

INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DE LABORATÓRIO NO PROJETO DA BARRAGEM JOÃO GOMES

ERICK RÓGENES SIMÃO SOARES^{1*}; ALESSANDRA DOS SANTOS GOMES²;
TAÍSE MONIQUE DE OLIVEIRA CARVALHO³

¹Estudante, IFAL, Palmeira dos Índios-AL, rogenessimao@hotmail.com;

² Estudante, IFAL, Palmeira dos Índios-AL, alle.231@hotmail.com;

³Dr. em Geotecnia Prof. Efetivo, IFAL, Maceió-AL, taisemocarvalho@gmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: Este artigo tem como objetivo apresentar os trabalhos de investigação geotécnica de laboratório desenvolvidos para caracterizar os materiais das jazidas aplicadas no projeto da barragem de terra João Gomes, localizada em Santana do Ipanema-AL, Brasil. Treze amostras deformadas foram analisadas por meio de ensaios de densidade real, limite de liquidez, limite de plasticidade, análise granulométrica e compactação. Os solos das jazidas foram classificados de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos, como: argila arenosa, areia argilosa, areia argilosa com pedregulhos e areia siltosa. Tais materiais são adequados para aplicação em obras de barragens de terra. A partir dos resultados dos ensaios e dos volumes levantados das jazidas, conclui-se que a execução do projeto é tecnicamente viável em relação a disponibilidade de matéria-prima.

PALAVRAS-CHAVE: Investigação geotécnica, barragens, caracterização de solos, geotecnia.

GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF LABORATORY ON THE DISGN OF JOÃO GOMES DAM

ABSTRACT: This article has the goal to show the works of geotechnical investigation of laboratory developed to characterize the soils applied in the design of João Gomes dam, located at Santana do Ipanema-AL, Brazil. Thirteen deformed samples were analyzed by tests of particle density, liquid limit, plastic limit, particle size analysis, compaction, also through plasticity index and activity of clays. The soils was classified according to Unified System of Soil Classification, as: sandy clay, clayey sand, clayey sand with gravel and silty sand. Such soils were suitable to be applied in earthen dams' works. From the tests results and the volumes of soil quantified we can conclude that the design was technically viable in relation to availability of soil.

KEYWORDS: Geotechnical investigation, dams, soil characterization, geotechnique.

INTRODUÇÃO

Em obras de barragens de aterro, a disponibilidade de matéria-prima nos entornos do empreendimento é um dos fatores que governam a escolha do tipo de barragem e, conseqüentemente, a elaboração do projeto. Isso acontece por motivos econômicos pois quanto menor a distância entre as jazidas e o local da barragem, menor também serão os custos para execução do projeto, dessa forma busca-se sempre materiais que estejam próximos ao local da construção. Assim, a condução de uma investigação geotécnica é fundamental para verificação da viabilidade do empreendimento (Maragon, 2004).

As barragens de terra são obras que visam contenção de fluidos (água ou rejeitos), logo a busca principal acontece por materiais que possuam características de baixa permeabilidade, ou seja, solos argilosos ou siltosos, mas também deve-se atentar que os materiais devem possuir boas características de estabilidade e deformabilidade (Cruz, 2004).

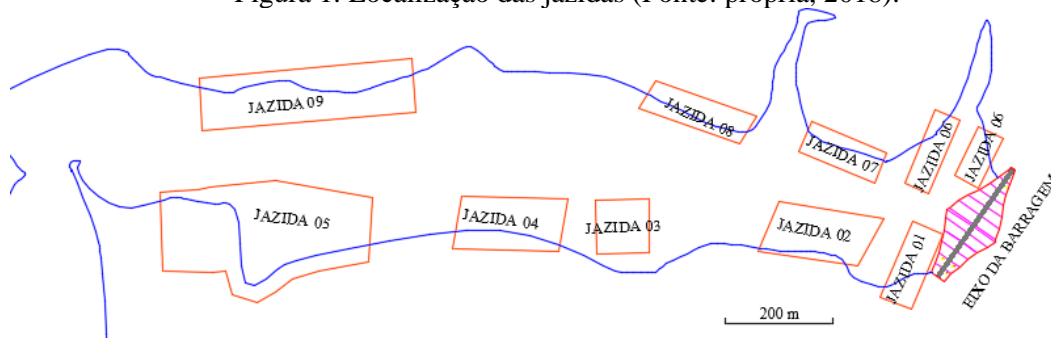
Este trabalho mostra os estudos geotécnicos de caracterização dos materiais empregados na elaboração do projeto da barragem João Gomes (barragem de terra zoneada que será executada na cidade

