

Engenharias, Ciência e Tecnologia 5

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)



Luís Fernando Paulista Cotian

(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

5

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 5 [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 5)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-088-9

DOI 10.22533/at.ed.889193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume V apresenta, em seus 14 capítulos, conhecimentos relacionados a Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Responsabilidade Social Organizacional, Sustentabilidade e Sistemas de Indicadores, Desenvolvimento Sustentável em Engenharia de Produção e Meio Ambiente.

A área temática de Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam na sustentabilidade da organização, envolvendo responsabilidade social e desenvolvimento sustentável. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AQUAPONIA: RELAÇÃO HARMÔNICA ENTRE PEIXES, PLANTAS E BACTÉRIAS	
<i>Thiago Rodrigues Nunes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8891931011	
CAPÍTULO 2	13
COLETA E IDENTIFICAÇÃO DE AMOSTRAS DE ROCHAS SEDIMENTARES DA BACIA ALAGOAS: FORMAÇÕES PENEDO, PORÇÃO, MORRO DO CHAVES, MACEIÓ E BARREIRAS	
<i>Zenilda Vieira Batista</i>	
<i>Mávylla Sandreya Correia Tenório</i>	
<i>Sonia Maria Oliveira Agostinho da Silva</i>	
<i>Débora Cristina Almeida de Assis</i>	
<i>Nayra Vicente Sousa da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8891931012	
CAPÍTULO 3	24
CONSTRUÇÃO DE INFRAESTRUTURA HÍDRICA PARA A CONVIVÊNCIA NO SEMIÁRIDO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ÁGUA BRANCA, PARAÍBA	
<i>Adriana Maria dos Santos</i>	
<i>Romulo Wilker Nery de Andrade</i>	
<i>Adriano da Silva Félix</i>	
<i>Polyana Marta da Silva</i>	
<i>Hevelyne Figueirêdo Pereira</i>	
<i>Luara Lourenço Ismael</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8891931013	
CAPÍTULO 4	35
DEFENSAS NÁUTICAS DE POLIURETANO VEGETAL	
<i>Graziella Trovati</i>	
<i>Haroldo Silva</i>	
<i>Edgar Aparecido Sanches</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8891931014	
CAPÍTULO 5	52
DIAGNÓSTICO DO IMPACTO DA RODOVIA ESTADUAL 132 SOBRE A FAUNA SILVESTRE DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA MASSAMBABA E O PARQUE ESTADUAL DA COSTA DO SOL - RJ, BRASIL	
<i>Márcia Ferreira Tavares</i>	
<i>Sávio Freire Bruno</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8891931015	
CAPÍTULO 6	59
DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA CIDADE DE DELMIRO GOUVEIA -AL	
<i>Gabriel Dionizio Silva</i>	
<i>Antonio Pedro de Oliveira Netto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8891931016	

CAPÍTULO 7	67
DIAGNÓSTICO HIDROGEOQUÍMICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA DO RIO GRANDE - BA	
<i>Maíra Sampaio da Costa</i> <i>José Alexandre Araújo Nogueira</i> <i>Sérgio Augusto de Moraes Nascimento</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8891931017	
CAPÍTULO 8	78
ENGENHARIA E PRÁTICA SOCIAL	
<i>José Geraldo de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8891931018	
CAPÍTULO 9	86
ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE <i>LECYTHIS PISONIS</i> <i>CAMBESS</i> TRATADAS COM ÁCIDO INDOLBUTÍRICO E ÁCIDO NAFTALENO ACÉTICO	
<i>Cristina Valory da Silva</i> <i>Elzimar de Oliveira Gonçalves</i> <i>Tamyris de Mello</i> <i>Bruna Tomaz Sant'ana</i> <i>Carlos Humberto Desidério Pirovani</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8891931019	
CAPÍTULO 10	93
PROJETO PILOTO CISTERNAS RURAIS: PARCERIA SAAE – ITAIPU	
<i>Fabio Alexandre Regelmeier</i> <i>Armin Feiden</i>	
DOI 10.22533/at.ed.88919310110	
CAPÍTULO 11	109
REMEDIAÇÃO SUSTENTÁVEL: CARACTERÍSTICAS DAS PUBLICAÇÕES NO PERÍODO DE 1980-2016	
<i>Adan William da Silva Trentin</i> <i>Adeli Beatriz Braun</i> <i>Caroline Visentin</i> <i>Deisi Balestrin</i> <i>Greice Barufaldi Rampanelli</i> <i>Antônio Thomé</i>	
DOI 10.22533/at.ed.88919310111	
CAPÍTULO 12	121
REMOÇÃO DE CAFEÍNA PRESENTE EM SOLUÇÃO AQUOSA ATRAVÉS DA ADSORÇÃO EM COLUNA DE LEITO FIXO	
<i>Christiano Cantarelli Rodrigues</i> <i>Selêude Wanderley da Nóbrega</i> <i>Washington Lima dos Santos</i> <i>Elyziana Lourenço Lima</i>	
DOI 10.22533/at.ed.88919310112	

