



As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 2

**Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)**

Atena
Editora
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a
Economia e o Meio Ambiente 2

Atena Editora
2019

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. 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.^a Dr.^a 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 Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 2 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 2)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-430-6 DOI 10.22533/at.ed.306192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDOS DA ÁGUA E SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO UBERABINHA EM UBERLÂNDIA - MG	
Maria da Graça Vasconcelos	
Luiz Alfredo Pavanin	
Erich Vectore Pavanin	
DOI 10.22533/at.ed.3061925061	
CAPÍTULO 2	13
BATIMETRIA E MEDIÇÃO DE VAZÃO NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ - RO	
Renato Billia de Miranda	
Camila Bermond Ruezzeno	
Bruno Bernardo dos Santos	
Frederico Fabio Mauad	
DOI 10.22533/at.ed.3061925062	
CAPÍTULO 3	26
MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ENSAIO DE PROVA DE CARGA EM SOLO BASÁLTICO	
Daniel Russi	
Sandra Garcia Gabas	
Giancarlo Lastoria	
DOI 10.22533/at.ed.3061925063	
CAPÍTULO 4	37
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO PAPEL FILTRO E CENTRÍFUGA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	
Ana Carolina Dias Baêso	
Eduardo Souza Cândido	
Roberto Francisco de Azevedo	
Gustavo Armando dos Santos	
Tulyo Diniz Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3061925064	
CAPÍTULO 5	51
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE UM SOLO TROPICAL DA BAIXADA FLUMINENSE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Fernando Benedicto Mainier	
Claudio Fernando Mahler	
Viktor Labuto Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.3061925065	
CAPÍTULO 6	61
ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE UNIDADES DE TERRENO DO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES	
Bruna Xavier Faitanin	
Éder Carlos Moreira	
Altair Carrasco de Souza	
Vitor Roberto Schettino	
DOI 10.22533/at.ed.3061925066	

CAPÍTULO 7	69
ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO SILTE ARENOSO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA COM CAL PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO	
Wagner Teixeira Eclesielter Batista Moreira João Luiz Rissardi Vanessa Corrêa de Andrade Ronaldo Luis dos Santos Izzo	
DOI 10.22533/at.ed.3061925067	
CAPÍTULO 8	80
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA NA RESISTÊNCIA DE SOLOS SEDIMENTARES	
Jair de Jesús Arrieta Baldovino Eclesielter Batista Moreira Ronaldo Luis Dos Santos Izzo Juliana Lundgren Rose Erico Rafael Da Silva Wagner Teixeira Felipe Perretto Roberto Pan	
DOI 10.22533/at.ed.3061925068	
CAPÍTULO 9	95
PERFILAGEM DO SUBSOLO NO MUNICÍPIO DE APUCARANA-PR COM BASE EM DADOS DE SONDAgens DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT	
Mariana Alher Fernandes Augusto Montor de Freitas Luiz	
DOI 10.22533/at.ed.3061925069	
CAPÍTULO 10	104
UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO DE TUBO NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE CAMADAS SUPERFICIAIS DE SOLOS	
Marcos Túlio Fernandes Glaucimar Lima Dutra	
DOI 10.22533/at.ed.30619250610	
CAPÍTULO 11	116
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICOS	
Alessandra Lidia Mazon Maytê Pietrobelli de Souza Bianca Penteado de Almeida Tonus André Fanaya	
DOI 10.22533/at.ed.30619250611	

CAPÍTULO 12 133

AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO DE CARACTERÍSTICA NÃO LATERÍTICA SOB O ENFOQUE GEOTÉCNICO NAS MARGENS DA TO-222 NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA - TO

Glacielle Fernandes Medeiros
Renata de Moraes Farias
Palloma Borges Soares
Ana Sofia Oliveira Japiassu
Andressa Fiuza de Souza
Igor Guimarães Matias

DOI 10.22533/at.ed.30619250612

CAPÍTULO 13 144

ADAPTAÇÃO DE METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO DE NÍVEIS DE ATENÇÃO UTILIZADA EM MINERAÇÃO PARA TRABALHOS DE MAPEAMENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ÁREA URBANA

Marcelo Corrêa da Silva
Daiara Luiza Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.30619250613

CAPÍTULO 14 157

PRODUÇÃO DE CONCENTRADO ÚMIDO FOSFATADO: UMA EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO NA MINERAÇÃO

Matheus Henrique Borges Coutinho
Ricardo Antonio de Rezende
Cibele Tunussi
Marcos Vinicius Agapito Mendes

DOI 10.22533/at.ed.30619250614

CAPÍTULO 15 163

ESTUDO DOS DESPERDÍCIOS DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUGESTÕES PARA A MINIMIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DOS MESMOS, VISANDO A OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DAS OBRAS E MENORES IMPACTOS AMBIENTAIS

