



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	Enfoques e possibilidades para a engenharia geotécnica [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. 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 1. Geologia de engenharia. 2. Mecânica do solo. I. Tullio, Franciele Braga Machado. CDD 624.15136
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

COMPARAÇÃO E PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL (UCS) DE ROCHAS ARENÍTICAS TURBIDITICAS DAS FORMAÇÕES SANTOS, BACIA DE SANTOS, BRASIL E DA FORMAÇÃO CHICONTEPEC, BACIA DE CHICONTEPEC, MÉXICO

Claudia Martins Bhering Dominoni

COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, claudia.dominoni@poli.ufrj.br

Anna Laura Lopes da Silva Nunes

COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, alaura@coc.ufrj.br

Claudio Rabe

UFF, Rio de Janeiro, Brasil, claudiorabe@hotmail.com

Gilmara Alexandre Felipe da Silva

COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, E-mail gilalfel@gmail.com

Cleverson Guizan Silva

UFF, Rio de Janeiro, Brasil, cguizan@id.uff.br

RESUMO: A resistência à compressão uniaxial (UCS) é um dos parâmetros geomecânicos mais importantes para a predição da pressão de colapso em projetos de estabilidade de poços petrolíferos. Resultados das Interpretações sísmicas 3D na Bacia de Santos identificaram a presença de rochas vulcânicas intrusivas similares ao que se apresentaram na Bacia de Chicontepec no México, indicando similaridade de deposição turbidítica entre as bacias. Os problemas de instabilidade do poço identificados durante a perfuração na formação brasileira do pós-sal, como eventos de poços estreitos, excessos de cascalhos e aprisionamento de ferramentas de perfuração, podem ser

mitigados através da construção de um modelo geomecânico. A pouca disponibilidade de dados de laboratório, medições in situ e perfis geofísicos, fazem com que esta tarefa seja desafiadora, e correlação entre bacias seja uma opção para construção dos primeiros modelos geomecânicos. O objetivo do presente estudo é o utilizar e desenvolver correlações semi-empíricas usando os perfis de densidade, acústica, e de porosidade e parâmetros elásticos (tanto de medições laboratoriais quanto de perfis) disponíveis na Bacia de Chicontepec e Santos para avaliar a representatividade da resistência à compressão uniaxial (UCS) na Bacia de Santos. Uma extensa campanha de laboratórios (ensaio ultrassônico, ensaio de resistência à tração brasileira e ensaios triaxiais) foi realizada na formação superior de turbidito de Chicontepec (formação C) para avaliar e calibrar as correlações geomecânicas propostas. Os resultados do modelo de resistência à compressão uniaxial na formação Santos, indicam valores médios de UCS em torno de 30 MPa, similares aos valores identificados na formação Chicontepec. Além disso, os valores médios de porosidade e de tempo de trânsito também convergem entre as formações. Dessa forma, é verificada certa semelhança no comportamento geomecânico dessas bacias, podendo essas serem análogas. Neste artigo será apresentada a metodologia

proposta para desenvolver uma nova correlação para estimar UCS da formação Santos com base no tempo de transito.

PALAVRAS-CHAVE: Reservatório Arenítico Turbidítico, Formação Chicontepec, Formação Santos, Arenito, Resistência à Compressão Uniaxial.

1 | INTRODUÇÃO

A maioria dos reservatórios de hidrocarbonetos ao redor do mundo são formados por turbiditos e, com isso, as indústrias petrolíferas tem incentivado grandes pesquisas buscando em entender melhor o comportamento geomecânico desses sistemas durante a exploração e perfuração. Atualmente, uma especial atenção tem sido dada para esses sistemas de arenito turbidítico que estão presentes na Bacia de Chicontepec (México) e Bacia de Santos (Brasil) (Figura 1). A Bacia de Santos é essencialmente marítima e se estende desde o litoral sul do estado do Rio de Janeiro até o norte do estado de Santa Catarina, abrangendo uma área de cerca de 352 mil km² até a cota batimétrica de 3000 m. A Bacia Chicontepec (Formação Chicontepec) está localizada à nordeste da Cidade do México, cobrindo uma área de cerca de 3.800 km² nos estados de Veracruz, Puebla e Hidalgo.



