



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.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

MELHORAMENTO DE SOLO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO PROCEDENTE DO CEPILHAMENTO RE PAVIMENTOS CCP

Daniel da Silva Gomes

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, Rio Grande do Sul

RESUMO: O presente trabalho busca analisar a alternância do comportamento do solo, utilizando a adição do resíduo de microfresagem (ou cepilhamento) em pavimento de Concreto de Cimento Portland (CCP). O local investigado situa-se na região metropolitana de Porto Alegre/RS. O trecho rodoviário de interesse está situado em solos potencialmente de baixa competência geotécnica. Para o presente estudo, foram utilizadas duas coletas de solo, procedentes de depósitos sedimentares no município de Gravataí/RS (amostra 01 e 02). Os materiais coletados foram submetidos a ensaios de caracterização, e Índice de Suporte Califórnia (ISC). Após a execução destes ensaios, foi determinado o índice de plasticidade (IP) de cada mistura comparando-o com o IP do solo natural. Notou-se que para a amostra 01, houve efetiva redução da plasticidade nas dosagens de 2,5% a 7,5%. Enquanto na amostra 02, a efetiva redução da plasticidade ocorreu com dosagens de 7,5% a 12,5%. A variação do índice de compressibilidade de cada coleta cresceu proporcional a dosagem adicionada de resíduo cepilhado. Para a

amostra 01 ocorreu estabilização na redução do IP a partir da adição 7,5% de material cepilhado e na amostra 02 com 12,5%, assim, foram realizados ensaios de ISC nestas duas condições, sendo comparados com o ISC do solo natural. Verificou-se que o solo da amostra 01 obteve um ganho de aproximadamente 9% ao valor do ISC, enquanto a amostra 02 o ganho foi de 36%. Ocorre também aumento de massa específica do solo. Com a adição, notou-se melhorias importantes, tornando os solos amostrados passíveis de serem qualificados como material de subleito ou mesmo de sub-base.

PALAVRAS-CHAVE: CCP, Cepilhamento, Estabilização, Resíduo, Solo

SOIL IMPROVEMENT WITH ADDED WASTE ADDED FROM GRINDING CCP PAVEMENTS

ABSTRACT: The present work aims to analyze the alternation of soil behavior, using the addition of microfrage residue (or grinding) in Portland Cement Concrete (CCP) pavement. The investigated site is located in the metropolitan region of Porto Alegre / RS. The road section of interest is located on potentially low geotechnical soils. For the present study, two soil collections from sedimentary deposits were used in Gravataí / RS (sample 01 and 02). The collected

materials were subjected to characterization tests, and California Support Index (ISC). After performing these tests, the plasticity index (PI) of each mixture was determined by comparing it with the IP of the natural soil. It was noted that for sample 01, there was an effective reduction of plasticity in the dosages from 2.5% to 7.5%. While in sample 02, the effective reduction of plasticity occurred with dosages from 7.5% to 12.5%. The variation in the compressibility index of each collection increased proportionally to the added dosage of waste collected. For the sample 01 there was stabilization in the reduction of the IP from the 7.5% addition of scraped material and in the sample 02 with 12.5%, thus, ISC tests were performed under these two conditions, being compared with the ISC of the natural soil. It was verified that the soil of sample 01 obtained a gain of approximately 9% to the value of the SSI, while the sample 02 gained 36%. There is also an increase in specific soil mass. With the addition, significant improvements were noted, making the sampled soils eligible for subgrade or even sub-base material.

KEYWORDS: CCP, Grinding, Stabilization, Residue, Soil

1 | INTRODUÇÃO

A expansão populacional na região metropolitana de Porto Alegre/RS gerou aumento do tráfego de curta distância na rodovia BR-290/RS, uma vez que o modal rodoviário é frequentemente utilizado devido sua facilidade de transporte e flexibilidade da capacidade de tráfego. Observa-se uma intensificação do tráfego nos trechos que abrangem os acessos às cidades vizinhas e a capital gaúcha em períodos referente aos horários de pico.

Deste modo, constantemente busca-se opções para proporcionar melhoria na distribuição deste tráfego com a tentativa de criar rotas alternativas. Cita-se neste trabalho como de fundamental importância à elaboração de um estudo de viabilidade para a construção de vias marginais tangenciando a BR-290/RS, no trecho entre a capital e o município de Gravataí.