Beatriz Zeurgo Fernandes
Rafael Bergjohann
Luiz Carlos de Campos

DOI 10.22533/at.ed.30619250615

CAPÍTULO 16 176

USO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND

Kenyson Diony Souza Silva
Raduan Krause Lopes
Fabiano Medeiros Da Costa

DOI 10.22533/at.ed.30619250616

CAPÍTULO 17 192

ESTUDOS PRELIMINARES DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE MINÉRIO DE COBRE SULFETADO NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO

Julia Alves Rodrigues
Dilson Nazareno Pereira Cardoso
Abel Jorge Rodrigues Ferreira
Edinaldo José de Sousa Cunha
Bruno Marques Viegas
Edilson Marques Magalhães
José Antônio da Silva Souza

DOI 10.22533/at.ed.30619250617

CAPÍTULO 18 200

AValiação DO COMPORTAMENTO DE COMPOSIÇÕES A BASE DE CIMENTO DE ALUMINATO DE CÁLCIO FRENTE AOS MICRORGANISMOS STAPHYLOCOCCUS AUREUS E ESCHERICHIA COLI

Renata Martins Parrreira
Talita Luana de Andrade
Newton Soares da Silva
Cristina Pacheco Soares
Victor Carlos Pandolfelli
Ivone Regina de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.30619250618

CAPÍTULO 19 209

UMA TÉCNICA, BASEADA EM PROJETO DE EXPERIMENTOS, PARA OTIMIZAÇÃO DA DOSAGEM DE ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA

André Rodrigues Monticeli
Paulo César Mappa
Aellington Freire de Araújo
Emerson Ricky Pinheiro
Karoline Santos da Silva

DOI 10.22533/at.ed.30619250619

CAPÍTULO 20 221

REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS AO ESFORÇO CORTANTE ATRAVÉS DA ESCOLHA DO ÂNGULO DAS BIELAS

Lucas Teotônio de Souza
Paula de Oliveira Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.30619250620

CAPÍTULO 21 232

ANÁLISE DE CRONOGRAMA FÍSICO x CRONOGRAMA REALIZADO NA OBRA DO FÓRUM DE RIO NEGRO/PR PARA FINS DE DIMINUIÇÃO DOS ATRASOS

Nathalia Loureiro de Almeida Correa

DOI 10.22533/at.ed.30619250621

CAPÍTULO 22 250

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO CORRETO DIMENSIONAMENTO DOS VERTEDORES EM BARRAGENS E SUAS INFLUÊNCIAS ECOLÓGICAS E SOCIOECONÔMICAS. ESTUDO DE CASO: USINA HIDRELÉTRICA DE XINGÓ

Jéssica Beatriz Dantas
Djair Félix da Silva

DOI 10.22533/at.ed.30619250622

CAPÍTULO 23	262
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL EM UMA ÁREA DA CIDADE DE JOINVILLE/SC	
Adilon Marques dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.30619250623	
CAPÍTULO 24	281
ANÁLISE NUMÉRICA DA SENSIBILIDADE DO ALGORITMO IMPLEX APLICADO EM UM CENÁRIO HIPOTÉTICO DE ESTABILIDADE DE TALUDE VIA TÉCNICA DE DESCONTINUIDADES FORTES	
Nayara Torres Belfort	
Ana Itamara Paz de Araujo	
Kátia Torres Botelho Galindo	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.30619250624	
CAPÍTULO 25	294
DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS POR MEIO DE CÁLCULO MANUAL E COM O AUXÍLIO DE UM SOFTWARE COMPUTACIONAL	
Iva Emanuely Pereira Lima	
Vitor Bruno Santos Pereira	
Vinicius Costa Correia	
DOI 10.22533/at.ed.30619250625	
CAPÍTULO 26	306
DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE AÇO E CONCRETO	
Jéssica Salomão Lourenção	
Élcio Cassimiro Alves	
DOI 10.22533/at.ed.30619250626	
CAPÍTULO 27	325
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	
João Augusto Dunck Dalosto	
Luiz Fernando Hencke	
Jhonatan Conceição dos Santos	
Hevrlí da Silva Carneiro Pilatti	
DOI 10.22533/at.ed.30619250627	
CAPÍTULO 28	336
APLICAÇÃO DO CPR EM SOLOS MOLES NA REGIÃO DO CAMPO DOS PERDIZES: DUPLICAÇÃO DA BR 135, ENTRE O KM 39,36 E O KM 39,90	
Rodrigo Nascimento Barros	
Larysse Lohana Leal Nunes	
Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana	
DOI 10.22533/at.ed.30619250628	
CAPÍTULO 29	348
ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE UMA TERAPIA INTENSIVA	
Sylvia Katherine de Medeiros Moura	
Antonio Calmon de Araújo Marinho	
Wagner Amadeus Galvão de Souza	
Angelo Roncalli Oliveira Guerra	
DOI 10.22533/at.ed.30619250629	

