

Avaliação das propriedades mecânicas e de autocicatrização de bioconcreto produzido com *Bacillus subtilis*

MARIANA ZAKRZEWSKI – ENG. – mariana_zak@hotmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3741-1861>;
 ANDRÉ L. SOKOLOVSKI – GRAD. – ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3258-0084>;
 JULIA K. DE RÉ – GRAD. – ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4828-7648>;
 GABRIEL F. NESTOR – GRAD. – ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6182-3906>;
 SUELEN C. VANZETTO – Ms PROF. – ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0430-6130>
 URI – RS

RESUMO

A fissura é uma manifestação patológica muito comum em edificações. Haja vista, o bioconcreto vem sendo estudado para minimizar e corrigir tal empecilho, a fim de reduzir intervenções externas na estrutura. Essa alternativa utiliza do metabolismo de bactérias para a produção de carbonato de cálcio, substância responsável pela vedação de fissuras. O trabalho desenvolvido utilizou de *Bacillus subtilis* para a confecção do bioconcreto, onde foi analisada a eficiência da mesma quando encapsulada em partículas de argila

expandida. A moldagem dos corpos de prova sucedeu conforme os traços de referência, com argila expandida e argila com bactérias encapsuladas. O concreto contendo bactérias apresentou grandes melhorias na resistência à compressão quando comparado ao concreto confeccionado somente com argila expandida, praticamente igualando seus resultados ao concreto de referência. Também foi possível identificar uma possível presença de carbonato de cálcio em fissuras do concreto e no interior da argila expandida, manifestando o processo de autocicatrização.

PALAVRAS-CHAVE: BIOCONCRETO, CARBONATO DE CÁLCIO, BACILLUS SUBTILIS, AUTOCICATRIZAÇÃO.

1. INTRODUÇÃO

A fissuração é a principal porta de entrada de água ao interior das estruturas de concreto. Esta ocorrência pode desencadear a corrosão nas armaduras, podendo levar as estruturas ao colapso (VENQUIARUTO, 2017).

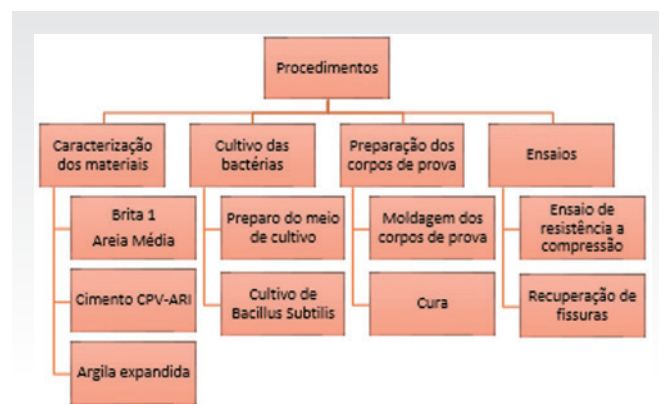
A má qualidade dos materiais, problemas no projeto e execução, bem como a ação do tempo, podem vir a causar patologias nas edificações. As fissuras são consideradas a patologia mais comum, sendo o principal caminho para a entrada de agentes agressivos nas estruturas de concreto.

O concreto dispõe de um processo de cicatrização natural, que se dá pelo preenchimento dos vazios das fissuras através da hidratação das porções anidras de cimento Portland remanescentes no concreto (EUZÉBIO *et al.* 2017). Contudo, o processo natural

de cicatrização é limitado a pequenas fissuras, havendo a necessidade da busca por outras alternativas. O bioconcreto aplicado na estrutura viabiliza, de forma segura, sustentável e econômica, o processo de autorreparação da estrutura danificada. (BARROS *et al.* 2018).

Bioconcretos são concretos que possuem um agente biológico na sua composição, sendo este capaz de induzir a formação de carbonato de cálcio nos vazios da estrutura. As bactérias inseridas são encapsuladas, a fim de que quando surgirem fissuras e, conseqüentemente, contato com a água, essas bactérias comecem a agir, vedando as aberturas geradas, (VIEIRA, 2017).