de Santana do Ipanema-AL, Brasil). A barragem possui altura de 21,45 m, 245,90 m de extensão, 8 m de largura na crista, inclinações de 3:1 (montante) e 2,5:1 (jusante). Essa geometria resultou em um volume de aterro de 110.885,24 m³ (exceto os volumes dos materiais aplicados na drenagem interna da barragem). Trata-se de uma barragem com finalidade principal de abastecimento humano e irrigação, com capacidade total para acumular 2.266.602,35 m³ de água. Os materiais estudados nesse trabalho serão aplicados na execução do maciço da barragem.

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto da barragem foi produzido pela empresa Conterpal Construtora LTDA, essa empresa realizou ainda a exploração geotécnica de campo. Por meio de sondagens e identificação tátil-visual localizou nove jazidas com materiais que possivelmente poderiam ser aplicados para execução de uma barragem de terra, todas as jazidas estão posicionadas dentro da bacia hidráulica da barragem nas margens do riacho João Gomes (que dá nome ao empreendimento). Tais jazidas podem ser visualizadas na Figura 1, que mostra a proximidade dos materiais de empréstimos com o eixo do barramento que está localizado no entorno das coordenadas X =690,217 m e Y = 8961,431 m, a aproximadamente 4 km da zona urbana do município. A faixa azul representa os limites da bacia hidráulica.

Figura 1. Localização das jazidas (Fonte: própria, 2018).



Foram coletadas treze amostras deformadas (as jazidas que apresentaram maior variabilidade de material tiveram duas amostras recolhidas). Essas amostras foram levadas para o laboratório de solos do Instituto Federal de Alagoas-IFAL e permitiu a caracterização dos solos das jazidas.

A investigação geotécnica de laboratório foi composta por ensaios que possibilitaram a caracterização e posterior classificação dos materiais. Para a caracterização dos materiais de empréstimo realizou-se os seguintes ensaios (sendo estes conduzidos por suas respectivas normas): densidade real, ME 093/94 DNIT-DNER; limite de liquidez (LL), NBR 6459; limite de plasticidade (LP), NBR 7180; análise granulométrica (por peneiramento e sedimentação), NBR 7181; e compactação do solo com emprego da energia Proctor Normal, NBR 7182.

Tais ensaios foram executados pela empresa júnior Sigma Engenharia no laboratório de solos do IFAL. Os autores prestaram serviço de consultoria e auxiliaram na realização dos ensaios e na interpretação dos resultados.

Com o índice de plasticidade (IP) e a porcentagem de fração de argila (partículas menores que 0,002 mm) obtida através das curvas granulométricas, calculamos a atividade (A) da fração de argila presente no solo pela Equação 1, proposta por Skempton (1953), que define as argilas como inativas se $A < 0,75$, normais se $0,75 < A < 1,25$ e ativas se $A > 1,25$ (Caputo, 1988).

$$A = IP / (\% \text{ de fração de argila}) \quad \text{Equação 1}$$

Por fim, em posse dos valores de índice de plasticidade, limite de liquidez e da análise granulométrica realizou-se a classificação dos materiais pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos-SUCS, proposto por Casagrande em 1942 (Braja, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de densidade real estão expostos na Tabela 1. Utilizou-se o método do picnômetro de 50 ml pois segundo Almeida (2004) este método é mais recomendado quando o objetivo

é utilizar o valor da densidade para os cálculos de sedimentação no ensaio de análise granulométrica, porque este é obtido a partir da fração fina do solo, que são as partículas passantes na peneira número 10 (2mm de diâmetro).

