

Utilização de biocimentação como técnica de remediação no melhoramento de propriedades mecânicas de solo arenoso

Jaqueline Bonatto 1

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, jaquebonatto@yahoo.com.br

Karla Heineck 2

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, Karla@ppgec.ufrgs.br

Antonio Thome 3

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, thomé@upf.br

Bruna Dall Agnol 4

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, brunab_d@hotmail.com

Gregorio Garbin 5

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, greggarbin@gmail.com

Valeria Astolfi 6

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, valeria.astolfi@hotmail.com

Augusto Kaiser 7

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, augusto_kaiser@hotmail.com

RESUMO: Com o aumento populacional e da infraestrutura no Brasil e no mundo, a busca por áreas pra ocupação urbana tem aumentado significativamente. O desenvolvimento acaba por desabilitar grandes áreas de solo além de, desvalorizar imóveis e limitar o desenvolvimento urbano. Nesse contexto surgem estudos e técnicas de remediação para o melhoramento dessas áreas, possibilitando posteriormente o seu uso para a execução de atividades como já desenvolvidas anteriormente. Como soluções ambientais a biotecnologia pode oferecer tanto na área de engenharia ambiental como civil, o controle de processos erosivos, estabilização de solos até encapsulamento de contaminantes. Isso ocorre por conta da atividade microbiana presente no subsolo que tem a capacidade de modificar o comportamento do solo, se tornando uma alternativa no melhoramento de solos. No entanto, a técnica de biocimentação vem como intuito de melhorar as propriedades mecânicas de forma sustentável. A biocimentação é a formação de material particulado ou carbonato de cálcio que se une as partículas de solo através da metabolização por microrganismos presentes no meio. É uma série de processos microbiológicos que têm o potencial para modificar o comportamento geotécnico do solo. Dessa forma, o objetivo do trabalho é avaliar a variação das propriedades geotécnicas do solo, proporcionada através da técnica de biocimentação, em um solo arenoso costeiro, além disso, será avaliada a capacidade desses microrganismos realizarem a biocimentação. Será realizado teste bioquímico de produção de urease, Ensaio de Evolução de CO₂, e MEV. Os ensaios foram realizados no laboratório de Geotecnia Ambiental da Universidade de Passo Fundo. Os resultados de evolução apresentaram maiores valores de evolução de CO₂ para o meio A, com atividade urease positiva para a bactéria estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Biocimentação, Microrganismos, Remediação, Solo arenoso.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano e industrial está gerando áreas contaminadas que acarretam riscos a saúde humana, desvalorizam os imóveis e acarretam limitações para o desenvolvimento urbano, e é neste contexto que surgem as técnicas de remediação de solos contaminados, podendo promover a reabilitação total de áreas contaminadas, possibilitando novamente a execução das atividades outrora desenvolvidas.

A origem das áreas contaminadas está relacionada ao desconhecimento, em épocas passadas, de procedimentos seguros para o manejo de substâncias perigosas, ao desrespeito a esses procedimentos seguros e à ocorrência de acidentes ou vazamentos durante o desenvolvimento dos processos produtivos, de transporte ou de armazenamento de matérias primas e produtos. A existência de uma área contaminada pode gerar problemas como danos à saúde humana, comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, restrições ao uso do solo e danos ao patrimônio público e privado, com a desvalorização das propriedades, além de danos ao meio ambiente (REBECHI, 2007).

A geotecnologia microbiana é um ramo emergente da Engenharia Geotécnica. Embora existam várias aplicações potenciais de microrganismos para esta área, aplicações promissoras são encontradas na técnica de biocimentação de solos contaminados (IVANOV e CHU, 2008).

A atividade microbiológica e seus inúmeros processos microbiológicos que estão presentes no subsolo têm o potencial para modificar o comportamento do solo, e estes processos devem ser utilizados como alternativa na formação de novas técnicas de melhoramento de solo.

A solução natural e sustentável é necessária para melhorar as condições do solo e permitir o crescimento contínuo da infraestrutura no país. Novas técnicas de melhoria do solo têm utilizados processos biológicos para remediar as propriedades do solo (DEJONG et al, 2010).

O uso da biotecnologia pode oferecer soluções ambientais na área da engenharia

ambiental e da engenharia civil, tanto no uso para controle de processos erosivos, estabilização de solos quanto para encapsulamento de contaminantes.

As melhorias das propriedades mecânicas do solo podem variar amplamente entre os processos de biocimentação em solo. As propriedades principais que podem realizar uma mudança de 10 vezes ou mais incluem a permeabilidade, a rigidez, a compressibilidade, resistência ao corte, e comportamento volumétrico. Estas mudanças nas propriedades oferecem inúmeras possibilidades de aplicação.