CAPÍTULO 13 133

TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Marconi Lucas da Silva

Leandro Vahia Pontual

DOI 10.22533/at.ed.88919310113

CAPÍTULO 14 137

EFEITO DA BIOCIMENTAÇÃO EM SOLO ARENOSO EM RELAÇÃO A DENSIDADE, COMPRESSÃO SIMPLES E HETEROGENEIDADE

Vinicius Luiz Pacheco

Igor Decol

Antonio Thomé

DOI 10.22533/at.ed.88919310114

SOBRE O ORGANIZADOR..... 154

EFEITO DA BIOCIMENTAÇÃO EM SOLO ARENOSO EM RELAÇÃO A DENSIDADE, COMPRESSÃO SIMPLES E HETEROGENEIDADE

Vinicius Luiz Pacheco

Universidade de Passo Fundo – Rio Grande do Sul

Igor Decol

Universidade de Passo Fundo – Rio Grande do Sul

Antonio Thomé

Universidade de Passo Fundo – Rio Grande do Sul

RESUMO: A questão climática é assunto de grande pauta em relação a emissão de gases causadores do efeito estufa; na engenharia civil, o consumo exacerbado de cimento traz por consequência a emissão de CO₂, oriundo do processo de fabricação do mesmo. Na engenharia geotécnica, subárea da engenharia civil, convencionalmente faz-se uso de cimento e técnicas tradicionais de compactação de solo visando o melhoramento de propriedades mecânicas do mesmo. Particularmente nesse trabalho, foi utilizada uma solução biocimentante para aprimorar características geomecânicas da areia de Osório de forma *in situ*. A presente técnica chama-se MICP (Microbially Induced Calcite Precipitation), na qual fornece alimento e condições de biocimentação para as bactérias presentes no solo ou implantadas artificialmente através da bioaumentação. As bactérias nativas

na areia de Osório e usualmente utilizadas na técnica MICP são da espécie *Bacillus Pasteurii*, às quais por processo enzimático da urease formam como produto final da biocimentação a calcite. Em última análise, a experimentação realizada aperfeiçoou a rigidez do solo, através do acréscimo de densidade do mesmo, identificando também que a aplicação da solução através da percolação se propaga ao longo do corpo de prova de forma heterogênea, promovendo maior biocimentação nas camadas superiores e aperfeiçoando propriedades geomecânicas, tais quais a densidade e a rigidez do maciço arenoso. A resistência a compressão simples máxima foi de 417,20 kPa; também sendo realizado um ensaio de ultrassom para quantificar a velocidade das ondas de compressão e de cisalhamento e a consequente correlação com os resultados obtidos na compressão simples.

PALAVRAS-CHAVE: biocimentação, densidade, compressão simples, propriedades geomecânicas, areia de Osório.

ABSTRACT: The climatic issue is well concerned nowadays, considering the greenhouse gas emissions; into the civil engineering the exacerbate consumption of cement causes the emission of CO₂ in the process of fabricating it. Specifically, about the geotechnical engineering, usually the cement and others traditional

techniques are used in order to improve the *in situ* geomechanical properties of the soil. This work aimed to improve the geomechanical properties of Osório Sand by using biocement solution. The technique is called MICP (Microbially Induced Calcite Precipitation), that provides food and biochemical conditions for the native microorganisms or implanted ones in the soil to produce calcite. The native bacteria and the most common used in biocementation process is *Bacillus pasteurii*, that forms the calcite as a final product of the biocementation along the enzymatic process. This work investigated the experimentation that improved the soil stiffness by increasing the density of the soil, also identifying that the application of the biocement solution through the percolation method propagates along the specimen in a heterogenous way, promoting greater levels of biocementation in upper layers. This method brings to the soil the capability of improving geomechanical properties such as increasing the stiffness and density of the sandy soil. The unconfined compression test reached 417,20 kPa; and an ultrasound test was also carried out to quantify the velocity of the compression and shear waves and the consequent correlation with the results obtained in the unconfined compression test.

KEYWORDS: biocementation, density, unconfined compression test, geomechanical properties, Osório sand.

1 | INTRODUÇÃO

O processo de biocimentação é estudado em solos arenosos devido a correção de problemas como erosão, aperfeiçoamento de propriedades geomecânicas e liquefação, bem como pelas especificidades apresentadas por esse solo, como a distribuição granulométrica e ambiente propício ao desenvolvimento dos microrganismos (Gomez et al., 2017; Jiang et al., 2016; Krajewska, 2017; van Paassen et al., 2010), nas quais permitem o desenvolvimento da técnica de biocimentação. Assim como aplicações diversas na área de biorremediação de solos contaminados e materiais alternativos na construção civil também fazem uso da técnica (Achal et al., 2012; Choi et al., 2017).

O método MICP (Microbially Induced Calcite Precipitation), é responsável no processo bioquímico da biocimentação, sendo fator principal a atividade enzimática produtora da urease pelas bactérias e a consequente hidrólise da ureia, que posteriormente formam ligações com a fonte de cálcio fornecida pela solução biocimentante para a produção final da calcite (CaCO_3) (ACHAL e PAN, 2014; QABANY *et al.*, 2012, RITA, 2012) O produto final da biocimentação é capaz de fazer a ligação entre as partículas e proporcionar ganho de resistência ao solo. No processo bioquímico da biocimentação, as bactérias presentes no solo, se alimentam com a ureia e produzem CO_3^{2-} e 2NH_4^+ (Equação 1) (Mortensen et al., 2011; NG et al., 2012; Stocks-Fischer et al., 1999):



Após a primeira etapa da reação concluída, os íons de carbonato reagem com os íons de cálcio provenientes do cloreto de cálcio (Equação 2), sendo essa última etapa formadora da calcite, na qual garantirá coesão maior ao solo, fazendo-o assim mais resistente e menos permeável, em última análise aperfeiçoando as propriedades geomecânicas (ANBU *et al.*, 2016; STOCKS-FISCHER *et al.*, 1999)we discuss microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP).



O trabalho em questão, estudou a variação de propriedades específicas do solo, tais quais: a densidade e a heterogeneidade ao longo da profundidade.

A pesquisa em questão foi desenvolvida na modalidade de Trabalho de Conclusão de Curso na Universidade de Passo Fundo (UPF), nas dependências do Centro Tecnológico de Engenharia Civil, Ambiental e Arquitetura (CETEC) e ocorreu entre os meses de setembro a dezembro de 2016.

2 | MATERIAIS

Os materiais utilizados no trabalho foram: areia de Osório, com densidade relativa de 50%; Solução biocimentante.