Ansiando minimizar, ou até mesmo evitar, a necessidade de manutenções corretivas nas edificações, o objetivo da pesquisa é analisar a eficácia da incorporação de bactérias *Bacillus subtilis* na produção de bioconcretos, verificando o preenchimento de fissuras através da produção de carbonato de cálcio.



► **Figura 1**
Fluxograma do procedimento metodológico
Fonte: Autores (2021)

2. DESENVOLVIMENTO

O projeto em questão foi desenvolvido em etapas

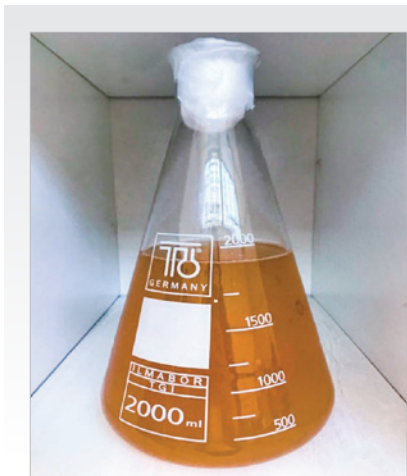


Figura 2
Meio de cultura com bactérias *Bacillus subtilis*
Fonte: Autores (2021)

distribuídas ao longo de um ano. Preliminarmente efetuou-se a revisão bibliográfica, abrangendo pesquisas já realizadas sobre o assunto. A fração experimental da pesquisa foi executada em quatro etapas, sendo elas apresentadas na Figura 1.

2.1 Preparo dos materiais

O meio de cultura contendo bactérias da espécie *Bacillus subtilis* foi pre-



Figura 3
Processo de encapsulamento em argila expandida
Fonte: Autores (2021)

parado no laboratório de Engenharia de Alimentos, localizado no Campus I da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), em Erechim/RS.

A cepa de *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), armazenada em freezer a -80°C , foi ativada previamente em 10 mililitros (mL) de meio Luria Bertani (LB) no decorrer de 24 horas a $(36\pm 1)^{\circ}\text{C}$ dentro de estufa bacteriológica. Posteriormente, a suspensão bacteriana gerada foi transferida para um frasco de erlenmeyer contendo 90 mL de meio LB para a produção do inóculo, sendo este, incubado também a $(36\pm 1)^{\circ}\text{C}$ por 24 horas na mesma estufa. Por fim, o inóculo foi transferido para outro frasco erlenmeyer, este contendo 900 mL de caldo LB e acomodado em estufa na mesma temperatura e período já citados, totalizando ao final, 1 litro (L) de meio de cultura. Este procedimento foi feito em duplicata, obtendo-se 2 litros do composto. O meio de cultura formado é apresentado na Figura 2.

O concreto moldado dispõe de alguns procedimentos distintos, quando comparado ao concreto convencional. É o caso da preparação das cápsulas contendo bactérias e meio de cultivo, executada com o auxílio da argila expandida. As partículas de argila expandida foram embebidas na solução de *Bacillus subtilis* e meio de cultivo, permanecendo em sistema aberto durante 72 horas, a fim de ocorrer a absorção da solução. O processo foi realizado de acordo com a Figura 3.

2.2 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova de bioconcreto foram moldados em formas metálicas cilíndricas com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura. Foram dosados três diferentes traços de concreto, sendo:

- traço 1 (referência): cimento, areia, brita e água;
- traço 2: cimento, areia, brita, argila expandida e água;
- traço 3: cimento, areia, brita, água e argila expandida com meio de cultura e bactérias.

A argila expandida que foi adicionada aos traços de concreto entrou como substituição de 15% da massa total de brita, detendo a função de encapsular o agente regenerador de fissuras.

Para formação das fissuras foi feita pré fissuração dos corpos de prova com 70% da carga de ruptura aos 7 dias. As análises de resistência à compressão e recuperação de fissuras foram feitas 28 dias após a moldagem dos corpos de prova. Foram confeccionados 12 corpos de prova para cada traço, passando pelo processo de cura em câmara úmida e em ciclos (72 horas em câmara úmida e 72 horas exposta ao ar). A distribuição dos corpos de prova em relação aos ensaios realizados está descrita na Tabela 1.

