

ESTUDO PRELIMINAR DE UM SOLO PROVENIENTE DE UMA ÁREA DE MINERAÇÃO COMO MATERIAL DE BASE DE ATERROS SANITÁRIOS NO MUNICÍPIO DE PORTO GRANDE/AP

Geremy Carlos Freitas¹
Jefferson Mota de Carvalho²

RESUMO

O estado do Amapá possui 16 municípios dos quais apenas 2 (dois) possuem Aterro Sanitário em funcionamento, a saber o município de Macapá, capital do estado, e muito recentemente, o município de Pedra Branca do Amapari. O estado é conhecido mundialmente pelas suas grandes reservas minerais cujo ciclo de exploração influenciou e influencia grandemente a economia e outras áreas da sociedade amapaense. A mineração é uma atividade que apresenta vários desafios à engenharia e vários fatores que merecem especial atenção, dentre eles os cuidados que devem ser tomados com relação à destinação dos resíduos do processo de mineração. O presente trabalho utilizou amostras de um solo obtido a partir de sondagens rotativas realizadas durante uma campanha de investigação geológico-geotécnica realizada por empresa contratada pela Porto Grande Mineração Ltda, empresa que realiza pesquisa e exploração mineral na região da colônia agrícola do Matapí, situada no município de Porto Grande, estado do Amapá. O objetivo da pesquisa foi realizar um estudo preliminar sobre a possibilidade da utilização do solo proveniente das futuras cavas como material de construção de base de aterros sanitários, equipamento tão necessário nas cidades do interior do estado, inclusive no município de Porto Grande. Os resultados obtidos na caracterização e classificação dos solos mostram a predominância de solos silto argilosos de alta compressibilidade, material não recomendado para o uso em obras de base de aterros, contudo, outros parâmetros indicam a possibilidade de uso do material para o fim pretendido, sendo, portanto, necessária a continuação das análises do material em questão.

Palavras-chave: Sondagens Rotativas. Barreira mineral. Rejeitos de mineração. Projeto Ferro Matapí.

ABSTRACT

The state of Amapá has 16 municipalities, of which only 2 (two) have a functioning landfill, namely the municipality of Macapá, the state capital, and very recently, the municipality of Pedra Branca do Amapari. The state is known worldwide for its large mineral reserves whose exploration cycle has influenced and still have a great influence in the economy and other areas of Amapá society. Mining is an activity that presents several engineering challenges and several factors that deserve special attention, among them the care that must be taken in relation to the destination of the materials from the mining process. This work used samples of soil obtained from rotary drilling conducted during a geological-geotechnical investigation campaign carried out by a company contracted by Porto Grande Mineração Ltda, a company that conducts research and mineral exploration in the region of the Matapí agricultural colony, located in the municipality of Porto Grande, state of Amapá. The objective of the research was to carry out a preliminary study on the possibility of using the soil of future pits as a basic building material for sanitary landfills, a necessary equipment in cities in the interior of the state, including the municipality of Porto Grande. The results obtained in the characterization and classification of soils show the predominance of silty clay soils with high compressibility, a material not recommended for use in landfill works, however, other parameters indicate the possibility of using the material for the intended purpose, being therefore, it is necessary to continue the analysis of the material in question.

Keywords: Rotary Drilling. Mineral Barrier. Mining Waste. Ferro Matapí Project.

¹ Docente do Centro de Tecnologia do Centro de Ensino Superior do Amapá - CEAP, Macapá, Brasil, g3pucurio@gmail.com

² Engenheiro Civil e Geólogo, jeffmotacarv@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma política de resíduos sólidos bastante recente, que é a Lei Federal nº 12.305/10, denominada de Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, que instituiu, entre outras, que a única forma de disposição ambientalmente adequada de rejeitos são os aterros sanitários e fixou o prazo de até o dia 02 de agosto de 2012 para o encerramento dos lixões e aterros controlados em todo o Brasil (BRASIL, 2010). Prazo que não foi cumprido pela maioria dos municípios e que foi escalonado com base no número de habitantes e na localização do município, contudo não surtindo efeito prático, pois a maioria dos municípios, em especial os pequenos, ainda tem dificuldade de atender a legislação.