Os dados utilizados para a elaboração das curvas obtidas a partir da análise granulométrica (Gráficos 1 e 2) estão sintetizadas na Tabela 1. Representamos na tabela apenas a porcentagem da massa passante nas peneiras que, segundo Braja (2014), são definidas como limites pelo sistema SUCS para diferenciar pedregulhos (grãos que passam na peneira 76,2 mm e ficam retidos na 4,75mm), areias (grãos que passam na peneira de 4,75 mm e ficam retidos na 0,075 mm), siltes e argilas (grãos menores que 0,075mm).

Gráfico 1. Curvas granulométricas das jazidas 1,2,3 e 4 (Fonte: própria, 2018).

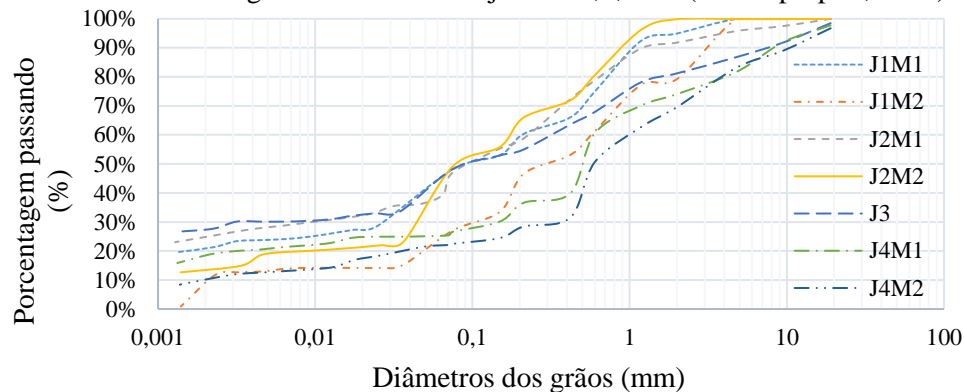
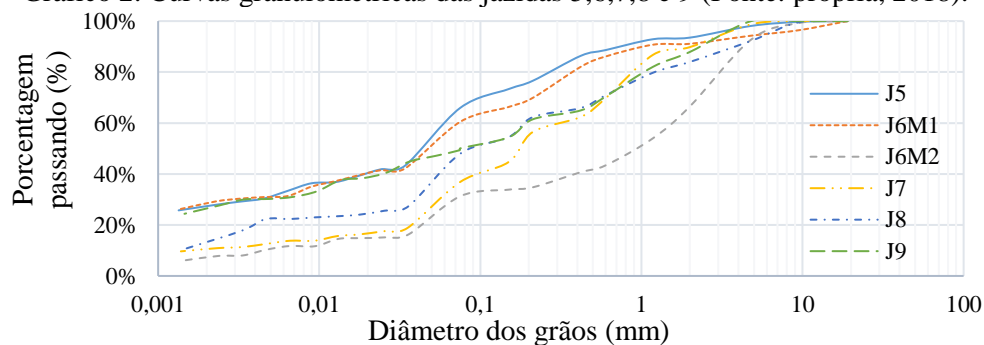


Gráfico 2. Curvas granulométricas das jazidas 5,6,7,8 e 9 (Fonte: própria, 2018).



Com a realização do ensaio de compactação, foram definidas as curvas de compactação de cada solo, como exposto no Gráfico 3 (que mostra as curvas de compactação para os solos com maiores porcentagens de finos) e no Gráfico 4 (que mostra as curvas de compactação para os solos com menores porcentagens de fino). A partir da curva de compactação, foi obtida a densidade seca máxima de cada solo e sua respectiva umidade ótima (agrupados na Tabela 1). Os parâmetros de compactação são fundamentais na execução do aterro, pois eles garantem o melhor aproveitamento das características dos materiais e governam o controle tecnológico durante a execução da obra.

Gráfico 3. Curvas de compactação dos solos com mais partículas finas (Fonte: própria, 2018).

