



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: Profª Drª 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

Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª 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
Profª Drª 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 ARENÍTICAS TURBIDÍTICAS 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

ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM VENTUROSA NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Hosana Emilia Sarmiento Costa Leite

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Pernambuco
Recife - Pernambuco

Rafaella Teixeira Miranda

Techne Engenheiros Consultores
Recife - Pernambuco

Maiara de Araújo Porto

Techne Engenheiros Consultores
Recife - Pernambuco

Túlio Martins de Lima

Techne Engenheiros Consultores
Recife - Pernambuco

Natália Milhomem Balieiro

Techne Engenheiros Consultores
Recife - Pernambuco

RESUMO: O corrente artigo apresenta os estudos e serviços realizados com a finalidade de subsidiar a elaboração do Relatório de Projeto Básico da Barragem Venturosa, a ser construída no município de Venturosa, Estado de Pernambuco. O estudo geológico-geotécnico associado à implantação de uma barragem é complexo e envolve variadas etapas. Numa primeira abordagem classifica-se a região geologicamente, tendo por base estudos e investigações pré-existentes. Posteriormente, com informações adquiridas em visitas técnicas, define-se o plano de sondagens e identificam-se

possíveis locais de empréstimo. As prospecções geotécnicas classificam o maciço rochoso sob o ponto de vista geológico-geotécnico, fornecendo informações de extrema importância para suporte da solução tecnológica adotada. Após identificação dos locais de empréstimo, é definido o corpo de ensaios, necessário para avaliação da qualidade do material destinado à aplicação no corpo da barragem e/ou nas suas estruturas complementares. Após os estudos e ensaios elaborados, concluiu-se que a barragem será fundada num maciço competente, compatível com a fundação de uma barragem zoneada (núcleo argiloso e espaldares em enrocamento). O maciço rochoso ao longo do eixo barrável apresenta boa condição como suporte de carga, boa condição mecânica, boa condição de estanqueidade e boa resistência ao efeito de erosão causado principalmente pela água. As características de deformabilidade do maciço rochoso são boas para qualquer tipo de barragem a implantar, desde que se retire a aluvião e o solo de alteração da rocha. Em relação aos materiais naturais de construção conclui-se que os mesmos são viáveis tecnicamente e satisfatórios em termos de volume disponível.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem, Investigações Geológicas-Geotécnicas, Ensaios, Implantação.

GEOLOGICAL – GEOTECHNICAL STUDIES FOR IMPLEMENTATION OF VENTUROSA DAM IN PERNAMBUCO STATE

ABSTRACT: This paper presents the studies and services carried out for supporting the Venturosa's Dam Basic Project Report, to be built in Venturosa, Pernambuco State, Brazil. The geological-geotechnical study associated with the implementation of a dam is complex and comprises several stages. In the first, the region is geologically classified, considering previous studies and investigations. After that, based on information obtained from technical visits, the survey plan is defined and possible soil loan areas are identified. Geotechnical prospecting classifies the rock massif under the geological-geotechnical point of view, providing useful information to support the adopted technological solution. Next, the test body is defined to evaluate quality of the material to be used in the dam body and/or its complementary structures. After performed studies and tests, it was concluded that the dam will be founded on a competent massif, compatible with the foundation of a zoned dam (clay core and slopes in rockfill). The rock mass along the dam axis presents good mechanical and tightness, favorable support for load and good resistance to the erosion effect mainly caused by water. The deformability characteristics of the rock mass are good for any type of dam to be deployed, provided that the alluvium and the rock-altering soil are removed. In terms of natural building materials, it is concluded that they are technically viable and satisfactory (available amount).

KEYWORDS: Dam, Geological-Geotechnical Investigations, Tests, Employment.

1 | INTRODUÇÃO

O corrente artigo apresenta os serviços de campo realizados com a finalidade de subsidiar os estudos de elaboração do Relatório de Projeto Básico da Barragem Venturosa, a ser implantada pelo Governo do Estado de Pernambuco com o objetivo de possibilitar o atendimento à demanda de água das sedes municipais de Venturosa, Alagoinha e Pedra, com o excedente da oferta de água podendo ser utilizado na irrigação.