Neste contexto, que o objetivo do artigo é avaliar a variação das propriedades geotécnicas do solo, proporcionada através da técnica de biocimentação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Solo

O solo utilizado para realização do experimento está sendo a areia, proveniente do município de Osório, localizado no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul. Pedologicamente, o solo classifica-se como um Neossolo Quartzarenico Ortico Hidromorfo Típico, pertencente da região costeira gaúcha (STRECK et al, 2002).

Este material caracteriza-se por ser uma areia fina, limpa e de granulometria uniforme. Conforme Girardello (2013) e Cruz (2008), o solo apresenta peso específico de 26,3 kN/m³, índice de vazios mínimo de 0,6 e máximo de 0,9 (Figura 01 e Figura 02).

Índices Físicos	Areia de Osório
Peso específico real dos grãos (γ_s)	26,3 kN/m ³
Coefficiente de uniformidade, C_u	2,1
Coefficiente de curvatura, C_c	1,0
Diâmetro efetivo, D_{10}	0,09 mm
Diâmetro médio, D_{50}	0,16 mm
Índice de vazios, $e_{\text{mínimo}}$	0,60
Índice de vazios, $e_{\text{máximo}}$	0,90

Figura 01. Propriedades e índices físicos do solo (Girardello, 2013).

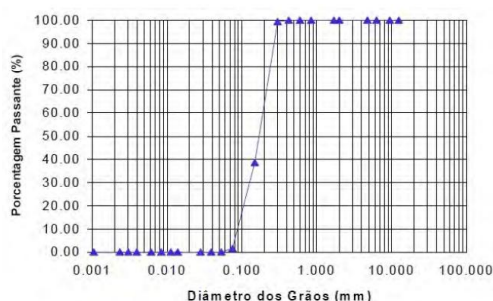


Figura 02. Curva de distribuição granulométrica da areia de Osório (Cruz, 2008).

2.2 Teste de respirometria

Este método consiste na captura de $C-CO_2$, emitido de uma amostra de solo, em solução de NaOH e sua dosagem por titulação em HCL.

Para o desenvolvimento do método utilizou-se 09 recipientes herméticos de 1000 mL cada. Em cada recipiente, adicionou-se um corpo de prova moldado, um frasco com 30 mL de solução de NaOH 0,5 mol/L (para captura de $C-CO_2$), e outro contendo 30 mL de H_2O (para manter a umidade).

Os recipientes contendo o conjunto de solo + solução de NaOH + H_2O e o recipiente contendo apenas NaOH (branco), foram fechados e mantidos a temperatura ambiente.

Após 48 horas de incubação, os recipientes foram abertos e os frascos de NaOH retirados, tomando o cuidado para deixar cada recipiente contendo solo aberto por 15 minutos, para que ocorra a troca de ar (esse tempo foi uniforme para todas as amostras). Pipetou-se 10 mL da solução de NaOH (previamente incubada com o solo) para um erlenmeyer de 125 mL, adicionou-se 10 mL da solução de $BaCl_2$ 0,05 mol/L e 3 gotas de fenolfetaleína 1%, em seguida titulou-se com solução de HCL 0,25 mol/L. O ponto de viragem é nítido passando de violeta para incolor. Decorrido o tempo necessário para a troca de ar do solo, outro frasco com 30 mL de solução de NaOH 0,5 mol/L foi adicionado a cada sistema e este fechado e incubado novamente. O procedimento foi repetido a cada 24 horas, por 28 dias de experimento.

2.3 Contagem dos microrganismos

A metodologia usada se baseia por Contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC), que consiste na separação de 10 g de solo de cada camada do perfil em sacos plásticos esterilizados (em condições assépticas), adicionando-se a cada amostra 90 ml de água peptonada para fazer uma diluição de 1:10. Do conteúdo do saco será retirado 1,0 ml e colocado em um tubo de ensaio, que logo será homogeneizado com 9 ml de água peptonada-tamponada 0,1% ficando esta diluição com uma concentração de 1:100 como mostrado na Figura 11. As duas diluições serão incubadas em estufas bacteriológicas durante 24 horas a 25°C. Terminado esse período cada uma delas será distribuída em forma de estrias com a alça de platina esterilizada sobre duas placas de Petri contendo Ágar nutriente.

Após a distribuição, as placas serão incubadas em estufas bacteriológicas durante 48 horas a 25°C, e posteriormente observa-se o crescimento bacteriano.