2.1 Areia de Osório

Os índices físicos e a distribuição granulométrica da areia de Osório, foram baseados em estudos realizados por Cruz (2008). Na qual a análise granulométrica é apresentada na Tabela 1.

Ainda, os índices físicos necessários para os cálculos desenvolvidos no trabalho, foram obtidos de acordo com a Tabela 2.

A escolha do material se deu pela questão logística, uma vez que o estudo foi realizado no estado do Rio Grande do Sul e o município de Osório faz parte do referente estado. Além, a existência da bactéria *Bacillus pasteurii* e sua capacidade ureolítica no mesmo tipo de solo foram determinantes para a escolha do material. Sobretudo, a possibilidade de comparação com estudos paralelos com solos de semelhantes características físicas e microbiológicas.

Abertura da peneira (mm)	% passante
0,60	100,00
0,425	99,97
0,30	99,47
0,15	38,50
0,075	1,55
0,0534	0

Tabela 1. Granulometria da areia de Osório

Fonte: CRUZ (2008)

Índices Físicos	Areia de Osório
Massa específica real dos grãos	2,65 g/
Coeficiente de uniformidade, C_u	2,11
Coeficiente de curvatura, C_c	1,15
Diâmetro médio, D_{10}	0,09 mm
Diâmetro médio, D_{50}	0,17 mm
Índice de vazios mínimo, e_{min}	0,60
Índice de vazios máximo, e_{max}	0,85

Tabela 2. Índices físicos da areia de Osório

Fonte: CRUZ (2008)

2.1 Solução biocimentante

A solução biocimentante foi uma adaptação feita por Garbin (2016), dos estudos de Mortensen *et al.*, (2011) e Amarakoon e Kawasaki (2016), conforme Tabela 3.

Os principais reagentes biocimentantes são os que apresentam concentrações mais elevadas: Ureia e Cloreto de Cálcio, essenciais no processo de biocimentação conforme evidenciado nas Equações 1 e 2. Os outros reagentes funcionam como fontes de nutrientes para o estímulo dos microrganismos nativos do solo, com o intuito de que os mesmos passem pela fase de crescimento exponencial microbiológico e utilizem os reagentes fornecidos pela solução para tal processo.

Reagentes	Concentração (g/L)
Peptona	2
Extrato de Levedura	1
Cloreto de Amônia	10
Bicarbonato de Sódio	2,12
Ureia	30
Cloreto de Cálcio	56

Tabela 3. Composição da solução biocimentante

Fonte: Garbin (2016)

3 | MÉTODOS

A metodologia aplicada no estudo em questão busca avaliar a variação da densidade e heterogeneidade ao longo do corpo de prova após a aplicação da solução biocimentante. Para tanto, foi moldado um corpo de prova, denominado CP_ Biocimentado, com a areia de Osório em camadas de 5 centímetros, totalizando uma altura total de 30 centímetros (Figura 1). Sendo a aplicação da técnica de biocimentação aplicada durante 28 dias e as injeções intervaladas entre 48 horas com 2 vezes o

volume de vazios (70 litros) do corpo de prova por injeção, com densidade relativa da areia de 50% e umidade inicial da areia de 10%. As injeções dos 70 litros foram feitas com o auxílio de um regador (sendo regadores separados para a aplicação da solução biocimentante e da água), buscando uma abrangência de toda a superfície e redução no impacto entre a solução e a camada superficial da areia.

O corpo de prova possuía diâmetro (ϕ) de 56 centímetros e altura total das camadas com 30 centímetros (Figura 1). Na parte inferior do corpo de prova foi disposta uma camada drenante formada por brita e pedrisco, para conduzir o efluente da solução biocimentante pelo orifício disposto no corpo de prova.

Foram retirados corpos de prova a cada 5 centímetros de forma cúbica de dimensões variáveis de acordo com a conforme Figura 2, resultando em um total de 6 corpos de prova, correspondentes a altura de 30 centímetros. Dessa forma, após o término do tratamento de biocimentação, foi possível avaliar a densidade úmida e seca do material, tendo por base a densidade inicial úmida de $1,54 \text{ g/cm}^3$.



Figura 1. Corpo de prova CP_Biocimentado

Em relação a biocimentação ao longo do corpo de prova, foi possível uma identificação tátil-visual, bem como correlação com as densidades encontradas.



Figura 2. Amostras para verificação da densidade

Para os ensaios de ultrassom no qual objetivavam a mensuração da velocidade das ondas de compressão e cisalhante, foram moldados manualmente 10 corpos de prova com diâmetro (ϕ) de aproximadamente 5 centímetros e altura aproximada de 10 centímetros, sendo esta altura correspondente às camadas superiores do CP_Biocimentado, pois as mesmas possuem maior nível de biocimentação. Dessa forma, ressalta-se que todas amostras foram retiradas da parte superior do CP_Biocimentado, ou seja, nas camadas mais superficiais, às quais em tese sofrem de forma mais acentuada o processo de biocimentação. Os resultados do ensaio de ultrassom serviram para eventuais descartes de corpos de prova cujas variações de resultados ultrapassassem a magnitude de 20% na velocidade de propagação da onda. As dimensões dos 10 corpos de prova objetivados para tais fins são apresentadas na Tabela 4

	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Volume (mm ³)
CP_1	51,00	106,40	217356,11
CP_2	51,27	111,53	230231,49
CP_3	53,46	110,40	247767,68
CP_4	53,40	107,80	241429,96
CP_5	50,73	115,27	233013,14
CP_6	52,60	106,20	230773,47
CP_7	53,76	106,93	242688,78
CP_8	55,38	107,73	259484,26
CP_9	57,97	109,47	288887,29
CP_10	53,68	109,33	247418,13

Tabela 4. Composição da solução biocimentante

Nota-se que ocorreram variações em relação as dimensões apresentadas na Tabela 4, isso se deve ao processo manual de moldagem dos corpos de prova (Figura 3).

