

O impacto da utilização de bactérias na regeneração de pavimentos de concreto

JÉSSICA W. S. DO NASCIMENTO – Eng.^a M.Sc. – <https://orcid.org/0000-0002-1077-7142> (jessica.souza@acad.ufsm.br) ;
 SABIANA G. M. DOS SANTOS – Eng.^a M.Sc. – <https://orcid.org/0000-0001-5377-2838> | UFSM
 ALLEFY T. SAMPAIO – Eng. M.Sc. – <https://orcid.org/0000-0001-8554-0839> | UPE

RESUMO

O USO DE SUBSTÂNCIAS INERTES TEM SE DIFUNDIDO NOS DIAS ATUAIS COM O INTUITO DE DESENVOLVER UMA CAMADA DIFERENCIADA DE REVESTIMENTO DE CONCRETO COM UM MÉTODO DE REGENERAÇÃO ADICIONADO À SUA COMPOSIÇÃO, POSSIBILITANDO O PROGRESSO TECNOLÓGICO COM AVANÇOS SIGNIFICATIVOS NO RAMO DA PAVIMENTAÇÃO. NESSE CONTEXTO, ESTE ESTUDO VISA INVESTIGAR A CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO EMPREGANDO BACTÉRIAS NO MATERIAL CAPAZES DE GERAR MINERAIS À BASE DE CARBONATO DE CÁLCIO. TESTES-PILOTO FORAM REALIZADOS EM LABORATÓRIO PARA COMPELIR FISSURAS E REFINAR A REGENERAÇÃO UTILIZANDO A ADIÇÃO DE DIFERENTES TEORES 1:2:3, COM MODIFICAÇÃO DE 50% DO AGREGADO GRAÚDO POR ARGILA DILATADA, COM RELAÇÃO A/C DE 0,5. OS RESULTADOS OBTIDOS INDICAM QUE O MÉTODO DE IMPREGNAÇÃO POR SIMPLES SUBMERSÃO É INSUFI-

CIENTE PARA A NECESSÁRIA ABSORÇÃO DE BACTÉRIAS EM FRAGMENTOS DE ARGILA EXPANDIDA. SUGERE-SE, PORTANTO, QUE SEJAM IMPLEMENTADAS AÇÕES NO CICLO DE DOSAGEM DO CONCRETO, POIS ISSO É EXTREMAMENTE IMPORTANTE E PODE COMPROMETER A QUALIDADE DAS BACTÉRIAS.

PALAVRAS-CHAVE: REVESTIMENTO DE CONCRETO, CICATRIZAÇÃO, BACTÉRIAS, BIOMATERIAIS.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma atenção crescente com a sustentabilidade, uma vez que se iniciou a busca por um equilíbrio entre a sociedade, a economia e o meio ambiente nas atividades humanas, e o setor da construção civil não é diferente, com o lançamento de pavimentos sustentáveis se tornando cada vez mais comum [1]. Em

contrapartida, a importância do uso de biomateriais na Engenharia não está tão bem desenvolvida, pois se limita exclusivamente à produção de grandes estruturas de concreto [2].

O concreto de cimento Portland é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo e seu uso continua a aumentar na construção moderna, pois é um material rentável e diversificado que pode ser adaptado a inúmeros formatos, além de possuir propriedades altamente atraativas em sua composição. Contudo, esse material deve ser resistente à compressão, dado que estará sujeito a altas cargas distribuídas, e não deve romper em hipótese alguma, visto que a durabilidade dos pavimentos de concreto é substancialmente afetada por fissuras [3]. Desse modo,



FIGURA 1

(A) PROBIÓTICO; (B) REAGENTE UREIA; (C) REAGENTE ACETATO; (D) ARGILA EXPANDIDA

FONTE: AUTORES (2023)



FIGURA 2

MATERIAIS COMPONENTES DO TRAÇO DE CONCRETO

FONTE: AUTORES (2023)

os defeitos no revestimento de concreto ocorrem devido a diversos mecanismos como retração, reações de congelamento e descongelamento e forças mecânicas de compressão e tração [4]. Vale destacar que o aparecimento de defeitos nessas camadas de revestimento de concreto é, no entanto, inevitável, sendo de extrema importância o seu controle [5].