CAPÍTULO 30	357
'ARTENGENHARIA': UMA PONTE TRANSDISCIPLINAR PARA O DESENVOLVIMENTO DO POTENCIAL HUMANO E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO DO CONHECIMENTO	
Ana Alice Trubbianelli	
DOI 10.22533/at.ed.30619250630	
CAPÍTULO 31	371
PROCEDIMENTO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL E NÚMÉRICO DE UMA PONTE EXECUTADA COM PALITOS DE PICOLÉ	
Matheus Henrique Morato de Moraes	
João Eduardo Sousa de Freitas	
Diogo Henrique Morato de Moraes	
Juarez Francisco Freire Junior	
Wellington Andrade da Silva	
Geraldo Magela Gonçalves Filho	
DOI 10.22533/at.ed.30619250631	
CAPÍTULO 32	383
EXERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS REDUTORES DE PRESSÃO	
Conrado Mendes Moraes	
Ângela B. D. Moura	
Eduardo D. P. Schuch	
Eduardo de M. Martins	
DOI 10.22533/at.ed.30619250632	
SOBRE O ORGANIZADOR	393

ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO SILTE ARENOSO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA COM CAL PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO

Wagner Teixeira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil.
Curitiba – Paraná

Eclesielter Batista Moreira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil.
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

João Luiz Rissardi

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil.
Curitiba – Paraná

Vanessa Corrêa de Andrade

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil.
Curitiba – Paraná

Ronaldo Luis dos Santos Izzo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil.
Curitiba – Paraná

RESUMO: Estabilização de solo através da adição de cal melhora numerosas características físico e químicas, entre todos os aspectos, propriedades mecânicas são as mais notáveis. Este artigo investiga o tratamento da adição de

cal em um solo argilo arenoso. Busca quantificar e validar a influência das adições de cal sobre a resistência de um solo proveniente da Formação Geológica de Guabirotuba. As misturas definidas através do método do pH foram: 3%, 5%, 7% e 9% de cal. O método responde que em 9% cessa as reações solo-cal. Ensaios de densidade real dos grãos, limites de Atterberg e compactação para solo puro e misturas foram realizados. Resultados de compactação mostram que o peso específico seco máximo diminui com a maior proporção de cal e o teor de umidade diminui até 5% e aumenta com 7% e 9%. Resultados mostram que resistência à compressão e à tração por compressão diametral aumentam com a quantidade de cal, diminuem porosidade e aumentam com o tempo de cura. Por fim, apresenta-se que a porosidade é um bom parâmetro para avaliar a resistência à compressão não confinada e resistência à tração por compressão diametral. **PALAVRAS-CHAVE:** Mistura Solo-cal, Estabilização de Solos, Tempo de Cura, Resistência de Solos.

ABSTRACT: Soil stabilization through the addition of lime improves numerous physical and chemical properties, among all, mechanical properties are the most highlighted. This article investigates the treatment of the addition of lime in a sandy silt soil. It seeks to quantify and

validate the influence of lime additions on the resistance of a soil from the Guabirotuba Geological Formation. The mixtures defined by the pH method were: 3%, 5%, 7% and 9% lime. The method responds that in 9% the soil-lime reactions cease. Tests of specific gravity, Atterberg limits and compaction for pure soil and mixtures were carried out. Compaction results show that the maximum specific dry weight decreases with the highest proportion of lime and the moisture content decreases up to 5% and increases with 7% and 9%. Results show that compressive strength and diametral compression traction increase with the amount of lime, decrease porosity and increase with the cure time. Finally, it is presented that the porosity is a good parameter to evaluate the resistance to the unconfined compression and the tensile strength by diametral compression.

KEYWORDS: Lime-soil Mixture, Soil Stabilization, Curing time, Soil Strength.

1 | INTRODUÇÃO

A sustentabilidade na engenharia é um aspecto complexo e em constante debate. O assunto é pauta de discussões em âmbito de congressos, simpósios, bem como inúmeras publicações de relevância. Nenhum outro setor consome tamanha matéria-prima de fontes tão diversas como a engenharia civil. Nesse âmbito, o profissional tem a difícil tarefa de propor ações que conduzam à redução de impactos ambientais, sem comprometer a competitividade econômica.

Conforme o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2014) o Brasil está na quinta posição de produção de cal mundial, com uma produção de 8,4 milhões de toneladas de cal no ano de 2013, a cal virgem representando 76% e a cal hidratada, 24% da produção nacional.