Todos os 10 corpos de prova listados na Tabela 4 foram submetidos ao ensaio de ultrassom, por esse um ensaio não destrutivo, habilitando os mesmos corpos de prova para os posteriores testes de compressão. Para os ensaios de compressão simples foram selecionados 7 corpos de prova dentre os listados na Tabela 4, de forma aleatorizada, tendo como corpos de prova selecionados: CP_1, CP_2, CP_5, CP_6, CP_8, CP_9 e CP_10.

Após o procedimento de sorteio, os corpos de prova destinados ao ensaio de compressão simples foram submetidos ao capeamento com nata de cimento de acordo com a Figura 4.



Figura 3. Moldagem dos corpos de prova para o ensaio de ultrassom e posterior compressão simples

O procedimento de capeamento se estendeu por 24 horas, após iniciou-se o processo de saturação das amostras, mantendo as mesmas submersas por mais 24 horas. Durante este último procedimento foi identificada pequenas perdas de solo nas regiões de menor nível de biocimentação dos corpos de prova.



Figura 4. Processo de capeamento dos corpos de prova

O ensaio de ultrassom além de ser não destrutivo, identifica a existência de fissuras internas dos corpos de prova por variabilidades identificadas nos comprimentos das ondas. Outrossim, o ensaio de ultrassom possibilita que correlações sejam feitas como por exemplo para a determinação do módulo de cisalhamento, definido pela Equação 3:

$$G = \gamma_n * V \quad (3)$$

Em que:

G: Módulo de cisalhamento (Pa);

γ_n : Densidade natural do solo (kg/m^3);

V: Velocidade da onda de cisalhamento (m/s).

4 | RESULTADOS

Os resultados esperados para o presente trabalho foram: densidade úmida e seca, velocidade das ondas de compressão e de cisalhamento, resistência a compressão simples, bem como uma perspectiva da biocimentação ao longo do corpo de prova e avaliação da consequente heterogeneidade da biocimentação ao longo do CP_Biocimentado.

4.1 Densidade úmida do CP_Biocimentado

A variação da densidade úmida ao longo das camadas do CP_Biocimentado foi identificada após a exumação dos corpos de prova e os resultados são apresentados na Figura 4.

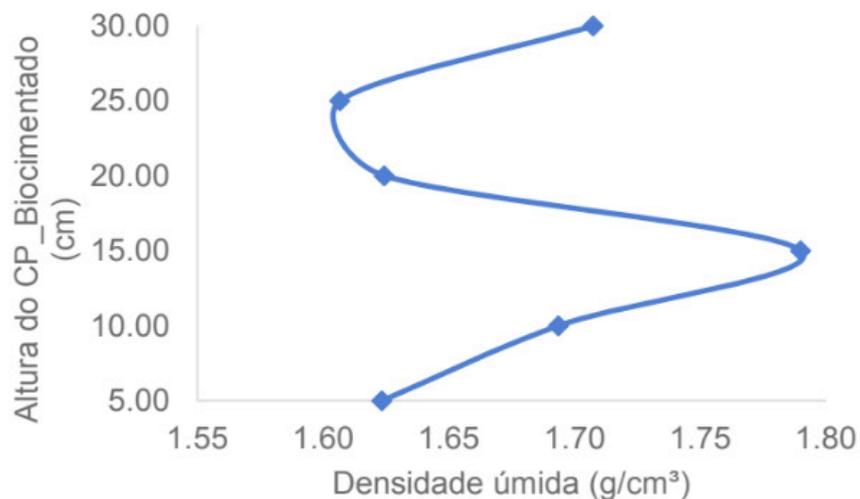


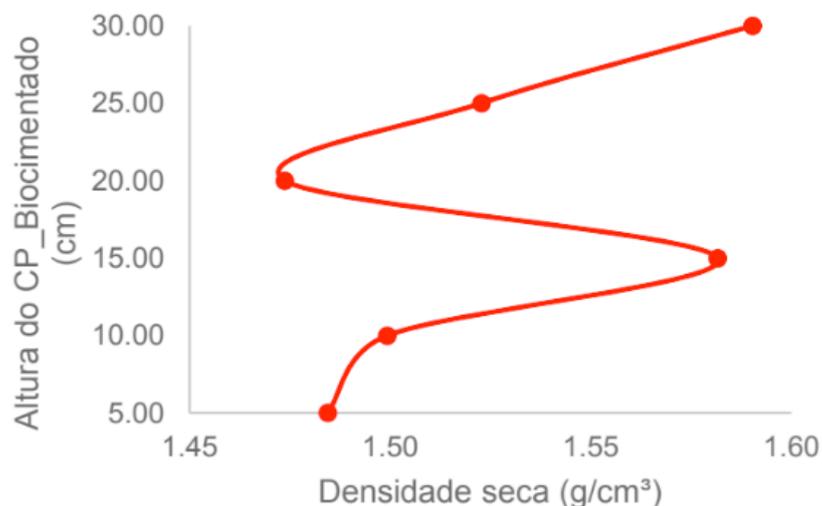
Figura 4. Densidade úmida ao longo do CP_Biocimentado

Observa-se que para a densidade úmida a camada mediana do corpo de prova apresentou a maior densidade, sendo essa na altura de 15 cm com densidade de 1,79 g/cm³. Esse conjunto de dados evidenciam de forma prévia a heterogeneidade do processo de biocimentação através do método da percolação.

4.2 Densidade seca do CP_Biocimentado

Para a densidade seca, tem-se os resultados apresentados na Figura 5. Nota-se que a densidade mais elevada ficou localizada no topo do corpo de prova, com magnitude de 1,59 g/cm³. Comprovando dessa forma a heterogeneidade no processo de biocimentação ao longo do corpo de prova.

