



Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)

Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica



Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)

Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^a Dr^a Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof^a Dr^a Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E56	<p>Enfoques e possibilidades para a engenharia geotécnica [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-85-7247-746-8 DOI 10.22533/at.ed.468190611</p> <p>1. Geologia de engenharia. 2. Mecânica do solo. I. Tullio, Franciele Braga Machado.</p> <p style="text-align: right;">CDD 624.15136</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica” contempla onze capítulos em que os autores abordam as mais recentes pesquisas relacionadas as possibilidades de materiais e metodologias aplicadas na área de geotecnia.

A Engenharia Geotécnica desempenha um papel muito importante em nossa sociedade, pois é através do estudo da ação do homem sobre o solo e rochas que torna possível a prevenção de deslizamentos, desabamentos e desmoronamentos, contenção da ocupação de encostas e gerenciamento de resíduos.

Os estudos da área de geotecnia visam a proteção da população, fazendo uso de soluções sustentáveis sem prejudicar o meio ambiente.

A adição de resíduos no solo pode viabilizar a sua utilização em subleito ou sub-base na pavimentação. Assim como a utilização de resíduos industriais em substituição ao uso de brita pode se tornar como alternativa para a confecção de misturas asfálticas onde há escassez desse material.

A engenharia geotécnica apresenta várias possibilidades de proteção de encostas, tais como: drenagem, proteção superficial, construção de muros de arrimo, retaludamento, entre outras técnicas, proporcionando segurança para diversas comunidades.

Diante do exposto, esperamos que o leitor faça bom uso dos estudos aqui apresentados, de modo que sejam subsídio para uma reflexão sobre as possibilidades que a engenharia geotécnica proporciona à sociedade, trazendo qualidade de vida e segurança, utilizando meios sustentáveis e reduzindo danos ao meio ambiente.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ATERROS LEVES SOBRE SOLOS MOLES COM UTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) NA BR-101/PE, LOTE 6: AVALIAÇÃO DA TÉCNICA E CARACTERIZAÇÃO DO EPS QUANTO À COMPRESSÃO SIMPLES	
Fabiano Queiroz de Souza Roberto Quental Coutinho Danisete Pereira de Souza Neto	
DOI 10.22533/at.ed.4681906111	
CAPÍTULO 2	14
DOSAGENS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO SMA COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS	
André Sales Mendes Jander Joia de Figueiredo Costa Júnior Patrícia de Magalhães Aragão Valença Consuelo Alves da Frota	
DOI 10.22533/at.ed.4681906112	
CAPÍTULO 3	26
ESTUDO DA VIABILIDADE TECNOLÓGICA DO EMPREGO DA CAL EM UM SOLO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO	
Vitor Reinaldo Bordignon Rogério Francisco Kuster Puppi Ronaldo Luiz dos Santos Izzo Amanda Dalla Rosa Johann	
DOI 10.22533/at.ed.4681906113	
CAPÍTULO 4	38
MELHORAMENTO DE SOLO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO PROCEDENTE DO CEPILHAMENTO RE PAVIMENTOS CCP	
Daniel da Silva Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.4681906114	
CAPÍTULO 5	50
USO DE DRENOS FIBROQUÍMICOS E COLUNAS DE BRITA PARA TRATAMENTO DE SOLOS MOLES NA BAIXADA DE JACAREPAGUÁ - RJ	
Fernanda Valinho Ignacio Bruno Vieira de Jesus Juliano de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.4681906115	
CAPÍTULO 6	62
ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO DE TUBOS GEOTÊXTIL PARA ACOMODAÇÃO DE REJEITOS E ESTÉRIL EM SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO POR BACKFILL	
Rafaela Baldí Fernandes Sander Elias Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.4681906116	
CAPÍTULO 7	78
OCUPAÇÃO ANTRÓPICA DE ENCOSTAS E SUA ESTABILIZAÇÃO	
Paulo Afonso de Cerqueira Luz Alberto Alonso Lázaro	