O impacto dos defeitos de durabilidade nas economias nacionais pode ser substancial e reflete-se na grande quantidade de recursos gastos na manutenção e no reparo das camadas de revestimentos de concreto [6]. Acredita-se que a inserção de bactérias específicas na composição do concreto seja suficiente para reparar e interromper alguns tipos de fissuras, bem como porosidades interligadas, o que reduzirá a taxa de absorção de água ao longo do tempo [7]. O material em si tem uma certa capacidade de autorreparo, preenchendo os espaços vazios das fissuras com produtos da hidratação do cimento Portland anidro remanescentes no concreto [8]. Sendo assim, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para aprimorar essa propriedade regenerativa do concreto, que podem ser divididas de acordo com a utilização de quatro tipos de materiais: fibras, retentores de água, agentes cicatrizantes encapsulados e bactérias [9].

Diante dos aspectos observados, esta pesquisa visa investigar uma das soluções sustentáveis a ser implementada em pavimentos de concreto com a utilização de biomateriais em sua composição, por

meio da qual são inseridos na mistura da camada de revestimento capazes de gerar minerais à base de carbonato de cálcio, procedimento que pode ocasionar o selamento de fissuras e impermeabilização da água, além de prevenir falhas com um procedimento de cura interna que seria mais acessível que os convencionais.

2. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Buscando caracterizar o comportamento do caso base, o estudo baseia-se em ensaios experimentais realizados no Laboratório de Pavimentação do Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e está dividido em quatro etapas: a primeira consiste nos mecanismos envolvidos na autorregeneração do concreto; a segunda resume os principais métodos envolvidos no desenvolvimento da tecnologia do bioconcreto até o momento atual (precipitação do carbonato de cálcio por meio da hidrólise bacteriana da ureia e a incorporação de esporos bacterianos e compostos orgânicos no concreto); a terceira etapa refere-se à execução de todas as etapas da metodologia experimental, bem como ao sistema adotado para moldagem, cura, indução de fissuras e observação dos corpos de prova; a quarta e última etapa, a análise dos resultados.

2.1 Materiais

Os materiais utilizados nas misturas para a impregnação das partículas de argila expandida foram: probiótico com bac-

térias do gênero *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* (Figura 1-a), 10 g de ureia (Figura 1-b) e 10 g de acetato de cálcio (Figura 1-c), além de partículas de argila expandida de 6 a 15 mm (Figura 1-d). Também foram impregnadas partículas de vermiculita superfina de 0,4 mm, utilizando as mesmas quantidades de probiótico e nutrientes citadas acima.

Os corpos de prova foram moldados com cimento Portland CP II-Z-32, agregado miúdo do tipo areia média natural de leito de rio, micaxisto ou seixo granulado, vermiculita, água potável fornecida pela companhia distribuidora da região, 50% do agregado grão modificado com partículas de argila expandida (relação a/c igual a 0,5), com diâmetro máximo de 15 mm e 3% de superplastificante em relação à massa de cimento (Figura 2). Fazendo uma pequena ressalva que o ensaio de granulometria dos agregados não foi realizado, uma vez que não foram utilizados diferentes tamanhos máximos nominais característicos.

As partículas de argila foram separadas em dois grupos: impregnadas com suspensão de esporos de bactérias e composto orgânico, e não impregnadas, sendo estas utilizadas para confecção de corpos de prova de controle, que foram utilizados como referência. O mesmo procedimento foi então adotado para as partículas de vermiculita. Os materiais utilizados para este fim foram: betoneira, baldes plásticos, colher de pedreiro, haste metálica cilíndrica e molde cilíndrico com diâmetro interno de 100 mm.

O procedimento de impregnação foi realizado segundo o método proposto por [10]. Para a absorção, foram aquecidos 2L de água a 80°C em um forno de micro-ondas e as partículas de argila expandida foram imersas em água saturada com nutrientes e uma suspensão de esporos bacterianos. Em seguida, elas foram agitadas constantemente com um equipamento de agitação e impregnação antes da adição de nutrientes (10 g de acetato de cálcio e 10 g de ureia). Os esporos foram dispersos 2 minutos antes do agregado miúdo (6-15 mm). Além disso, um processo preliminar de impregnação em partículas de vermiculita foi realizado no laboratório de microbiologia do IFAM para verificar se as bactérias germinariam ou não na presença de nutrientes.