Figura 1. Localização das Bacias de Santos (Brasil) e Chicontepec (México).

A resistência à compressão uniaxial (UCS) é o parâmetro chave nos critérios de ruptura adotados para avaliação da estabilidade ao longo do poço. A utilização de correlações de UCS é, frequentemente, a única maneira de estimar a resistência e de extrapolar por toda uma formação, devido à ausência ou pouca disponibilidade de amostras de rocha para os testes laboratoriais. As relações mais típicas determinam

a resistência à compressão uniaxial com resultados do tempo de trânsito, do módulo de Young e da porosidade de análises de perfis geofísicos (Chang et al., 2006). A utilização de correlações empíricas de UCS costumam ser desenvolvidas para estimar a resistência em regiões específicas necessitando, portanto, de calibração, caso venham a ser utilizadas em outras áreas e, por isso, é importante sua validação com os resultados de ensaios mecânicos de laboratórios. Porém, na ausência de amostras para a calibração, utiliza-se uma correlação empírica com base nas propriedades físicas mensuráveis, sendo de extrema importância entender as características do modelo geológico e a sua faixa de aplicabilidade antes de utilizá-las.

Devido a recente exploração em águas profundas no Brasil, ainda há poucos estudos geomecânicos na Bacia de Santos. Em contrapartida, no México, a Bacia de Chicontepec é explorada desde muitos anos e apresenta muitas informações sobre instabilidade de poço e ineficiente fraturamento hidráulico. Por essa razão, o estudo no arenito turbidítico da Bacia Chicontepec é de grande interesse econômico, visto que ele pode ser considerado um análogo do pós-sal brasileiro, onde a presença de óleo e gás também tem sido identificada e, além disso, trata-se um prospecto geológico, de perfuração e completação com riscos operacionais.

Dessa forma, esta pesquisa propõe relações empíricas de resistência em função do tempo de trânsito e da porosidade para as Bacias de Chicontepec e Santos com base nas correlações presentes na literatura, avaliando os resultados com as medidas *in situ* e laboratório existentes, para, então, comparar geomecanicamente essas duas bacias.

2 | GEOLOGIA

A Bacia Chicontepec é formada por sedimentos turbidíticos submarinos derivados da Sierra Madre Oriental e é composta principalmente de alternância de folhelhos e arenitos em finas camadas (Rabe & Ortiz- Ramirez, 2010).

As rochas de reservatório são arenitos de granulação fina a média do Paleoceno (das formações Chicontepec Inferior e Chicontepec Médio) e do Eoceno Inferior (da Formação Chicontepec Superior) que representam cerca de 30% do preenchimento da bacia e que são provenientes de sistemas de depósitos turbidíticos cíclicos de leques submarinos. Eles apresentam uma alta variação em profundidade das características petrolíferas, tais como: porosidade, permeabilidade e cimentação. Esses arenitos possuem porosidade intergranular que pode variar de 5 a 19%, notando que as rochas são menos cimentadas e, conseqüentemente, mais porosas próximas à borda dos paleo-leitos (Cuevas, 1979; Silva, 2013).

Pena et al. (2009) realizaram um levantamento sísmico 3D na área Amatitlán, que compreende a parte norte da bacia, a oeste de Tuxpan e Veracruz, onde os

resultados obtidos para os turbiditos do Paleoceno nas profundidades mais rasas não foram satisfatórios, devido à caótica natureza deposicional da região e à presença de rochas vulcânicas rasas.

A Bacia de Santos é uma bacia sedimentar de margem divergente localizada na plataforma continental brasileira, formada pela abertura do Atlântico Sul, que se iniciou no Cretáceo Inferior. Pereira & Macedo (1990) destacam que as principais reservas petrolíferas correspondem às acumulações descobertas em calcarenitos oolíticos da Formação Guarujá e em arenitos turbidíticos do Membro Ilhabela. Também indicam como reservatórios os arenitos costeiros/marinhos rasos da porção inferior da Formação Juréia; os arenitos continentais/marinhos da porção superior da Formação Juréia; os arenitos turbidíticos da porção médio-inferior da Formação Santos (águas profundas); e os arenitos turbidíticos terciários da Formação Marambaia (águas profundas).