O objetivo principal do estudo foi a caracterização do maciço rochoso ao longo do eixo barrável selecionado e suas proximidades sob o ponto de vista geológico e geotécnico, bem como as características dos materiais naturais de construção.

Neste relato estão analisados e discutidos os resultados do reconhecimento geológico - geotécnico de superfície e subsuperfície, dos serviços geotécnicos de prospecção, dos ensaios de campo e laboratório realizados e utilizados na concepção e dimensionamento do empreendimento.

A futura barragem Venturosa, a ser projetada sobre o rio Ipanema, está localizada no Sítio Mamoeiro na localidade de Laje Santa, a cerca de 11,5 km à nordeste da cidade de Venturosa/PE.

2 | INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

2.1 Caracterização Geológico-geotécnica

A caracterização geológico-geotécnica, realizada ao longo do eixo barrável, consta de um reconhecimento geológico de superfície e de subsuperfície, com o intuito de descrever sua tipologia, os principais parâmetros geotécnicos do maciço rochoso (grau de alteração, grau de fraturamento e coerência), bem como, sua permeabilidade e as descontinuidades presentes em relação à distribuição espacial.

As investigações de subsuperfície foram programadas com base na localização do barramento preliminarmente identificado, obedecendo-se os seguintes critérios básicos:

As sondagens mistas (percussão e rotativas) foram executadas no eixo do barramento e a jusante, em número tal que permitiu a definição do perfil geológico de fundação e a classificação dos materiais a serem escavados segundo suas categorias (1^a, 2^a e 3^a categorias);

As sondagens rotativas foram programadas para atingirem a profundidade mínima de 8 metros em rocha sã;

As sondagens à percussão foram programadas para atingirem o limite do impenetrável com determinação do SPT no percurso.

As investigações de subsuperfície foram executadas segundo especificações da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Meio Ambiente (ABGE, 1999), sendo as sondagens rotativas executadas no diâmetro NX e as sondagens a percussão com amostrador SPT padrão. A passagem de percussão para rotativa foi especificada para o impenetrável ao amostrador SPT no caso de rochas sedimentares e impenetrável à lavagem no caso de rochas cristalinas.

Foram realizados ensaios de perda d'água nos corpos rochosos e de infiltração nas camadas de solos (conforme orientações do Manual de Sondagens, Boletins N° 03 - 4^a edição da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, 1999).

Os materiais obtidos nas sondagens foram descritos dentro dos padrões usuais, obtendo-se para as rochas, o grau de alteração, de fraturamento e de permeabilidade e para os solos, a granulometria, compactidade, consistência e origem geológica. No total foram realizadas 08 (oito) Sondagens Mistas.

2.2 Materiais de Empréstimo

Tendo em conta que a solução mais viável para a Barragem Venturosa seria uma barragem zoneada (núcleo argiloso e espaldares em enrocamento), foram pesquisadas as seguintes ocorrências de materiais, com a qualidade requerida e na quantidade necessária:

- Solos, para utilização nas obras de terra;
- Areia, para utilização nos concretos e filtros; e

- Rocha, para utilização em enrocamentos, transições e agregados graúdos (brita) para filtro e para os concretos.

O empréstimo de solo estudado foi localizado próximo a ombreira direita do eixo barrável e denominado Jazida 01. A alternativa estudada para empréstimo de areia foi localizada no rio Ipanema, próxima da barragem, intitulada Jazida 02. Por fim, foi localizada uma pedreira nas imediações da área do reservatório, denominada Jazida 03. A Tabela 1 apresenta o volume disponível e a localização dessas jazidas.

Local	Área (m ²)	Espessura Média* (m)	Volume Disponível (m ³)
Jazida 01	90.000	0,80	72.000
Jazida 02	14.000	3,00	42.000
Jazida 03	3.520	-	75.000*

Tabela 1. Volumes de solos disponíveis para empréstimo.

*Volumes estimados, podendo apresentar valores maiores dependendo da logística de exploração da jazida.

2.3 Ensaio de Laboratório

Foram programados e realizados ensaios geotécnicos de laboratório com finalidade de proceder à caracterização dos materiais e obtenção das características de permeabilidade, resistência e deformabilidade dos solos de empréstimo, bem como das jazidas de areia e materiais pétreos. Também foram realizados ensaios “In situ”. Os ensaios realizados e suas quantidades são apresentados na Tabela 2.