Na etapa da concretagem, primeiramente foi adicionada a brita na betoneira, seguida por parte da água, cimento, areia, o restante da água e por fim o aditivo. O mesmo processo foi realizado nos concretos com a adição da argila expandida e argila expandida com bactérias, colocados na mistura juntamente com o agregado graúdo. Os materiais utilizados e o processo de produção do concreto são exibidos nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

Vinte e quatro horas após a moldagem, os corpos de prova foram retirados das formas. Nesta etapa, os mesmos foram destinados à cura em câmara úmida, permanecendo por 7 dias até a pré-fissuração, onde foi aplicada uma força equivalente a 70% da sua resistência à compressão, gerando fissuras no concreto, que adiante deverão ser cicatrizadas pelas bactérias encapsuladas em argila expandida.

Tabela 1
Quantidade de corpos de prova dispostos para cada ensaio

Tipo de concreto	Idade para ensaio	Resistência à compressão	Análise visual das fissuras
Traço 1	28 dias	6	6
Traço 2	28 dias	6	6
Traço 3	28 dias	6	6
Total	—	18	18

Fonte: Autores (2021)



► **Figura 4**

a) Materiais utilizados na concretagem; b) Processo de produção do concreto

Fonte: Autores (2021)

2.3 Ensaios em estado endurecido

Foram realizados ensaios e análises nos corpos de prova de bioconcreto em estado endurecido, sendo eles: resistência à compressão e análise visual da recuperação de fissuras.

2.3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à compressão (ABNT NBR 5739:2018) foram realizados 28 dias após a moldagem

dos corpos de prova, por intermédio de prensa hidráulica. As análises serviram de comparativo para a resistência entre os traços, bem como para identificar a influência que a argila expandida, meio de cultivo e bactérias tem sobre a mesma.

2.3.2 ANÁLISE VISUAL DA RECUPERAÇÃO DE FISSURAS

Observou-se também as fissuras previamente geradas nos corpos de prova, com o intuito de detectar a formação de cristais de carbonato de cálcio e, conseqüentemente, a sua cicatrização. Essa identificação foi feita com o auxílio de Lupa Estereoscópica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez concluídos os ensaios dos corpos de prova em estado endurecido, fez-se a análise dos resultados obtidos para cada tipo de traço e cura.

3.1 Resistência à compressão

Os resultados obtidos para os ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova curados em câmara

úmida e em ciclos, estão dispostos nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

O concreto com argila expandida, em ambos os casos, obteve resultados inferiores aos demais traços. Quando submetidos à cura úmida, os corpos de prova somente com argila expandida apresentaram uma resistência 30,6% menor do que a do concreto de referência e 23,4% menor do que as amostras com argila e bactérias. Em relação a cura em ciclos, as divergências foram ainda maiores, indicando uma resistência 33,2% menor do que a do concreto de referência e 31,9% menor do que as amostras com argila e bactérias. A Figura 5 facilita o entendimento dos resultados.

Para melhor avaliação dos resultados foi realizado o teste Tukey, o qual identificou que o concreto contendo argila expandida, quando submetido à cura úmida, é estatisticamente diferente dos concretos de referência e com argila e bactérias, quando submetidos à cura em ciclos.

Foi possível constatar que o uso das bactérias na confecção do concreto aumentou a resistência à compressão quando comparado ao concreto somente com argila expandida, atingindo valores próximos ao concreto de referência. Esse comportamento pode ter relação com uma possível precipitação de carbonato de cálcio, promovido pelas bactérias encapsuladas na argila expandida.

