

---

## Bioconcreto: uma revisão da sua aplicação no fechamento de fissuras

Bioconcrete: a review of its application in crack closure

Bioconcreto: una revisión de su aplicación en el cierre de fisuras

---

Deorlan dos Santos Barbosa<sup>1</sup>



Tatiane Faustino de Moraes<sup>1</sup>



---

**Tipo de Publicação:** Artigo Completo

**Área do Conhecimento:** Área Exatas e Tecnologia

---

<sup>1</sup> Laboratório Interdisciplinar de Investigação Científica (CIIB), Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, SP, Brasil.

**SUBMETIDO EM: 11/2023**

**| ACEITO EM: 12/2023**

**| PUBLICADO EM: 12/2023**

---

## RESUMO

**Objetivo:** Esta revisão analisa o processo de auto-cicatrização do bioconcreto através do fechamento de fissuras. **Métodos:** Para o desenvolvimento deste estudo, realizou-se uma revisão da literatura utilizando os bancos de dados de pesquisa. Os termos utilizados foram: "concreto", "bioconcreto" e "fissuras", resultando em 98 artigos. Após um processo de seleção, 10 artigos foram escolhidos para compor esta revisão. **Revisão Bibliográfica:** O concreto é o material mais utilizado na construção civil por apresentar alta durabilidade, resistência mecânica e impermeabilidade, além de boa performance no processo de moldagem. No entanto, ele é vulnerável aos agentes externos, e assim, o surgimento de patologias como fissuras podem ocorrer em sua estrutura. Desta forma, o bioconcreto foi desenvolvido para promover o processo de auto-cicatrização através da ação de bactérias em sua constituição. Este processo ocorre quando as bactérias do bioconcreto são ativadas ao entrarem em contato com a água, que entra nas fissuras formadas. Tais fissuras são preenchidas por meio de precipitação de  $\text{CaCO}_3$ , produzido metabolicamente pelas bactérias. **Conclusão:** O uso do bioconcreto quando aplicado na construção civil, surge como uma alternativa mais sustentável e promissora para abordar questões patológicas relacionadas a fissuras no concreto.

**Palavras-chave:** ~~Palavras-chave:~~ Concreto, Bioconcreto, Fissuras, Auto-cicatrização, bactérias.

---

## ABSTRACT

**Objective:** This review analyzes the process of self-healing in bioconcrete through crack closure. **Methods:** For the development of this study, a literature review was conducted using research databases. The terms used were "concrete," "bioconcrete," and "cracks," resulting in 98 articles. After a selection process, 10 articles were chosen to compose this review. **Literature Review:** Concrete is the most widely used material in civil construction due to its high durability, mechanical strength, impermeability, and good performance in the molding process. However, it is susceptible to external agents, and the occurrence of pathologies such as cracks may affect its structure. Thus, bioconcrete was developed to promote the self-healing process through the action of bacteria in its composition. This process occurs when the bacteria in bioconcrete are activated upon contact with water that enters the formed cracks. These cracks are filled through the precipitation of  $\text{CaCO}_3$ , metabolically produced by the bacteria. **Conclusion:** The use of bioconcrete when applied in civil construction emerges as a more sustainable and promising alternative to address pathological issues related to concrete fissures.

**Keywords:** Concrete, Bioconcrete, Fissures, Self-healing, Bacteria.

---

## RESUMEN

**Objetivo:** Esta revisión analiza el proceso de auto cicatrización del bioconcreto mediante el cierre de fisuras. **Métodos:** Para el desarrollo de este estudio, se realizó una revisión de la literatura utilizando bases de datos de investigación. Los términos utilizados fueron "concreto", "bioconcreto" y "fisuras", lo que resultó en 98 artículos. Después de un proceso de selección, se eligieron 10 artículos para componer esta revisión. **Revisión Bibliográfica:** El concreto es el material más utilizado en la construcción civil debido a su alta durabilidad, resistencia mecánica e impermeabilidad, además de un buen rendimiento en el proceso de moldeo. Sin embargo, es vulnerable a agentes externos, y así, pueden surgir patologías como fisuras en su estructura. De esta manera, se desarrolló el bioconcreto para promover el proceso de auto cicatrización mediante la acción de bacterias en su composición. Este proceso ocurre cuando las bacterias del bioconcreto

---

se activan al entrar en contacto con el agua que penetra en las fisuras formadas. Estas fisuras se llenan mediante la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ , producido metabólicamente por las bacterias. **Conclusión:** El uso del bioconcreto cuando se aplica en la construcción civil se presenta como una alternativa más sostenible y prometedora para abordar problemas patológicos relacionados con las fisuras en el concreto.

