



Estudo do Comportamento Geotécnico de dois Solos Utilizados na Construção de Pequenas Barragens e Açudes na Campanha Gaúcha

Luciéle Bilhalva Campagnolo
Unipampa, Alegrete, Brasil, campagnolo.lu@gmail.com

Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco
Unipampa, Alegrete, Brasil, wilbertapahuasco@unipampa.edu.br

Juliana Calage Quevedo
Unipampa, Alegrete, Brasil, jcallage@gmail.com

Bianka Nora Dias
Unipampa, Alegrete, Brasil, biankanora@gmail.com

Filipe Ribeiro Almeida
Unipampa, Alegrete, Brasil, fiil1995@hotmail.com

RESUMO: O trabalho tem por objetivo estudar a permeabilidade e a resistência mecânica de dois solos utilizados na construção de uma pequena barragem, inseridas na região da campanha gaúcha. Para isso, inicialmente foram coletadas amostras deformadas dos solos. No laboratório foram executados ensaios de caracterização geotécnica e, com o intuito de obter melhorias mecânicas e hidráulicas, foram realizados ensaios de compactação sob a energia Normal e Modificada. Além disso, os corpos de prova compactados sob energia Normal foram submetidos a ensaios de permeabilidade. Utilizando os parâmetros de compactação, foram confeccionados pequenos corpos de prova para a realização de ensaios de resistência ao cisalhamento direto. A partir dos resultados experimentais foram realizadas simulações de análise de estabilidade de taludes, utilizando o Slope/W. Os resultados do trabalho mostraram que os solos estudados apresentam-se apropriados para edificação de barragens, quando utilizado energia de compactação Modificada.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens, Açudes, Permeabilidade, Resistência dos solos.

1 INTRODUÇÃO

O município de Alegrete, localizado na região da campanha gaúcha ao sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, caracteriza-se por ser uma região de atividade agrícola, sendo a sua economia baseada, principalmente, na agricultura irrigável, que exige uma demanda de uso dos recursos hídricos.

Segundo Matos et. al. (2012), a construção

de pequenas barragens de terra em propriedades agrícolas tem sido cada vez mais estimulada para possibilitar a obtenção de aumentos na produtividade. Os benefícios financeiros derivados do cultivo da terra são insuficientes para a construção de estruturas de concreto caras e tecnologicamente avançadas para o armazenamento de água (Stephens, 2011). Consequentemente, muitas vezes os reservatórios são edificados utilizando o solo



como elemento de construção e sem um controle técnico apropriado, razão pela qual há uma necessidade de avaliar o comportamento hidráulico e a resistência mecânica dos solos.

O presente trabalho teve por objetivo estudar no laboratório, a resistência mecânica e a permeabilidade de dois solos, os quais foram utilizados na construção de uma barragem de pequeno porte, além disso, avaliar desempenho do maciço de terra (barramento).

2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A área de estudo está situada no município de Alegrete/RS, localizada no 8º subdistrito do Rincão de São Miguel, inserida dentro da formação geológica Serra Geral.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados dois solos, denominados simbolicamente como A1 e A2. As amostras foram extraídas das áreas que serviram de jazida para a construção de uma mesma barragem, às margens da área de inundação. Na Figura 1 é possível visualizar a área de estudo, focando a vista panorâmica do barramento.



Figura 1. Localização da área de estudo.

A coleta do solo A1 ocorreu próxima à extremidade esquerda, situada a montante do barramento (29°34'48,5" S e 55°46'05,2" W), já para o solo A2, correspondeu à extremidade direita (29°34'44,7" S e 55°45'49,1" W).

2.2 Ensaios Experimentais

Com o intuito de conhecer as propriedades geotécnicas dos solos estudados, inicialmente Quevedo (2015) realizou coletas de amostras deformadas. Sendo possível no laboratório realizar ensaios de granulometria sob metodologia da norma NBR 7181 (ABNT, 1984), ensaios de limite de liquidez (NBR 6459/ABNT, 1984) e limite de plasticidade (NBR 7180/ABNT, 1984). Além disso, com o intuito de complementar as atividades da autora, foram executados para este trabalho, ensaios de determinação da massa específica dos Solos A1 e A2, sendo para isso utilizado a metodologia da norma extinta NBR 6508 (ABNT, 1984).