Os turbiditos das Formações Santos/Juréia ocorrem principalmente na porção central e norte da bacia e apresentam intervalos com porosidades superiores a 15% (calculadas de perfis de densidade), mesmo em profundidades maiores que 4.000 m (Chang et al., 2008).

Na parte norte da Bacia de Santos, junto ao Alto de Cabo Frio, ocorrem feições vulcânicas do Cretáceo Superior (notadamente na Bacia de Santos) e do Terciário (na direção da Bacia de Campos), formando cones vulcânicos e diversas fácies vulcanoclásticas (Mizusaki e Mohriak, 1992; Mohriak, 2003). Os modelos de acumulações da Bacia de Santos em arenitos turbidíticos são apresentados Magoon & Beaumont (1999), onde têm-se: o membro Ilhabela (arenitos turbidíticos do Neo-Turoniano – Eo-Santoniano), o Senoniano (turbiditos do Maastrichtiano – Campaniano) e a formação Marambaia (Arenitos Turbidíticos Terciários).

3 | ESTUDO DE CASO

A operadora PEMEX, México, disponibilizou os dados dos campos *onshore* de Agua Fria e Corralillo da Formação Chicontepec, sendo fornecidos os ensaios de laboratórios mecânicos (triaxiais e brasileiro), as análises petrográficas, as informações da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e os dados das perfilagens. Nas análises de perfilagem, foram considerados os dados de um poço do Campo de Agua Fria, no intervalo de profundidade correspondente a 1.004 m até 1.900 m, onde foram detectadas camadas e lentes de arenito ao longo dessa profundidade.

Os dados utilizados para as análises das propriedades geomecânicas da Bacia de Santos foram avaliados através de informações de relatórios e de perfilagem de poços fornecidos pela ANP (Agência Nacional do Petróleo). A perfilagem escolhida se situa a 180 km da costa, no Campo de Merluza com 130 m de lâmina d'água. O intervalo da perfilagem do poço da Bacia de Santos limita-se a 1.377 até 4.452 m de

profundidade, atravessando diversas formações, como as formações: Marambaia, Santos, Itajaí e parcialmente Guarujá. Nesse estudo, evidenciou-se apenas os resultados da perfilagem da Formação Santos (de 1.850m até 4.280m), visto que essa é a formação predominante na bacia e, portanto, nas análises do reservatório em geral.

3.1 Mineralogia

O exame de MEV da Bacia de Chicontepec revela que os grãos detríticos são compostos de quartzo, plagioclásio feldspático, feldspato potássico, grãos de calcário, fragmentos líticos, além de fósseis e microfósseis e traços de glauconita. Os grãos detríticos são geralmente sub angulares e angulares indicando um transporte curto antes da deposição, também evidenciado pela presença de fragmentos líticos (Silva, 2015; Dominoni, 2015).

A análise petrográfica de amostras de um poço da Bacia de Santos mostram as características de um arenito com grãos finos e médios e com fragmentos de areia grossa, os grãos são subangulares e a composição dos detritos identificados são: quartzo, feldspato e lítico. A fração lítica apresenta fragmentos básicos vulcânicas rochosas e fragmentos de rochas sedimentares metamórficas e raras. A cimentação comum é de calcita e de clorita. Esta associação de rocha é compatível com a composição do subsolo Pré-Cambriano e o vulcanismo básico na Bacia de Santos.

3.2 Porosidade

Na Bacia de Chicontepec, o valor médio encontrado para a porosidade dos arenitos ($30 < GR < 60$) através da perfilagem foi de 13% (Figura 2). Esse resultado é semelhante ao valor médio de 14,2% obtido nos ensaios de laboratório por Silva (2013).

O perfil de porosidade da Bacia de Santos foi elaborado com base nos ensaios de porosidade realizado em diversas profundidades nas amostras do poço e está apresentado na Figura 2, onde obteve-se uma porosidade média de 18,2% do perfil e 16,0% na formação Santos.