São vários os fatores que influenciam o comportamento mecânico de um solo tratado, são eles: quantidade de cal, porosidade, tempo de cura e teor de umidade. Com as variáveis definidas e estudadas, metodologias de dosagem podem ser criadas e adaptadas. Há vários estudos que comprovam sua eficácia (NUNEZ, 1991; JOHANN, 2013; JUNIOR, 2007; JUNIOR, 2011; LOVATO, 2004; AZEVEDO, 2010).

O objetivo deste trabalho é investigar o tratamento da adição de cal em um solo silte arenoso. Busca quantificar e validar a influência das adições de cal sobre a resistência de um solo proveniente da Formação Geológica de Guabirotuba.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Coleta do solo, resíduos e cal

A coleta do solo (coloração amarela) foi realizada na data de 6 de junho de 2017, na avenida Rui Barbosa número 14800, no município de São José dos Pinhais (Figura 1).



Figura 1. Talude exposto da coleta de solo, faixa amarela.

A cal é do tipo CH₃ hidratada, foi adquirida em lojas de materiais de construção, sendo armazenadas em recipientes de vidro adequadamente vedados para evitar sua hidratação prematura em função da umidade do ar. A cal é proveniente de Almirante Tamandaré, região metropolitana de Curitiba. Esta é a maior região produtora e beneficiadora de calcário da região, justificando sua escolha.

2.2 Dosagem das misturas

Para a dosagem da mistura solo-cal utilizou-se o método proposto por Eades e Grim (1966), também chamado de método de pH. O método analisa o pH do solo mais a cal suspensos em água, indicando a quantidade de cal necessária para alcançar o maior benefício da mistura. A dosagem é chamada de ponto fixo de cal, quanto mais cal adicionada, mais reações pozolânicas ocorrem, estabilizando a mistura até um ponto limite. O método define que o menor teor de cal que atingir o valor de pH igual a 12,4 é o necessário para estabilizar o solo.

Foram colocados 20 gramas de material, solo puro passante na peneira de nº 40 mais cal dentro de copos plásticos de 250 ml, nas proporções 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9%, 11% de cal. Em seguida adicionaram-se 100 ml água destilada. Agitaram-se as misturas por 30 segundos a cada 10 minutos. Após 1 hora realizaram-se as medições de pH, os resultados estão na Figura 2

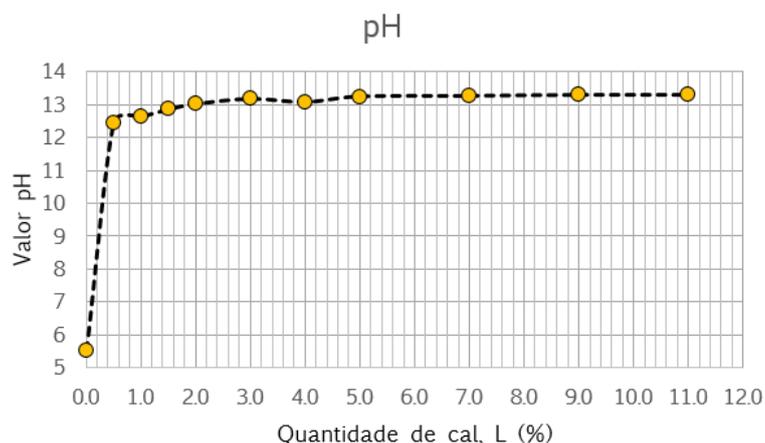


Figura 2. Valores de pH para diferentes misturas.

2.3 Caracterização do solo

A análise granulométrica foi realizada conforme NBR 7181/2016. Para a porção de finos realizou-se sedimentação com o uso de defloculante de hexa-metafosfato de sódio e, em paralelo, uma análise granulométrica a laser, a fim de confirmar resultados. Para a análise granulométrica a laser, fez-se uso do equipamento Microtrac modelo S3500 (Figura 3).

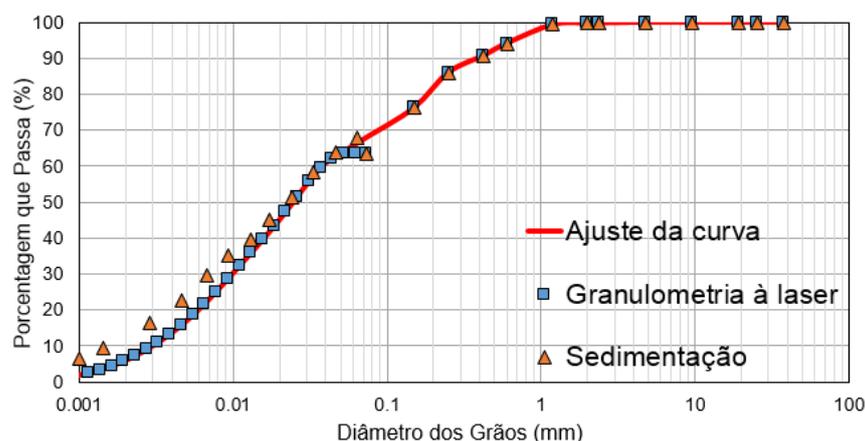


Figura 3. Curva granulométrica.