No empréstimo de solo, em amostras deformadas, foram realizados ensaios de caracterização (Preparação das amostras de solo - NBR 6457/86, Determinação da Massa Específica dos grãos - NBR 6508/84, Ensaio de Granulometria - NBR 7181/84, Determinação do Limite de Plasticidade - NBR 7180/84 e do Limite de Liquidez - NBR 6459/84), além da determinação do coeficiente de permeabilidade a carga variável (NBR 14545/00) e ensaio de compactação (NBR 7182/86). Também foram realizados ensaios “In situ” para determinação da densidade dos solos, utilizando o método do cilindro de cravação (NBR 9813-ABNT).

O ensaio de compactação foi realizado para a energia Proctor Normal. A mesma energia foi aplicada para o ensaio de permeabilidade, realizado em permeâmetro de carga variável.

Para caracterização do potencial expansivo dos solos de empréstimo foram realizados ensaios de pressão de expansão e expansão livre, segundo a NBR 12007/90. E para obtenção das características de resistência e deformabilidade dos solos de empréstimo foram realizados ensaios triaxiais, segundo a BS 1377- 7:1990 e de cisalhamento direto (ASTM D3080/2004).

Ainda foram realizados no material de empréstimo ensaios para avaliação da dispersibilidade de solos Argilosos através de ensaios químicos (CTC). Este ensaio, feito por espectrofotometria, permite a determinação das quantidades de

cátion presentes de cálcio, magnésio e potássio, expressas em miliequivalentes por litro (meq/litro); a partir destes dados são obtidos três parâmetros de análise, que por meio de um ábaco caracteriza-se a condição dispersiva, questionável ou não dispersiva do solo ensaiado.

Os materiais coletados nas jazidas de areia foram submetidos a análise granulométrica por peneiramento (NBR 7217/87 e DNER-ME- 083/98), densidade real (NBR NM 52/09 e DNER-ME-084/95), permeabilidade constante (NBR 13292/95) e análise petrográfica (NBR 7389-1/09).

ENSAIOS	QUANTIDADES
ENSAIOS – SOLO	
Umidade Natural	06
Massa Específica Real dos Grãos	06
Limite de Liquidez	06
Limite de Plasticidade	06
Granulometria por Peneiramento	06
Granulometria por Sedimentação	06
Proctor Normal (Compactação)	06
Permeabilidade a carga variável	06
Densidade “In Situ”	06
Triaxial CU - ensaio consolidado e não drenado	02
Ensaio cisalhamento direto	02
Expansão livre	02
Pressão de expansão	02
Ensaio Químico - CTC	02
ENSAIOS – AREIA	
Granulometria por Peneiramento	02
Densidade Real	02
Permeabilidade a carga constante	02
Mineralogia	01
ENSAIOS – ROCHA	
Exame de lâminas petrográficas	01
Peso específico, porosidade e absorção	01
Forma de fragmentos	01
Abrasão “Los Angeles”	01
Compressão Uniaxial	01

Tabela 2. Resumo dos ensaios laboratoriais e de campo realizados.

A amostra da Pedreira foi submetida a Exame de lâminas petrográficas, objetivando detectar a ocorrência de RAA (Reação Álcalis Agregado) no concreto (NBR 7389-2/09); ensaios de peso específico, porosidade e absorção (NBR NM 53/2009), forma de fragmentos (NBR 7809/2006), Abrasão “Los Angeles” (NBR NM 51/2001) e resistência à compressão uniaxial (NBR 12 767/1992).

3 | ASPECTOS GEOLÓGICOS GERAS

O município de Venturosa pertence ao estado de Pernambuco, estando inserido na mesorregião Agreste e na microrregião Vale do Ipanema, Possui uma área de 338,121 km², o que corresponde a 0,33% do território do Estado. A sede do município situa-se a uma altitude de aproximadamente 530 metros.

O curso de água barrado será o do Rio Ipanema que desenvolve-se na direção norte-sul (Figura 1). O rio nasce na Serra do Ororobá, município de Pesqueira, estado de Pernambuco, e desagua no Rio São Francisco (estado de Alagoas). Sua bacia hidrográfica possui uma área de aproximadamente 6.209 km².