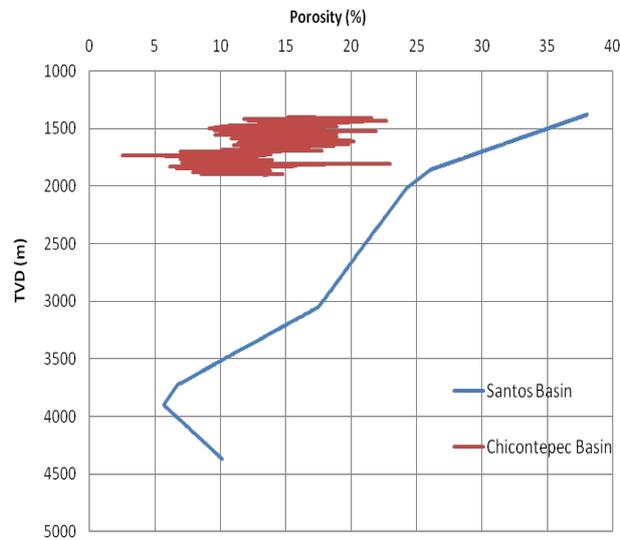


Figura 2. Localização das Bacias de Santos (Brasil) e Chicontepec (México) (Dominoni, 2015).

De acordo com os valores médios de porosidade obtidos pela perfilagem e pelas análises petrográfica, petrofísica e de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), pode-se observar que a porosidade média da Formação C é relativamente próxima à da Formação Santos, mostrando a mesma tendência, principalmente, no intervalo de 2.700m à 3.700m de profundidade, cuja diferença encontrada no valor da porosidade das formações C e Santos foi de 3% (Dominoni, 2015).

3.3 Tempo de trânsito

O tempo de trânsito compressional é utilizado para estimativa da porosidade, das propriedades de compressibilidade, da resistência mecânica, das constantes elásticas; para a detecção de famílias de fraturas naturais; e como apoio à sísmica para elaboração do sismograma sintético.

Na Bacia de Chicontepec, o valor médio do tempo de trânsito obtido pela perfilagem da formação C foi de 82,52 ms/ft (Figura 3).

A partir dos dados de perfilagem da Bacia de Santos, determinou-se que o tempo de trânsito médio ao longo de todo o perfil foi de 87,66 ms/ft e de 82,07 ms/ft na formação Santos (Figura 4).

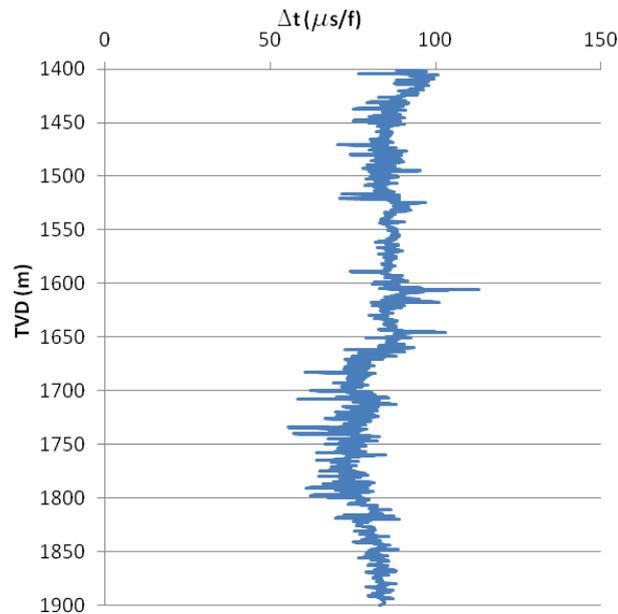


Figura 3. Tempo de trânsito vs. Profundidade na Bacia de Chicontepec (Dominoni, 2015).