Visando obter melhorias mecânicas e hidráulicas, Quevedo (2015) realizou ensaios de compactação sob a energia Normal e Modificada, segundo a norma NBR 7182 (ABNT, 1986). Posterior a isso, os corpos de prova compactados com a energia Normal, foram submetidos a ensaios de permeabilidade, conforme a NBR 14545 (ABNT, 2000).

Dias (2018), para os solos A1 e A2, realizou ensaios de resistência ao cisalhamento direto, sendo para isso, preparados pequenos corpos de prova sob os teores de umidade ótima e massas específicas secas máximas, obtidos dos ensaios de compactação (Energia Normal e Modificada). Após 28 dias de cura, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de cisalhamento direto, na condição inundada, sob carregamentos normais de 50, 100, 200 e 400 kPa. Os ensaios foram realizados tomando como referência a norma ABNT, D3080 (ASTM, 2011), utilizando uma velocidade mínima de 0,025 mm/min.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

A partir dos ensaios de caracterização geotécnica foram confeccionadas as curvas de granulometria dos solos estudados (Figura 2), além de conhecer as massas específicas dos sólidos e limites de consistência. Na Tabela 1



são apresentados os resultados de caracterização dos solos A1 e A2.

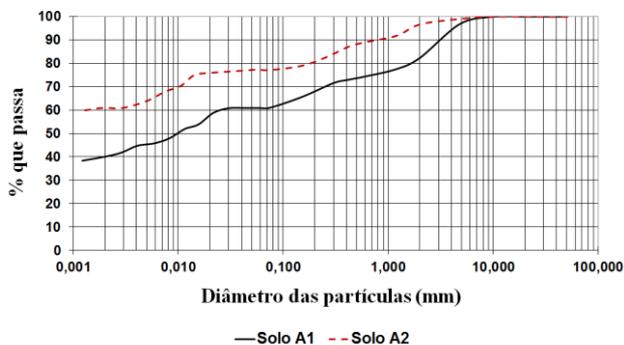


Figura 2. Curvas de granulometria dos solos A1 e A2. Adaptado de Quevedo (2015).

Tabela 1. Caracterização Geotécnica.

Propriedades	Solo A1	Solo A2
Porcentagem que passa na peneira de abertura # 4 (%)	97	99
Porcentagem que passa na peneira de abertura # 200 (%)	60	77
Massa específica dos grãos (g/cm ³)	2,84*	2,86*
LL (%)	45	66
LP (%)	35	30
Classificação SUCS	CL	CH

Adaptado de Quevedo (2015). Onde: LL – Limite de Liquidez; LP – Limite de Plasticidade. *Próprio autor.

Na Tabela 1 é possível verificar que os solos A1 e A2 estão constituídos por uma fração predominante de finos, em que mais de 60% em peso passam na peneira n° 200. Menos de 40 % correspondem a solos granulares, na proporção de areias. Para a classificação dos solos estudados, utilizou-se o Sistema Unificado de Classificação (SUCS), onde para solos finos está relacionada com a plasticidade, sendo assim, o Solo A1 devido ao seu baixo índice de plasticidade foi classificado como argila pouco plástica (CL). Já para o Solo A2, obteve-se um elevado índice de plasticidade, classificando-se como argila muito plástica (CH).

Para os solos A1 e A2, mostra-se na Figura 3 o comportamento das curvas de compactação sob Energia Normal e Modificada, juntamente com as suas respectivas curvas de saturação.

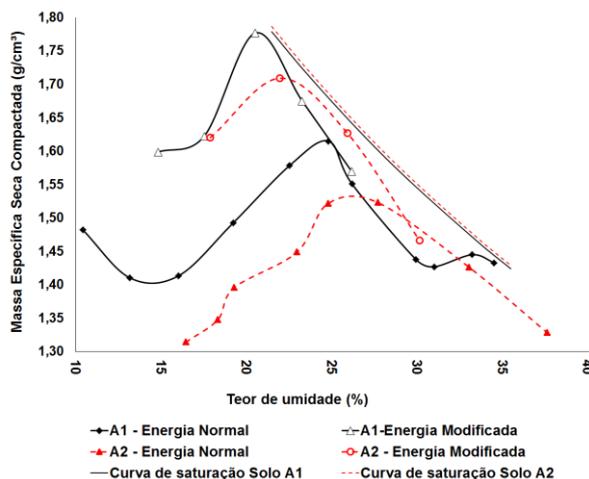


Figura 3. Curvas de compactação dos solos sob energia Normal e Modificada. Adaptado de Quevedo (2015).