**Palabras clave:** Concreto, Bioconcreto, Grietas, Auto-cicatrización, Bacterias.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção é considerada uma das mais antigas e importantes criações da civilização. É um mercado que cresce significativamente no Brasil, desempenhando um papel fundamental na economia brasileira, contribuindo de forma significativa para o Produto Interno Bruto (PIB) do país. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) <sup>1</sup>, o setor representou cerca de 4,5% do PIB em 2021, demonstrando sua relevância para o desenvolvimento nacional. Conforme os dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) a evolução do setor da construção civil indicou um crescimento de 1,5% do PIB da construção até julho de 2023 <sup>2</sup>.

A indústria da construção civil desempenha um papel importante nas gerações de empregos no país. De acordo com os dados do Ministério do Trabalho, durante o primeiro quadrimestre do ano de 2023 a construção civil superou todos os setores na geração de empregos com carteira assinada no Brasil<sup>3</sup>.

Dessa forma o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias destinados à construção civil se tornam necessários. Sabe-se que os recursos naturais são limitados, e que exige necessidade de cada vez mais utilizarmos saídas para melhorias e menos impactos ambientais e gastos financeiros desnecessários.

Um dos materiais mais utilizados e de grande importância para a indústria da construção civil é o concreto, uma mistura de cimento, água, areia e brita. Ao entrar em contato com a água, essa composição se converte em uma pasta fluida. Essa consistência fluida permite a aglomeração das partículas de agregados, possibilitando ao material moldar-se em qualquer formato desejado. À medida que o concreto inicia o processo de desidratação, a mistura entra na fase de cura ou endurecimento, resultante da reação irreversível entre a água e o cimento, conferindo-lhe resistência mecânica à compressão. Essa característica torna o concreto um material de alto desempenho estrutural, adequado para diversos ambientes de exposição <sup>4</sup>.

No entanto, quando submetido a uma tração, o concreto pode apresentar fissuras ou até mesmo apresentar falhas na estrutura reduzindo sua durabilidade <sup>5</sup>. O surgimento de fissuras, por exemplo, possibilita a entrada de substâncias corrosivas, como a água, no concreto, causando sua degradação. Outros aspectos preocupantes relacionados ao concreto referem-se aos seus impactos ambientais e econômicos. A indústria cimentícia, por exemplo, contribui com 7% das emissões globais de dióxido de carbono, e a tendência é que essa proporção aumente ao longo dos anos <sup>6</sup>. Essa realidade justifica a pesquisa por novas soluções biotecnológicas através do uso de bactérias em concreto, visando diminuir a necessidade de reparos e

---

manutenção em edificações e obras de infraestrutura. Esse enfoque é especialmente relevante para regiões e países em desenvolvimento, nos quais o ritmo de expansão da infraestrutura é significativo.

Quando se incorpora bactérias ao processo de produção do concreto, resulta no chamado bioconcreto. Esse termo refere-se a uma solução biotecnológica que impulsiona a regeneração do material, também reconhecido como "concreto auto curável". Essa inovação, originária da interseção entre microbiologia e engenharia civil, visa preencher fissuras através da produção de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), precipitado por reações metabólicas das bactérias prolongando a vida útil do concreto através da auto-cicatrização<sup>7</sup>.

Além de ser auto-cicatrizante, o bioconcreto é reconhecido uma tecnologia ambientalmente sustentável, uma vez que envolve o uso de bactérias. Essa tecnologia também é considerada mais econômica, evitando os custos associados à manutenção dos reparos convencionais favorecendo a extensão da durabilidade do concreto. Com isso, o objetivo do presente trabalho é apresentar uma revisão da literatura sobre o fechamento de fissuras em bioconcreto.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo, realizou-se uma revisão da literatura utilizando os bancos de dados da CAPES, SCIELO e Google Acadêmico. Os termos de busca utilizados foram "concreto" "bioconcreto" e "fissuras", resultando em 98 artigos. Posteriormente, realizou-se uma filtragem dos artigos disponíveis gratuitamente em português e inglês. Critérios de exclusão foram aplicados a artigos que não exploravam o tema das bactérias no bioconcreto e àqueles que não abordavam o processo de auto-cicatrização. Os artigos escolhidos discutem estudos relacionados ao bioconcreto, os quais identificam possíveis bactérias aplicáveis na produção e promovem uma análise do processo de auto-cicatrização de fissuras. Após uma análise e organização dos dados, 16 artigos foram escolhidos para compor esta revisão. A coleta de dados foi realizada durante o período de junho de 2023.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, um produto produzido a partir do uso de um meio cimentante. Em sua mistura se utiliza geralmente cimento hidráulico junto com água, agregados e aditivos. Após a mistura e solidificação, o resultado é um concreto com potencial para ter alta durabilidade, alta resistência mecânica e alta impermeabilidade<sup>8</sup>.

