C).

Na Figura 12, observa-se que o solo A1 apresenta uma massa específica seca máxima de 1,62 g/cm³ e um teor ótimo de $w = 24\%$. O solo A2 apresentou uma massa específica seca no valor de 1,53 g/cm³ e um teor de umidade de $w = 25,5\%$. Se comparado aos solos A1 e A2, os solos B e C apresentaram melhor desempenho de compactação sob energia normal, sendo a massa específica seca máxima e teor de umidade ótima igual a 1,71 g/cm³ e 20% para o solo B e, para o solo C igual a 1,68 g/cm³ e 20,5%.

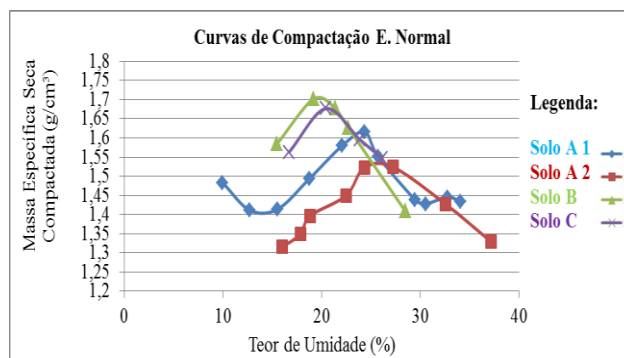


Figura 12. Gráfico de compactação dos solos com energia normal.

Fonte: QUEVEDO, J.C.2015.

Na figura 13, se observa os gráficos de curva de compactação dos solos pesquisados (A1, A2, B e C) quando utilizado a energia de compactação modificada. Dessa maneira, é possível verificar que houve um ganho de massa específica seca máxima e redução do teor de umidade ótima para todos os solos. O solo A1 apresentou massa específica seca máxima de 1,84 g/cm³ e um teor de umidade ótimo de 20%, o solo A2 apresentou valores de 1,71 g/cm³ e 21,5%. Na situação dos solos B e C os valores de massa específica seca máxima e teor de umidade ótima corresponderam a 1,80 g/cm³ e 15%, 1,81 g/cm³ e 17%.

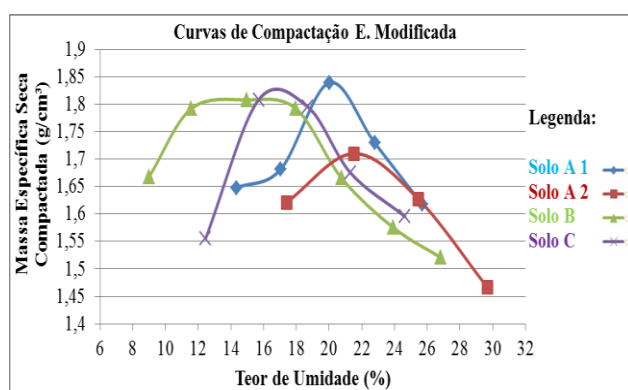


Figura 13. Gráfico composto pelas curvas de compactação dos solos pesquisados com energia modificada.

Fonte: QUEVEDO, J.C.2015.

Fazendo uma análise de correlação das Figuras 12 e 13, sob o aumento da energia de compactação, o que chama atenção é o ganho significativo de massa específica seca máxima do solo A1. Dessa maneira, observa-se que na Figura 12 o solo A1, se comparado aos solos B e C, apresenta uma massa específica mais baixa, já na Figura 13 a sua massa específica seca máxima resulta ser a mais alta.

3.3 Comportamento Hidráulico

Com base em Das (2011, p.123) a permeabilidade é a propriedade de um solo (meio poroso) em transmitir, escoar um fluido, em função da existência de vazios interconectados pelos quais a água pode fluir de pontos de alta energia para pontos de baixa energia.

Os valores de permeabilidade obtidos podem ser verificados na tabela 3. A tabela detalha os valores encontrados nas duas repetições que foram realizadas, para cada solo analisado.

Tabela 3. Coeficientes de Permeabilidade em Laboratório.

Tipo de Solo	Molde	Coef. De Permeabilidade K
Solo A 1	1	3,13 x E-07
Solo A 1	2	4,34 x E-07
Solo A 2	1	8,05 x E-07
Solo A 2	2	7,90 x E-07
Solo B	1	4,41 x E-05
Solo B	2	2,92 x E-07
Solo C	1	2,79 x E-07
Solo C	2	2,80 x E-07

Fonte: QUEVEDO, J.C, 2015.