A partir da análise das curvas de compactação é possível verificar que, para um mesmo solo, o aumento da energia de compactação, influencia na elevação da massa específica seca máxima e na redução do teor de umidade ótimo. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros de compactação para os solos A1 e A2, obtidos dos ensaios de compactação sob energia Normal e Modificada. Também, apresentam-se os resultados do ensaio de permeabilidade envolvendo carga variável, executados em corpos de prova compactados com energia Normal.

Tabela 2. Ensaios de compactação e permeabilidade.

		Solo A1	Solo A2
Energia Normal	γ_d (g/cm ³)	1,62	1,53
	W _{ót} (%)	24	25,5
Energia Modificada	γ_d (g/cm ³)	1,84	1,71
	W _{ót} (%)	20	21,5
Permeabilidade Sob carga variável (cm/s) C/P sob energia normal		3,75 x E-07	8,00 x E-07

Adaptado de Quevedo (2015). Onde: γ_d – Massa específica seca máxima compactada; W_{ót} – Teor de umidade ótimo.

A partir dos parâmetros de compactação, observa-se (Figura 3 e Tabela 2) que o solo A1 apresenta um melhor desempenho sob as duas energias de compactação, comparado com o



solo A2 que apresentou valores menores. Também, na Tabela 2 é possível verificar que os solos estudados possuem um coeficiente de permeabilidade na ordem de 10^{-7} cm/s (corpo de prova confeccionado sob energia Normal). Segundo Alonso (2007) apud Quevedo (2015), valores de permeabilidade de 10^{-5} a 10^{-7} cm/s correspondem a solos de permeabilidade muito baixa.

Utilizando o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, nas Figuras 4 e 5 são apresentados os comportamentos das envoltórias de ruptura dos solos A1 e A2. E na Tabela 3, apresentam-se os parâmetros de resistência ao cisalhamento direto, obtidos a partir das envoltórias, sendo eles, intercepto coesivo e ângulo de atrito.

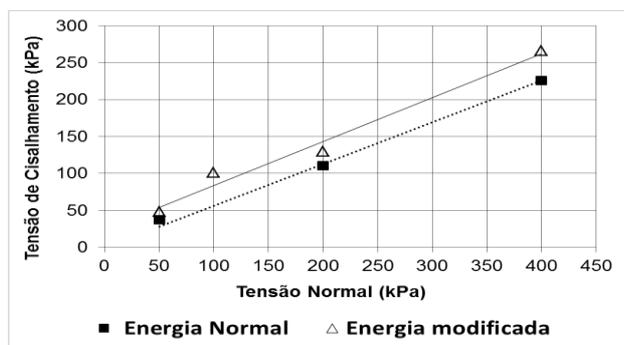


Figura 4. Envoltórias de ruptura do solo A1. Adaptado de Dias (2018).

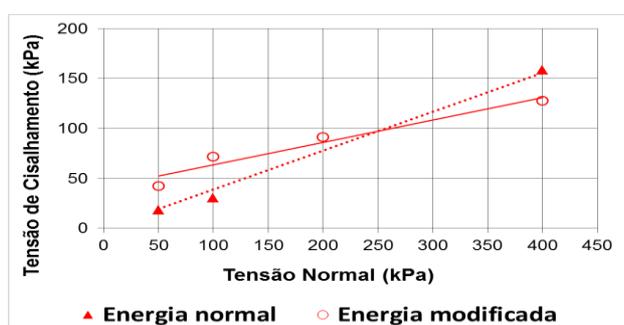


Figura 5. Envoltórias de ruptura do solo A2. Adaptado de Dias (2018).

Tabela 3. Parâmetros de resistência ao cisalhamento direto.