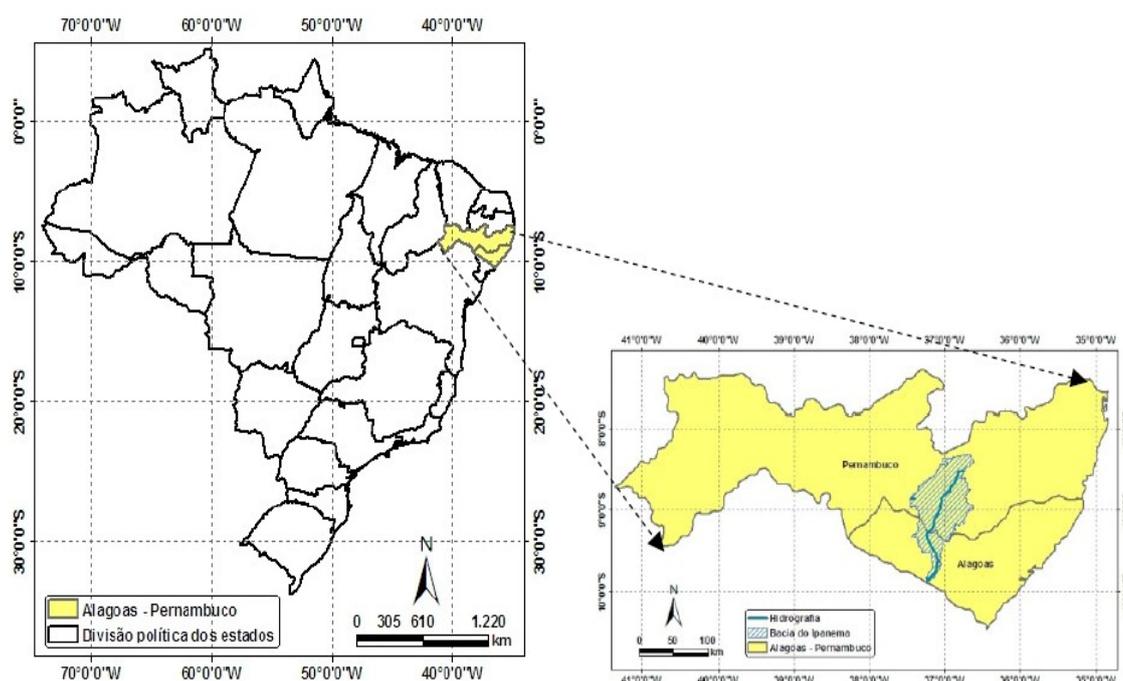
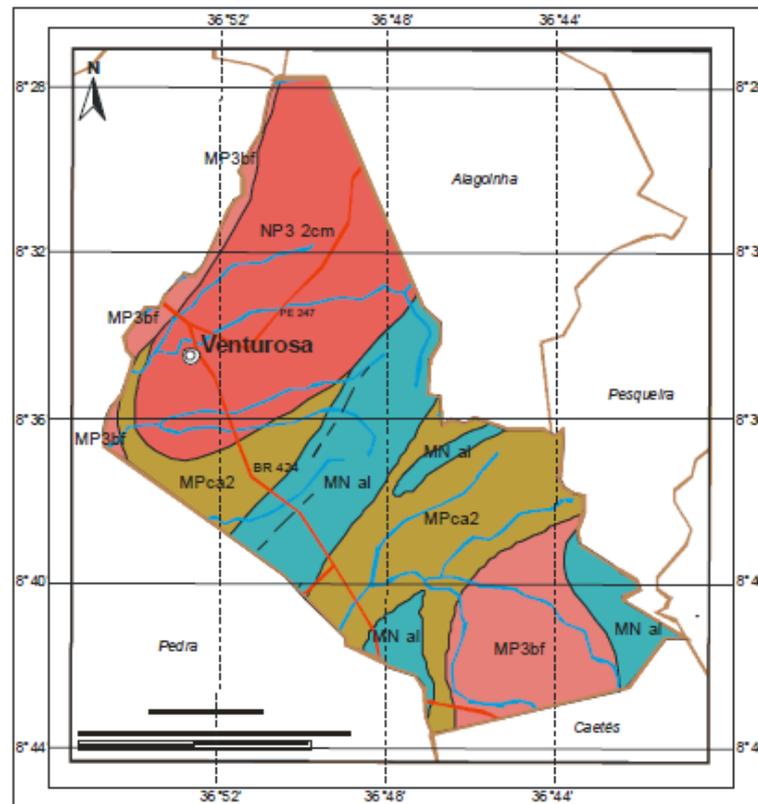