Como é possível de verificar na tabela 3, os moldes do solo A1 apresentaram coeficientes de permeabilidade próximos, com expoentes de E -07 isto se deve pelos corpos-de-prova terem sido moldados próximos da umidade ótima do solo. Esta mesma situação, ocorreu também com o solo A2, os valores encontram-se bem próximos. No caso do solo B, houve variação nos coeficientes encontrados, variando de E -05 e E-07, pelo motivo do molde 1 ter sido moldado com um valor de umidade abaixo do teor ótimo, apenas o molde 2 apresenta um valor de coeficiente mais fidedigno, pois o corpo-de-prova foi moldado com a umidade próxima da ideal.

Já no solo C, não ocorreu nenhum problema na sua execução, sendo que este solo apresentou valores de coeficientes bem semelhantes no valor de E -07.

Com base nos resultados encontrados é possível verificar que os solos estudados possuem um coeficiente de permeabilidade na ordem de E-07, tratando-se de solos com uma boa permeabilidade.

4 CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível concluir que todos os solos analisados apresentaram-se de acordo com as exigências esperadas, ou seja, as características necessárias de retenção de água, visando atender as demandas dos barramentos.

Com relação à classificação dos solos, obteve-se para o solo A1 a classificação de uma Argila pouco plástica e o solo A2 trata-se de uma Argila muito plástica com areia, necessitando de um reforço, ou seja, um complemento que melhore sua permeabilidade, por isso. Já os demais solos, B e C como são possíveis de serem analisados, possuem textura fina contendo argila ou um percentual da mesma em sua composição, sendo classificados da seguinte maneira solo B uma Areia Argilosa e o solo C, uma Argila pouco plástica Arenosa.

Os resultados dos ensaios de compactação, sob energia normal e modificada, permitiram constatar que o aumento da energia de compactação incrementa a massa específica seca máxima e reduz o teor de umidade ótimo, obtendo-se, para os solos estudados, em média um incremento de 9,6% das massas específicas secas máximas.

Os ensaios de permeabilidade sob carga variável, executados nos corpos de prova compactados sob energia normal, mostraram valores de coeficientes de permeabilidade na faixa de 10^{-7} cm/s. Consequentemente, com base na descrição de Alonso (2007), valores de 10^{-7} cm/s são considerados solos de permeabilidade muito baixa.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, U.R. *Rebaixamento temporário de aquíferos*. Oficina de texto. São Paulo. p. 25-30. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181 (1984): *Solo - Análise granulométrica*.
- _____. NBR 6459: *Solo - Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. NBR 7180 (1994): *Solo - Determinação do Limite de Plasticidade*.
- _____. NBR 7182 (1986): *Solo - Ensaio de Compactação*.
- _____. NBR 14545 (2000): *Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável*.
- CAPUTO, Homero Pinto. *Mecânica dos solos e suas aplicações, fundamentos*. 6^a ed. Reimpressão. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2011, v. 1, 248 p.
- DAS, Braja M. *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. Tradução da 6^a edição norte-americana All Tasks; revisão técnica Pérsio Leister de Almeida Barros. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- IBGE CIDADES@INFORMAÇÕES SOBRE OS MUNICÍPIOS BRASILEIROS. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br> >. Acesso em 20 jun.2016.
- MASSAD, Façal. *Obras de terra: curso básico de geotecnia*. 2^o ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2010.
- PINTO, Carlos de Sousa. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas*. 3^o Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- QUEVEDO, J.C. *Estudo do Comportamento Hidráulico de Solos Compactados para uso em Barramentos de Pequeno Porte*. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Pampa. 2015.
- ROVERI, C.D. *Petrologia Aplicada da Formação Corumbataí (Região de Rio Claro – SP) e Produtos Cerâmicos*. Tese de Doutorado, São Paulo, 2010.
- SAYÃO, A. “*Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento*”. Curso de Mestrado da PUC - RJ, Rio de Janeiro, 2009.
- SILVA, B.A.; GUIMARÃES, A.C.R.; VIEIRA, A. *Apostila Curso Prático de Solos*. IME – Instituto Militar de Engenharia e ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação, 2010.