2.4 Determinação do pH

O pH é muito importante em solos, pois este exerce grande influência sobre as características de floculação e agregação das partículas e por consequência no arranjo estrutural entre vazios e sólidos do solo (Farias, 2003). Para realizar as medidas de pH será empregado um potenciômetro, mais conhecido como pH-metro, o qual mede a concentração de íons de hidrogênio na solução de solo.

Serão efetuadas determinações de pH em água, na relação 10 ml de solo e 25 ml de água.

2.5 Microscopia eletrônica de varredura

Foram realizadas análises de MEV nas amostras estudadas com tratamento, com a finalidade de verificar a presença de carbonato de cálcio produzida pela adição do meio nutritivo. O processo de preparação das amostras consiste em congelamento das amostras com nitrogênio líquido a $-195^\circ C$, logo em seguida, serão colocadas em uma estufa de vácuo a $105^\circ C$ durante no mínimo 12 horas. Posteriormente foi realizado o processo

de metalização das mesmas para permitir a condutividade elétrica.

2.6 Teste de produção de Urease

O teste bioquímico de produção de urease serve para determinar se uma bactéria produz a enzima urease, a qual hidrolisa a ureia. Neste teste são produzidos amônia e anidrido carbônico. A prova é realizada colocando uma alçada da bactéria na superfície do meio em tubos de ensaio que está com pH neutro e depois se coloca 1g de ureia e após isso se agita os tubos, quando a prova é positiva a formação de amônia alcaliniza o meio de cultivo deixando-o de cor rosa. Quando o resultado é negativo, o meio torna-se amarelo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O teste de respirometria foi acompanhada por um período de 28 dias, tempo considerado necessário para a estabilização das curvas de evolução de CO₂. A quantificação do CO₂ pode ser analisada nos diferentes meios: A, B e o Controle. Todos os tratamentos foram sistematicamente comparados ao Controle.

A figura 03 apresenta a atividade microbiológica durante processo de biocimentação.

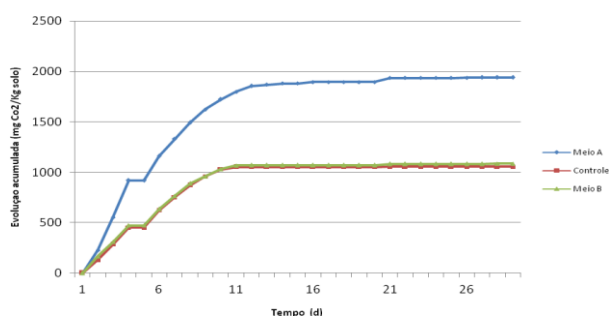


Figura 03. Evolução de CO₂ (mg/kg) acumulado ao longo de 28 dias, da técnica biocimentação.

Observa-se que o Meio A apresentou um aumento significativo quando comparado ao meio B, e ao controle. O controle teve seu pico até o décimo dia, posteriormente a este dia, manteve-se praticamente constante até os 28 dias de ensaio. No período até o décimo dia, as bactérias se encontravam nas fases LAG e Exponencial. Nesta fase que as células se encontram tanto em crescimento quanto em

desenvolvimento, ou seja, algumas células que estavam na fase LAG já sintetizaram a enzima e já começaram a crescer, e continuaram nessa fase até que todas as células já tenham sintetizado a enzima, após este período as bactérias entram na fase estacionária, o que aconteceu após o décimo segunda dia de ensaio.

O ensaio com o meio A teve resultados satisfatórios, pois houve a produção de CO₂ até o décimo primeiro dia, posteriormente a isso, houve uma constância do experimento.

O ensaio com o meio B não apresentou resultados satisfatórios quando comparada ao controle.

O aumento da atividade microbiológica evidenciada no ensaio de evolução de CO₂ permite verificar que o meio A teve um aumento significativo quando comparado aos outros experimentos, com valores acumulados de 1939,5 mg de CO₂ /kg de solo, enquanto o meio B obteve 1084,5 mg de CO₂/kg e o controle 1054,5 mg de CO₂/kg de solo ensaiado.

A contagem dos microrganismos foi realizada no solo natural, ou seja, sem a presença dos meios nutritivos. O ensaio foi realizado através da técnica de microscopia direta, a qual obteve-se resultado médio de $9,8 \times 10^5$ UFC/g de solo.

O pH do solo é um fator limitante para os microrganismos e um importante parâmetro de monitoramento. Muitas espécies de microrganismo sobrevivem a faixas extremas de pH, no entanto, o pH neutro é o ideal para o crescimento das bactérias.