A mistura que compõe o concreto pode possuir vários insumos como por exemplo o uso de pozolanas naturais e industriais, que são materiais aglomerantes, como cinzas volantes, escória de alto-forno, sílica ativa, polímeros, agregados de concreto reciclado, aditivos e fibras. O concreto pode ser preparado por meio de vibrações por impacto para homogeneizar os insumos que compõe a mistura. Em seguida esta mistura é

submetida a um aquecimento e posteriormente sofre uma prensagem a vácuo. A mistura é autoclavado, e curado a vapor, para seguir no processo de extrusão o qual será moldado <sup>9</sup>.

O cimento, geralmente hidráulico é o principal insumo na mistura do concreto, um composto seco e pulverulento, que com a adição de água, desenvolve propriedades aglomerantes resultando em reações químicas que ocorrem na composição, também chamadas de reações de hidratação <sup>5</sup>. O cimento hidráulico é composto de clínquer, união de argila, calcário e produtos químicos os quais alguns destes são o gesso no processo de pega, escória que permite o aumento da sua durabilidade e argila pozzolânica na impermeabilização do concreto <sup>9</sup>.

Outros materiais importantes para a confecção do concreto são os agregados os quais cerca de 70% da composição é constituída de areia ou pedra em sua fabricação<sup>10</sup>. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) descreve que os agregados, os quais compõem o concreto, devem ser grãos de minerais duros, compactos e estáveis, devendo - se eliminar substâncias que possam afetar a hidratação, o endurecimento do cimento, a durabilidade e seu aspecto visual externo. Além disso, a ABNT acrescenta que deve haver uma distribuição granulométrica determinada, devendo atender aos limites impostos do controle de substâncias nocivas.

Com a finalidade de aumentar a resistência do concreto, reduzir o custo, bem como acrescentar ganhos expressivos à sua funcionalidade e vida útil, os agregados garantem menor retração na cura o que conseqüentemente leva ao menor aparecimento de fissuras no concreto <sup>11</sup>. O concreto como todo material é vulnerável aos agentes físicos, químicos e biológicos, e assim, o surgimento de patologias como as fissuras podem ocorrer em sua estrutura causando alterações significativas nas condições físicas do concreto como por exemplo a diminuição das propriedades mecânicas <sup>12</sup>.

As fissuras são as patologias mais comuns nas estruturas de concreto, podendo ser identificadas por uma abertura na superfície do concreto. Essas manifestações podem ocorrer devido à ocorrência de tensões de tração acima da capacidade de resistência da estrutura e podem surgir tanto no estado fresco quanto no estado endurecido do concreto. Outras causas, tais como retração plástica térmica ou químicas internas do concreto nas primeiras idades podem ocasionar a presença de fissuras <sup>12</sup>. Segundo Zazarini <sup>13</sup> as fissuras podem ocorrer em diversas formas estruturais, como: vigas, pilares, lajes e outros elementos construtivos.

A busca por alternativas para resolver os problemas de fissuras no concreto, de forma eficiente e economicamente viável, se faz necessário uma vez que reparos em concreto, necessitam de tempo e mão de obra, gerando muitas vezes, gasto exuberantes <sup>14</sup>. Nesse contexto, com o auxílio da biotecnologia, há métodos de substituição do concreto convencional pelo bioconcreto, o qual é considerado mais sustentável, sem diminuir a resistência e durabilidades das estruturas em concreto.

De acordo com Freitas *et al* <sup>12</sup>, o bioconcreto também chamado de “concreto auto-curável”, consiste na mistura de concreto e bactérias produtoras de calcário, sendo que esse concreto é composto pelos mesmos componentes do concreto convencional, com a adição das bactérias, as quais podem estar encapsuladas, geralmente em argilas, ou adicionadas diretamente ao concreto.