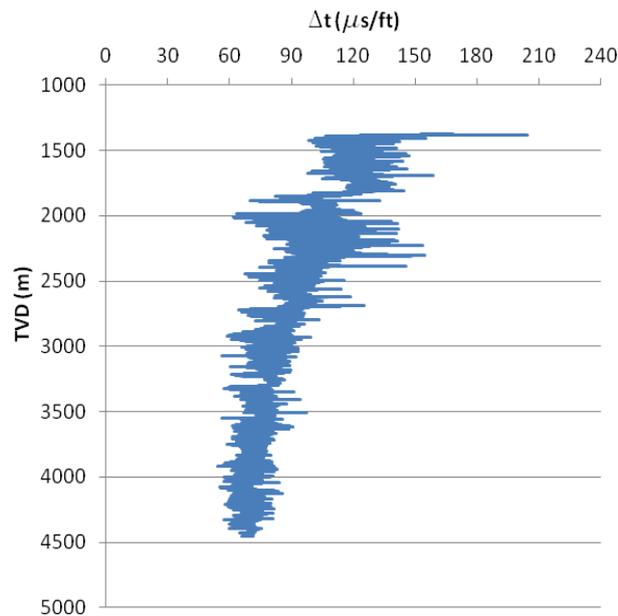


Figura 4. Tempo de trânsito vs. Profundidade na Bacia de Santos (Dominoni, 2015).

Assim como observado na porosidade, a mesma tendência de comportamento ocorre entre as duas bacias, principalmente no intervalo de 2.700m à 3.700m da Formação Santos. Isto pode indicar a possibilidade das duas formações serem constituídas do mesmo tipo de material (matriz).

4 | ANALISE DOS RESULTADOS

A seguir estão apresentadas as análises do estudo.

4.1 Parâmetros de Resistência

Através do critério de Mohr-Coulomb, obteve-se a envoltória de resistência considerando o resultado dos ensaios triaxiais e dos ensaios brasileiros em de

arenitos cinza com grãos de quartzo e feldspato, matriz de argila calcária e com forte alteração pela presença de hidrocarbonetos na Bacia de Chicontepec. Os ensaios brasileiro foram realizados em cinco amostras cilíndricas com uma razão entre comprimento e diâmetro igual a 2. Os ensaios triaxiais foram realizados em três amostras extraídas de um mesmo poço na formação C, nas quais aplicou-se uma tensão confinante de 8,27 MPa.

Os resultados dos ensaios laboratoriais indicam valores de: coesão igual a 7,98 MPa e de ângulo de atrito igual à 39,37°. O ensaio brasileiro determinou uma resistência à tração de -2,71 MPa (Dominoni, 2015).

4.2 Resistência à Compressão Uniaxial (UCS)

Neste trabalho, determinou-se uma correlação mais realista e conservativa em função do tempo de trânsito para representar a resistência do arenito da Bacia de Chicontepec com base nos resultados mecânicos de laboratório e utilizando a correlação da Costa do Golfo do México reportada por Chang et al. (2006). Outras relações empíricas também foram avaliadas (McNally, 1987; Bradford *et al.*, 1998; da empresa Baker Hughes (GMI-Jizba-E) e a equação de Silva, 2013). Porém essas equações forneceram valores de resistência para o maciço rochoso superiores ao definido pelos ensaios de laboratório, cuja resistência à compressão uniaxial determinada a partir da envoltória de resistência foi igual a 33,7 MPa.

Devido à ausência de ensaios de laboratório na Bacia de Santos, as análises referentes à resistência à compressão uniaxial consideraram as seguintes relações empíricas propostas na literatura (Tabela 1): McNally (1987), Bradford *et al.* (1998), da Costa do Golfo do México reportada por Chang et al. (2006). Além disso, também foram consideradas as equações da empresa Baker Hughes (GMI-Jizba-E) e a equação proposta por Silva (2013) e Dominoni (2015).

UCS (MPa)	Região de origem	Referência
$1,4138 \cdot 107 \Delta t^3$	Costa do Golfo	CHANG et al. (2006)
$1200 \exp(-0,036 \Delta t)$	Austrália	MCNALLY (1987)
$2,28 + 4,1089 E_e$	Diversificada	BRADFORD et al. (1998)
$25,29 \exp(4,14 \cdot 10^{-7} E_e)$	Não especificada	GMI-Jizba-E - Baker Hughes
$859,37 \exp(-0,031 \Delta t)$	Bacia de Chicontepec	SILVA (2013)
$549,88 \exp(-0,037 \Delta t)$	Bacia de Chicontepec	DOMINONI (2015)
E _e - Módulo de Young estático (GPa); Δt - Tempo de trânsito da onda (ms/ft).		

Tabela 1. Correlações empíricas existentes e propostas para determinar UCS.