Henrique Dinis
Kamila Rodrigues Cassares Seko
DOI 10.22533/at.ed.4681906117

CAPÍTULO 8	91
ZONEAMENTO SIMPLIFICADO DE RISCO DE DESLIZAMENTO EM ENCOSTAS NO NORDESTE DO BRASIL	
Belaniza Gaspar Santos Neta Osvaldo de Freitas Neto Erinaldo Hilario Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.4681906118	
CAPÍTULO 9	105
ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM VENTUROSA NO ESTADO DE PERNAMBUCO	
Hosana Emilia Sarmiento Costa Leite Rafaella Teixeira Miranda Maiara de Araújo Porto Túlio Martins de Lima Natália Milhomem Balieiro	
DOI 10.22533/at.ed.4681906119	
CAPÍTULO 10	118
COMPARAÇÃO E PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL (UCS) DE ROCHAS ARENÍTIAS TURBIDITICAS DAS FORMAÇÕES SANTOS, BACIA DE SANTOS, BRASIL E DA FORMAÇÃO CHICONTEPEC, BACIA DE CHICONTEPEC, MÉXICO	
Claudia Martins Bhering Dominoni Anna Laura Lopes da Silva Nunes Claudio Rabe Gilmara Alexandre Felipe da Silva Cleverson Guizan Silva	
DOI 10.22533/at.ed.46819061110	
CAPÍTULO 11	130
MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS 3D DE RADIER ESTAQUEADO COMPOSTO POR ESTACAS EMBUTIDAS PARCIALMENTE EM ROCHA	
Jean Rodrigo Garcia Paulo José Rocha de Albuquerque Osvaldo de Freitas Neto Rodrigo Álvares de Araújo Melo	
DOI 10.22533/at.ed.46819061111	
CAPÍTULO 12	144
MELHORAMENTO DOS PARÂMETROS MECÂNICOS E FÍSICOS DE DEPÓSITOS ALUVIONARES ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DE GEODRENOS VERTICAIS	
Rodrigo Rogério Cerqueira da Silva Bruno Pereira Casanova	
DOI 10.22533/at.ed.46819061112	
SOBRE A ORGANIZADORA	156
ÍNDICE REMISSIVO	157

ATERROS LEVES SOBRE SOLOS MOLES COM UTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) NA BR-101/PE, LOTE 6: AVALIAÇÃO DA TÉCNICA E CARACTERIZAÇÃO DO EPS QUANTO À COMPRESSÃO SIMPLES

Fabiano Queiroz de Souza

Diretoria de Projetos de Engenharia/
Departamento de Engenharia e Construção,
Brasília – Distrito Federal, Brasil.

Roberto Quental Coutinho

Universidade Federal de Pernambuco, Recife -
Pernambuco, Brasil.

Danisete Pereira de Souza Neto

Universidade Federal de Pernambuco, Recife -
Pernambuco, Brasil.

RESUMO: Com o crescimento da malha viária do Brasil, torna-se necessária a intensificação dos estudos sobre alternativas, condições de execução e controle dos projetos rodoviários, principalmente sobre aqueles que atravessam regiões de solos moles. Este estudo tem por objetivo a avaliação da aplicabilidade de poliestireno expandido (EPS) em aterro sobre solos moles existente na Obra de Adequação da BR 101, Lote 06, localizado na Cidade de Goiana – PE. A pesquisa foi realizada através de execução de ensaios de compressão simples do EPS e dos estudos dos fatores de segurança quanto à flutuabilidade, visando desenvolver procedimentos mais eficazes na execução e controle de obras sobre solos moles que utilizam EPS e propor sugestões de melhorias para projetos. O aterro em questão sofreu um colapso em 2011 devido ao não atendimento

dos critérios de flutuabilidade do EPS aplicado. Este estudo visou avaliar a reutilização do EPS do aterro rompido garantindo as mesmas características mecânicas vigentes no projeto. Para a realização da avaliação estrutural foram realizados ensaios de compressão simples de corpos de prova cilíndricos de poliestireno. Verificou-se que as propriedades mecânicas de todo o EPS aplicado no aterro foram preservadas justificando a sua reutilização. Os resultados dos estudos de flutuabilidade indicaram que haveria colapso mesmo com o pavimento totalmente construído. Sendo assim, a partir dos dados gerados neste estudo, podem ser fornecidas sugestões de projeto que otimizem a construção de aterros com uso de EPS, entre elas fazer um estudo mais profundo da região quanto ao aspecto hidrológico de modo a prever situações de risco elevado quanto à flutuabilidade do EPS.

PALAVRAS-CHAVE: Poliestireno expandido (EPS), solos moles, compressão simples.

LIGHTWEIGHTS EMBANKMENTS
ON SOFT SOILS WITH EXPANDED
POLYSTYRENE (EPS) IN BR-101 / PE,
LOT 6: TECHNIQUE EVALUATION AND
EPS CHARACTERIZATION BY SIMPLE

COMPRESSION

ABSTRACT: With the growth of the Brazilian road network, it is necessary to intensify studies on alternatives, conditions of execution and control of road projects, especially on those crossing regions of soft soils. The objective of this study is to evaluate the applicability of expanded polystyrene (EPS) in a embankment on soft soil existing at the BR 101 Adequacy Project, Lot 06, located in the city of Goiana - PE. The research was executed by performing EPS simple compression tests and studies of safety factors regarding buoyancy, aiming to develop more effective procedures in the execution and control of works on soft soils using EPS and to propose suggestions for improvements to projects. The embankment in question collapsed in 2011 due to non-compliance with the applied EPS buoyancy criteria. This study aimed to evaluate the reuse of EPS from the broken embankment ensuring the same mechanical characteristics prevailing in the project. For the structural evaluation, simple compression tests were performed on polystyrene cylindrical specimens. It was found that the mechanical properties of all EPS applied to the embankment were preserved justifying its reuse. The results of the buoyancy studies indicated that there would be collapse even with the fully constructed pavement. Thus, from the data generated in this study, design suggestions can be provided that optimize the construction of embankments using EPS, including making a deeper study of the region regarding the hydrological aspect in order to predict high risk situations. to the buoyancy of EPS.