Os locais de implantação destas vias de acesso, situa-se na região de inundação do delta do Guaíba e de seus rios contribuintes, alternando depósitos sedimentares clásticos variegados. Para utilização como aterro dos solos desta região, deve-se praticar técnicas de estabilização através da adição de cimento, cal, brita, ou o uso de reciclagens, uma vez que estes solos são mecanicamente incompetentes no seu uso direto.

O presente trabalho, introduz uma possibilidade de reciclagem específica do material cepilhado de Pavimento de Concreto de Cimento Portland (CCP), já que pelo menos 17 km da rodovia BR-290 (trecho Osório – Porto Alegre) foi construída pelo método *whitetopping*, havendo, portanto, uma estimativa de 3.600m³ de material se houvesse a utilização da tecnologia de cepilhamento para uma camada em todo o trecho de CCP.

Destaca-se no presente texto a utilização do termo cepilhamento que é tratado

como sinônimo de microfresagem. Ambos, representam uma técnica de restauração de pavimentos de Concreto através da remoção de uma fina camada superficial, que se torna um resíduo.

Dentro deste contexto, foram estudadas algumas dosagens de material cepilhado para que ocorresse a melhoria na estabilidade e resistência dos solos anteriormente citados, visando também ganho sustentável, através da reciclagem direta de resíduos produzidos a partir dos serviços de manutenção e melhoria nos parâmetros relacionados à irregularidade e aderência do pavimento.

O objetivo principal do presente estudo, portanto, visa verificar a redução do índice de plasticidade e o ganho de capacidade de suporte dos solos localizados próximos ao arroio Demétrio da BR-290/RS, através da adição em dosagens controladas do material cepilhado de CCP de trechos da própria rodovia.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização

As coletas de solo foram realizadas junto a planície de inundação do arroio Demétrio, localizado no município de Gravataí/RS, conforme figura 1, destacando dois pontos de coleta (amostra 01 e amostra 02). Nestes locais o nível freático encontra-se praticamente junto a superfície e dependendo do período pluviométrico, tornam-se regiões alagadiças.



Figura 1. Localização dos solos amostrados.

A região da coleta compreende por areias finas a médias, assim como depósitos

siltico-argissolos e intercalações de argilas plásticas. Detendo de uma zona de acumulação de planície lagunar, englobando depósitos aluvionares. A pedologia da região caracteriza por Planossolo Háplico (solo mal drenado encontrado em áreas de várzea). O relevo local é praticamente plano e a cota é próxima ao nível do mar, o que pode apresentar áreas alagadiças em períodos de chuva intensa ou cheias de corpos hídricos.

A escolha da localização das amostras de solo foi fundamentada por ensaios SPT solicitados pela concessionária Triunfo Concepa. Estes foram realizados para reconhecimento do solo no qual abrange o estudo de viabilidade das ruas marginais na Freeway, no município de Gravataí/RS.

O material a ser adicionado nos solos coletados consiste no resíduo gerado pelo cepilhamento realizado no pavimento CCP da rodovia BR-290/RS.

2.2 Solos Amostrados

As amostras de solo desta pesquisa foram coletadas as margens da BR-290/RS sentido litoral capital. A amostra 01 foi coletada a partir da profundidade de 1,80m, próxima ao km 72+500 da rodovia. De acordo com a sondagem SPT realizada, a camada coletada foi classificada como argila siltosa, pouco arenosa de cor variada. Apresenta-se na figura 2 uma porção deste material amostrado determinado como amostra 01.



Figura 2. Amostragem de solo (Coleta da amostra 01).

Outra coleta denominada de amostra 02, foi obtida a partir de 1,20m de profundidade, próxima ao km 72+600 da rodovia. O solo nesta ocasião, foi classificado como argila siltosa, pouco arenosa e de cor cinza, conforme boletim SPT. Na figura 3, pode ser visualizado uma porção do material coletado referente a coleta 02.



Figura 3. Amostragem de solo (Coleta da amostra 02)

Ambas coletas foram armazenadas em recipientes plásticos e lacrados, com objetivo de conservar a umidade in-loco.

2.3 Material Cepilhado

A técnica de cepilhamento decorre da microfresagem do pavimento CCP. Com o objetivo de eliminar as irregularidades e melhorar a aderência do pavimento.

Após o processo de microfresagem do pavimento CCP, o resíduo foi depositado em bacias de sedimentação, construída em sua base com manta geotêxtil filtrante. O procedimento de coleta da amostra foi realizado após sedimentação do material deixando-o relativamente seco. A figura 4 mostra a textura do material cepilhado do CCP.