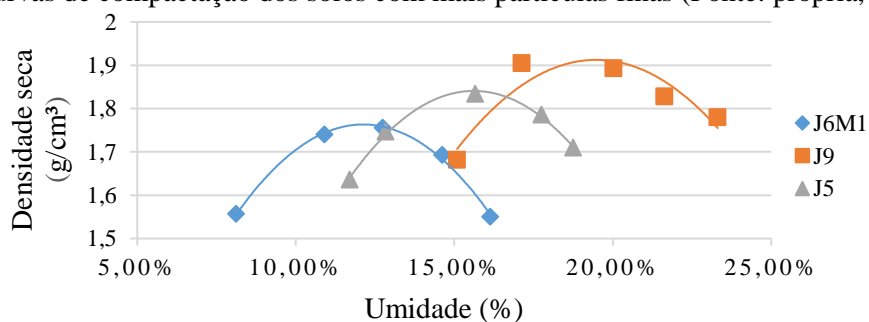
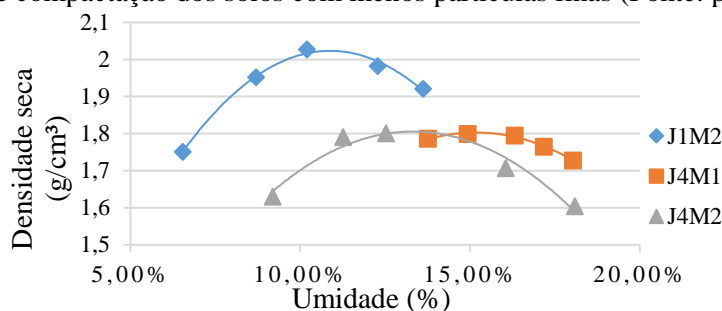


Gráfico 4. Curvas de compactação dos solos com menos partículas finas (Fonte: própria, 2018).



Os valores de limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade também estão agrupados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização (Fonte: própria, 2018).

Material (amostra)	Umidade ótima (%)	Densidade seca máxima (g/cm³)	Densidade real (g/cm³)	Material passante (%)		LL (%)	LP (%)	IP
				4,75 (mm)	0,075 (mm)			
Jazida 1-Material 1 (J1M1)	19,47	1,663	2,684	99,95	48,13	53,09	22,74	30,35
Jazida 1-Material 2 (J1M2)	10,88	2,023	2,643	99,91	27,04	19,29	16,97	2,32
Jazida 2-Material 1 (J2M1)	14,32	1,828	2,633	95,78	47,04	38,04	17,48	20,56
Jazida 2-Material 2 (J2M2)	11,61	2,004	2,614	99,89	49,14	31,8	15,19	16,61
Jazida 3 (J3)	18,09	1,691	2,637	86,81	48,21	66,58	26,67	39,91
Jazida 4-Material 1 (J4M1)	15,18	1,803	2,69	81,75	26,6	34,37	19,68	14,69
Jazida 4-Material 2 (J4M2)	13,32	1,806	2,642	83,19	22,47	24,64	16,78	7,86
Jazida 5 (J5)	15,61	1,841	2,65	98,11	65,94	34,64	17,33	17,31
Jazida 6-Material 1 (J6M1)	12,13	1,763	2,65	94,28	60,49	29,2	17,7	11,5
Jazida 6-Material 2 (J6M2)	13,41	1,827	2,629	92,75	31,27	55,23	22,29	32,94
Jazida 7 (J7)	10,81	1,982	2,612	98,74	36,88	25,69	18,13	7,56
Jazida 8 (J8)	13,5	1,995	2,415	92,26	47,96	24,82	13,98	10,84
Jazida 9 (J9)	19,47	1,912	2,372	100	50,06	48,56	19,06	29,5

A classificação dos solos realizada a partir dos resultados expostos na Tabela 1, feita segundo os critérios do SUCS, está exibida na Tabela 2 junto com a atividade das argilas, os volumes levantados de cada material e suas respectivas distâncias médias para o eixo da barragem.

Tabela 2. Classificação dos solos, volumes e suas distâncias médias (Fonte: própria, 2018).