Figura 1: Direção, localização e perímetro da bacia hidrográfica do rio Ipanema. Modificado de Moreira Filho, 2011.

O referido município insere-se na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, região montanhosa formada por maciços e outeiros altos. O relevo é movimentado, variando de ondulado a montanhoso, com a presença de vales profundos e estreitos dissecados (CPRM, 2005).

Quanto ao contexto geológico, a área de estudo encontra-se inserida na Província Borborema, definida por Almeida et al. (1977) como sendo uma entidade geotectônica de idade Brasiliana delimitada pelos crátons São Luís e São Francisco.

Segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005), o município de Venturosa é constituído pelas litologias dos Complexos Cabrobó e Belém do São Francisco e das suítes Intrusiva Leucocrática Peraluminosa e Calcicalcina de Médio a Ato Potássio Itaporanga (Figura 2).



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Neoproterozóico

NP3 2cm Suite calcálica de médio a alto potássio (Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfírico associado a diorito (580 Ma U-Pb)

MN al Suite intrusiva leucocrática peraluminosa: leucogranítide a duas micas com granada e cordierita

Meso proterozóico

MP3bf Complexo Belém do São Francisco: leuco-ortognáisse tonalítico-granodiorítico migmatizado, enclaves de supracrustais (1070 Ma Rb-Sr)

MPca2 Complexo Cabrobó (ca2): xisto, gnaíse, leucognaíse, metaróseo, metagrauvaça e quartzito

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

— Contato geológico

--- Lineamentos estruturais (Traços de Superfícies)

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

⊙ Sede Municipal

— Rodovias

— Limites Intermunicipais

— Rios e riachos

Figura 2. Mapa Geológico do Município de Venturosa. Fonte: CPRM, 2005.

Em trabalho desenvolvido posteriormente, a CPRM registra a ocorrência do Complexo Rio Una, unidade que pertence ao Complexo Cabrobó.

Do ponto de vista hidrogeológico, a região de Venturosa enquadra-se dentro do Domínio Hidrogeológico Fissural (CPRM, 2005).

A visita a campo mostrou que os afloramentos rochosos são caracterizados por rochas graníticas localmente migmatizadas. Noperímetro do eixo barrável predomina um sienogranito composto de biotita e sulfetos, além dos minerais inerentes a toda rocha granítica (STRECKEISEN, 1976). Ao longo da ombreira direita observa-se o seguinte perfil: aluviões provenientes do rio Ipanema depositados sobre granito migmatizado. Os afloramentos estavam expostos na forma de lajedos, matacões e blocos rolados.

4 | SITUAÇÃO GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DO EIXO BARRÁVEL

A análise das sondagens mistas e a visita técnica a campo indicaram que o local de implantação do eixo barrável é marcado pela presença de rochas graníticas leucocráticas, de granulação média a grossa e com fenocristais de feldspato potássico alongados (Figura 3); a textura é predominantemente equigranular).

A investigação geológica-geotécnica contou com 8 (oito) sondagens mistas, executadas na ombreira esquerda (SMV-01 e SMV-02), no leito do rio Ipanema (SMV-03 e SMV04), na ombreira direita (SMV-06 e SMV-08) e próximo a ela (SMV-05), e 40 m a jusante do eixo (SMV-07). A profundidade média para atingir rocha de boa competência foi de 11,62 m; a exceção foi a sondagem realizada na imediação da ombreira esquerda (SMV-05), cuja profundidade foi de 23 metros.



Figura 3. Litotipo característico da área de implantação da barragem.

Do ponto de vista litológico predomina o granito, cuja estruturação mesoscópica é representada pela orientação de fenocristais de feldspato potássico, alinhados preferencialmente na direção da foliação de fluxo magmático (40° a 220 Az). Esta litologia exhibe sinais de oxidação nas suas descontinuidades, o que indica que o maciço granítico sofreu percolação de água ao longo de suas descontinuidades.