Segundo Brito *et al.*<sup>15</sup> a bactéria presente no concreto pode ser ativada com o objetivo de promover o processo de auto-cicatrização do concreto. O processo de auto-cicatrização se dá a partir do momento em que as bactérias inativas ou em estado de hibernação presentes no concreto são ativadas ao entrarem em contato com a água, que entra nas fissuras formadas. Tais fissuras são preenchidas e seladas por meio de precipitação de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), produzido pelo aumento do número de bactérias, mediada metabolicamente pelos micro-organismos presentes no concreto<sup>12</sup>.

Desta forma o processo se repete sucessivamente conforme o aparecimento de outras fissuras ocorrem no concreto. Vijay *et al.*<sup>16</sup> afirmam que quando o concreto sofre uma fissuração, as bactérias produzem o calcário que reestrutura a abertura formada e para manter as bactérias dormentes até que uma outra fissura apareça, essas são geralmente encapsuladas em partículas de argila expandida com lactato de cálcio, assim quando uma nova fissura surgir, as capsulas se rompem e as bactérias novamente em contato com a água e se alimentando do lactato de cálcio reagem e produzem mais calcário, que por sua vez preenche os espaços das fissuras e as fecham.

As bactérias que se destacam em produzir carbonato de cálcio em bioconcreto são as bactérias consideradas gram-positivas que conseguem se reproduzir em ambientes secos e alcalinos. O Quadro 1 mostra exemplos de bactérias utilizadas por diferentes pesquisadores para estudar materiais cimentícios<sup>20</sup>.

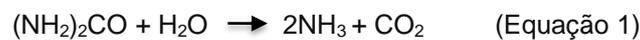
**Quadro 1:** Inserção de bactérias em concreto

Bactéria	Mecanismo	Referências
<i>Bacillus cereus</i>	Degradação de uréia ou ácido úrico	(MONDAL; DAS; KUMAR CHAKRABORTY, 2017)
<i>Bacillus holodurans</i>	Conversão metabólica de compostos orgânicos	(KUNAL; SIDDIQUE; RAJOR, 2014)
<i>Bacillus megaterium</i>	Conversão metabólica de compostos orgânicos	(ANDALIB et al., 2016)
<i>Bacillus pasteurii</i>	Degradação de uréia ou ácido úrico	(QIAN et al., 2010)
<i>Bacillus pseudofirmus</i>	Conversão metabólica de compostos orgânicos	(SHARMA et al., 2017)
<i>Bacillus subtilis</i>	Degradação de uréia ou ácido úrico	(FENG et al., 2021; MONDAL; DAS; KUMAR CHAKRABORTY, 2017)
<i>Saposarcina pasteurii</i>	Degradação de uréia ou ácido úrico	(ABO-EL-ENEIN et al., 2013)

Fonte: Santos *et al.* (2023).

Algumas bactérias, conhecidas como ureolíticas, possuem a capacidade de sintetizar e liberar enzimas denominadas ureases, as quais desencadeiam a hidrólise da ureia. Esse processo resulta na produção de íons, como amônia ( $\text{NH}_4^+$ ), gerando energia essencial para a sobrevivência celular, e carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), que se combina posteriormente com íons  $\text{Ca}^{2+}$  para formar cristais de calcita<sup>17</sup>. A hidrólise da ureia constitui o método convencional para realizar a Precipitação de Carbonato Induzida por Micro-organismos (MICP, do inglês *Microbial-Induced Carbonate Precipitation*). Os íons  $\text{Ca}^{2+}$  se ligam à parede celular, carregada negativamente, e, em seguida, os íons  $\text{CO}_2^-$  se agregam aos anteriores em um processo químico que, apesar de resultar na morte da célula, gera  $\text{CaCO}_3$ <sup>17</sup>.

A formação de precipitação por meio da ureólise implica a síntese da enzima urease através do metabolismo bacteriano, resultando na produção de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e carbono inorgânico dissolvido (CID), conforme indicado pela Equação 1.



Esse processo provoca um aumento na alcalinidade nas células bacterianas, conforme demonstrado nas Equações 2 e 3.



Além disso, na presença de uma fonte de cálcio, o carbonato formado na superfície das células bacterianas reage com os íons cálcio presente no concreto, precipitando carbonato de cálcio, conforme descrito pela Equação 4<sup>20</sup>.



Um dos pesquisadores que se dedicou aos estudos das bactérias em bioconcreto foi Hendrik Marius Jonkers. Em um dos seus estudos<sup>14</sup>, Jonkers utilizou bactérias do gênero *Bacillus* das espécies *pseudofirmus* e *cohnii* em solução de lactato de cálcio imobilizadas em partículas de argila expandida para incorporar ao concreto convencional, substituindo 50% dos agregados utilizados. Dessa maneira, os esporos bacterianos tiveram a sua vida prolongada conseguindo produzir metabolicamente carbonato de cálcio promovendo o fechamento das fissuras conforme ilustrado na Figura 1.

