

## **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO PARA IMPLANTAÇÃO DE LAGOA DE REJEITO NO OESTE DO PARÁ**

**MARLYSON JOSÉ SILVEIRA BORGES<sup>1\*</sup>, FERNANDO AUGUSTO FERREIRA DO VALLE<sup>2</sup>, KELVIN ADRIANO PEREIRA PONTES<sup>3</sup>, JOÃO MATHEUS DOS REIS VAGETE<sup>4</sup>, JULIE ANNE MIRANDA DE SOUZA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Pós-graduando de Engenharia Elétrica, UCAM, Santarém-PA, silveira-borges@hotmail.com;

<sup>2</sup> Professor Engenheiro Civil M.Sc, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, fafvalle@hotmail.com;

<sup>3</sup> Pós-graduando Proj. exec. e desemp. de estruturas, IPOG, Santarém-PA, kelvin.adriano@hotmail.com;

<sup>4</sup> Acadêmico de engenharia Civil, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, joaomatheus\_vagete@hotmail.com;

<sup>5</sup> Acadêmico de engenharia Civil, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, juliemiranda80@gmail.com;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho objetivou a caracterização física dos solos para área de implantação de uma lagoa de rejeitos no oeste do estado do Pará. A metodologia utilizada foi baseada nas normas do DNER (Departamento Nacional de Estradas e Rodovias), sendo os resultados analisados estatisticamente definindo: média, desvio padrão e coeficiente de variação, que possibilita um indicativo para determinar até onde o material é homogêneo. Os resultados demonstram que o material analisado apresenta características de consistência relacionadas ao seu limite de liquidez (LL) acima de 44%, em seu limite de plasticidade (LP) acima de 20% e os índices de plasticidade acima de 16%. Os resultados de granulometria foram analisados através do triângulo granulométrico apresentando características de material com predominância argilosa, além disso, foi analisado os parâmetros de umidade higroscópica com valores acima de 5,27%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solos, Lagoa de Rejeitos, Consistência, Granulometria, Umidade Higroscópica.

### **PHYSICAL CHARACTERIZATION OF THE SOIL FOR IMPLANTATION OF LAGOA DE REJEITO IN THE WEST OF PARÁ**

**ABSTRACT:** This work aimed at the physical characterization of the soils for the area of implantation of a tailings pond in the western state of Pará. The methodology used was based on DNER (National Road and Highway Department) standards, and the results were statistically analyzed: , Standard deviation and coefficient of variation, which allows an indication to determine how far the material is homogeneous. The results show that the material analyzed has consistency characteristics related to its liquidity limit (LL) above 44%, its plasticity limit (LP) above 20% and the plasticity index above 16%. The results of granulometry were analyzed through the granulometric triangle presenting characteristics of material with clayey predominance, in addition, it was analyzed the hygroscopic moisture conditions with values above 5.27%.

**KEYWORDS:** Soils, Rejects Pond, Consistency, Granulometry, Hygroscopic Humidity.

### **INTRODUÇÃO**

Os acidentes em barragens de contenção de rejeitos ocorridos, principalmente, nos últimos anos evidenciaram com maior ênfase, a necessidade de investigações geotécnicas precisas e eficazes, na área de implantação destas, em que se envolvem ensaios de campo e de laboratório. Para determinação das características físicas e mecânicas do solo bem como seu comportamento mediante determinadas solicitações. Em alguns casos a falta de compromisso de empresas em cumprir, procedimentos adequados para análises de parâmetros geotécnicos, pode ocasionar grandes catástrofes, exemplo recente disto foi o colapso da barragem de Fundão em Mariana (MG). O acidente ocasionou o transbordamento de outra barragem (Santarém) localizada no mesmo município. Foram

liberados cerca de 60 milhões de metros cúbicos de lama, que destruiu distritos da cidade e correu ao longo dos quase 700 km entre o local da ruptura e a foz do rio Doce, no Estado do Espírito Santo, causando graves danos ambientais e sociais.