A sondagem SMV-04 realizada na porção central da barragem indicou a presença de uma rocha metamórfica intercala com o corpo ígneo. Não foram registrados veios ou diques nas sondagens, embora tenham sido observados pontualmente em campo.

De forma genérica verificou-se a presença de dois tipos de solos, residual e de alteração, que se distribuem ao longo de dois segmentos do eixo barrável: ombreira direita ao leito do rio Ipanema e da estaca E2 a E5, próximo a ombreira esquerda. A espessura desses solos é bastante variável, sendo mais representativa no primeiro segmento, onde atingem expressivos 7,60 e 8,0 m, respectivamente. O solo residual

apresenta granulometria areno-siltosa, coloração variável e varia de pouco compacto a compacto. O solo de alteração é predominantemente silte arenoso e apresenta-se medianamente compacto a compacto.

Ao longo do leito do rio Ipanema estão presentes depósitos de aluviões formados por areia média a grossa, mal selecionada, e com a presença de fragmentos de rocha (SMV-04).

A Figura 4 mostra o mapa geológico do eixo barrável e suas proximidades.

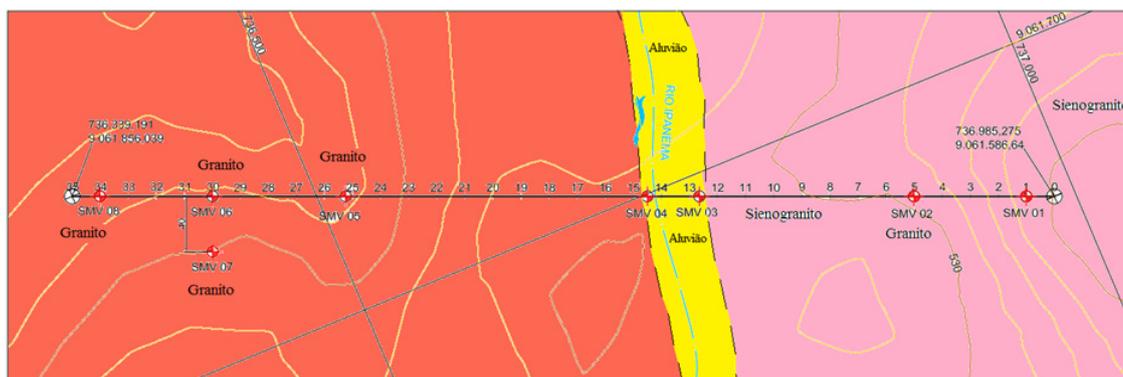


Figura 4 – Mapa Geológico do Eixo Barrável e suas Proximidades.

Quanto aos principais parâmetros geotécnicos, observa-se que o maciço rochoso apresenta um grau de alteração inserido predominantemente nas classe A1 a A2, ou seja, rocha são a pouco alterada. A maior alterabilidade está condicionada ao seu comportamento estrutural. Quanto ao grau de fraturamento predominam as classes F1 a F2 na ombreira esquerda e F3 a F5 na ombreira direita. Assim sendo, o maciço varia de pouco a extremamente fraturado (conforme ABGE, 1998), o que assinala a necessidade de um acompanhamento criterioso durante a execução das injeções exploratórias na ombreira direita. Os ensaios de perda d'água indicam que o maciço rochoso possui uma permeabilidade baixa e uma condutividade hidráulica gradando de H2 a H3 (baixa a média), estando diretamente relacionada ao número de fraturas/metro linear.

5 | ANÁLISE DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS DE LABORATÓRIO

5.1 Material de Empréstimo de Solo

Após realização de ensaios de caracterização, os solos estudados para material de empréstimo foram classificados no Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS.

Na Jazida 01 foram realizados 9 poços de inspeção, dos quais 6 foram ensaiados. Os solos são classificados essencialmente como areias argilosas (SC) e areias siltosas (SM).