Os limites de Atterberg foram realizados conforme NBR 6459/1984 e NBR 7180/1984 (Tabela 1).

A densidade real dos grãos foi obtida conforme procedimento descrito na NBR 6458/2017, através de bomba e câmara à vácuo (Tabela 1).

A fim de se determinar os pesos específicos secos máximos ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) e as umidades ótimas (w), foram realizados ensaios de proctor na energia normal para o solo puro e suas misturas (Figuras 4 e 5). Seguiu-se os processos normatizados na NBR 7182 (ABNT, 2016). As misturas realizadas foram de solo mais 3%, 5%, 7% e 9% de cal. Não houve alteração de pH entre 9% e 11% de cal, não justificando realizar misturas maiores que 9% de cal.

Propriedades do solo	Resultado
Densidade real dos grãos	2,625
Limites de consistência:	
Limite de liquidez (%)	50,37
Limite de plasticidade (%)	35,96
Índice de plasticidade	14,41
Classificação SUCS	MH
Ensaio de compactação:	
Umidade ótima (%)	26
Peso esp. seco máximo (kN/m ³)	13,72

Tabela 1. Caracterização do solo.

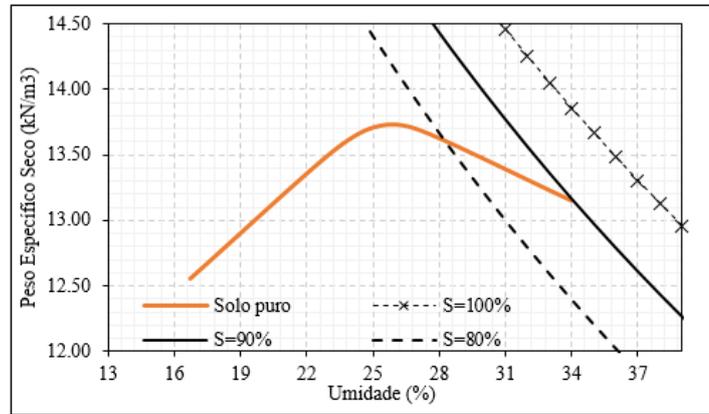


Figura 4. Curva compactação do solo puro.

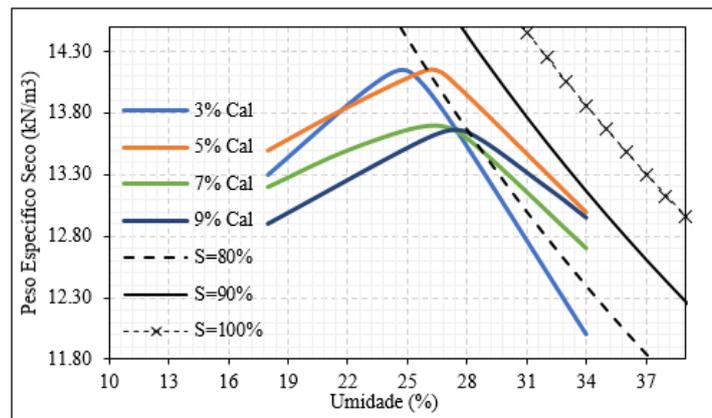


Figura 5. Curvas de compactação das misturas solo-cal.

A umidade ótima obtida aumentou conforme o aumento da quantidade de cal. O peso específico seco máximo diminuiu com o aumento de cal. Quando a cal é adicionada ao solo, as partículas se tornam floculadas, devido à substituição dos íons Na^+ da argila por íons Ca^{++} . Devido à floculação, a quantidade de vazios e o tamanho dos vazios no solo aumenta. A floculação é forte o suficiente para resistir aos esforços de compactação com um índice de vazios mais alto, reduzindo, portanto, o $\gamma_{\text{máx}}$ do solo. Quanto maior o número de vazios, mais água será necessária para preenchê-los, o que resulta em um teor de umidade maior, e uma curva de compactação mais achatada (SIVAPULLAIAH, et al., 1998).

2.4 Moldagem dos corpos de prova

A partir dos parâmetros obtidos nos ensaios de compactação, foram moldados corpos de prova de diâmetro igual a $5,00 \pm 0,05$ cm e altura igual a $10,00 \pm 0,05$ cm, em moldes de aço inox. Realizou-se de modo estático, com apenas uma camada, em uma prensa hidráulica manual.