1 | INTRODUÇÃO

Dentro do contexto de evolução da malha viária brasileira, tornam-se uma constante as exigências de estudos mais completos e detalhados sobre as condições de execução e projeto, principalmente em aterros sobre solos moles. A engenharia atual viabiliza soluções técnicas que anteriormente não eram possíveis. Em alguns casos, devido à desapropriação por necessidade pública, é de maior rapidez e viabilidade técnica-econômica que o pavimento atravesse regiões nas quais as fundações precisam de cuidados e tratamentos especiais pois o processo de desapropriação pode demorar muitos anos. Neste trabalho será possível discutir a importância do tema relacionado à qualidade dos insumos utilizados pós-rompimento na solução de engenharia denominada aterro leve a qual utiliza o poliestireno expandido (EPS) como seu principal insumo, na Obra de Adequação da Capacidade da Rodovia BR-101/PE, Lote 6, com 41,3 km de extensão que foi executada pelo Exército Brasileiro através de Termo de Cooperação com Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). A obra consiste na construção de um novo pavimento e restauração do existente. Na Várzea de Goiana foram encontrados segmentos que continham solos moles os quais demandaram soluções especiais de engenharia. O trecho selecionado para esta pesquisa possui uma extensão de 156 m e está localizado no Km 7 da obra. A Figura 1 mostra o trecho experimental

denominado Aterro 3.



Figura 1. a) Estado de Pernambuco; b) Localização do trecho experimental relativamente ao Lote 6; c) detalhe do trecho experimental pós-rompimento.

1.1 Aterros leves

A magnitude dos recalques primários dos aterros sobre camadas de solos moles é função do acréscimo de tensão vertical causado pelo aterro construído sobre camada de solo mole (Almeida & Marques, 2010). Logo, a utilização de materiais leves no corpo do aterro reduz a magnitude desses recalques. Essa técnica, denominada aterro leve, tem como vantagem adicional a melhoria das condições de estabilidade desses aterros, permitindo também a implantação mais rápida da obra, diminuindo ainda os recalques diferenciais.

De acordo com Sandroni (2006), um dos materiais leves mais utilizados para compor o aterro a ser executado é o poliestireno expandido (EPS: expanded polystyrene), que tem peso específico muito baixo, da ordem de $0,20 \text{ kN/m}^3$ a $0,25 \text{ kN/m}^3$.

De acordo com Nascimento (2009), a vantagem principal da técnica é atenuar a carga vertical do aterro, provocando diminuição na magnitude dos recalques e nos problemas de estabilidade do aterro e, assim, conseguir uma execução mais rápida do mesmo, já que não há necessidade de se executar o aterro em múltiplas etapas. As vantagens ambientais também são importantes, já que praticamente não há perda de material por submersão, nem necessidade de aterro de sobrecarga.

O custo relativo é da ordem de 12 vezes maior para o EPS do que para o aterro convencional, fato que representa uma grande desvantagem (Sandroni, 2006). Ele ainda é muito mais oneroso do que o aterro convencional, mesmo em grandes centros industriais. Esse mesmo fator praticamente inviabiliza o uso desta técnica em áreas rurais, em função do custo de transporte dos grandes volumes de EPS necessários para os aterros.

De acordo com a ABRAPEX - Manual de Utilização do EPS na Construção Civil (2006), no Brasil, o EPS é mais conhecido como “Isopor”. O EPS foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha.

A utilização do material EPS industrialmente hoje abrange uma grande gama de aplicações. Seu emprego vai da agricultura até a construção civil, passando pela indústria de embalagens de eletro-eletrônicos, alimentos e bebidas, itens farmacêuticos, utilitários e decorativos. Porém, é na construção civil que hoje o EPS tem se destacado devido a adequação de suas propriedades às necessidades das obras, seja pelas suas características de isolante térmico, como pelo seu reduzido peso específico aliado à alta resistência e sua facilidade de manuseio (Neto, 2008).

Com um controle no processo de fabricação do EPS, pode se obter um produto com diferentes valores de massa específica. Os valores de massa específica podem variar aproximadamente entre 10 a 100 kg/m³ (Stark *et al.*, 2004). Contudo, na prática é mais comum se encontrar valores de massa específica para os blocos de EPS variando de 15 a 40 Kg/m³, variando de 5 em 5 kg/m³ (Horvath, 1994).

De acordo com Horvath (1994), o comportamento do EPS em compressão simples é geralmente determinado em testes em amostras cúbicas de 50 mm de lado. A taxa de aplicação de deformação é relativamente rápida, com valores variando entre 1 a 20% por minuto, sendo o valor de 10% por minuto o mais usual, sobre condições climáticas controladas de 23°C e 50% de umidade relativa.