O estado do Amapá ao longo dos anos demonstrou possuir vocação natural para a atividade de extração mineral. Sua formação social e econômica esteve em grande parte vinculada à mineração, o que a caracterizou como uma forte fonte geradora de empregos diretos e indiretos. O setor minerário, além da geração de empregos, impulsiona e fortalece a economia local, amplia a arrecadação de impostos, além de propiciar a divulgação do estado no cenário mundial como detentor de grandes províncias minerais (AGÊNCIA AMAPÁ, 2019).

Durante a fase de abertura de uma mina para extração de minério, alguns fatores merecem atenção especial, dentre eles a destinação dos resíduos gerados, que estão diretamente interligados ao avanço da lavra a céu aberto e em profundidade.

O Amapá figura entre os grandes geradores de resíduos minerários do Brasil, sendo que as principais fontes de degradação nas atividades de mineração são a disposição inadequada de rejeitos, que são os materiais decorrentes do processo de beneficiamento, e a disposição de materiais do estéril, ou inertes, não aproveitável, que são provenientes do decapeamento superficial da lavra.

Os sistemas de disposição dos rejeitos devem ser projetados como uma estrutura de engenharia para contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes e são bastante complexos (IPEA, 2012). Eles são objeto de forte normatização, sobretudo após os acidentes envolvendo barragens de rejeitos em Minas Gerais.

No caso do estéril, o sistema de disposição deve funcionar como uma estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas (IPEA, 2012).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2016) a redução dos depósitos de estéril vem sendo realizada como prática de utilização de parte do estéril na recuperação de voçorocas, que são processos erosivos, e preenchimento de cavas exauridas de minas.

O município de Porto Grande está localizado a 108 quilômetros de Macapá. Foi criado pela Lei Nº 3, de 1º de maio de 1992. Tem uma população estimada em 19.669 habitantes, sendo que cerca de 11 mil moram na área urbana. O município possui uma área de 4.421 km² e é

acessado é pela rodovia federal BR-156 e a viagem até a região conta com um trecho todo asfaltado. O município faz limite com os municípios de Macapá, Ferreira Gomes, Mazagão, Pedra Branca e Santana (GOVERNO DO AMAPÁ, 2020).

O município aparece entre os que ainda destinam seus resíduos de forma inadequada, em um lixão à céu aberto, contrariando diretamente a legislação brasileira em vigor. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SINIS (2015), são mais de 8500 toneladas/ano de Resíduos Sólidos Urbanos

– RSU, lançados no meio ambiente sem qualquer cuidado.

Diante dessas circunstâncias o presente trabalho tem como objetivo avaliar de forma preliminar o uso do material proveniente do decapeamento superficial e do material terroso que será extraído da atividade de mineração de ferro, como material de construção de barreiras minerais, que é o principal componente do sistema de impermeabilização de base de um aterro sanitário, com a função de proteger a fundação do aterro, evitando a contaminação do subsolo e aquíferos subjacentes, pela migração de lixiviado e/ou biogás (CEMPRE, 2018).

Para isso foram utilizados resultados de sondagens rotativas realizadas durante a campanha de investigação geológico-geotécnica realizada por empresa contratada pela mineradora Porto Grande Mineração Ltda.

Quando se opta pela construção de barreiras minerais, como parte do sistema de impermeabilização de base é preciso definir critérios para a escolha do solo a ser utilizado (FREITAS, 2016).

A CETESB (1993) sugere a adoção de um critério preliminar para a escolha do solo a ser utilizado como barreira impermeável, que é apresentado a seguir:

- Classificação unificada CL, CH, SC ou OH;
- Porcentagem que passa na peneira # 200 maior que 30,0 %;
- LP ≥ 30,0 % e IP ≥ 15,0;
- pH ≥ 7,0;
- ksat ≤ 10⁻⁷ cm/s.

A classificação unificada apresentada faz parte do sistema de classificação de solos denominado de Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), que se baseia nos Limites de Atterberg (LL e LP) e na granulometria dos solos; ele permite ter uma previsão do comportamento dos solos em campo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