A mistura foi feita na ordem solo e cal primeiramente, obtendo homogeneidade, para então adicionar e homogeneizar a água na mistura. A quantidade de cal a ser adicionada era calculada para que no final a mistura tenha a devida porcentagem de cal, ou seja, adicionada sobre a massa total. A quantidade de água a ser adicionada

era calculada sobre a massa total seca, incluindo a cal.

Procurou-se obter o teor de umidade mais próximo do ótimo (+- 0,5%) e um peso específico aparente seco não diferindo mais que 1% do obtido na curva de compactação. Em seguida embalados com papel filme, identificados e armazenados em câmara úmida para o processo de cura por 30 dias.

2.5 Ensaio de compressão simples não confinado

A resistência à compressão simples (RCS) do solo e das misturas foram determinados conforme os métodos propostos na NBR 12770 (ABNT, 1992), do tipo não adensado, não drenado e com a pressão de confinamento igual a zero ($\sigma_3=0$). Os ensaios foram realizados em triplicada, obtendo sempre a umidade logo após o ensaio, a fim de conferência com a umidade ótima respectiva. Admitiu-se os valores de tensão de ruptura de +- 10% da média, se um dos valores se diferiu da faixa, utilizou-se a média dos outros dois. O ensaio ocorreu no modo de deformação controlada, com a prensa configurada em uma velocidade de 1,27 mm/min. Foi utilizada uma prensa universal EMIC modelo DL 30.000 N, com célula de carga TRD-29 calibrada.

O resultado de resistência à compressão não confinada (q_u) foi calculado com a seguinte equação:

$$q_u = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Onde:

q_u = resistência à compressão (N/cm²)

P = carga de ruptura máxima na curva tensão-deformação (N);

A = área transversal do corpo de prova (cm²);

2.6 Ensaio de tração por compressão diametral não confinado

A resistência à compressão diametral (RCD) do solo e das misturas foram determinados conforme os processos propostos na NBR 7222 (ABNT, 2016). Para este ensaio foi utilizado o mesmo equipamento do ensaio de resistência à compressão simples, porém com as amostras rompidas na horizontal. A velocidade da prensa para este ensaio foi de 1 mm/min.

A resistência à tração por compressão diametral foi calculada com a seguinte equação:

$$q_t = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times H} \quad (2)$$

Onde:

q_t = resistência à tração (N/cm²)

F = carga de ruptura máxima na curva tensão-deformação (N);

D = diâmetro do corpo de prova (cm);

H = altura do corpo de prova (cm).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resistência à compressão simples não confinada

A resistência à compressão simples não confinada (q_u) obteve um gráfico em função da cura de 30 dias, observado na Figura 6.

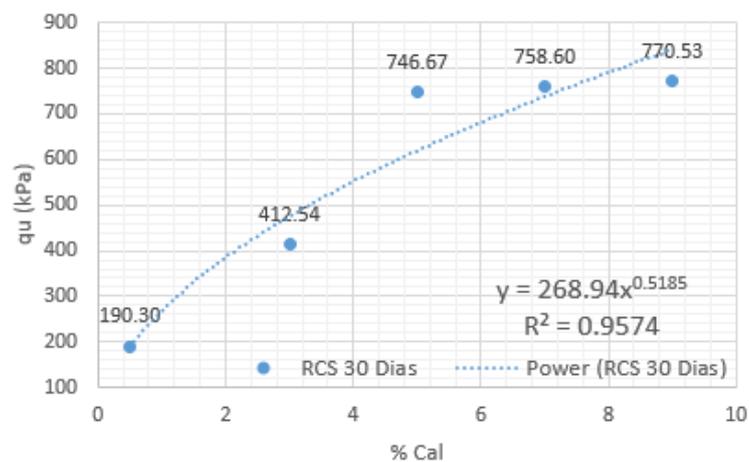


Figura 6. Resistência à compressão simples por porcentagem de cal.

Observa-se que o conteúdo de cal tem uma considerável influência na resistência à compressão. Os resultados da Figura 6 podem ser representados por uma equação potencial, sendo y igual à q_u e x igual à porcentagem de cal. Observa-se que a taxa de aumento de resistência diminui consideravelmente a partir de 5% de cal, relaciona-se com o pH, onde a partir de 5%, não houve considerável mudança no valor de pH, indicando que as reações estavam próximas de cessar.

3.2 Resistência à tração por compressão diametral não confinada

A resistência à tração por compressão não confinada (q_t) obteve um gráfico em função da cura de 30 dias, observado na Figura 7.