Há basicamente dois tipos de corpos de provas de EPS ensaiados com mais frequência, descritos na literatura. O primeiro é o tipo cilíndrico com relação altura / diâmetro de cerca de 2:1 (h = 300 mm e d = 150 mm, por exemplo). Este tipo de amostra foi introduzido inicialmente, possivelmente para se adaptar melhor aos equipamentos dos laboratórios de geotecnia. O corpo de prova do tipo cilíndrico foi adotado nesta pesquisa. O segundo é o cúbico, usualmente com 50 mm de lado, padronizado pela norma ASTM D 1621 – 00.

1.2 Dados do projeto adotado

O Aterro 3 foi primordialmente projetado com uma altura máxima de 6 m e inclinação de talude de 1,50 (H) : 1,00 (V). Na base do aterro foi inserido um colchão drenante de areia com espessura de 1 m e geogrelha instalada no ponto médio da camada (DNIT, 2004). Entretanto, no intuito de acelerar a obra, foram feitos estudos de viabilidade técnica a partir dos quais se escolheu o uso de aterro leve com EPS.

As solução considerada para estabilização e melhoria do Aterro 3 em 2010 foi alicerçada nos seguintes fatores condicionantes:

- facilidade do processo construtivo;
- solução que não demande prazo longo para execução por parte do Exército;
- solução que utilize técnica e insumo de custo viável;
- solução que seja limitada às faixas de domínio existentes.

- altura de EPS necessária: variável de 1,0 a 4,5 m;
- os blocos EPS devem ser protegidos contra ataques de roedores e agentes químicos, utilizando-se uma geomembrana lisa de PEAD (polietileno de alta densidade);
 - a geomembrana deve apresentar uma espessura mínima de 1,0 mm;
 - logo acima da geomembrana deve haver uma laje armada com tela, com 10 cm de espessura e resistência igual a 15 MPa, para proteger o EPS contra o punção e distribuir as cargas concentradas induzidas pelo tráfego;
- dimensões mínimas do bloco EPS: 2,0 x 1,0 x 0,5 m;
- os taludes laterais da pilha de blocos devem ser executados em forma de escada, sobre os quais será lançada uma camada de aterro, de no mínimo 60 cm e compactada com compactador manual.

A Tabela 1 apresenta as características necessárias para o EPS a ser utilizado no projeto do Aterro 3.

PROPRIEDADES	NORMA DE ENSAIO	UNIDADE	TIPO 5
Densidade aparente nominal	NBR 11949	kg/m ³	22,5
Densidade aparente mínima	NBR 11949	kg/m ³	20
Tensão de compressão com deformação de 10 %	NBR 8082	kPa	110
Resistência mínima à flexão	ASTM C-203	kPa	220
Resistência mínima ao cisalhamento	EM-12090	kPa	110

Tabela 1. Características do EPS do Aterro 3

Nestas condições o Exército Brasileiro iniciou o projeto conforme a seguinte sequência executiva: sobre o solo limpo coloca-se uma camada de areia nivelada para receber os blocos de EPS que são colocados inteiros e com juntas desencontradas. Coloca-se outra camada sobre a primeira e assim sucessivamente, formando um tronco de pirâmide para distribuir a carga da estrada em uma área compatível com a resistência mecânica do solo. Os blocos são cobertos com um filme de polietileno para protegê-los de eventual derramamento de solventes que possam “atacá-los” quimicamente. A base da pavimentação já pode ser preparada e nas laterais ajusta-se o talude para plantio. A Figura 2 mostra este processo.



Figura 2. Metodologia executiva do aterro leve com EPS.

1.3 Ruptura do aterro 3

O projeto executivo fornecido pelo Concedente (Figura 3) da Obra em 2011 se encontrava em execução quando houve uma enchente excepcional ocorrida no dia 17 de julho de 2011.

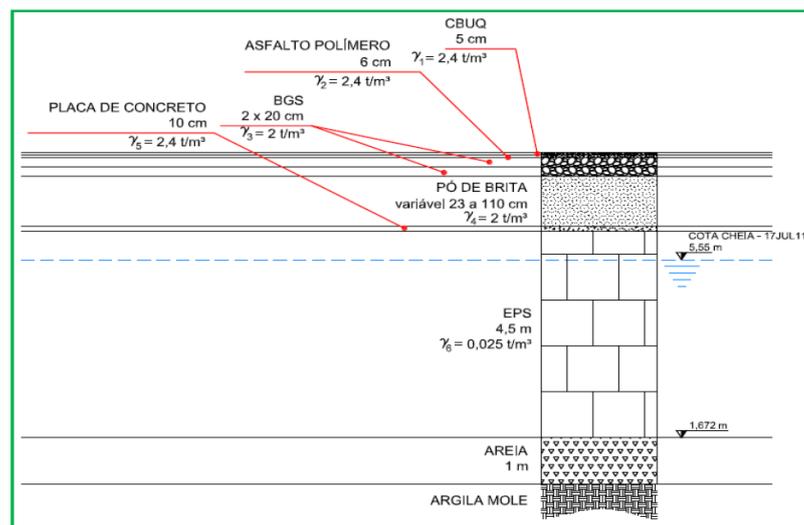


Figura 3. Camadas previstas no Projeto Executivo do Aterro Leve com EPS.