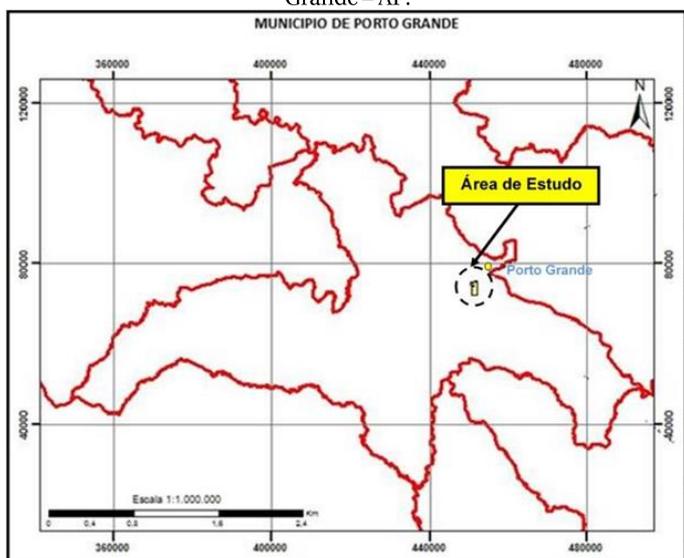
2.1 ÁREA DE ESTUDO

As amostras de solo utilizadas neste trabalho foram obtidas na área que está destacada na Figura 1. A área pertence a Porto Grande Mineração Ltda, que é detentora do processo minerário nº 858.079/2005, e atua a 10 anos nos trabalhos de pesquisa e exploração mineral na região da colônia agrícola do Matapí, situada no município de Porto Grande.

A empresa identificou, estudou e calculou as reservas minerais para exploração de um alvo com potencial metalogenético para mineralizações ferríferas, caracterizadas como magnetitas e hematitas maciças,

ambas classificadas como principais fontes de minério de ferro.

Figura 1 - Localização da Área de Estudo no Município de Porto Grande – AP.

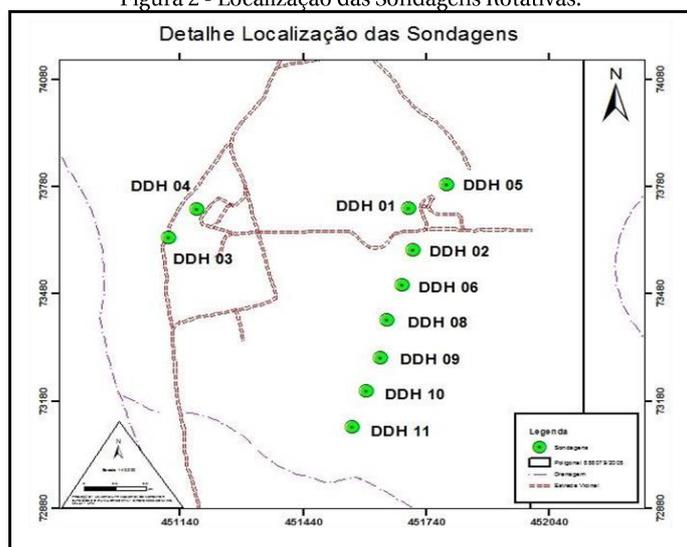


A área é caracterizada, geologicamente, como uma zona tectonicamente estável, com predominância de solos lateríticos na sua cobertura e a presença de rochas consideradas duras (ígneas e metamórficas), em profundidade, e que são típicas de ambiente cristalino que predominam no estado Amapá (IBGE, 2004).

Nesta área foram realizados o levantamento geofísico, através do qual foram delimitados dois alvos denominados de M-01 e M-02; e o levantamento planialtimétrico, a partir do qual foram definidos o número de sondagens e sua localização, conforme apresentado na Figura 2.

Após essas etapas foram realizados 11 (onze) furos de sondagem rotativa diamantada com ângulos de 45°, 60° e 65°, todos executados com diâmetro HQ (63 mm), perfazendo um total de 672,40 m se sondagens.

Figura 2 - Localização das Sondagens Rotativas.



A Tabela 1, a seguir, traz informações sobre o furos realizados onde são apresentadas as espessuras das camadas de solo, rochas e do minério; além da representatividade de cada tipo de material em cada furo

realizado. É possível observar que em pelo menos 7 dos 11 furos há a predominância de solos.

Tabela 1 - Informações dos Furos de Sondagens.