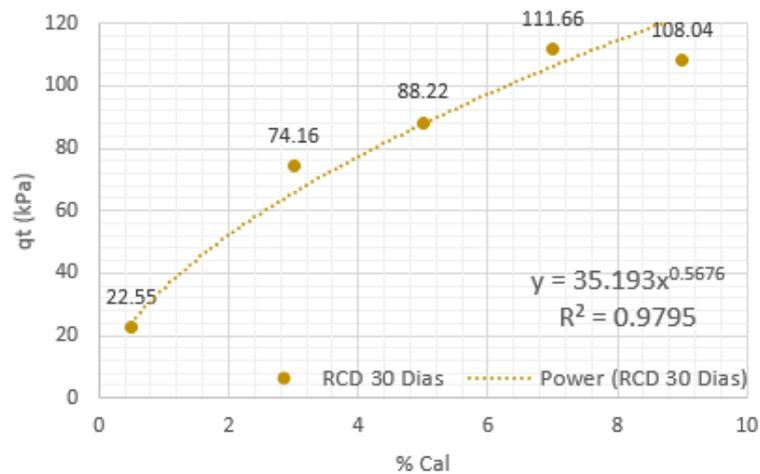


Figura 7. Resistência à tração por compressão diametral por porcentagem de cal.

Observa-se que o conteúdo de cal também tem uma considerável influência na resistência à tração. Os resultados da Figura 7 podem ser representados por uma equação potencial, sendo y igual à q_t e x igual à porcentagem de cal. Observa-se que a taxa de aumento de resistência diminui consideravelmente a partir de 7% de cal, relaciona-se com o pH, onde a partir de 7%, não houve considerável mudança no valor de pH, indicando que as reações estavam próximas de cessar.

3.3 Razão q_t/q_u

A relação da resistência à compressão por compressão diametral por compressão simples é apresentada na Figura 8.

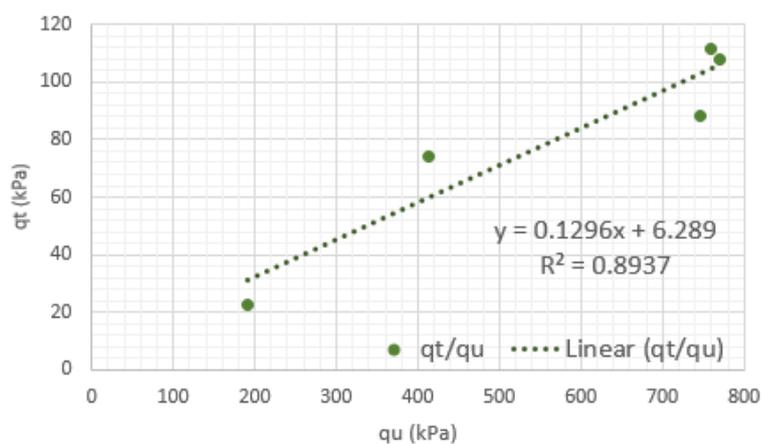


Figura 8. Razão q_t por q_u .

Como os dois ensaios tiveram um crescimento potencial, a relação q_t/q_u resultou em um crescimento linear, onde o y da equação é igual a q_t e x igual a q_u .

3.4 Efeitos da quantidade de cal e porosidade na resistência à compressão simples

A quantidade de cal em função da porosidade obteve uma função polinomial, observada na Figura 9.

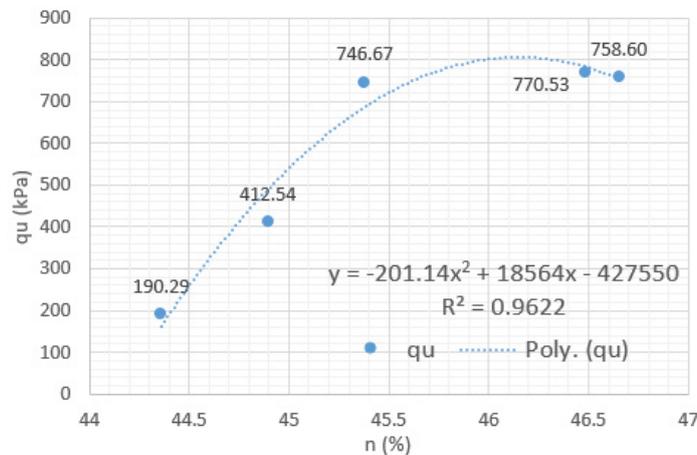


Figura 9. Variação q_u com porosidade.

A porosidade das amostras foram calculadas a partir da compactação das diferentes misturas. Conforme aumentava a quantidade de cal, o peso específico seco máximo diminuía. Portanto, tendo em mãos o volume das amostras e a densidade real dos grãos, obtia-se o valor da porosidade.

Entretanto, a porosidade diminuía com o aumento de cal, resultando em valores de resistência elevados. O que se pode obter dos resultados é que, as amostras ficam mais resistentes e porosas.

3.5 Efeitos da quantidade de cal e porosidade na resistência à tração por compressão diametral

A quantidade de cal em função da porosidade obteve uma função polinomial, observada na Figura 10.