No momento da enchente o projeto estava executado até a laje de transição com espessura de 10 cm.

Pode-se constatar que metade das “transversinas” ou vigas transversais do Canal Goiana, no qual se localiza o Aterro 3, foram cobertas por água, concluindo-se que o nível máximo da cheia daquele dia alcançou a cota 5,55 m (a referência de cota de máxima enchente é de 2,85 m, sendo assim houve uma diferença a maior de $5,55 \text{ m} - 2,85 \text{ m} = 2,70 \text{ m}$). Este fato implicou na ruptura total do Aterro 3 conforme a Figura 4.



Figura 4. Aterro 3 rompido.

Esta situação causou atraso na obra e a obrigatoriedade de execução de estudos urgentes para resolver uma série de indagações que surgiram naquele momento. Dentre elas destacam-se duas. A primeira se o projeto com EPS continuaria sendo viável e a segunda, caso positivo para a questão anterior, se o EPS poderia ser reaplicado.

2 | METODOLOGIA

Na metodologia serão expostos os processos utilizados para avaliar estruturalmente o EPS exposto com a ruptura e o estudo de fluabilidade do EPS (avaliação funcional) considerando o projeto executivo, isto é, avaliar o comportamento do EPS considerando a execução de outras camadas do pavimento.

Para a realização da avaliação estrutural ocorrida de fevereiro a abril de 2012, foram realizados ensaios de compressão simples de corpos de prova cilíndricos de poliestireno de acordo com o que preconiza a norma ASTM: Designation: D695 – 10 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. O objetivo do ensaio foi obter a curva tensão-deformação e os módulos de elasticidade. Os ensaios foram realizados por uma equipe de UFCG com acompanhamento de uma equipe do Exército.

O equipamento utilizado foi a Prensa Shimadzu do Laboratório de Estruturas da UFCG, modelo AG-IS 100 kN. As características principais do equipamento são as seguintes:

- célula de carga: 100 kN; - velocidade de ensaio: 0,0005 a 1000 mm/min; - precisão da velocidade: +/- 0,1%; - precisão do deslocamento: entre +/- 0,1% do valor indicado; - largura efetiva para ensaio: 575 mm; - dimensões: 1170 x 750 x 2162 mm; - alimentação necessária: trifásico, 200-230 VAC (60 Hz), 6,0 kVa (1,6W de consumo).

A execução da avaliação estrutural foi dividida em duas etapas: campo e laboratório. A etapa de campo consistiu no processo de escolha, transporte e extração dos corpos de prova a serem ensaiados em laboratório. Abaixo se tem a descrição

detalhada destas etapas de campo:

a. Processo de escolha: Considerando-se que o Aterro 3 contempla 8.000 m³ de EPS, definiu-se que, para cada 400 m³ de EPS aplicado, fossem retirados 6 corpos de prova para ensaio. Por questão de segurança, para cada conjunto de 6 corpos de prova foram extraídos 2 corpos de prova a mais, caso houvesse necessidade de substituição. Vale salientar que os 8 CP foram extraídos de um bloco inteiro de dimensões 4,0 x 1,0 x 1,5 m. Os 20 conjuntos extraídos, cada um contendo 8 CP, se referem aos blocos de EPS que já haviam sido instalados mas, devido à enchente atípica ocorrida em 2011, foram removidos de seu posicionamento original e ficaram expostos. Paralelamente, foram extraídos 4 grupos, denominados grupo “B” de blocos ainda não utilizados no terreno, cuja resistência servirá de parâmetro aos grupos de EPS já utilizados.

b. Transporte: Os blocos com dimensões 4,0 x 1,0 x 1,5 m foram transportados da cidade de Goiana para Campina Grande, cuja distância é de 200 km, em uma caçamba com capacidade de 25 m³ com respectivo cavalo mecânico. A Figura 5 (a) mostra a caçamba transportando os blocos EPS.

c. Extração dos corpos de prova: A extração ocorreu na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Foi executada pela equipe do Exército Brasileiro e UFCG. Foi utilizada uma extratora de corpos de prova de pavimentos de concreto ou asfalto, com motor a gasolina de 9 Hp. Possui regulador de rotação, engate para transportes em pequenas distâncias, em baixas velocidades. A extratora admite coroas diamantadas de até 20,32 cm. Toda sua transmissão mecânica é feita por coroa e pinhão imersos em banho de óleo. Possui tanque de água para refrigeração. A Figura 5 (b) mostra o processo de extração dos corpos de prova.



Figura 5. Corpos de prova de EPS: (a) transporte, (b) extração.