		Solo A1	Solo A2
Energia Normal	ϕ	29	21
	c	0	0
Energia Modificada	ϕ	31	13
	c	25	41

Adaptado de Dias (2018). Onde: ϕ – Ângulo de atrito; c –

intercepto coesivo;

De acordo com os parâmetros de resistência (Tabela 3), quando compactados sob energia Normal, ambos os solos apresentaram apenas o ângulo de atrito. Já a compactação sob energia Modificada, que acarreta o aumento da resistência ao cisalhamento, os solos apresentam os dois parâmetros, ângulo de atrito e intercepto coesivo.

4 SIMULAÇÃO DE ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO BARRAMENTO

A simulação de análise de estabilidade de taludes foi realizada a jusante e a montante da seção do projeto que compreende a barragem em estudo. Para isso, a seção foi avaliada sob condição de uso do solo A1 e do solo A2, sendo compatíveis com as condições reais de campo. Na Figura 6 mostra que a Seção de projeto foi definida a partir de uma inclinação média de 27° à montante e 34° à jusante, além de apresentar altura máxima de 8,70m.

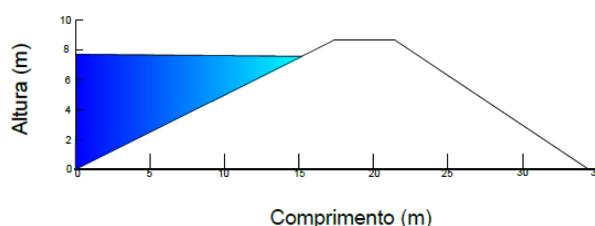


Figura 6. Seção de projeto da barragem em estudo. Adaptado de Salinas (2017).

A análise de estabilidade dos taludes do barramento foi realizada levando em consideração as etapas, final de construção e de operação. Para isso, aplicou-se o método Bishop através do *software* Slope/W. Nas Figuras 7 e 8, mostram-se, respectivamente, de forma exemplificada o resultado da aplicação do *software* no talude de montante, utilizando o solo A1 com compactação de energia Normal e Modificada.

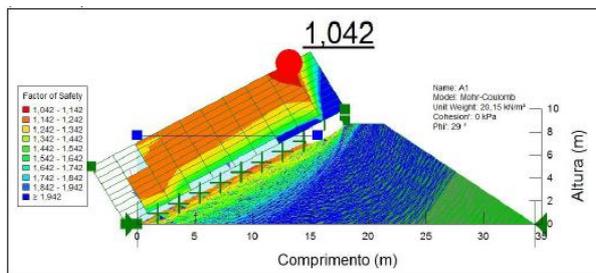


Figura 7. Seção de projeto do barramento (Solo A1 sob energia Normal) – Reservatório em operação – Talude à montante. (FS = 1,042)

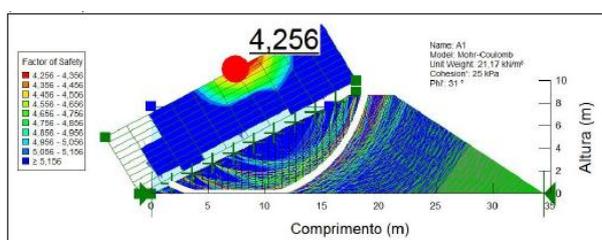


Figura 8. Seção de projeto do barramento (Solo A1 sob energia Modificada) – Reservatório em operação – Talude à montante. (FS = 4,256)

Na Tabela 4, para os solos A1 e A2 compactadas sob as energias Normal e Modificada, apresentam-se os fatores de segurança e as condições de estabilidade dos taludes de montante e de jusante, tanto para as etapas de final de construção como do reservatório em operação (com presença de água).

Tabela 4. Resultado dos fatores de segurança da análise de estabilidade de taludes

		Solo A1		Solo A2		
		FS	C	FS	C	
Final de construção	EN	J	0,849	*	0,588	*
		M	1,046	**	0,724	*
	EM	J	2,640	***	2,377	***
		M	3,133	***	2,815	***
Reservatório em operação	EN	J	0,849	*	0,588	*
		M	1,042	**	0,722	*
	EM	J	2,630	***	2,349	***
		M	4,256	***	4,289	***

Adaptado de Pereira (2013) apud Dias (2018). Onde: EN – Energia Normal de compactação; EM – Energia Modificada de compactação; J – Talude a jusante; M – Talude a montante; FS – Fator de segurança; C – Condição: (*) instável, (**) estável, mas não seguro e (***) estável e seguro.