2.2 Métodos

Os corpos de prova com dimensões 10x20 cm foram moldados em formato cilíndrico [11] e desmoldados 24 horas depois, sendo então levados à câmara úmida para cura. O traço inicial foi determinado com base no utilizado por [12] 1:2,42:0,76 em massa, ou 1:2,81:2,81 em volume de cimento, areia e agregado miúdo. Assim, foi aplicado um traço de 1:2:3, com 50% do agregado graúdo substituído por argila expandida e uma relação a/c de 0,5. No entanto, a vermiculita também foi introduzida como agregado miúdo em traço posterior.

Quanto à moldagem dos corpos de prova, devido à incorporação de vermiculita, foi imprescindível reduzir a quantidade de agregado miúdo no traço e o processo na betoneira evidenciou a necessidade de saturação dado ao seu alto consumo de água. Portanto, foi necessário reduzir a proporção de vermiculita quando esta foi incorporada ao agregado miúdo, visto que ela absorve uma quantidade elevada de água.

Dessa forma, como a quantidade de argila expandida disponível era limitada, as quantidades dos outros materiais foram calculadas com base nesse valor. Assim, o traço final de 1:1,75:2,25 utilizou 2,04 kg de cimento, 2,856 kg de areia, 0,714 kg de vermiculita, 2,30 kg de brita, 2,30 kg de argila expandida e 1,02 kg de água, nas proporções em massa de 1:1,40:0,325:1,125:1,125.

As partículas de argila expandida sem impregnação bacteriana foram saturadas com água por 30 minutos antes de serem



FIGURA 3

IMERSÃO DO CORPO DE PROVA IMPREGNADO EM UMA SOLUÇÃO BACTERIANA

FONTE: AUTORES (2023)

inseridas na betoneira, pois sua grande absorção de água pode afetar a hidratação da pasta de cimento, além de que a ausência de saturação pode fazer com que essas partículas flutuem no concreto fresco.

Por fim, foram moldados 8 corpos de prova, 4 dos quais eram bioconcretos, com bactérias impregnadas nas partículas de argila expandida, e 4 corpos de prova de controle, que foram usados como referência. Além disso, 2 amostras foram submetidas à indução de fissuras aos 14 dias, enquanto as demais amostras foram utilizadas para verificar a ação das bactérias e realizar ensaios de resistência à compressão. Após a indução de fissuras

aos 14 dias, o fechamento das fissuras foi verificado visualmente e periodicamente. É importante observar que a germinação de bactérias em partículas de vermiculita mostrou que, na presença de nutrientes, os microrganismos podem se reproduzir e liberar carbonato de cálcio. Portanto, os mesmos foram devidamente protegidos dentro das partículas de agregado miúdo e, por meio da impregnação a vácuo, foi possível que as bactérias sobrevivessem ao processo de dosagem.

2.2.1 IMERSÃO DAS AMOSTRAS EM SOLUÇÕES BACTERIANAS

Aos 21 dias, não foi possível observar a ação das bactérias sobre as fissuras. Por esse motivo, determinou-se que uma amostra impregnada seria parcialmente imersa em uma solução bacteriana para otimizar o processo de cicatrização. É importante salientar, no entanto, que esse fenômeno não seria mais uma autocicatrização e, sim, uma espécie de recuperação da amostra. Desse modo, a composição da solução escolhida foi água, 5 g/L de bactérias, 2,5 g/L de ureia e 1,25 g/L de acetato de cálcio. A amostra parcialmente imersa na solução pode ser visualizada na Figura 3.

2.2.2 PROCESSO DE DESMOLDAGEM DAS AMOSTRAS

Inicialmente, foi determinada a desmoldagem dos corpos de prova 24 horas



A



B

FIGURA 4

(A) DESMOLDAGEM DO CORPO DE PROVA; (B) CPs IMPREGNADOS DE BACTÉRIAS

FONTE: AUTORES (2023)

após a concretagem. No entanto, um dos espécimes de bioconcreto se desintegrou durante o processo de desmoldagem. Este fato pode ter ocorrido devido à inserção de grandes quantidades de superplastificante na mistura (Figura 4-a). Assim, o estado do corpo de prova indicou que as partículas de argila expandida estavam concentradas na parte superior da amostra e a coesão na região central estava seriamente comprometida (Figura 4-b).