Figura 4. Bacia de sedimentação do resíduo (A) e Amostragem de solo – Resíduo (B)

2.4 Ensaios Realizados

A caracterização dos materiais utilizados nesta pesquisa foi realizada por ensaios laboratoriais. Os métodos aplicados são discriminados abaixo:

- Teor de umidade do solo (amostras de solo e resíduo);
- Peso específico real dos grãos (amostras do solo e resíduo);

- Análise Granulométrica (amostras de solo e resíduo);
- Limite de Atterberg (amostras de solo e resíduo, e nas misturas de solos com 2,5% a 15% de resíduo);
- Compactação e Índice de Suporte Califórnia (amostra 01 de solo e 7,5% de resíduo, amostra 02 de solo e 12,5% de resíduo).

O material coletado foi submetido a processos de secagem ao ar, com o objetivo de atingir umidade higroscópica a fim de dar segmento aos demais ensaios de caracterização. A preparação do material para que fossem desenvolvidos os ensaios, seguiu principalmente as instruções fornecidas pela norma ABNT NBR 6457/1986.

O peso específico real dos grãos foi determinado a partir do método do picnômetro, conforme a norma ABNT NBR 6508/1984. A partir do resultado deste ensaio foi possível realizar os demais índices obtidos nesta pesquisa.

Para a determinação da dimensão dos grãos pertencentes as amostras desta pesquisa, foi empregada a análise granulométrica na forma de peneiramento e sedimentação conforme a norma ABNT NBR 7181/1984.

O índice de plasticidade, parâmetro de referência nesta pesquisa, representa a diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). Fisicamente representa a faixa de volume de água que se pode adicionar ao solo de modo que se mantenha na condição plástica. Segundo Caputo (1987), quanto maior for o índice de plasticidade maior é a tendência do solo a ser compressível.

O método realizado para a determinação do LL desta pesquisa seguiu as especificações da norma ABNT NBR 6459/1984. Para a determinação do LP utilizou-se as orientações indicadas pela norma ABNT NBR 7180/1984.

Antecedendo a determinação do índice de suporte califórnia (ISC) foi realizado o ensaio de compactação, utilizando energia de proctor normal, seguindo as orientações da ABNT NBR 7182/1986. Enquanto o ISC foi determinado pelas normas DNER M47/64 e ME 129/94.

3 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Ensaios de Caracterização

Após a realização da coleta, foram realizadas em laboratório o ensaio de peso específico real dos grãos, conforme apresentado na tabela 1.

Coletas	Umidade Natural	Peso específico real dos grãos
Amostra 01	17,6%	26,6 kN/m ³
Amostra 02	41,4%	26,8 kN/m ³
Resíduo	5,9%	26,2 kN/m ³

Tabela 1. Dados de umidade natural e peso específico real dos grãos dos materiais

Analisando os resultados obtidos pela granulometria da amostra 01, observa-se pouca quantidade de finos, prejudicando a uniformidade granulométrica desta amostra.

Conforme a classificação granulométrica, nota-se a predominância da fração arenosa, com 73,72%. As demais frações representam: 16,24% de argila, 5,71% de silte e 4,32% de pedregulhos. Desta forma, admite-se que 21,95% desta amostra é constituída por material fino.

Utilizando a classificação HRB-AASHTO, adotado pelo DNER (1996), este material é classificado como A-2-4, para o qual, o comportamento para emprego em subleito é excelente.

Na amostra 02, assim como a amostra 01, também houve predominância de material arenoso, porém percebe-se maior percentual de argila. As percentagens obtidas foram: 33,94% de argila, 10,16% de silte, 53,01% de areia e 2,89% de pedregulhos.

Aplicando a classificação HRB-AASHTO, este solo pertence ao grupo A-7, no qual classifica como solo argiloso. A potencialidade de uso deste material como subleito é definido por ser fraco a pobre, de acordo com esta classificação.

Quanto a granulometria do material cepilhado, as percentagens das frações granulométricas encontradas foram: 10,13% de silte, 83% de areia, e 6,87% de pedregulho. Nota-se que tal material está isento de argilas e sua fração granulométrica é composta predominantemente por grãos de silte a areias finas.

Conforme descrito acima, na figura 5 está apresentado a curva granulométrica representativa do resíduo do material cepilhado e das duas amostras coletadas.