A partir dos resultados da Tabela 4, observa-se para as seções dos maciços compactados sob energia Normal, que as análises de estabilidade dos taludes mostram fatores de segurança inseridos nas faixas de “estável, mas não seguro” e “instável”. Já as simulações realizadas nas seções dos maciços compactados sob energia Modificada, mostram na sua totalidade, fatores de segurança inseridos na faixa “estável e seguro”. Dessa forma, baseada nas informações supracitadas, pode-se dizer que é recomendado o uso dos solos A1 e A2 para a construção de barragens e açudes de pequeno porte, desde que sejam compactos através da energia Modificada.

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos dos ensaios de caracterização, os solos A1 e A2 podem ser definidos de textura fina. Segundo a Classificação Unificada (SUCS), é possível classificar o Solo A1 como argila pouco plástica (CL) e, o Solo A2 como argila muito plástica (CH).

Para um determinado solo, o aumento da energia de compactação permitiu constatar, a elevação da massa específica seca máxima e a redução do teor de umidade ótimo. Também, através dos parâmetros de compactação, o solo A1 apresentou um melhor desempenho sob as duas energias de compactação, se comparado com o solo A2.

Os resultados dos ensaios de permeabilidade, mostraram que ambos os solos (A1 e A2) apresentam coeficientes de permeabilidade similares, quando compactados sob energia normal, obtendo-se valores próximos à 10^{-7} cm/s. Portanto, segundo Alonso (2007), valores de 10^{-7} cm/s são característicos de solos com baixa permeabilidade.

Os ensaios de cisalhamento direto e as análises de estabilidade de taludes mostraram a possibilidade da utilização dos solos A1 e A2 na construção de barramentos de pequeno porte,



desde que sejam compactados sob energia modificada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a oportunidade de estudo ao professor Wilber, que, como sempre, me orienta com muito amparo e dedicação. Agradeço às colegas Juliana e Bianka, as quais realizaram excelentes pesquisas que ajudaram a complementar o estudo. Também ao colega Filipe, por todo o suporte durante o estudo. Por fim, agradeço a Universidade Federal do Pampa, juntamente com todos os servidores e técnicos em laboratório que sempre mostraram interesse em nos ajudar.

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 6508: *Grãos de Solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica*. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. NBR 7180 (1994): *Solo - Determinação do Limite de Plasticidade*.
- _____. NBR 14545 (2000): *Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável*.
- _____. NBR 7182 (1986): *Solo - Ensaio de Compactação*.
- ASTM - American Society For Testing And Materials. *D3080/D3080M: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. West Conshohocken: ASTM International, 2011.
- Das, Braja M. *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. Tradução da 6ª edição norte-americana All Tasks; revisão técnica Pérsio Leister de Almeida Barros. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- Dias, B. N. *Estudo de resistência ao cisalhamento de solos utilizados na construção de barramentos de pequeno porte*. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil). Alegrete: Universidade Federal do Pampa, 2018.

- Matos, A. T.; Silva, D. D.; Pruski, F. F. (2012) *Barragens De Terra De Pequeno Porte*. Viçosa, Ed. UFV, p.136.
- Quevedo, J. C. *Estudo do comportamento hidráulico de solos compactados para uso em barramentos de pequeno porte*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola). Alegrete: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha/Universidade Federal do Pampa, 2015.
- Salinas, J. V. *Estudo dos processos construtivos e das patologias de açudes e barragens geotécnicas de pequeno porte*. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil). Alegrete: Universidade Federal do Pampa, 2017.
- Stephens, T. *Manual sobre pequenas barragens de terra*. Guia para a localização, projeto e construção. Publicação da FAO sobre rega e drenagem 64, 2011.
- Pereira, T. S.. *Avaliação do Desempenho de Diferentes Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes em Barragens de Terra*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. 2013.