O mesmo é identificado em diversos outros estudos, sendo um deles o

► **Tabela 2**

Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias (cura úmida)

Tipo de concreto	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Referência	40,1	3,1	7,7
Argila expandida	30,7	7,1	23,3
Argila expandida com bactérias	37,8	3,3	8,8

Fonte: Autores (2021)

► **Tabela 3**

Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias (cura em ciclos)

Tipo de concreto	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Referência	45,1	1,0	2,2
Argila expandida	33,9	4,2	12,4
Argila expandida com bactérias	44,7	3,0	6,8

Fonte: Autores (2021)

realizado por Nguyen (2019), que constatou que o uso de *Bacillus subtilis* diminui a porosidade do concreto, o que consequentemente aumenta sua resistência à compressão, diminui a absorção de água e a permeabilidade de cloretos.

O aumento da resistência à compressão quando realizada a cura em ciclos também foi mencionada por outros autores, como é o caso de Valin e Lima (2010), que identificaram um aumento na resistência à compressão quando empregados ciclos de 7 dias em cura úmida e expostas ao ar em relação a cura somente exposta ao ar, ou então em câmara úmida.

3.2 Identificação visual de cicatrização de fissuras

O processo de autocicatrização do concreto é um dos parâmetros mais importantes a ser avaliado, uma vez que será ele o responsável pelo selamento das fissuras sucedidas no concreto, fissuras estas provenientes do pré-carregamento realizado sete dias após a concretagem.

A identificação visual das fissuras foi feita com o auxílio de uma lupa estereoscópica com aumento de 20 e 40 vezes e em pontos isolados com microscópio contendo aumento de 200 vezes. Não foi possível identificar claramente muitas fissuras, porém foi possível reconhecer pequenas falhas na matriz do concreto. Nas amostras do concreto de referência e com argila, não foi identi-

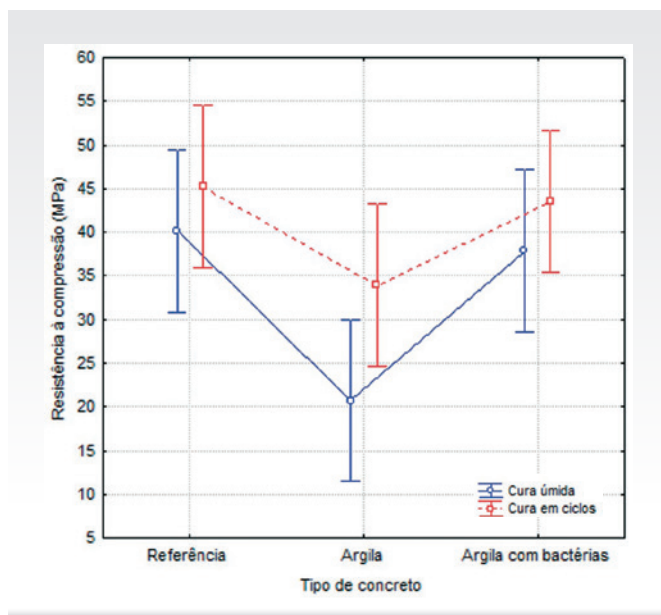
cada visualmente a presença de partículas que diferissem do concreto tradicional. No entanto, em relação ao concreto com argila e bactérias, pequenas partículas esbranquiçadas foram identificadas nas falhas do concreto e no interior da argila expandida, indicando uma possível presença de carbonato de cálcio; contudo, há a necessidade de mais estudos comprobatórios por meio de análise mineralógica, como a difração de raios X, ou avaliações por meio de MEV, de maneira a se confirmar essa provável deposição de carbonatos. As Figuras 6 e 7 apresentam a identificação de fissuras no interior da argila expandida e a presença de produtos esbranquiçados em seu interior, o que sugere uma provável precipitação de carbonato de cálcio no interior delas.

Na Figura 8 é possível identificar nitidamente a diferença entre a argila que possui bactérias encapsuladas e a que não possui. Cristais de carbonato

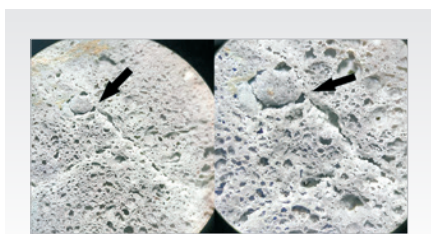
de cálcio tendem a vedar irregularidades presentes no concreto, multiplicando-se com a presença de água.