As comparações entre as bacias de Santos e Chicontepec e entre as formações C e Santos através do tempo de trânsito vs. as correlações de UCS, apresentadas na Tabela 1, estão apresentadas nas Figuras 5 e 6, respectivamente. As mesmas comparações foram feitas considerando a porosidade (Figura 7 e 8).

Através desses gráficos (Figura 6- Figura 8) é possível observar que a aplicação das equações de Chang et al. (2006) e a equação proposta por Dominoni (2015) em Chicontepec e Santos fornecem valores mais baixos para UCS e seguem a mesma tendência de comportamento.

O uso da equação proposta para a Bacia de Santos forneceu valores de UCS muito próximos aos valores da Bacia de Chicontepec (Tabela 2). Da mesma forma, os valores também são semelhantes para o intervalo de 2.700m até 3.700m de profundidade da Formação Santos. Isto pode ser observado na Tabela 2, onde as médias obtidas para a Formação Santos e para toda a Bacia de Santos são próximas à média de Chicontepec. Estes aspectos reforçam a premissa de semelhança em termos de resistência das duas bacias, Chicontepec e Santos; e das formações C e Santos. Nesta condição a equação proposta por Dominoni (2015) pode ser também a mais representativa para a Bacia de Santos.

Correlação		UCS (MPa)		
		Bacia de Chicontepec	Bacia de Santos	
DOMINONI (2015)	Mínimo	8,36	0,29	3,32
	Máximo	70,43	73,61	73,61
	Média	26,77	27,38	30,96
	Desvio Padrão	7,05	16,99	15,62

Tabela 2. Correlação proposta para determinar UCS.

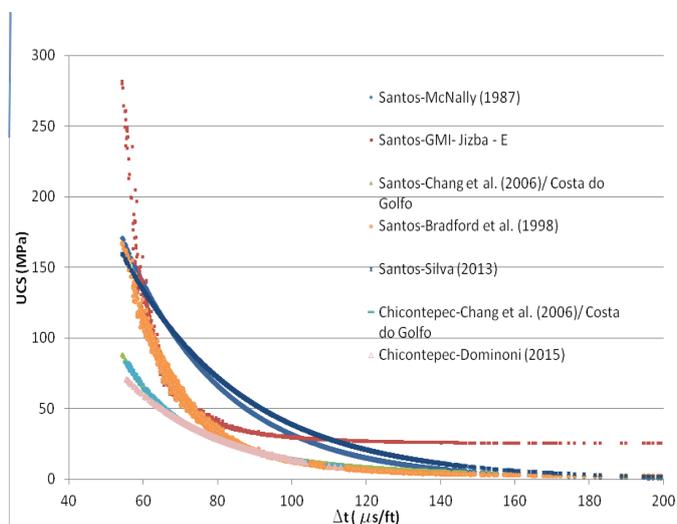


Figura 5. Comparação entre a Bacia de Santos e a Bacia de Chicontepec através do tempo de trânsito vs. UCS (Dominoni, 2015).

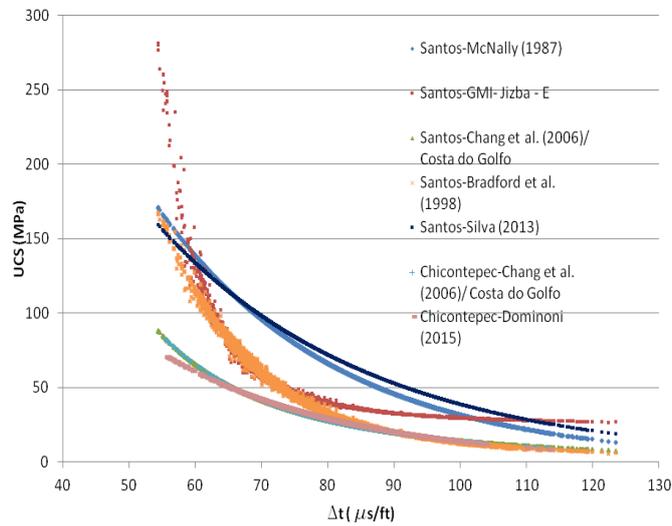


Figura 6. Comparação entre a Formação Santos (Bacia de Santos) e a Formação C (Bacia de Chicontepec) através do tempo de trânsito vs. UCS (Dominoni, 2015).