Além do mais, a concentração de partículas de argila expandida em uma das extremidades indicou que não houve saturação das mesmas e, portanto, flutuaram para a região superior do corpo de prova. Por esse motivo, apenas os corpos de prova de controle foram desmoldados em 24 horas e as amostras impregnadas restantes em 7 dias.

2.2.3 TESTE DE INDUÇÃO DE FISSURAS

Um dos corpos de prova de controle foi submetido a um ensaio de compressão até o ponto imediatamente anterior à ruptura. O intuito era verificar se seria possível utilizar a prensa hidráulica do laboratório de materiais de construção do IFAM para induzir fissuras nas amostras com segurança (Figura 5-a). Quando foi verificado que as amostras haviam atingido o ponto de ruptura, o carregamento foi removido e foi efetuada uma verificação visual da superfície da amostra, além de realizar o mesmo teste em uma das amostras de bioconcreto (Figura 5-b).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Processo de impregnação, cura e indução de fissuras em Bioconcreto

Nota-se que a quantidade de argila expandida adotada neste estudo foi muito superior à proporção de referência, bem como o uso de brita na composição do agregado graúdo, material não presente anteriormente. Também é importante mencionar que a granulometria da argila adotada por [12] foi de partículas com diâmetros inferiores a 4 mm, enquanto esta pesquisa adotou diâmetros máximos de 9 mm.

Referente aos agregados miúdos, estes devem ser submersos em água por um período de 24 horas antes do uso, pois isso evita que as partículas de argila flutuem na



A



B

FIGURA 5

(A) INDUÇÃO EM UMA AMOSTRA DE CONTROLE; (B) AMOSTRA DE CONTROLE

FONTE: AUTORES (2023)

superfície do concreto. Neste estudo, no entanto, foi adotada uma metodologia em que a argila ficou submersa por apenas 30 minutos na solução, enquanto as amostras de controle ficaram imersas em água pelo mesmo período. Além disso, no trabalho proposto por [12], foi utilizada a impregnação a vácuo, procedimento que otimizou a inserção da solução bacteriana no interior do agregado miúdo. Porém, este estudo não teve acesso a essa tecnologia e adotou um processo simples de imersão, que provou ser suficiente para a impregnação das bactérias nas partículas de argila expandida, o que pode ter mantido as bactérias na superfície do agregado.

Embora a análise de indução das fissuras tenha ocorrido em um período extremamente curto de apenas 30 dias, o resultado foi ideal, pois as trincas foram induzidas por compressão após apenas 14 dias. Ficou evidenciado que houve tempo suficiente para que a ação bacteriana fosse verificada.

Ficou evidente que não houve ação bacteriana visível na amostra de bioconcreto, ao contrário do trabalho realizado por [12], e não foram encontrados cristais de carbonato de cálcio nas fissuras. Possivelmente, isso

ocorreu pelo simples fato de que as bactérias estavam concentradas na superfície do material e não sobreviveram ao processo de laminação do concreto. Nem mesmo a imersão da amostra em uma solução bacteriana foi capaz de induzir o fechamento das fissuras. Isso pode ter ocorrido devido ao curto tempo decorrido entre a adoção do método e a avaliação das fissuras.

Outro elemento que pode ter afetado positivamente o estudo foi a utilização de quantidades consideráveis de superplastificante e vermiculita. A introdução dessas variáveis inexistentes na obra de referência, pode ter sido o diferencial no desempenho do material de alguma forma. Por fim, o tempo de execução do concreto foi muito elevado, pois a consistência desejada foi difícil de ser obtida. Por esse motivo, foi determinado que os microrganismos permaneceriam na superfície do material e, assim, resistiriam ao processo de dosagem devido à alta energia empregada.

3.2 Verificação visual das fissuras na amostra de bioconcreto

Aos 30 dias, fissuras foram inspecionadas visualmente com recurso de um



FIGURA 6

(A) INSPEÇÃO NO MICROSCÓPIO; (B) FISSURA IMPREGNADA; (C) FISSURA NÃO IMPREGNADA; (D) SUPERFÍCIE DA AMOSTRA

FONTE: AUTORES (2023)

microscópio, como pode ser visualizado na Figura 6-a e as fissuras dos corpos de prova impregnados e de controle podem ser vistas nas Figuras 6-b a 6-d. Foi possível verificar o fechamento das fissuras, semelhante ao trabalho realizado por [12].