Observa-se um comportamento semelhante ao da Figura 4, no qual sugere que a retenção de água segue um padrão ao longo do CP_Biocimentado. Porém, a densidade seca máxima foi encontrada na camada superior, a qual apresentou maior grau de biocimentação através da técnica de percolação da solução biocimentante, ficando concentrada a atividade ureolítica próxima a superfície de contato e funcionando como forma de retenção da solução no decorrer da aplicação das soluções.



4.3 Comparação das densidades

A comparação entre as densidades é apresentada na Figura 6. Para efeito visual foi plotada a densidade inicial, na qual também é útil para mensurar o efeito da técnica de melhoramento de solo promovido pela biocimentação do solo arenoso.

Através da Figura 6 avalia-se o efeito da biocimentação no ganho de densidade das camadas do CP_Biocimentado, consequentemente implicando no melhoramento de propriedades geomecânicas.

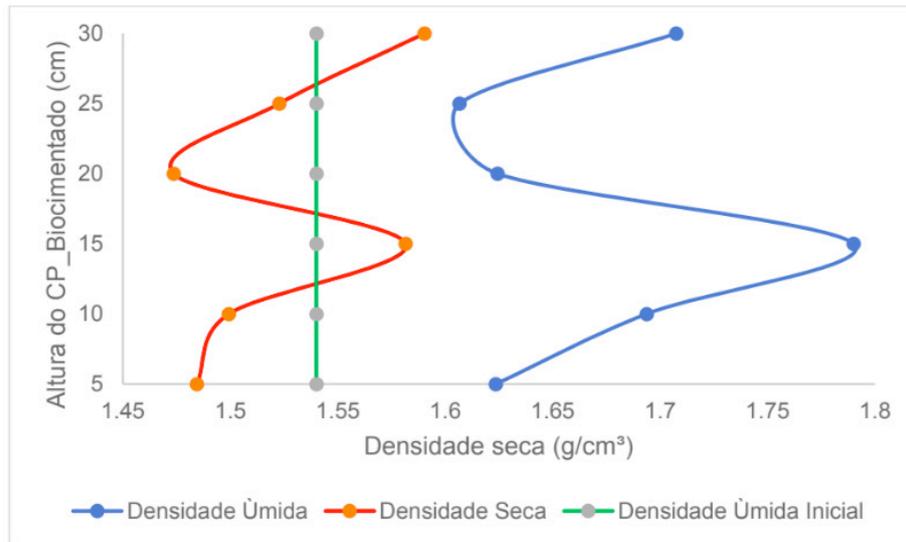


Figura 6. Comparação das densidades

Evidencia-se também a questão heterogênea e não linear da aplicação da solução biocimentante através da percolação da mesma. Sugere-se em estudos futuros o aperfeiçoamento da forma de aplicação da solução, visando mitigar possíveis variações e obter um resultado aperfeiçoado quanto ao grau de biocimentação.

4.4 Velocidade das ondas de compressão e de cisalhamento

Os resultados obtidos pelos ensaios para as ondas de compressão são demonstrados na Figura 7. Dentre os 10 corpos de prova analisados a velocidade média da onda de compressão foi de 2189,67 m/s, com um desvio padrão de 159,45 m/s e o coeficiente de variação de 7%, no qual permite inferir que os corpos de prova não obtiveram imperfeições, dentro do limite máximo de variação proposto pela metodologia de 20%.

Os resultados para a velocidade de ondas de cisalhamento são apresentados na Figura 8. A média das velocidades de cisalhamento foi de 1354,84 m/s, com desvio padrão de 176,59 m/s e coeficiente de variação de 13% (enquadrado dentro do limite de 20%).

O ensaio de ultrassom permitiu quantificar a velocidade das ondas e qualificar os corpos de prova induzindo a verificação de conformidade dos espécimes analisados, dentro do rigor estabelecido para o coeficiente de variação. Ainda, induz-se que a variabilidade das ondas encontradas seja oriunda do processo heterogêneo da biocimentação através da percolação, uma vez que a solução busca caminhos “preferenciais” para suas redes de fluxo.