A caracterização física dos solos consiste na determinação e identificação das propriedades das partículas que constituem o material. Para tanto, foram executados ensaios como análise granulométrica, sedimentação, índices de consistência (limites de Atterberg) e massa específica real dos grãos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O material necessário para os ensaios foi coletado na área de futura implantação de uma lagoa de rejeito, localizada na cidade de Juriti no Oeste do estado do Pará, onde a principal atividade econômica da cidade é a extração de minérios de ferro. No local foi realizado um total de 10 (dez) ensaios do tipo SPT (Standart Penetration Test), estes foram referencia para coleta das amostras deformadas, em que a determinação das distancias entres os ensaios de SPT, foram previamente demarcadas conforme projeto de implantação. Após as sondagens apresentar os critérios de paralisação descritos na NBR 6484/2001, as proximidades de cada furo foram coletadas as amostras deformadas, que após retirada e acondicionamento foram encaminhadas ao laboratório para caracterização geotécnica. Estas foram divididas e nomeadas inicialmente pela aproximação dos resultados do SPT, em que precedeu a caracterização tátil-visual do operador da sonda.

Ao total foram coletadas 10 amostras divididas com a nomenclatura de “COVAS” e subdivida com as letras A e B. Na característica tátil-visual foram descritos o tipo e coloração do solo, de acordo com a tabela 01 abaixo.

Tabela 1. Identificação e característica tátil-visual das amostras

<b>Identificação</b>	<b>Característica tátil-visual</b>
COVA 1 LETRA A	Silte arenoso com pedregulho de cor vermelha
COVA 1 LETRA B	Silte arenoso com pedregulho de cor vermelha
COVA 2 LETRA A	Argila arenosa com pedregulho de cor variegada
COVA 2 LETRA B	Silte arenoso de cor amarela
COVA 3 LETRA A	Argila silto arenosa de cor variegada
COVA 3 LETRA B	Argila silto arenosa de cor variegada
COVA 4 LETRA A	Silte arenoso de cor amarela
COVA 4 LETRA B	Silte arenoso com pedregulho de cor variegada
COVA 5 LETRA A	Argila arenosa com pedregulho de cor variegada
COVA 5 LETRA B	Silte arenoso com pedregulho de cor amarela

Fonte: Silveira e Pereira, 2017.

Os ensaios foram realizados no laboratório de Mecânica dos Solos do Centro Universitário Luterano de Santarém/PA (CEULS/ULBRA). Com base nas amostras de solos coletadas foram realizados ensaios de Teor de Umidade (Determinação do teor de umidade presente na amostra de solo); Densidade das Partículas (Relação entre massa e volume de sólidos, determinada por método do picnômetro); Análise Granulométrica (Estudos das partículas que compõe os diversos tipos de solo, determinada pelo método da sedimentação e peneiramento); Limite de Liquidez dos Solos (Determina o teor de umidade de um solo referente à mudança do estado líquido para o estado plástico); Limite e Índice de Plasticidade (Determina o teor de umidade do solo referente à mudança de estado plástico para o estado semi sólido através do ensaio mecânico). Todos os ensaios realizados seguiram as normas de acordo com a tabela 02 abaixo.

Tabela 2. Relação dos ensaios e suas respectivas normas

<b>Ensaio de caracterização</b>	<b>Normas DNER/NBR</b>
Teor de Umidade	DNER-ME 213/94
Análise Granulométrica	NBR 7181:2016
Limite de Liquidez dos Solos	DNER-ME 122/94
Limite e Índice de Plasticidade	DNER-ME 082/94

Fonte: Silveira e Pereira, 2017.

Os resultados determinados nos ensaios foram tratados e apresentados de forma estatística, observando-se assim o seu desvio padrão, media admissível e coeficiente de variação, para melhor precisão destes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios laboratoriais citados no item anterior permitiram a determinação dos resultados, que serão abordados na sequencia, em que as curvas granulométricas das dez amostras de solo em estudo, foram relacionadas a partir dos dados da tabela 03 abaixo. Os resultados apresentados na tabela se referem aos da amostra passante, tal apresentação segue às orientações da norma para assim determinar as faixas de materiais como: pedregulho, areia, silte e argila. Segundo a norma NBR 7181/2016, o material é classificado como pedregulho quando ele apresenta granulometria acima de 4,8mm; como areia abaixo de 4,8mm e acima de 0,05; como silte quando apresenta abaixo de 0,05 e acima de 0,005 e como argila quando tem diâmetro abaixo de 0,005.