Furos	Ângulo de inclinação na perfuração	Espessuras das litologias (m)			Profundidade Total do furo Inclinado	% Representatividade Furo inclinado		
		Solos	Rochas	Minério e outros		Solos	Rochas	Minério e outros
2013 – DDH – 01	65°	16,00	56,70	32,00	104,70	15,28	54,15	30,56
2013 – DDH – 02	65°	39,40	7,57	22,03	69,00	57,10	10,97	31,93
2013 – DDH – 03	65°	44,50	36,90	0,00	81,40	54,67	45,33	0,00
2013 – DDH – 04	65°	18,20	0,00	13,85	32,05	56,79	0,00	43,21
2013 – DDH – 05	65°	12,20	13,67	25,28	51,15	23,85	26,73	49,42
2013 – DDH – 06	65°	25,02	0,00	25,53	50,55	49,50	0,00	50,50
2016 – DDH – 08	45°	66,84	3,56	3,30	73,70	90,69	4,83	4,48
2016 – DDH – 09	60°	39,28	13,32	17,45	70,05	56,07	19,01	24,91
2017 – DDH – 10	60°	56,60	1,30	14,30	72,20	78,39	1,80	19,81
2017 – DDH – 11	60°	58,93	4,78	3,89	67,60	87,17	7,07	5,75
Total	-	376,97	137,80	157,63	672,40	-	-	-

2.2 MATERIAIS

As amostras de solo coletadas para a caracterização e classificação foram obtidas a partir da caixa de testemunho do furo denominado 2013 – DDH – 01. A escolha deste furo foi devido a sua profundidade, sendo o mais profundo, e com base nas descrições litológicas presentes nos estudos disponibilizados pela mineradora, que mostrou ser esse o furo mais representativo. A Tabela 2 apresenta as sequências das amostras que foram coletadas, bem como a sua profundidade e espessura de cada amostra.

Tabela 2 - Detalhes das Amostras utilizadas.

Amostras	Intervalo Amostrado (m)		Espessura Amostrada (m)	Material	
	Superior	Inferior			
2013- DDH-	01	2,91	3,07	0,16	Solo
	02	4,59	4,85	0,26	Solo
	03	5,90	6,20	0,30	Solo

A amostragem de solo para a realização dos ensaios de laboratório foram realizadas no segundo semestre de 2019, as amostras são apresentadas na Figura 3, a seguir.

Figura 3 - Obtenção de Amostras de Solo (4a, 4b e 4c).



2.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Inicialmente, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas na peneira #4 (4,8 mm) e acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas, para serem empregadas em vários ensaios geotécnicos. Para as amostras de solo foram realizados os ensaios de granulometria (NBR-7181:2016) e obtenção dos Limites de Liquidez (LL) (NBR 6459:2016), Plasticidade (LP) (NBR 7180/2016), Índice de Plasticidade (IP) e por fim os solos foram classificados de acordo com o Sistema Unificado

de Classificação de Solos (SUCS).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

A Figura 4, a seguir, apresenta as curvas granulométricas das amostras de solo e a Tabela 3 contém os resultados dos ensaios de granulometria, limites de consistência e a classificação, segundo o SUCS, das amostras de solos analisadas.

Figura 4 - Curvas granulométricas das Amostras de Solo (01, 02 e 03).

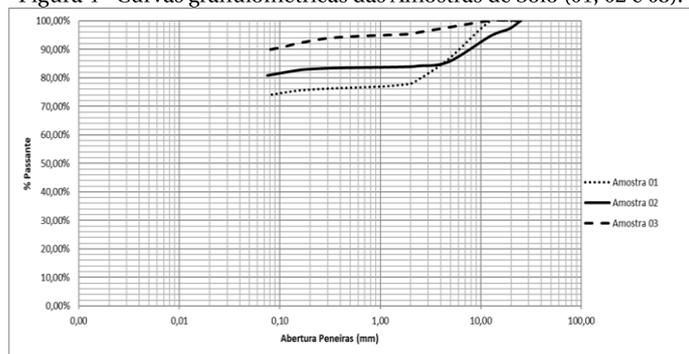
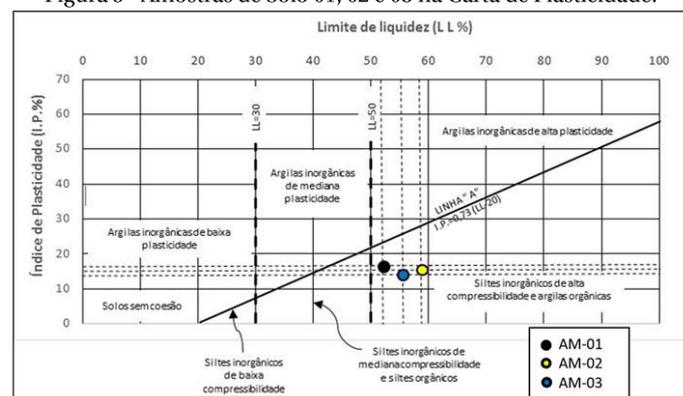


Tabela 3 - Resultados dos Ensaios de Caracterização e Classificação dos Solos.