A etapa de laboratório consistiu no processo de organização dos corpos de prova com respectiva coleta de dimensões, em seguida ensaiados na Prensa Shimadzu. Esta etapa foi dividida em duas:

a. Organização e medidas dos CP: Depois de separados os 24 grupos de

corpos de provas mencionados na etapa de campo, foi necessário, através de um paquímetro, registrar as medidas de altura e diâmetro dos CP, já que essas medidas irão alimentar o programa utilizado pela prensa. A Figura 6 (a) mostra o processo de organização dos grupos e a Figura 6 (b) retrata a utilização do paquímetro para registro das dimensões.



Figura 6. Corpos de prova para ensaio de compressão: (a) organização dos grupos, (b) utilização de paquímetro.

b. Utilização do programa da prensa: Após a devida separação dos grupos de CP e execução dos registros das dimensões (altura e diâmetro) já se tornou possível o uso da prensa. O programa utilizado foi o “Trapezium 2” que possui vantagens de ser um software que possui etapas de orientação para o ajuste dos ensaios, permitindo rápida e fácil configuração. Além disso, incorpora as funções básicas necessárias para realização dos ensaios de acordo com os padrões industriais. A Figura 7 mostra, um corpo de prova na prensa para realização do ensaio.



Figura 7. Corpo de prova na prensa para realização do ensaio de compressão.

Para obter os módulos de elasticidade e a curva tensão-deformação do espaço amostral selecionado, seguiu-se a seguinte sequência no programa Trapezium 2:

a. Definição do tipo de ensaio (tração, compressão, etc), direção de aplicação da força (ascendente ou descendente), polaridade da força, e unidades (sistema SI,

métrico ou inglês);

- b. Definição da faixa de aplicação da força e deslocamento;
- c. Definição da velocidade de aplicação da carga;
- d. Identificação dos corpos de prova com as respectivas alturas e diâmetros;
- e. Parâmetros a serem utilizados (módulo de elasticidade, máxima tensão, etc);
- f. Definição da formatação de apresentação dos resultados.

Para a realização da avaliação funcional, foram realizadas visitas ao Aterro 3 rompido devido à enchente ocorrida no dia 17 de julho de 2011. Para que a solução adotada em EPS possa ser avaliada em termos funcionais foram executados os cálculos que mostram a situação de estabilidade do sistema EPS quanto à flutuação de acordo com o novo parâmetro de cota de máxima enchente.

No momento da enchente excepcional ocorrida no dia 17 de julho de 2011 a solução em EPS estava parcialmente executada. De acordo com a Figura 3, acima das camadas de EPS ainda existe uma laje de 10 cm de espessura e, acima desta, uma camada de brita graduada simples (BGS) seguida de duas camadas de concreto betuminoso usinado a quente com espessura de 11 cm. No dia da enchente apenas a laje com espessura de 10 cm estava concluída.

De acordo com projeto utilizado para o Aterro 3, a cota inferior de instalação do EPS no trecho mais próximo da ponte foi de 1,672 m. Logo, a quantidade de EPS submersa foi de 3,878 m resultante da diferença entre as cotas de máxima enchente do dia 17 de julho, conforme está indicado na Figura 3. Este projeto utilizado tinha previsão de cota de máxima enchente em 2,818 m. Na mesma Figura 3 pode-se observar que o local mais favorável para combater o empuxo é quando a camada de BGS é de 110 cm e a menos favorável é de 23 cm. Para as duas situações foram calculados os fatores de segurança quanto à flutuabilidade.

3 | RESULTADOS E COMENTÁRIOS

3.1 Avaliação estrutural do EPS

Em relação à avaliação estrutural, pode-se verificar que a média do módulo de elasticidade dos grupos de EPS já aplicados no Aterro 3 (D1 a D20) que foram expulsos devido aos efeitos da enchente atípica do dia 17 de julho de 2011 é de 5,850 MPa e supera em 17% a média do Grupo B (5,004 MPa) que representa o grupo de EPS que ainda não foi aplicado, conforme Tabela 2. De acordo com a Tabela 2, mesmo excluindo-se o menor resultado do Grupo B (3,534 MPa), a média do Grupo D (5,850 MPa) supera em 6,6 % o valor do módulo de elasticidade da média do Grupo B (5,494 MPa).

Sabendo-se que o Grupo B representa o estoque de EPS que ainda não foi aplicado, é razoável não considerar os resultados do Grupo B1. Pelos baixos resultados, existe a possibilidade de ter existido alguma variação no procedimento

de ensaio.

Era de se esperar que o Grupo D sofresse uma redução no valor do módulo de elasticidade relativamente ao Grupo B, por ter sofrido tensões diversas com o rompimento do Aterro 3 e estar exposto às intempéries por meses. Entretanto, o fato contrário foi observado e isto corrobora a hipótese que as propriedades mecânicas de todo o EPS aplicado no Aterro 3 não sofreram alteração.