Amostra	Volumes (m³)	Distância média (m)	Classificação SUCS	Atividade
J1M1	4767,84	135	Areia Argilosa	1,46
J1M2	4767,84	135	Areia Siltosa	0,29
J2M1	9216,41	280	Areia Argilosa	0,83
J2M2	9216,41	280	Areia Argilosa	1,17
J3	5000,00	660	Areia Argilosa	1,46
J4M1	9884,70	860	Areia Argilosa com Pedregulho	0,80
J4M2	9884,70	860	Areia Argilosa com Pedregulho	0,79
J5	32914,60	1330	Argila de baixa plasticidade arenosa	0,63
J6M1	2554,12	130	Argila de baixa plasticidade arenosa	0,41
J6M2	2554,12	130	Areia Argilosa	4,61
J7	4767,84	285	Areia Argilosa	0,72
J8	5983,30	560	Areia Argilosa	0,86
J9	19991,50	1265	Argila de baixa plasticidade arenosa	1,12

Agrupando os materiais com mesma classificação foram obtidos 55.460,21 m³ de argila de baixa plasticidade arenosa, 42.701,80 m³ de areia argilosa, 4.767,84 m³ de areia siltosa e 19.769,40 m³ areia

argilosa com pedregulho, totalizando 122.699,25 m³. Volume superior aos 110.885,24 m³ necessários para a execução da barragem.

Observa-se que grande parte do material é argiloso ou então possui grande porcentagem de argila e silte isso é ideal para o projeto da barragem, pois tais solos possuem baixa permeabilidade.

Recomenda-se evitar os solos J1M1, J3 e J6M2, pois estes apresentam alta atividade da fração de argila ($A > 1,25$). Essa alta atividade mostra o potencial de expansão do solo em contato com a água, o que pode causar problemas de recalques excessivos ou surgimento de trincas no aterro. Caso seja necessário o uso desses materiais, estes devem ser previamente misturados com os solos arenosos que apresentaram inatividade da fração de argila ($A < 0,75$), ou seja, J1M2 e J7, sendo necessária a execução de ensaios de caracterização da mistura

A distribuição dos materiais ao longo do maciço terroso pode ser feita aplicando os materiais argilosos a montante e os materiais arenosos a jusante ou então pode-se executar um núcleo argiloso e espaldares com o solo arenoso. O primeiro arranjo foi o adotado no projeto da barragem João Gomes.

CONCLUSÃO

Diante do exposto, percebe-se que os materiais das jazidas analisadas se enquadram como materiais adequados para a construção de uma barragem de terra, pois são materiais que possuem características de baixa permeabilidade (alta porcentagem de argila ou silte), solos ideais para o projeto em questão.

Todas as jazidas estão localizadas próximas ao eixo da barragem (dentro da bacia hidráulica), isso representa uma grande redução de custos, pois haverá uma diminuição na distância média de transporte de material (DMT). Com as zonas de empréstimos localizadas dentro da bacia hidráulica, além dos benefícios econômicos, ocorre também benefícios ambientais, pois evita-se que outras áreas com cobertura vegetal natural sejam degradadas (além das que já seriam degradadas em virtude do acúmulo de água).

Com a proximidade entre as zonas de corte e aterro e o balanço entre o volume levantado de solo das jazidas e o necessário para construção do aterro da barragem, pode-se afirmar que o projeto da barragem de terra João Gomes é tecnicamente viável em relação a disponibilidade de matéria-prima.

AGRADECIMENTOS

As empresas Conterpal Construtora e Sigma Engenharia pela colaboração nesse trabalho. Ao IFAL por disponibilizar sua estrutura laboratorial. A Deus, por tudo.

REFERÊNCIAS

- Almeida, G. C. P. de. Caracterização física e classificação dos solos. Material didático ou institucional. UFJF, Juiz de Fora, 2005. 145 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo. Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, p. 9. 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo. Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, p. 6. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo. Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, p. 3. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo. Análise granulométrica. Rio de Janeiro, p. 13. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo. Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, p. 10. 1986.
- Braja, M. D. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. Cengage Learning. 8. ed. São Paulo, 2014. 614 p.
- Caputo, H.P. Mecânica dos solos e suas aplicações. LTC, vol. 1. 6. ed. Rio de Janeiro, 1988. 244 p.
- Cruz, P.T. da. 100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção e projetos. Oficina de textos, 2ª edição, São Paulo, 2004. 645 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 093/94: Solos. Determinação da densidade real. Rio de Janeiro, p. 4. 1994.
- Maragon, M. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Material didático ou institucional. UFJF, Juiz de Fora, 2004. 183 p.