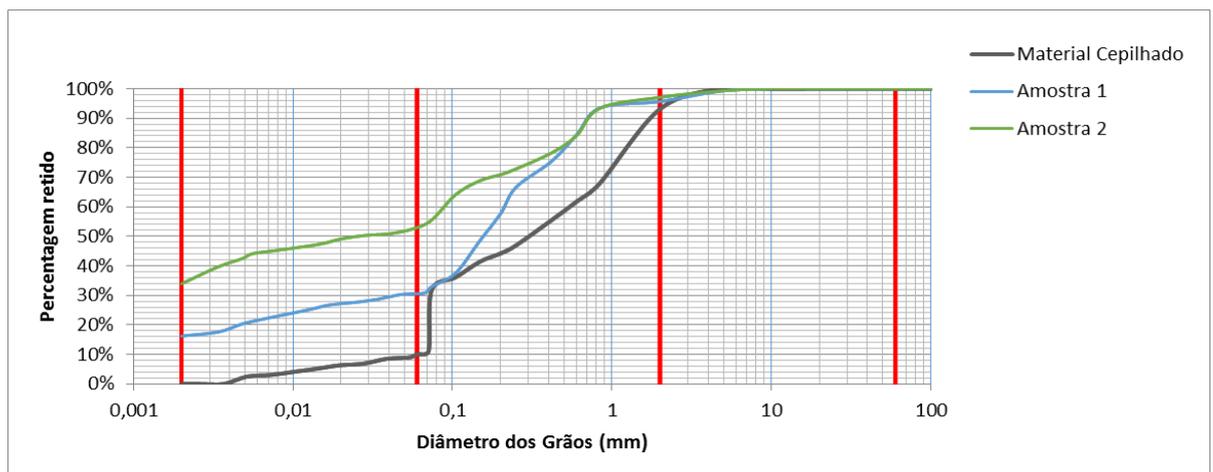


Figura 5. Amostragem de solo (Coleta da amostra 02)

Os parâmetros de LL e limite LP foram obtidos primeiramente utilizando o solo natural. Os demais resultados foram obtidos após a adição controladas de 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 12,5% e 15% do material cepilhado no solo natural da amostra 01 e 02. Estes percentuais foram aplicados em relação ao peso de solo seco.

Na tabela 02 está apresentado a influência do percentual de resíduo quando misturado no solo amostrado 01. Embora o solo natural apresente índice de plasticidade (IP) baixo, nota-se uma redução expressiva em relação ao seu valor absoluto.

Adição do Resíduo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo Natural	31,38	27,06	4,32
2,50%	30,66	27,58	3,08
5,00%	29,25	27,85	1,40
7,50%	29,18	28,07	1,11
10,00%	29,14	28,11	1,03
12,50%	29,07	28,38	0,69
15,00%	29,08	28,53	0,55

Tabela 2. Resultados dos limites de Atterberg com a adição do material cepilhado na amostra 01.

Nos resultados demonstrados na tabela 2, observa-se o baixo IP da amostra natural, reflexo da baixa quantidade de argila presente no material coletado. Sendo assim, a melhoria do solo com a adição, encontra-se em uma percentagem de 5% de material cepilhado em massa, passando de IP=4,3% para IP≈1,2% (representando uma redução de apenas 3%). A partir de 7% de adição, o IP continua reduzindo, no entanto, com menor eficiência.

Como o solo da coleta 02 possui uma quantidade maior de material argiloso, pode ser verificada maior eficiência já que este solo na sua condição natural possui IP=27,86%. Para o solo da coleta 2, portanto, a tabela 03 mostra os resultados da plasticidade do solo por meio da adição do microfresado.

Adição do Resíduo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo Natural	52,17	24,31	27,86
2,50%	50,70	24,62	26,08
5,00%	50,22	24,42	25,80
7,50%	48,22	25,62	22,60
10,00%	44,56	26,09	18,47
12,50%	40,46	27,33	13,13
15,00%	39,95	27,74	12,21

Tabela 3. Resultados dos limites de Atterberg com a adição do material cepilhado na amostra 02

Através destes resultados foi observado que a redução da plasticidade foi expressiva na faixa dos 7,5% aos 12,5% de adição do material cepilhado. Nota-se, com esta composição, uma queda de 25,80% para 13,13% do IP (representando

uma redução superior a 12%).

3.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Com base nos ensaios de caracterização e especialmente com referência na redução do IP com a adição de material cepilhado, foram escolhidas as misturas que estabilizaram os solos coletados para serem submetidos ao ensaio de ISC.

Neste contexto, a amostra 01 obteve estabilização do IP a partir da adição de 7,5% de material cepilhado e na amostra 02 com 12,5%. Nestas condições foram realizados os ensaios ISC, sendo comparados com os resultados obtidos do solo natural.