Nome do Grupo	CP's	Diâmetro	Altura	Módulo de elasticidade	Máxima tensão	Máxima força
		cm	cm	N/mm ² (MPa)	N/mm ² (MPa)	KN
D1	6	9,99	20,21	5,47318	0,12396	0,97188
D2	6	9,99	20,54	7,60853	0,13241	1,03906
D3	6	9,99	20,05	5,69371	0,12044	0,94479
D4	6	9,99	20,50	4,83020	0,11988	0,94011
D5	6	9,96	20,53	6,47262	0,12430	0,96979
D6	6	10,04	20,35	7,97356	0,13676	1,08282
D7	6	9,99	20,51	7,06599	0,12562	0,98490
D8	6	10,03	20,48	3,26868	0,10911	0,86146
D9	6	10,00	20,52	3,79667	0,10910	0,85781
D10	6	10,00	20,53	4,17608	0,11407	0,89219
D11	6	10,06	20,31	3,95664	0,11094	0,89792
D12	6	10,04	20,36	7,80023	0,13394	1,06146
D13	6	10,05	20,35	4,36683	0,10757	0,85364
D14	6	10,05	20,35	6,59325	0,12145	0,96406
D15	6	10,02	20,55	6,81989	0,12679	1,00048
D16	6	10,01	20,53	5,94046	0,11572	0,91094
D17	6	10,07	20,50	6,67727	0,11853	0,94375
D18	6	10,06	20,31	7,55958	0,12369	0,98438
D19	6	10,06	20,34	7,44248	0,12792	1,01823
D20	6	10,06	20,29	3,69074	0,10702	0,85103
B1	6	9,98	20,52	3,53443	0,09953	0,77917
B2	6	9,99	20,54	6,70486	0,13238	1,03802
B3	6	9,98	20,54	4,65277	0,10448	0,81771
B4	6	9,95	20,55	5,12661	0,11146	0,86667
Média geral		10,01	20,43	5,71772	0,11904	0,93884
Valores máximos obtidos		10,07	20,55	7,97356	0,13676	1,08282
Valores mínimos obtidos		9,95	20,05	3,26868	0,09953	0,72568

Tabela 2. Valores médios para os 24 grupos de corpos de prova ensaiados.

3.2 Avaliação funcional do EPS

Pode-se calcular o fator de segurança quanto à flutuação para os 3 casos, isto é, quando a obra estava apenas com a laje de concreto de 10 cm e se a obra já estivesse pronta com camadas de pó de brita de 23 cm (pior caso) e 110 cm (melhor caso). A Tabela 3 mostra os resultados destes fatores de segurança:

FATOR DE SEGURANÇA À FLUTUAÇÃO			
Condição de Estabilidade	Tensão no EPS (kN/m ²)	Empuxo no EPS (kN/m ²)	Fator de Segurança
Dia da Enchente	2,35	37,93	0,06
Pior Caso	17,30	37,93	0,46
Melhor Caso	34,36	37,93	0,91

Tabela 3. Fatores de segurança quanto à flutuação do EPS.

Em relação à avaliação funcional, as condições de estabilidade quanto à flutuação não são satisfatórias para a situação em que se encontrava a construção

na ocasião da grande enchente e também não seriam no caso do pavimento já concluído. Desta forma, nesta situação, o projeto não mais se aplica às novas condições de contorno impostas por esta grande cheia.

Valendo-se da hipótese que no novo projeto a ser elaborado seja utilizado EPS, entende-se que é de fundamental importância à estabilidade quanto à flutuação do futuro aterro que as obras sejam executadas durante o período de “seca” da região, isto é, de setembro a abril.

Como já foi constatado que houve mudança da cota de máxima enchente, observou-se a inoperância do projeto atual para esta condição de contorno. Sendo assim, pode-se ser discutida a inclusão de novos procedimentos para tornar o novo projeto mais seguro. Dentre estes novos procedimentos, pode-se implantar instrumentação geotécnica com inclinômetros e placas de recalque para acompanhamento da evolução dos recalques e das deformações horizontais do aterro.

4 | CONCLUSÕES

Pode-se concluir o seguinte com os estudos realizados:

- A propriedade mecânica (módulo de elasticidade estático) do EPS aplicado no Aterro 3 permaneceu inalterada após a enchente do dia 17 de julho de 2011.
- A média do módulo de elasticidade do espaço amostral que representa o EPS já utilizado é maior 17% que a média do grupo que se encontrava em estoque.
- A avaliação quanto à resistência mecânica não é suficiente para a tomada de decisão acerca do reaproveitamento dos insumos utilizados. Esta decisão envolve outros aspectos, e se encontra na esfera de responsabilidade do projetista.
- Após a mudança de cota de máxima enchente ocorrida em 17 de julho de 2011, o projeto executado se mostrou inaplicável quanto ao critério flutuabilidade.
- Para um novo projeto, caso seja executado em EPS, recomenda-se a construção no período de estiagem, acompanhado de monitoramento geotécnico.
- Recomenda-se que um novo estudo de viabilidade técnica seja realizado para qualquer nova solução a ser adotada.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), 1983. Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica – Resistência à Compressão – Método de ensaio. NBR 8082: Rio de Janeiro, 1983.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), 2007. Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação da massa específica aparente. NBR 11949: Rio de Janeiro, 2007.