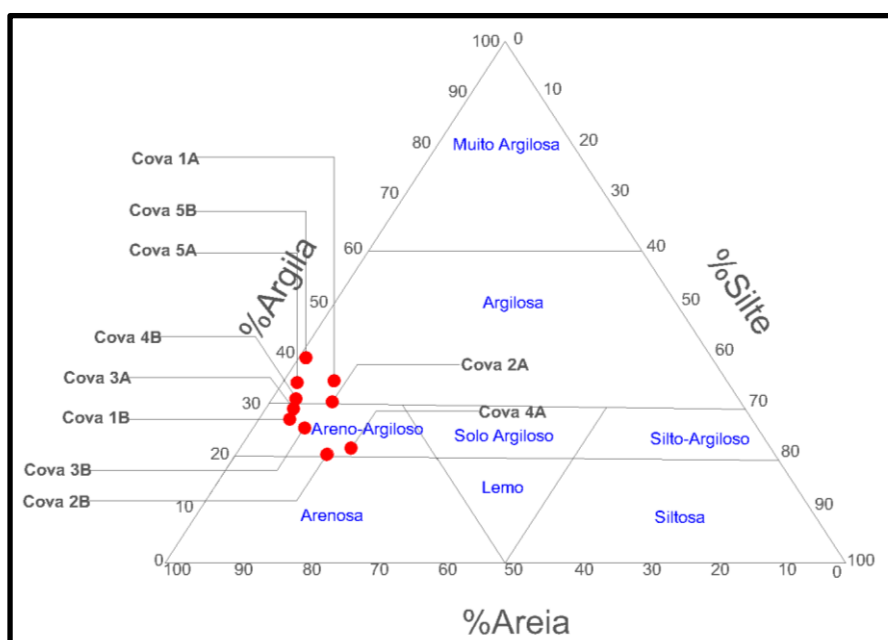
Tabela 3. Resultado da análise granulométrica

Resumo da análise granulométrica				
Amostra	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Cova 1A	11,07	52,44	1,79	34,70
Cova 1B	4,81	66,12	1,76	27,31
Cova 2A	9,48	55,58	3,97	30,98
Cova 2B	21,28	55,38	1,67	21,68
Cova 3A	4,14	64,96	1,85	29,04
Cova 3B	10,90	61,31	1,98	25,80
Cova 4A	22,21	50,90	4,91	21,99
Cova 4B	0,13	65,07	2,40	32,40
Cova 5A	1,43	63,40	1,15	34,01
Cova 5B	0,87	59,85	1,29	38,00

Fonte: Silveira e Pereira, 2017.

De posse das referidas frações que constituem os solos, traçou-se linhas paralelas sobre o diagrama de classificação triangular pelo B.P.R. (Bureau of Public Roads), apresentado na figura.

Figura 01 – Triângulo granulométrico B.P.R.



Fonte: Silveira e Pereira, 2017.

Através do triângulo granulométrico e possível determinar que a predominância do material esta situada nas áreas Argilosas e Areno-Argiloso, havendo poucas variações entre as proximidades dos solos nas regiões onde foi coletado o material.

Referente aos limites de consistência e umidade higroscópica pode-se observar nos resultados expostos na tabela 04, em que estes foram tratados estatisticamente adotando media e seus desvios padrões, além de seu coeficiente de variação.

Os Limites de Liquidez (LL) das dez amostras de solos encontram-se entre 44% a 81%, apresentado media de 63,8%, desvio padrão de 12,39%, e coeficiente de variação de 19,42%.

Os Limites de Plasticidade (LP) das dez amostras de solos encontram-se entre 20% a 39%, apresentado media de 30,43%, desvio padrão de 7,09%, e coeficiente de variação de 23,29%.

Os Índices de Plasticidade (IP) também apresentaram variações significativas que estão entre 16% a 52%, apresentado media de 33,37%, desvio padrão de 12,53%, e coeficiente de variação de 37,54%.

Os percentuais de umidade Higroscópica apresentaram variações significativas que estão entre 6,13% a 24,19%, apresentado media de 13,92%, desvio padrão de 6,71%, e coeficiente de variação de 48,22%.

Tabela 4. Resultados dos Limites de Atterberg e Umidade Higroscópica das Amostras

Amostra	Limite de liquidez LL (%)	Limite de plasticidade LP (%)	Índice de plasticidade IP (%)	Umidade Higroscópica (%)
Cova 1A	68	30	38	11,06
Cova 1B	56	38	18	10,35
Cova 2A	71	20	51	6,40
Cova 2B	64	38	26	5,27
Cova 3A	56	20	36	22,95
Cova 3B	44	25	19	15,09
Cova 4A	48	32	16	6,13
Cova 4B	76	39	37	24,19
Cova 5A	81	29	52	19,01
Cova 5B	74	33	41	18,71
Média	63,80	30,43	33,37	13,92
Desvio Padrão	12,39	7,09	12,53	6,71
Média + desv. Padrão	76,19	37,52	45,90	20,63
Média – desv. Padrão	51,41	23,34	20,84	7,21
Coef. De variação	19,42	23,29	37,54	48,22

Fonte: Silveira e Pereira, 2017.