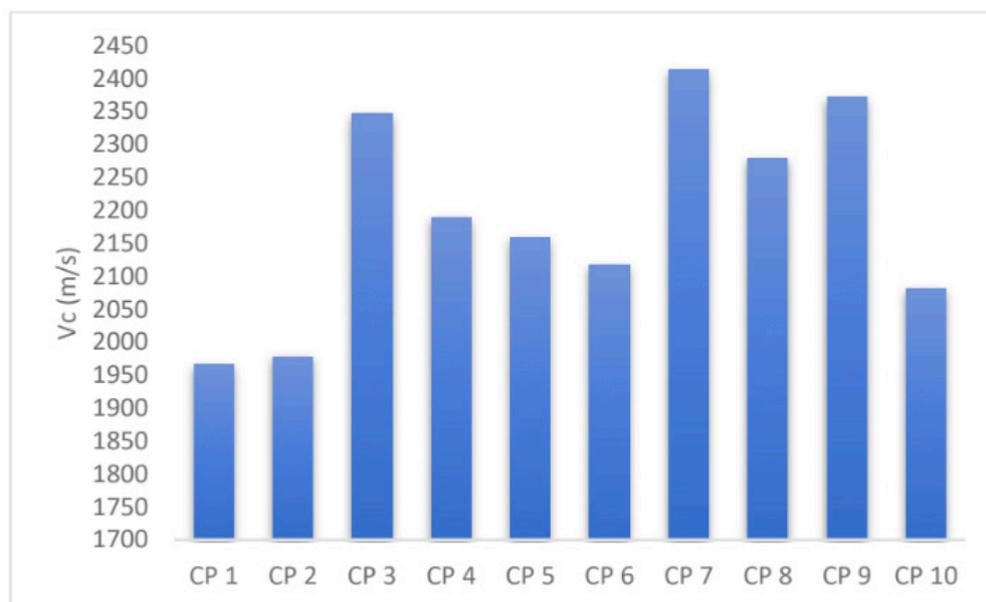


Figura 7. Velocidade das ondas de compressão

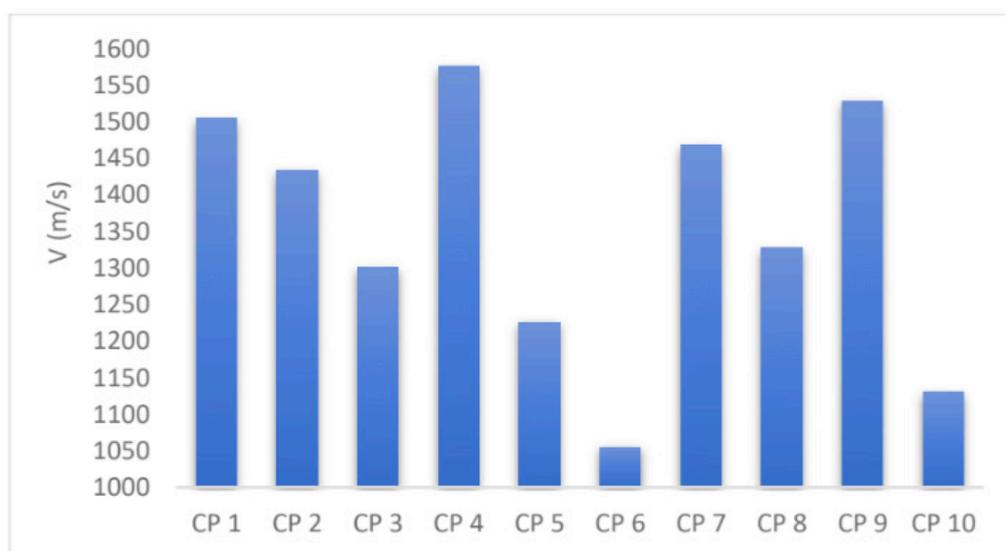


Figura 8. Velocidade das ondas de cisalhamento

A Figura 9 exibe a relação entre a velocidade das ondas de cisalhamento e do módulo de cisalhamento calculado. Percebe-se a adequação do coeficiente de determinação R^2 com o modelo proposto, explicando 94% dos resultados obtidos dentro do espaço amostral. Outrossim, avalia-se que o módulo cisalhante é proporcional ao aumento da velocidade das ondas de cisalhamento, às quais são diretamente ligadas ao nível de biocimentação obtido. O valor máximo obtido para o módulo cisalhante

foi de 4,51 GPa para o CP_9, indicando a efetividade da técnica em relação ao aperfeiçoamento de propriedades geomecânicas do solo.

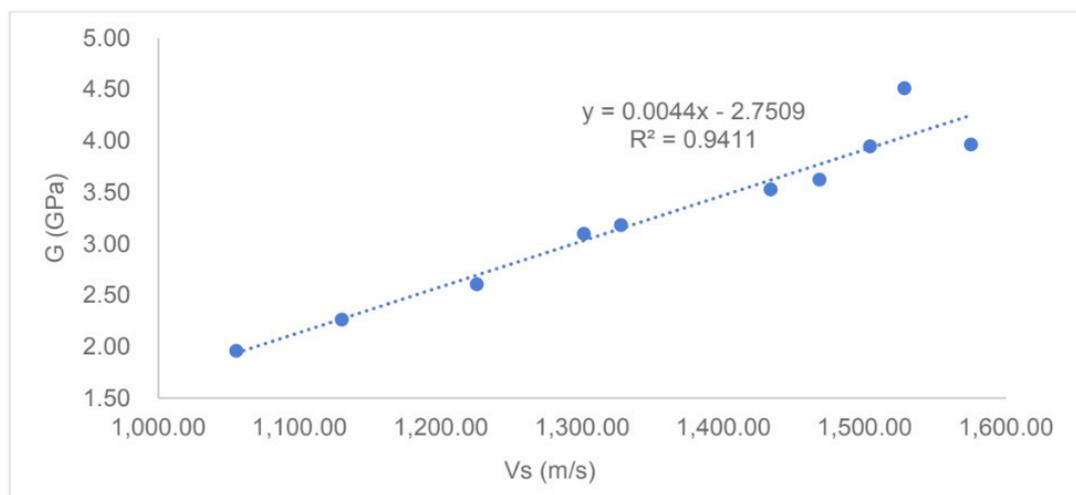


Figura 9. Velocidade das ondas de cisalhamento vs Módulo de Cisalhamento

4.5 Compressão simples

Em relação a compressão simples para os 7 corpos de prova propostos os resultados em kPa são exibidos na Figura 10. Dentre os espécimes analisados a média do resultado de compressão simples foi de 236,43 kPa, com desvio padrão de 122,09 kPa e coeficiente de variação de 51%. Logo, observou-se uma variabilidade significativa em relação aos resultados, esta atribuída a heterogeneidade no processo de biocimentação.

Ainda, foi possível observar uma correlação entre a velocidade das ondas de compressão e a resistência a compressão simples (Figura 11). Em que o coeficiente de determinação R^2 indicou a explicação de 84% dos resultados obtidos dos espécimes analisados. Esta informação é importante para estimar a resistência a compressão simples sem a necessidade de ensaios destrutivos, ou para a questão de monitoramento do processo de biocimentação.