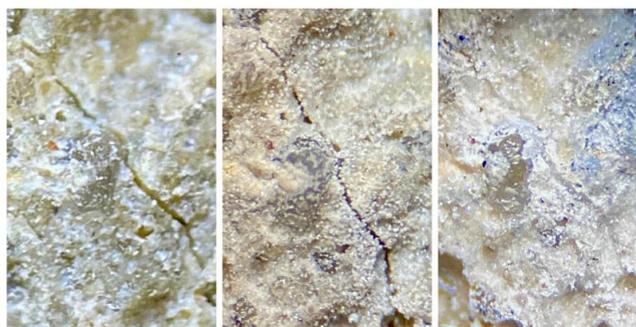
**Figura 1:** Cicatrização de fissuras com bactérias e meio de cultivo.



Fonte: Jonkers *et al.* (2011)

Zakrzewski<sup>10</sup> realizou o mesmo procedimento, mas com o uso de outra espécie de bactéria, a *Bacillus subtilis*. Na Figura 2 é possível a visualização da formação do carbonato de cálcio na fissura do concreto, ocorrendo a selagem completa da abertura da fissura, através da presença de cristais, o que comprova a existência de carbonato de cálcio no concreto.

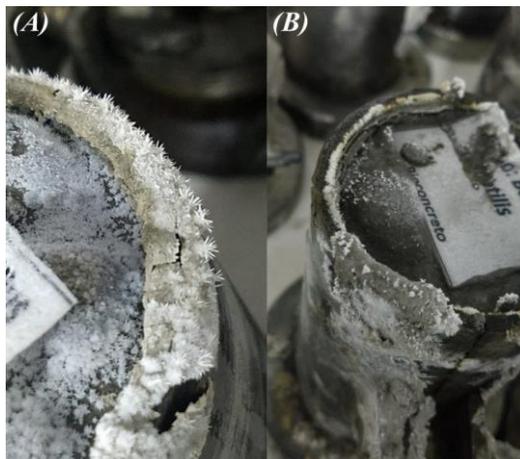
**Figura 2:** Identificação da Formação de Carbonato de Cálcio e selagem da fissura em microscópico com 200x de aumento.



Fonte: Zakrzewski. (2022)

O trabalho realizado por Medeiros<sup>19</sup> conduziu uma comparação entre duas espécies bacterianas pertencentes ao gênero *Bacillus* das espécies *subtilis* e *cereus*, utilizando o método de encapsulamento em argila expandida. Na Figura 3 é possível observar o surgimento de cristais de carbonato de cálcio nos dois corpos de prova, sendo que na imagem (3a) é apresentado o processo de auto-cicatrização proveniente da bactéria *B. cereus* enquanto a imagem (3b) apresenta o processo da auto-cicatrização da *B. subtilis*.

**Figura 3:** Surgimento de cristais nos corpos de prova.

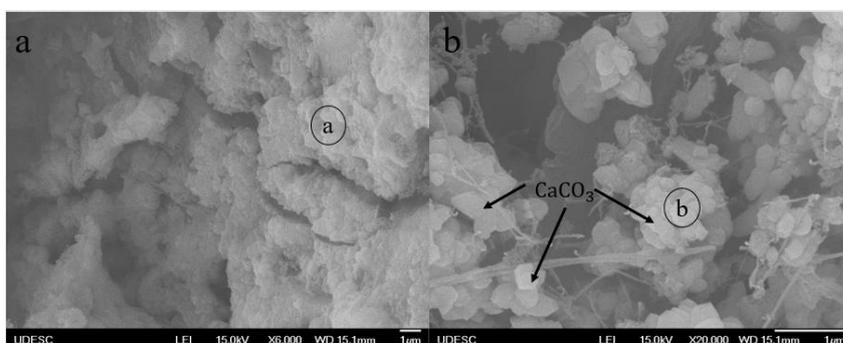


Fonte: Medeiros. (2020)

Os resultados obtidos por Medeiros <sup>19</sup> demonstram que ao empregar as bactérias na mistura do concreto, observou um processo notável de fechamento das fissuras. Porém não foi possível o fechamento completo da fissura em comparação com os experimentos realizados por Zakrzewski <sup>10</sup>. Este resultado pode ser justificado pelo tempo de cura, no caso foram de apenas sete dias, resultando em uma hidratação incompleta do material comprometendo o processo de carbonatação.