Dado o tratamento estatístico que foi aplicado ao trabalho e adotado a media e a variação do desvio padrão sendo ele para mais ou menos, pode-se adotar para aplicação do projeto de implantação da lagoa de rejeitos, assim dependendo da proximidade da coleta das amostras é possível adotar a media como padrão do projeto.

Relacionando os valores do LL, as amostras das COVAS: 3B, 4A e 5B não se mantiveram dentro dos desvios mostrados na tabela 04, já nos resultados de LP, as amostras que não se mantiveram entre os limites dos desvios foram as COVAS: 1B, 2A, 2B, 3A e 4B.

As amostras dos resultados de IP que tiveram variações fora dos desvios foram as COVAS: 1B, 2A, 3B, 4A e 5B. Devido os resultados do IP estar ligados diretamente aos resultados do LL e do LP, as amostras que apresentaram variações seja elas superiores ou inferiores aos desvios apresentados na tabela 04, tem relação direta com as amostras que estiveram fora dos desvios nos resultados de LL e LP, pois todos resultados estão presentes em algum deles.

Os resultados relacionados à umidade higroscópica que estiveram fora dos desvios foram as COVAS: 2A, 2B, 3A, 4A e 4B, em que foram analisados e submetidos pelo método da estufa para evitar grandes variações em relação ao método de secagem ao sol.

Além de tudo é importante ressaltar o coeficiente de variação de cada dado analisado, onde se analisa a dispersão de resultados, em que os resultados de LL e LP tiveram dispersões média entre 15% a 30%, ainda assim podem-se considerar como dados homogêneos, entretanto o IP e Umidade higroscópica são dados heterogêneos por apresentarem tal coeficiente acima de 30%, sendo assim, obrigado a setorização do projeto da lagoa se tratado desses parâmetros.

## **CONCLUSÕES**

Concluídos os ensaios de laboratório e tratado os resultados, foi possível determinar que os materiais apresentam granulometria similar, mantendo-se sempre em uma faixa granulométrica predominantemente de diâmetro de materiais argilosos como foi mostrado pela classificação do triângulo granulométrico da B.P.R.

Os resultados relacionados aos limites de Attenberg, ou seja, a consistência do material indicam variações significativas, o que pode ser observado pelo alto valor do coeficiente de variação, que mostra que o material é médio-heterogêneo, com isso é aconselhável setorizar a área de implantação para maior precisão nos projetos.

Os analisando os resultados da umidade higroscópica, estes apontaram maiores variações sendo que seu coeficiente de variação foi de 48,22%, tornando as amostras extremamente heterogêneas, por isso é recomendado o acompanhamento constante deste parâmetro na execução do projeto.

Contudo o material analisado para implantação da lagoa de rejeitos mostram resultados satisfatórios em todos os parâmetros analisados, entretanto e aconselhável a setorização das áreas de implantação devido algumas variações entre os resultados nas diversas amostras, vale ressaltar que as subdivisões mostram resultados similares em suas proximidades, o que facilitaria essa setorização.

## **REFERÊNCIAS**

- DNER-ME 041/94: Preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- DNER-ME122/94: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- DNER-ME 082/94: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- DNER-ME 213/94: Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, RJ.
- NBR 7182/86: Solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, M.L.; GEDANKEN, A.; RUIZ (1997), H.A. Utilização do penetrômetro de cone na determinação do limite de liquidez em latossolos. In: congresso brasileiro de engenharia agrícola, Campina Grande.
- ORTIGÃO, J.A.R (2007). Introdução À Mecânica Dos Solos Dos Estados Críticos. 3º edição. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro RJ: Terratek.
- PINTO (2002), Carlos de Sousa. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- RENEDO, V.S.G (1996). Dinámica y mecánica de suelos. Madrid. Ediciones Agrotécnicas, S.L.
- VICTORINO, M. M. (2007), “Barragem de Rejeito: Caracterização de Parâmetros Geotécnicos Visando Análises de Estabilidade – Um Estudo de Caso”, Projeto de Graduação, Universidade Federal do Paraná.