ABRAPEX (Associação Brasileira do Poliestireno Expandido), 2006. Manual de utilização do EPS na construção civil. São Paulo: Pini, p. 7,81-84, 2006.

ALMEIDA, M. S.; MARQUES, M. E. S. Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

ASTM (American Society for Testing and Materials), 1999. C 203 – Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation. USA, 1999.

ASTM (American Society for Testing and Materials), 2000. Designation: D695 – 10 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. USA, 2000.

ASTM (American Society for Testing and Materials), 2000. D 1621 – Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics. USA, 2000.

ASTM (American Society for Testing and Materials), 1997. Standard 12090 – Thermal insulating products for building applications. Determination of shear behaviour. Czech Republic, 1997.

DNIT. Projeto Executivo para adequação da capacidade da Rodovia BR-101/PE (Corredor Nordeste). 2004.

HORVATH J. S. Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam: An Introduction to Material Behavior. Geotextiles and Geomembranes. n.13, p. 263-280. 1994.

NASCIMENTO, C.M.C. Avaliação de Alternativas de Processos Executivos de Aterros de Vias Urbanas Sobre Solos Moles. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2009.

NETO, J. O. A. Caracterização do Comportamento Geotécnico do EPS Através de Ensaios Mecânicos e Hidráulicos. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 2008.

SANDRONI, S. S. Sobre a prática brasileira de projetos geotécnicos de aterros rodoviários em terrenos com solos muito moles. XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba, em CD. 2006.

STARK, T. D.; ARELLANO, D.; HORVATH, J. S.; LSHCHINSKY D. Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments. NCHRP Web Document 65 (Project 24-11). TRB of the National Academies. 2004.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise numérica 130

Arenito 35, 37, 119, 120, 121, 122, 125, 128

Aterro 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 39, 47, 49, 50, 52, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 66, 67, 84, 88, 145, 146, 151, 153, 154, 155

B

Backfill 62, 63, 65, 66

Barragem 66, 105, 106, 107, 108, 112, 114, 116

C

CCP 38, 39, 40, 41, 42, 48

Cepilhamento 38, 39, 41, 42, 46, 48

Colunas de brita 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61

Compressão simples 1, 4, 7, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 35, 36, 37, 116

D

Deslizamento 64, 79, 80, 91, 92, 93, 98, 104

Disposição de rejeitos 62, 63, 65

Drenos fibroquímicos 50, 51, 52, 53, 55, 57, 58, 59

E

Embutimento em rocha 139, 141

Encostas urbanas 91

Ensaio 1, 7, 9, 13, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 56, 60, 64, 73, 105, 106, 107, 108, 109, 113, 114, 115, 116, 118, 120, 121, 122, 124, 125, 128, 133, 145, 148, 149, 150, 151, 152, 154

Estabilização 4, 26, 27, 36, 37, 38, 39, 46, 48, 52, 58, 59, 68, 76, 78, 83, 84, 85, 144, 150

Estabilização de encostas 78, 83, 85

Estacas 86, 87, 88, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142

F

Formação Chicontepec 119, 120, 121

Formação Santos 119, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128

I

Implantação 3, 39, 52, 57, 59, 60, 74, 75, 76, 85, 91, 93, 105, 112, 155

Investigações geológicas-geotécnicas 105

M

Material pétreo 14, 116

Mistura asfáltica 14, 20

O

Ocupação antrópica de encostas 78

P

Pavimentação 5, 26, 27, 30, 32, 35, 36, 37, 58, 59, 155

Poliestireno expandido (EPS) 1, 2

R

Radier estaqueado 130, 131, 134, 136, 137, 139, 142

Recalque 12, 47, 50, 51, 57, 58, 59, 130, 131, 134, 136, 139, 140, 141, 142, 148

Rejeitos de mineração 62

Reservatório arenítico turbidítico 119

Resíduo 17, 21, 22, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48

Resíduos cerâmicos 14, 16, 20, 21

Resíduos de construção e demolição 14, 16, 25

Resistência à compressão simples 26, 27, 29, 30, 33, 35, 36, 116

Resistência à compressão uniaxial 109, 118, 119, 120, 125, 128, 132, 133

Risco geológico 78, 81, 82, 83, 92, 96, 98

S

Solo 3, 5, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 64, 66, 70, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 93, 94, 105, 108, 109, 112, 113, 114, 116, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 139, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155

Solo-cal 26, 27, 28, 29, 33, 35, 36

Solos moles 1, 2, 3, 13, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 59, 60, 61, 144, 145, 147, 148, 151, 153, 154, 155

Stone Matrix Asphalt 14, 15, 16, 25

T

Tubos de geotêxteis 62

Z

Zoneamento de risco 91, 92, 98

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-746-8



9 788572 477468