A tabela 01 apresenta o pH do solo avaliados no final do experimento de evolução de CO₂.

	pH médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Branco	6,26	0,07	1,06
Meio A	8,26	0,01	0,07
Meio B	8,00	0,09	1,13

Tabela 01. pH do solo avaliado no final do experimento.

O teste de produção de urease verifica se a bactéria utilizada no experimento produz enzima urease, a qual hidrolisa a ureia, que é um dos principais compostos usados pelos

microrganismos na produção do biocimento. Neste teste são produzidos amônia e anidrido carbônico que conferem coloração rosada ao meio onde é realizado o teste. A prova teve resultado positivo, conforme apresentado na Figura 04 a seguir, onde a coloração do meio tornou-se cor de rosa, imediatamente após a semeadura da bactéria presente no solo e permaneceu nas 24 h indicadas para observação.



Figura 04. Teste de urease positivo.

A seguir estão apresentadas as amostras levadas para o MEV, Figura 05 e 06.

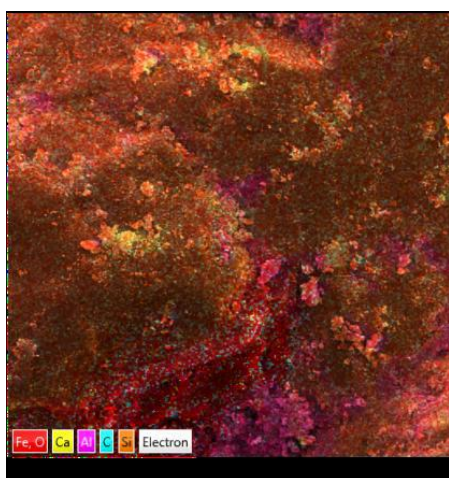


Figura 05. Resultados do MEV para as amostras ensaiadas.

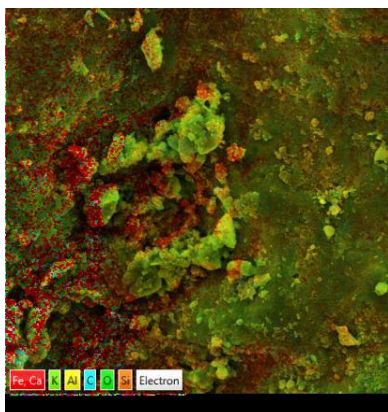


Figura 06. Resultados do MEV para as amostras ensaiadas.

Com base nas imagens acima, foi possível observar uma porcentagem de cálcio na Amostra, além disso, foi possível ver a partir do resultado do MEV os cristais de CaCO_3 na ampliação da amostra, porém em porcentagem pequena.

4 CONCLUSÃO

A partir dos ensaios realizados foi possível concluir que os microrganismos nativos do solo como os microrganismos adicionados ao solo como bioaugmentação possuem capacidade de precipitar CaCO_3 , isso é evidenciado no teste bioquímico e evolução de CO_2 .

Foram estudados dois meios para verificar qual teria mais eficiência, no entanto, o meio A obteve melhores resultados, com isso, para realização ensaio MEV foi realizado somente com o meio B, mostrando uma pequena precipitação de CaCO_3 , ainda verifica-se que há necessidade de adaptação do meio estudado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- REBECHI, M. R. L (2007). *Bioremediação na descontaminação de um solo residual de basalto contaminado com óleo diesel e biodiesel*. Passo Fundo, Dissertação. 112 p. Programa de Pós Graduação em Engenharia. Universidade de Passo Fundo.
- Girardello, V. Comportamento de ensaios de arrancamento de placas embutidas em camadas de solo-cimento-fibra. Porto Alegre, 2013. 196p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- DEJONG, J.T., MORTENSEN, B.M., MARTINEZ, B.C., NELSON, D.C. (2010). *Bio-mediated soil improvement*. Ecological Engineering, Vol 36, 197-210
- Inavov, V., Chu, J (2008). Applications of microorganisms to geotechnical engineering. Environmental Science Biotechnology.
- Streck, E. V., Kampf, N., Dal Molin, R. S., Klamt, E., Nascimento, P. C., Scheneider, P. Solos do Rio Grande do Sul. Editora da UFRGS. Porto Alegre/RS, 126 p. 2002.
- Cruz, R. C. Influência de parâmetros fundamentais na rigidez, resistencia e dilatancia de uma areia artificialmente cimentada. Tese (doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.216, 2008.
- Farias, W.M. (2003). Condutividade Hidráulica de Solos Tropicais Compactados a Hidrocarbonetos da

Gasolina. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-108A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 152 p.