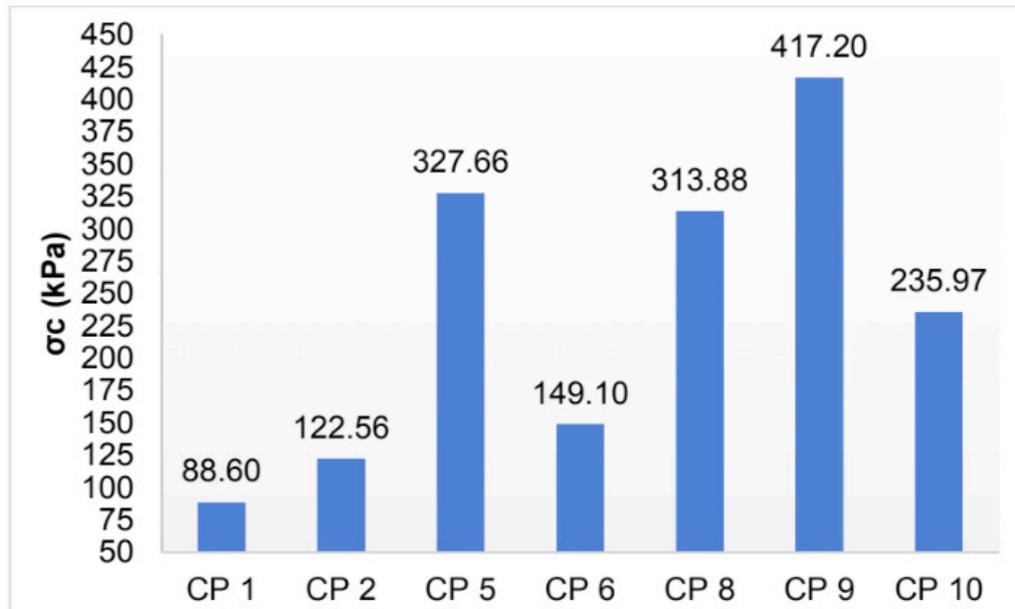


Figura 10. Velocidade das ondas de cisalhamento vs Módulo de Cisalhamento

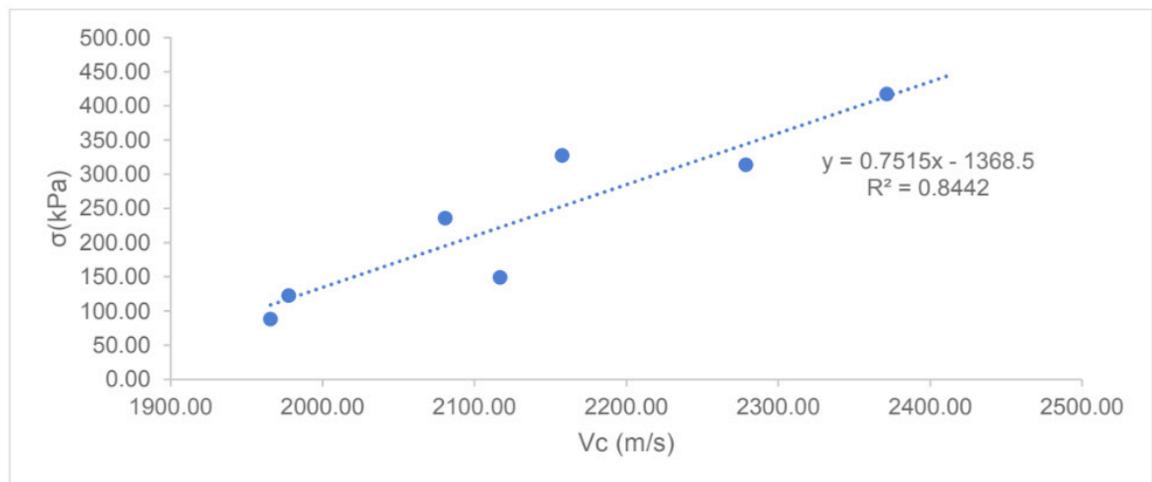


Figura 11. Velocidade das ondas de compressão vs Tensão de ruptura

O ensaio destrutivo para a determinação da compressão simples também foi fundamental para determinar os tipos de rupturas ocorridos nos corpos de prova. Os mesmos apresentaram características comuns a materiais com baixo nível de cimentação, sendo as rupturas identificadas nas camadas com menor índice de biocimentação. Com o vislumbre da Figura 12 é possível identificar que a ruptura ocorre da base até próximo ao centro dos corpos de prova CP_9 e CP_11 respectivamente; pois é nessa região em que o grau de compactação passa a aumentar significativamente, em última análise provocando a ruptura na camada inferior onde a biocimentação é defasada.



Figura 12. Ruptura dos corpos de prova CP_9 e CP11 respectivamente

4.6 Heterogeneidade

Esse item trata de um dos objetivos iniciais do trabalho, no qual evidencia a importância da biocimentação ao longo do corpo de prova e variando devido a sua profundidade e percolação com a profundidade (CHENG e CORD-RUWISCH, 2014). Após a exumação do corpo de prova, foi possível identificar a biocimentação com a profundidade (Figura 13) e correlacionar esse efeito com as densidades encontradas nos itens 4.1, 4.2 e 4.3, bem como com os resultados obtidos através do ensaio de ultrassom no item 4.4 e a resistência a compressão simples do item 4.5.

Logo, observa-se que a biocimentação ocorreu de forma mais acentuada nas camadas superiores, criando um forte estado de biocimentação, e consequente aumento de densidade e resistência das camadas adjacentes à superfície.



Figura 13. Exumação do CP_Biocimentado

5 | CONCLUSÃO

Em virtude dos resultados expostos pode-se concluir que houve um acréscimo de densidade através da técnica de biocimentação, possibilitando maior magnitude de rigidez ao solo arenoso estudado e por consequência contribuindo com as propriedades geomecânicas do maciço arenoso estudado. Ainda, através da exumação do CP_Biocimentado foi possível identificar a heterogeneidade da biocimentação com a profundidade, apresentando índices superiores de biocimentação nas camadas superficiais e evidenciando que essa heterogeneidade da técnica deve ser levada em consideração quando aplicada a presente técnica de melhoramento de solo.