Propriedades analisadas	Amostras de Solos		
	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03
Granulometria ABNT (%)			
Pedregulho ($\phi > 2 \text{ mm}$)	13,46	14,42	2,39
Areia grossa ($0,6 < \phi \leq 2 \text{ mm}$)	1,32	0,24	0,50
Areia média ($0,2 < \phi \leq 0,6 \text{ mm}$)	0,44	0,15	0,40
Areia fina ($0,06 < \phi \leq 0,2 \text{ mm}$)	2,38	2,52	4,14
Silte ($0,002 < \phi \leq 0,06 \text{ mm}$)	82,40	82,66	92,56
Argila ($\phi \leq 0,002 \text{ mm}$)			
LL (%)	51,04	59,31	56,05
LP (%)	34,18	42,69	41,98
IP (%)	16,86	16,62	14,07
SUCS	MH	MH	MH

A partir dos ensaios de caracterização realizados foi possível verificar os solos são predominantemente solo finos, sendo que as Amostras 01 e 02 apresentaram frações de pedregulho da ordem de 13 a 14 %. A partir dos resultados dos ensaios foi possível classificar os solos das três amostras como Silte de Alta Plasticidade, segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS, o solo é MH, conforme vemos na Figura 5.

Figura 5 - Amostras de Solo 01, 02 e 03 na Carta de Plasticidade.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no trabalho realizado até aqui e nos resultados apresentados pode-se concluir que, no caso das amostras de solo encontradas no furo analisado, há a predominância de solos siltosos de alta plasticidade (MH). Se lembrarmos dos tipos de solos que são recomendados para utilização em obras de barreira mineral de aterros sanitários vemos que o solo do local não é indicado, isso pode ser um indício de que ele não atenderá os requisitos mínimos de condutividade hidráulica, ou outras especificações como a expansão.

No entanto, todas as amostras apresentaram elevados teores de finos, 82,4%, 82,66% e 92,56%, respectivamente, valores bem superiores ao valor mínimo de 30%, o que é um indicador de solos de baixa condutividade hidráulica.

Com relação aos limites e índices de plasticidade vemos que apenas a amostra 03, mais profunda, possui índice de plasticidade 14,07%, valor abaixo do mínimo especificado, de 15%; sendo que para o limite de plasticidade todas amostras atendem ao critério preliminar, que é maior do que 30%.

As características de pH e condutividade hidráulica não foram possíveis de serem obtidas devido à dificuldades de acesso aos laboratórios devido à pandemia do COVID-19. Portanto, faz-se necessário a realização de um estudo sobre o comportamento hidráulico do solo em diferentes teores de umidade e diferentes energias de compactação para que se possa avaliar melhor este parâmetro.

É interessante também a realização de uma caracterização mineralógica do material para verificar a presença de minerais expansivos que podem comprometer o uso do material para o fim desejado.

Embora não conclusivo sobre a possibilidade de uso direto do material em análise, este trabalho foi de grande relevância, pois considera um uso ainda pouco explorado dos materiais provenientes de exploração mineral, apresenta resultados que apontam para as possíveis dificuldades a serem enfrentadas, e contribui para os estudos que ainda são necessários para avaliação o uso deste solo como material de construção para barreira mineral em sistemas de impermeabilização de base de aterros sanitários.

Os autores desejam expressar sua gratidão à Porto Grande Mineração LTDA, pela disponibilização das amostras de solo para a elaboração deste trabalho, e ao Centro Tecnológico do Centro de Ensino Superior do Amapá – CEAP pela disponibilização do Laboratório de Solos para execução dos ensaios realizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO AMAPÁ. **A história do Amapá se confunde com a história da mineração.** Disponível em:

<http://ageamapa.ap.gov.br/conteudo/setores-de-negocios/mineracao>. Acesso em: 26 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo - Determinação do Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 7180: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 7181: Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2004). **Estado do Amapá – geologia.**

BRASIL. **Lei nº 12.305.** Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos de 02 de agosto de 2010.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. CEMPRE, São Paulo, 2010.

FREITAS, G. C.; JUNIOR, J. T. A. Estudo Preliminar de um Solo para Utilização em Barreira Mineral em um Município da Amazônia Brasileira. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., Belo Horizonte, Minas Gerais. **Anais...** Belo Horizonte, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração.** Brasília, 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas.** Brasília, 2012.