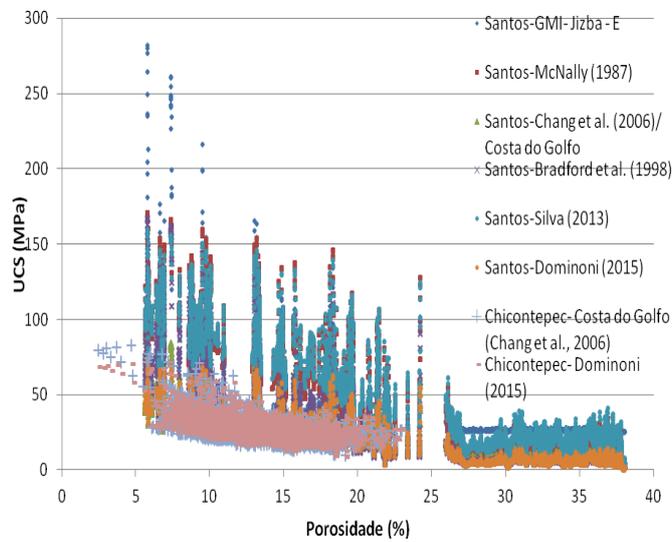


Figura 7. Comparação entre a Bacia de Santos e a Bacia de Chicontepec através da porosidade vs. UCS (Dominoni, 2015).

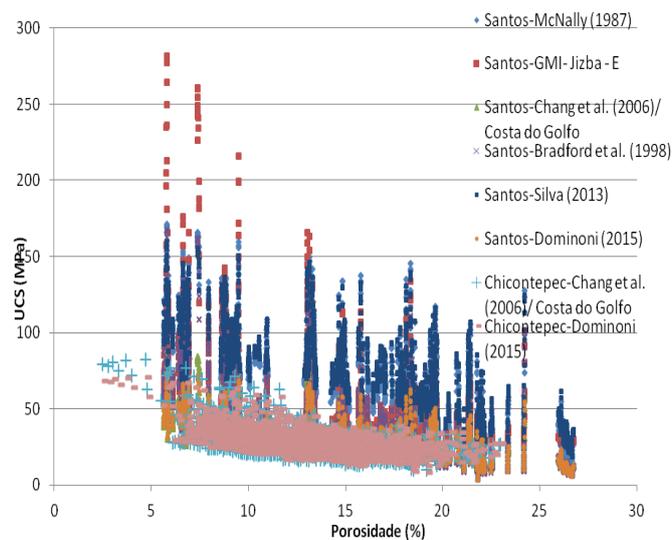


Figura 8. Comparação entre a Formação Santos (Bacia de Santos) e a Formação C (Bacia de Chicontepec) através da porosidade vs. UCS.

5 | CONCLUSÃO

Os reservatórios da Bacia de Chicontepec e da Bacia de Santos são formados por arenitos turbidíticos com presença de material vulcânico e apresentam no seu arcabouço quartzo, feldspato e fragmentos líticos.

Dentre as correlações analisadas da resistência à compressão (McNally, Bradford, GMI-Jizba-E, Chang et al. e Silva), a correlação apresentada por Chang et al. (2006) para a Costa do Golfo do México apresentou resultados mais consistentes com o do ensaio de laboratório para a Bacia de Chicontepec. De modo que uma expressão mais representativa do comportamento de resistência do material dessa bacia foi desenvolvida com o objetivo de facilitar a exploração de outros poços em regiões próximas a essa bacia. A correlação proposta por Dominoni (2015) para essa bacia em função do tempo de trânsito fornece um valor médio de UCS de 26,77 MPa (Tabela 2).

Para a Bacia de Santos foram aplicadas as mesmas correlações para calcular a resistência à compressão uniaxial da rocha do reservatório, porém não foi possível validá-las, visto que não foram disponibilizados ensaios de laboratório para a pesquisa.

A Formação Santos representa 81% de toda a perfilagem do reservatório de arenito, sendo a formação predominante nas análises da Bacia de Santos.