Desse modo, ficou nítido que as amostras de bioconcreto apresentam um melhor acabamento do que as amostras de controle. Este fato pode ser explicado pelo confinamento por mais de 48 horas adicionais, o que provavelmente comprimiu as

partículas de concreto e reduziu a quantidade de porosidade superficial.

4. CONCLUSÕES

As investigações realizadas sob o enfoque da Microbiologia na Engenharia apresentam uma sucessão de possibilidades que ainda não foram descritas em minúcias na literatura. Dessa forma, com base na análise do biomaterial incorporado à mistura da camada de revestimento do concreto, identificou-se que o bioconcreto é um material eficaz em sua propos-

ta de tratamento autônomo de fissuras. Sendo assim, é possível sugerir propostas de melhoria buscando minimizar o impacto nos pavimentos de concreto, de modo que possa servir como alternativa aos métodos convencionais que tradicionalmente têm alto potencial poluidor. Vale salientar que, como qualquer material, o Bioconcreto também possui suas limitações, que são mais evidentes na questão da rentabilidade e da acessibilidade aos insumos, principalmente aos agentes microbianos e ao lactato de cálcio. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SOUZA NASCIMENTO, J. W. O efeito da utilização de biomateriais na restauração de estruturas de concreto empregando bactérias como agentes de cura. Anais do 1º Congresso Online de Engenharia de Materiais, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1p, 2019. <https://eventos.congresso.me/eventos/engmatcon/anais>
- [2] SOUZA NASCIMENTO, J. W.; SAMPAIO, A. T. Characterization of concrete coating using bacteria as a floor regeneration agent. Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, SC, Brasil, 1-15p, 2020a. <https://www.ibracon.org.br/eventos/62cbc/artigos/62cbc/artigos>
- [3] NASCIMENTO, J. W. S. do; SAMPAIO, A. T. Estudo de teste da resistência do pavimento asfáltico empregando ligante tipo asfalto-borracha pelo processo úmido. Cap. 11, 155-176pp. Campina Grande, PB: Editora Amplla, 2020. <https://doi.org/10.51859/amplla.rsd191.1120-11>
- [4] NASCIMENTO, J. W. S. do. et al. Functional evaluation of pathologies in flexible pavement. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 6, n. 1, p. 110-129, 2021b. <https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/civil-engineering/flexible-pavement>
- [5] QUEIROZ, F. M. et al. Causes and risks of pathological manifestations in the historic facades of Manaus. Cap. 10, 71-79pp. Belo Horizonte, MG: Editora Poisson, 2021. <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-082-8.CAP.10>
- [6] SAMPAIO, A. T.; NASCIMENTO, J. W. S.; SOUSA, D. S. V. Patologia de fachadas: revisão de literatura. Cap. 15, 178-187pp. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020. <https://doi.org/10.22533/at.ed.87320210915>
- [7] SANTOS, J. L. et al. Asphalt resurfacing: analysis in a critical segment in the city of Manaus. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 5, p. 10580-10595, 2022a. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-5400>
- [8] SOUZA NASCIMENTO, J. W. et al. Funcionalidades panorâmicas dos tipos de reciclagem em rodovias de pavimentos flexíveis. Cap. 3, 39-54pp. Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2023a. <https://doi.org/10.47402/ed.ep.c202321603686>
- [9] SOUZA NASCIMENTO, J. W. et al. The effect of using recycling techniques on asphalt pavements. Brazilian Journal of Development, v. 9, n. 7, p. 22354-22367, 2023b. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n7-0098>
- [10] MORS, R. M.; JONKERS, H. M. Practical Approach for Production of Bacteria-Based Agent-Contained Light Weight Aggregates To Make Concrete Self-Healing. ICSHM 2013: Proceedings of the 4th International Conference on Self-Healing Materials, p. 240-243, 2013.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2018.
- [12] JONKERS, H. M. Bacteria-based self-healing concrete. Heron, v. 56, n. 1-2, p. 5-16, 2011.