Para a moldagem dos corpos de prova foi utilizada a energia normal de Proctor com execução de 5 pontos de umidade.

Na figura 6 apresenta-se as curvas resultantes para a determinação do teor de umidade ótima e a densidade máxima dos ensaios realizados.

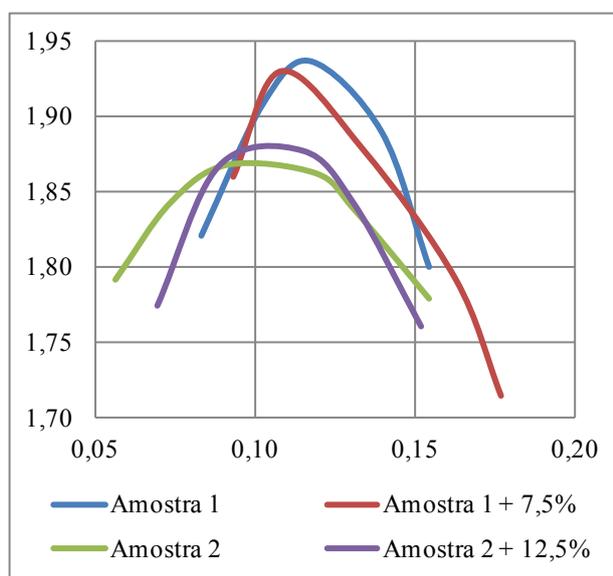


Figura 6. Resultados de Densidade x Umidade

Com os dados obtidos no ensaio de compactação, obteve-se o ISC. A umidade de compactação do material seguiu as apresentadas na tabela 4.

Material	Teor de Umidade
Amostra 01 (Solo Natural)	10,88%
Amostra 01 (+ 7,5% de Resíduo)	10,28%
Amostra 02 (Solo Natural)	11,75%
Amostra 02 (+12,5% de Resíduo)	11,77%

Tabela 4. Umidade ótima em Proctor Normal utilizadas para a determinação de ISC.

Na amostra 01 a adição do resíduo oriundo do cepilhamento proporcionou

aumento do ISC de 19,23% para 21,14%. O que representa em um ganho de 9% no valor do ISC, relacionado com a adição de 7,5% de material cepilhado.

Comparando o ganho obtido nos resultados do ensaio de ISC desta pesquisa, com o valor necessários para o uso como sub-base estabilizada por granulometria, segundo as normas do DNER, nota-se que a mistura da amostra 01 com 7,5% de material cepilhado atende a normativa mínima de 20% em relação do valor do ISC.

Já a mistura realizada para a amostra 02, o ganho no valor do ISC foi de 11,54% para 15,73%. Representado 36% de aumento de ISC com a mistura de 12,5% de material cepilhado no solo natural. Nesta condição, o solo melhorado não pode ser utilizado como sub-base, mas houve melhoria expressiva na possibilidade de uso como material de aterro ou reforço de subleito.

4 | CORRELAÇÕES

Com o objetivo de explanar a análise do melhoramento dos solos desta pesquisa, foram determinadas correlações quanto aos resultados obtidos nos ensaios de caracterização.

Na amostra 01, verificou-se que até 5% de adição do material cepilhado houve redução tanto no LL quanto no IP, com mesma proporcionalidade. O mesmo pode ser visto na amostra 02, no qual o intervalo de 7,5% a 12,5% ocorre a proporcionalidade na redução.

De acordo com Terzaghi e Peck (1967), pode-se correlacionar o LL com o índice de compressibilidade (IC) que é associado com a potencialidade do solo de obter recalque. Averigua-se que o recalque do solo está relacionado proporcionalmente com a adição do microfresado, visto que este material preenche os vazios destes solos, conforme apresentado na figura 7.

Segundo Skempton (1984), pode-se correlacionar o IP com o volume de argila ativa no material amostrado. Classificando o solo amostrado com este método, define-se que o material que possui menor IP (amostra 01) atingiu índice de atividade coloidal igual a 0,27, classificado, portanto, como argila inativa. No entanto para a amostra 02, a qual obteve um índice de plasticidade maior, a atividade coloidal atingiu o valor de 0,82, sendo tendo, portanto, quantidade de argila normal, segundo o autor. Estes parâmetros elucidam a diferença na redução da plasticidade obtida pela adição do material microfresado nas amostras ensaiadas.