Em geral, estes tipos de solos, principalmente as areias argilosas (SC), são indicados para utilização em núcleos de barragem de terra, por apresentarem alto teor de finos, que conferem ao solo, baixa permeabilidade e pela sua boa trabalhabilidade. É recomendável pela impermeabilidade e ângulo de atrito favorável à estabilidade. A Tabela 3 apresenta o resumo dos ensaios de caracterização desta jazida.

Os ensaios de compactação (Proctor Normal) apresentaram valores de umidade ótima entre 11,56 e 15,50% (média = 13,47% e Desvio Padrão = 1,34) e peso específico máximo entre 1,82 e 1,89 g/cm³ (média = 1,85g/cm³ e Desvio Padrão = 0,02). A umidade média do solo nesta jazida foi de 3,81% e a massa específica dos grãos de 2,62 g/cm³. Os ensaios de permeabilidade realizados nas amostras PJ1-02, PJ1-04, PJ1-07 e PJ1-09, apresentaram um valor médio de 1,98 x 10⁻⁶ cm/s, característico de siltes e argilas e compatível com material de núcleo de barragem.

Ensaio especiais de pressão de expansão e expansão livre realizados nas amostras PJ1-04 e PJ1-09 mostraram deformações de 6,7 e 1,4%, respectivamente, sendo a expansão da amostra PJ1-04 considerável. As pressões de expansão obtidas foram: 15,0kPa e 10,0kPa para as amostras PJ1-04 e PJ1-09. Desta forma, os resultados obtidos para a amostra PJ1-04 não são preocupantes, dado que a pressão de expansão associada é facilmente combatida pelo peso próprio da barragem.

Amostras	Compactação		Consistência			Granulometria				Classificação do solo
	W _{ót} (%)	γ _{dmáx} (g/cm ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedreg (%)	
PJ1-02	15,50	1,82	30,25	20,59	9,66	10,50	21,00	44,48	24,02	SC
PJ1-03	13,95	1,84	33,89	21,81	12,08	10,60	18,90	36,12	34,38	SC
PJ1-04	13,85	1,85	39,94	22,91	17,03	17,80	19,30	35,06	27,84	SC
PJ1-05	12,54	1,84	47,63	25,24	22,39	17,50	25,00	39,38	18,12	SC
PJ1-07	13,41	1,88	NL	NP	-	7,50	21,50	60,04	10,96	SM
PJ1-09	11,56	1,89	NL	NP	-	7,20	16,50	45,70	30,60	SM

Tabela 3. Quadro Resumo com Resultados dos Ensaio de Caracterização (Jazida 01).

Relativamente à atividade da fração argilosa, avaliada pelo Índice de Plasticidade e pela Percentagem de Argila, verificou-se que a grande maioria das amostras apresentou atividade baixa ou normal, não apresentando indícios de argilo-minerais expansivos. Os ensaios para avaliação da dispersão dos solos, através de ensaio químico, realizados nas amostras PJ1-04 e PJ1-09 não demonstraram tendência de comportamento dispersivo.

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros da coesão e do ângulo de atrito obtidos pelo ensaio triaxial não consolidado e não drenado e a Tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros da coesão e do ângulo de atrito obtidos pelo ensaio de cisalhamento direto.

Jazida	Inspeção	Coesão(kPa)	Ângulo de Atrito
Jaz. 01	PJ1-04	47	27°
Jaz. 01	PJ1-09	33	27°

Tabela 4. Resultados dos Ensaio Triaxiais.

Jazida	Inspeção	Coesão(kPa)	Ângulo de Atrito
Jaz. 01	PJ1-04	57	34°
Jaz. 01	PJ1-09	48	34°

Tabela 5. Resultados dos Ensaio de Cisalhamento Direto.

5.2 Material de Empréstimo de Areia

Na jazida de areia estudada (Jazida 02) foi encontrada uma areia de granulometria de média a grossa, com pouca matéria orgânica. A presença da fração cascalho é relativamente alta, com índice de 31% na amostra analisada. Enquanto que a menor concentração é da fração areia fina, com índice 1,1%. Os grãos se mostram angulosos, o que sugere um transporte curto, ou seja, proximidade da rocha fonte.