Sugere-se estudos nos quais avaliem a capacidade e eficácia da técnica MICP em solos com profundidades de maior magnitude e a performance de diferentes tipos de aplicação da técnica, tais quais a solução submetida a um fluxo constante com pressão pré-determinada, considerando o tratamento *in situ*.

O uso do ensaio de ultrassom é eficiente para estimar a resistência a compressão simples, bem como o módulo de cisalhamento. O mesmo ensaio é eficiente para detectar efeitos de heterogeneidade ao longo dos corpos de prova, bem como para o monitoramento do grau

Por fim, a aplicação da técnica por percolação da solução biocimentante traz o efeito de heterogeneidade através da técnica de aplicação na qual usufrui da percolação da solução biocimentante ao passo que contribui positivamente para o aumento da densidade em solo arenoso, trazendo por consequência melhoramento de rigidez, permeabilidade e erosão do solo.

REFERÊNCIAS

- ACHAL, V.; PAN, X. **Influence of calcium sources on microbially induced calcium carbonate precipitation by *Bacillus* sp. CR2.** Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 173, n. 1, p. 307–317, 2014.
- ACHAL, V.; PAN, X.; FU, Q.; ZHANG, D. **Biomining based remediation of As(III) contaminated soil by *Sporosarcina ginsengisoli*.** Journal of Hazardous Materials, v. 201–202, p. 178–184, 2012.
- AMARAKOON, G. G. N. N.; KAWASAKI, S. **Factors Affecting Improvement of Sand Properties Treated with Microbially Induced Calcite Precipitation.** In: Congress GeoChicago: Sustainability, Energy and the Geoenvironment, 2016. In Press.
- ANBU, P.; KANG, C. H.; SHIN, Y. J.; SO, J. S. **Formations of calcium carbonate minerals by bacteria and its multiple applications.** SpringerPlus, v. 5, n. 1, p. 1–26, 2016.
- ANDREUCCI, R.; **Ensaio por Ultrassom: Aplicação industrial.** Ed: Julho/2016, ABRENDI/SP, 2016.
- CHENG, L.; CORD-RUWISCH, R. **Upscaling Effects of Soil Improvement by Microbially Induced Calcite Precipitation by Surface Percolation.** Geomicrobiology Journal, v. 31, n. 5, p. 396–406, 2014.
- CHOI, S. G.; WANG, K.; WEN, Z.; CHU, J. **Mortar crack repair using microbial induced calcite precipitation method.** Cement and Concrete Composites, v. 83, p. 209–221, 2017.
- CRUZ, R. C. **Influência de parâmetros fundamentais na rigidez, resistência e dilatância de uma areia artificialmente cimentada.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. 218p. 2008.
- DALLA ROSA, F. **Efeito do Estado de Tensões de Cura no Comportamento de Uma Areia Artificialmente Cimentada.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRGS. Porto Alegre.
- GARBIN, R. G. **Avaliação de biocimentação em solo arenoso.** UPF. 2016. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia e Arquitetura – Curso de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.
- GOMEZ, M. G.; ANDERSON, C. M.; GRADY, C. M. R.; DEJONG, J. T.; NELSON, D. C.; GINN, T. R. **Large-Scale Comparison of Bioaugmentation and Biostimulation Approaches for Biocementation of Sands.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 143, n. 5, p. 04016124, 2017.
- JIANG, N. J.; YOSHIOKA, H.; YAMAMOTO, K.; SOGA, K. **Ureolytic activities of a urease-producing bacterium and purified urease enzyme in the anoxic condition: Implication for subseafloor sand production control by microbially induced carbonate precipitation (MICP).** Ecological Engineering, v. 90, p. 96–104, 2016.
- KRAJEWSKA, B. **Urease-aided calcium carbonate mineralization for engineering applications: A review.** Journal of Advanced Research, 2017.
- MORTENSEN, B. M.; HABER, M. J.; DEJONG, J. T.; CASLAKE, L. F.; NELSON, D. C. **Effects of environmental factors on microbial induced calcium carbonate precipitation.** Journal of Applied Microbiology, v. 111, n. 2, p. 338–349, 2011.
- NG, W.; LEE, M.; HUI, S. **An overview of the factors affecting microbial-induced calcite precipitation and its potential application in soil improvement.** World Academy of Science, Engineering and Technology, v. 62, n. 2, p. 723–729, 2012.

van PAASSEN, L. A.; GHOSE, R.; LINDEN, T. J. M. VAN DER; STAR, W. R. L. VAN DER; LOOSDRECHT, M. C. M. VAN. **Quantifying Biomediated Ground Improvement by Ureolysis: Large-Scale Biogrout Experiment.** *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 136, n. 12, p. 1721–1728, 2010.

QABANY, A. AL; SOGA, K.; SANTAMARINA, C. Factors Affecting Efficiency of Microbially Induced Calcite Precipitation. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 138, n. 8, p. 992–1001, 2012.

RITA, R. P.; Bio – **Cimentação de Solos Arenosos para Melhoramento das suas Características Hidro – Mecânicas. Tese (Mestrado em Engenharia)** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, IST, Lisboa. 2014.

STOCKS-FISCHER, S.; GALINAT, J. K.; BANG, S. S. **Microbiological precipitation of CaCO₃.** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 31, p. 1563–1571, 1999.

SOBRE O ORGANIZADOR

Luís Fernando Paulista Cotian, atualmente é professor magistério superior substituto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR câmpus Guarapuava. Formado em Engenharia de Produção pela Universidade de Franca – SP. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Engenharia Organizacional e Redes de Empresas - EORE. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Otimização e Tomada de Decisão, com previsão de conclusão 2021.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-088-9



9 788572 470889