As seguintes observações quanto à comparação dos reservatórios das Bacias de Santos e de Chicontepec:

- I. No intervalo de 2.700m a 3.700m de profundidade, ou seja, no intervalo representado pela Formação Santos, a porosidade e o tempo de trânsito tiveram boa concordância com os valores encontrados para a Formação C. De modo que ambos apresentaram porosidade, de forma geral, decrescente com a profundidade; e o tempo de trânsito na faixa de 55 à 100 ms/ft;
- II. A porosidade média na Bacia de Chicontepec é 13% e na Bacia de Santos é 18,2%;
- III. O maciço rochoso das bacias apresenta resistência crescente com a profundidade;
- IV. Os valores médios de resistência à compressão uniaxial, utilizando a relação proposta nessa pesquisa, apresentam ótima convergência entre as Formações Santos e Chicontepec. Desta forma, se adotada ou comprovada à analogia entre essas bacias, essa equação pode ser empregada.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a PEMEX e a ANP por fornecer os dados necessários para a realização dessa pesquisa e a permissão para publicar este artigo.

Além disso, gostaríamos de agradecer a CAPES e a CNPq pela bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

- Bradford, I.D.R., Fuller, J., Thompson, P.J., Walsgrove, T.R., 1998. Benefits of assessing the solids production risk in a North Sea reservoir using elastoplastic modeling. *SPE/ISRM Eurock*, Trondheim, Norway, p. 261-269.
- Chang. H.K., Assine, M.L., Corrêa, F.S., *et al.* (2008). Sistemas Petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 38 (2), p.29-46.
- Chang, C., Zoback, M. D., Khaksar, A. (2006). Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks. *J. Pet. Sec an Eng.*, Vol. 51,p . 223-237.
- Cuevas, S.F. (1979). Exploración Petrolera en Sedimentos Terrígenos, *Asistencia Recíproca Petrolera Estatal Latinoamericana*, IMP, México.
- Dominoni, C. M. D. (2015). *Características geomecânicas dos arenitos turbidíticos das bacias petrolíferas de Chicontepec – México e Santos – Brasil*, Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia civil- Geotecnia, COPPE/ UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 252 p.
- Magoon, L.B. & Beaumont, E.A. (1999). Petroleum Systems.In: Beaumont E.A. & Foster N.H. (ed.) *Exploring for oil and gas traps*, AAPG, Treatise of Petroleum Geology,3.1-3.34.
- McNally, G.H. (1987). Estimation of coal measures rock strength using sonic and neutron logs. *Geoexploration*, Vol. 24, p. 381-395.
- Mizusaki, A.M.P., Mohriak, W.U. (1992). Seqüências vulcanosedimentares na região da plataforma continental de Cabo Frio, RJ. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 37, São Paulo, SP, Resumos Expandidos, 2, p.468-469.
- Mohriak,W.U. (2003). Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira *in: Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H Gonçalves (Eds) CPRM, Brasil, São Paulo , Capítulo III, p. 87–165.
- Pena, V., Chávez- Perez, S., Vázquez- Garcia, M., *et al.* (2009). *Impact f shallow volcanics on seismic data quality in Chicontepec Basin*, Mexico, SEG Annual Meeting, October, Houston, Texas, USA.
- Pereira, M.J. & Macedo, J.M. (1990). A Bacia de Santos: perspectivas de uma nova província petrolífera na plataforma continental sudeste brasileira. *Boletim Geociências da Petrobrás*, 4:3-11.
- Rabe, C., Ortiz-Ramirez, J. (2010). *Hydraulic fracture optimization for high deviated wells in na thin turbidites sandstone formation in Soledad Field, Chicontepec Basin, Mexico*, ARMA, 44th US Rock Mec. Symp. And 5th US Canada Rock Mec. Symp., Salt Lake City, UT, USA.
- Silva, G., Rabe, C., Nunes, A.L., Garcia, J.R.E., Prasad, U. (2015). Development of a new correlation based on grain size distribution to estimate sandstone reservoir uniaxial compressive strength. *ISRM Congress 2015*, Montreal, Canada, p. 237
- Silva, G.A.F (2013). *Correlações dinâmico- estáticas de resistência de arenitos do reservatório de Chicontepec- México*, Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia civil- Geotecnia, COPPE/ UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro,

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