Quartzo, feldspatos, biotita, turmalina e óxidos foram os minerais encontrados nas frações analisadas, juntamente com fragmentos líticos. Em todas as frações observa-se a predominância de quartzo, com índices acima de 50%, com os feldspatos como segundo dominante. A biotita é pouco representada, sendo que aparece em maior quantidade, principalmente na fração areia fina. A turmalina varia entre 5 a 10% e os opacos até 5% em algumas frações de areia.

No caso de uso como agregado miúdo em concreto, este material apresenta grande potencial de uso. As amostras ensaiadas na Jazida 02 apresentaram massa específica aparente média de 1,49g/cm³ e massa específica absoluta de 2,50g/cm³. A permeabilidade média das amostras foi de 1,3x10⁻²cm/s.

A areia além de ser inócua, sua granulometria é bem adequada para uso em concreto pois o material apresenta uma boa seleção granulométrica onde 97,40% encontra e na faixa entre 2,4 e 0,15mm além de praticamente encontrar-se ausente de material deletério e matéria orgânica. A permeabilidade obtida também indica um bom material para filtro, caso seja necessário.

5.3 Material de Empréstimo de Rocha

Segundo apreciação petográfica, a amostra retirada da Jazida 03, trata-se de uma rocha metaígneia de textura compacta, granulação grossa e dureza alta, sendo uma rocha fanerítica de coloração rósea, holocristalina (composta totalmente por cristais) e apresentando um índice de cor 0-30 (leucrática). Mineralogicamente é composta por minerais silicáticos, representados por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e biotita a qual se destaca como mineral máfico dominante. Em amostra de mão se observa a presença de planos de foliação definidos pela biotita.

Quanto a forma dos grãos, quando britado apresenta-se com forma semi-cúbica subanguloso com esfericidade próxima a unidade, o que qualifica o material para uso

como brita, desde que a usina seja adequada ao mesmo. Sugere-se o uso de usina com britador cônico bem regulado, capaz de melhorar ainda mais a esfericidade do material brita.

A amostra de rocha (Jazida 03) analisada possui resistência à compressão simples alta sem restrições para utilização como agregado graúdo. O resultado do ensaio de abrasividade Los Angeles indica tratar-se de uma rocha fresca, de boa qualidade resistiva ao desgaste Los Angeles.

De acordo com os resultados dos ensaios de determinação de índices físicos realizados conclui-se que os índices físicos apresentam valores de massa específica adequados para utilização como agregado graúdo e índices de porosidade e absorção variando de baixo a mediano o que permite um bom agulhamento do cimento. É recomendável a adição de aditivo (metacaulim e/ou uso de cimento pozolânico ou semelhante) a fim de reduzir a zero a probabilidade de reatividade álcalis-agregado quando utilizado como agregado graúdo em concreto.

6 | CONCLUSÕES

O maciço rochoso ao longo do eixo barrável apresenta boa condição como suporte de carga, boa condição mecânica, boa condição de estanqueidade e boa resistência ao efeito de erosão causado principalmente pela água.

As características de deformabilidade do maciço rochoso são boas para qualquer tipo de barragem a implantar, desde que se retire a aluvião e o solo de alteração da rocha.

Os solos de empréstimo são viáveis tecnicamente e satisfatórios em termos de volume disponível para utilização em aterros, sendo a maioria das amostras classificadas como SC (areia siltosa) segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS. Tanto o material arenoso como o material pétreo apresentaram características satisfatórias para aplicação filtros e concretos, contudo é recomendável a utilização de aditivos, por forma a prevenir possíveis reatividades (RAA).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a TECHNE Engenheiros Consultores e a SEINFRA/PE.

REFERÊNCIAS

ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1998. **Geologia de Engenharia**. ABGE/FAPESP/CNPq. São Paulo, 576 p.

ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1999. **Manual de sondagens. Boletim nº 3**, - 4ª Edição. São Paulo, 73p.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1977. **Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, VIII, Campina Grande, 363-391 p.**

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2005. **Diagnóstico do Município de Venturosa.** Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado de Pernambuco.

MOREIRA FILHO, J.C.C. 2011. **Modelagem geográfica tridimensional na bacia hidrográfica do rio Ipanema, uma comparação entre os métodos de triangulação e inverso do quadrado da distância com uso de SRTM.**

STRECKEISEN, A.L. 1976. **Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt. Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte. H.1, 1 – 15.**

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