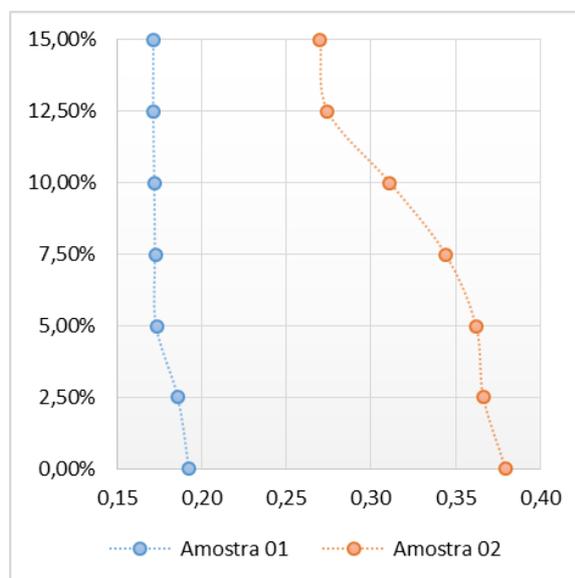


Figura 7. Evolução do IC na amostra 01 e amostra 02.

Outra correlação destacada neste contexto refere-se ao coeficiente de adensamento dos solos. Carrier (1985), correlaciona índices físicos com coeficiente de adensamento que o solo poderá obter. Esta correlação foi aplicada nos resultados obtidos desta pesquisa, resultando que na amostra 01 o material coletado possui classificação de material adensado. Já na amostra 02, apesar do coeficiente de adensamento ser igual a 0,02, este material, possibilita a ocorrência de pequenos recalques durante os anos.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou os ensaios realizados para que fosse possível analisar a estabilidade de solos amostrados, laterais a rodovia BR-290/RS, quando adicionado o resíduo oriundo do cepilhamento do pavimento CCP desta mesma rodovia.

Com o acréscimo de dosagens entre 2,5% e 12,5% do resíduo, tanto na amostra 01 quanto na amostra 02, observou-se uma redução no IP. Esta redução obtida está relacionada com a quantidade de argila do material amostrado.

Na amostra 01 obteve-se estabilização do IP com a adição de 7,5% de material cepilhado, enquanto na amostra 02 foi de 12,5%.

Os ganhos obtidos nas correlações realizadas, indicam que há melhorias no comportamento mecânico com as misturas. Os ensaios mecânicos confirmaram estes dados, apresentando que na amostra 01, obteve um ganho de 9%, enquanto na amostra 02, o ganho foi de 36% no valor do ISC quando ensaiado na condição de estabilização do IP.

A amostra 01 apresenta condições de ser empregada como sub-base de acordo com a especificação de serviços rodoviários DNIT 139/2010 – ES, expondo ISC

mínimo igual a 20%. Já a amostra 02 não atende este quesito, mas nota-se melhoria expressiva e potencialidade de uso como material de aterro ou subleito estabilizado.

Com base na especificação de serviços rodoviários do DNIT 140/2010 – ES, no qual define que para possuir condições de ser utilizado como sub-base, o solo deverá apresentar índice de plasticidade máxima de 18% e limite de liquidez máximo de 40%. Comparando estes dados normativos com a amostra 01 desta pesquisa, observa-se que os resultados obtidos já estão respeitando os parâmetros estabelecidos na condição natural do solo. Enquanto a amostra 02, atende esta norma somente quando foi adicionado 15% de material cepilhado.

A potencialidade do aproveitamento do material cepilhado é efetiva não somente por conta da melhoria de parâmetros mecânicos dos materiais naturais, mas também como redução de impactos ambientais tendo em vista a reciclagem do material, que alcançou determinado limite de serviço.

REFERENCIAS

ABNT NBR 6457. (1986). **Amostras de Solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro. 9 p.

ABNT NBR 6459. (1984). **Solo: Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro. 6 p.

ABNT NBR 6508. (1984). **Grãos de solos que passam pela peneira de 4,8mm**. Rio de Janeiro. 8 p.

ABNT NBR 7180. (1984). **Solo: Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro. 3 p.

ABNT NBR 7181. (1984). **Solo: Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro. 13 p.

ABNT NBR 7182. (1986). **Solo: Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro. 10 p.

ABNT NBR 9895. (1987). **Solo: Índice de Suporte Califórnia**. Rio de Janeiro. 14 p.

Caputo, H.P. (1987). **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro. 219 p.

Skempton, A.W. (1984). **Selected papers on soil mechanics**. London. p. 65-70.

Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). **Soil mechanics in engineering practice**. New York. 729 p.

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