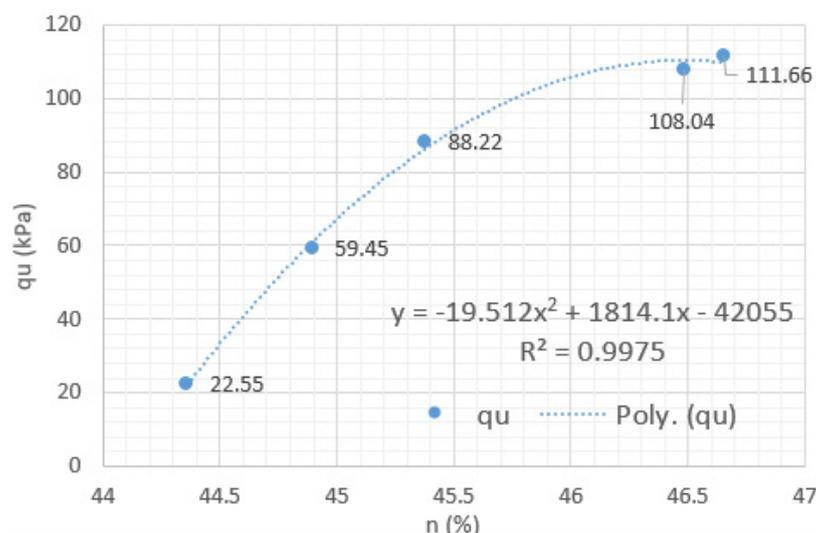


Figura 10. Variação q_t com porosidade

Para o caso de tração por compressão diametral, observou-se o mesmo que para os casos de compressão simples. A porosidade diminuía com o aumento de cal, resultando em valores de resistência elevados. O que se pode obter dos resultados é que, também, as amostras ficam mais resistentes e porosas.

CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho era medir a influência da cal hidratada em ensaios de resistência à compressão simples e resistência à tração por compressão diametral, em um solo silte arenoso da formação geológica de Guabirota.

Como visto nos resultados, q_u e q_t são dependentes da quantidade de cal, não houveram variações de porosidade para a mesma quantidade de cal, para assim definir a dependência ou não da resistência com a porosidade.

Os valores de q_u e q_t aumentam significativamente com o tempo de cura de 30 dias e com as diferentes proporções de cal adicionadas.

A partir de 7% de cal, o aumento da resistência é significativamente menor, atribui-se à relação com o ensaio de pH, onde a partir de 5% de cal, cessam as reações.

A relação q_u/q_t mostrou-se linearmente crescente.

Os resultados de resistência variam conforme a quantidade de cal nas amostras, encaixando-se numa curva polinomial, podendo ser usadas como parâmetros para projetos de rodovias, por exemplo. A camada que deseja-se alcançar uma resistência satisfatória, estabilizada com cal, pode ser manipulada conforme a energia de compactação, dentro de uma mínima quantidade de cal, satisfazendo tempo e custos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os agradecimentos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao suporte financeiro da CAPES.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6458: Solo – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7222: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 12770: Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

AZEVÊDO, André L. C. *Estabilização de solos com adição de cal. Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal.* 2010. 178 fls. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 2010.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2014. Sumário Mineral 2014. Acesso em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/cal-sumario-mineral-2014>> Acesso em: 10/04/2018.

EADES, J. L.; GRIM, R. E. *A Quick Test to Determine Lime Requirements For Lime Stabilization.* Highway Research Record. n. 139, p. 61-72. 1966. Washington, DC.

JOHANN, Amanda, D. R. *Metodologias para a previsão do comportamento mecânico e para a análise da variação da porosidade de um solo siltoso tratado com cal em diferentes tempos de cura.* 2013. 271 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2013.

JUNIOR, Luizmar, S. L. *Parâmetros de controle da resistência mecânica de solos tratados com cal, cimento e rocha basáltica pulverizada.* 2007. 148 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2007.

JUNIOR, Luizmar, S. L. *Metodologia de previsão do comportamento mecânico de solos tratados com cal.* 2011. 226 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2011.

LOVATO, Rodrigo S. *Estudo do Comportamento Mecânico de um Solo Laterítico Estabilizado com Cal, aplicado à Pavimentação.* 2004. 164 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2004.

NUNEZ, Washington, P. *Estabilização físico-química de um solo residual de arenito Botucatu, visando seu emprego na pavimentação.* 1991. 171 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1991.

SIVAPULLAIAH, Puvvadi. V.; PRASHANTH, J. P.; SRIDHARAN, A. Delay in compaction and importance of the lime fixation point on the strength and compaction characteristics of soil. Ground Improvement, n.2, p.27-32. 1998.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-430-6



9 788572 474306