4. CONCLUSÕES

Quando comparados os tipos de cura, pode-se concluir que os corpos de prova que foram submetidos à cura em ciclos alcançaram melhores resultados em relação aos expostos em cura úmida.



► **Figura 5**
Comparação das resistências à compressão aos 28 dias (cura úmida e em ciclos)
Fonte: Autores (2021)



► **Figura 6**
Identificação de fissuras em argila expandida com bactérias (aumento de 20x e 40x respectivamente)
Fonte: Autores (2021)



► **Figura 7**
Amostra de concreto com argila expandida e bactérias
Fonte: Autores (2021)




► **Figura 8**
Comparação entre o interior de argila expandida com bactérias (imagem à esquerda) e argila expandida (imagem à direita), com 200x de aumento
Fonte: Autores (2021)

Quanto à resistência à compressão, houve pouca diferença nos resultados dos corpos de prova de referência e com argila e bactérias, indicando que a presença de bactérias aumenta a resistência mecânica do concreto. Em ambos os tipos de cura, a melhor resistência à compressão foi encontrada nos concretos de referência, seguidos pelo concreto com argila e bactérias, e, por último,

o concreto confeccionado somente com argila.

A cicatrização de fissuras foi identificada somente nos corpos de prova que possuíam bactérias encapsuladas na argila expandida e, principalmente, nos que foram submetidos à cura em ciclos. A região ao redor de fissuras que foram avistadas na argila também apresentou possível forma-

ção de carbonato de cálcio em pontos de falha.

Possivelmente, se submetidos a um maior período de cura, os corpos de prova contendo argila e bactérias teriam maior ocorrência de cicatrização e aumento na resistência à compressão, dado que, os cristais de carbonato de cálcio necessitam de um período maior para se desenvolver. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. 5739:. Concreto – Ensaio de Compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. ABNT, 2018. BARROS, N et al. Bioconcreto. São Paulo: USE, 2018.
- [2] EUZÉBIO, N et al. Estudo exploratório de concreto com introdução de *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, acetato de cálcio e ureia. Goiânia: UFG, 2017.
- [3] NGUYEN, Thanh Ha et al. Bacterial self-healing of concrete and durability assessment. *Cement and Concrete Composites*, v. 104, p. 103340, 2019.
- [4] VALIN Jr, MARCOS DE OLIVEIRA & LIMA, Sandra. Influência dos procedimentos de cura na resistência e na absorção do concreto. *Concreto & Construção*. 60. 51-54, 2010.
- [5] VENQUIARUTO, Simone Dornelles. Influência da microfissuração causada nas primeiras idades na durabilidade de concretos ao longo do tempo (Self-Healing). Porto Alegre: UFRGS, 2017.
- [6] VIEIRA, Juliana Aparecida. Biodeposição de CaCO_3 em materiais cimentícios: contribuição ao estudo da biomineralização induzida por *Bacillus subtilis*. Porto Alegre: UFRGS, 2017.

Sistemas de Fôrmas para Edifícios

Recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos



ANTONIO CARLOS ZORZI

SISTEMAS DE FÔRMAS PARA EDIFÍCIOS: RECOMENDAÇÕES PARA A MELHORIA DA QUALIDADE E DA PRODUTIVIDADE COM REDUÇÃO DE CUSTOS

Autor: Antonio Carlos Zorzi

O livro propõe diretrizes para a racionalização de sistemas de fôrmas empregados na execução de estruturas de concreto armado e que utilizam o molde em madeira

As propostas foram embasadas na vasta experiência do autor, diretor de engenharia da Cyrela, sendo retiradas de sua dissertação de mestrado sobre o tema.

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576237
Formato: 18,6 cm x 23,3 cm
Páginas: 195
Acabamento: Capa dura
Ano da publicação: 2015

Patrocínio



Aquisição:
www.ibracon.org.br
(Loja Virtual)