Por meio de investigações envolvendo outra cepa bacteriana, a *Bacillus pumilus*, Santos *et al* <sup>20</sup> verificaram um aumento significativo de carbonato de cálcio na estrutura do concreto, quando comparado ao concreto convencional. Na Figura 4 são mostradas imagens de cristais de carbonato de cálcio produzidos pelas bactérias *Bacillus pumilus* obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Na Figura 4b é possível observar a formação de cristais de carbonato de cálcio com geometria poligonal. A geometria identificada pode resultar na redução da porosidade do concreto além de auxiliar no fechamento das fissuras.

Figura 4: Carbonato de cálcio em visão microscópica (a) concreto convencional e (b) bioconcreto.

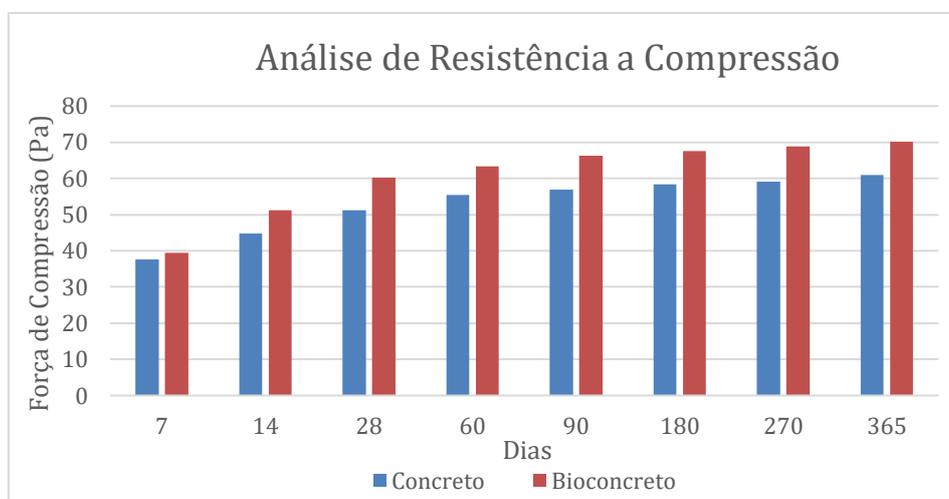


Fonte: Santos *et al.* (2023)

Conforme o trabalho de Silva e Passarini<sup>21</sup> o bioconcreto apresenta vantagens abrangendo capacidade de auto-cicatrização, durabilidade e eficiência. Seu trabalho relata o aumento de resistência à compressão de 15% após 365 dias do bioconcreto utilizando a bactéria *Bacillus subtilis* quando comparado ao concreto convencional. O Gráfico 2 apresenta os dados da análise comparativa da resistência à compressão dos dois tipos de concreto. Os autores indicam que a utilização desse material não apenas reduz os custos associados à manutenção e reparos, mas também amplia a vida útil das construções, destacando-se como uma opção sustentável.

Costa e Rodrigues<sup>22</sup> realizaram o teste de resistência com a bactéria *Bacillus megaterium*, onde os resultados obtidos evidenciam que essas bactérias são adequadas para o processo de cura, e sua incorporação no concreto resultou na formação de um biomaterial mais resistente, especialmente quando utilizado uma concentração de 5% de organismos microbianos em sua confecção. A presença de bactérias no bioconcreto aumentou significativamente a durabilidade do material. Além disso, foi observado pelos autores a existência de cristais de carbonato de cálcio os quais desempenham o papel de diminuir a porosidade do concreto e vedar as fissuras.

**Gráfico 2:** Análise de resistência à compressão



**Fonte:** Silva e Passarini. (2017).

Outro benefício significativo do bioconcreto está relacionado à sua abordagem ambientalmente amigável. Ao contrário do concreto convencional, que frequentemente utiliza materiais que emitem quantidades elevadas de CO<sub>2</sub> na atmosfera, bem como outros elementos tóxicos, o bioconcreto elimina a necessidade de reparos contínuos nas estruturas. O concreto convencional, sendo o segundo material mais consumido pela humanidade, é composto por uma mistura de agregados, água, aditivos e cimento, resultando no uso indiscriminado de recursos naturais como areia, brita, pedregulho e água. Além disso, a produção

---

desse concreto convencional demanda a queima de rochas calcárias, argila, minério de ferro e cinzas em fornos operando em temperaturas extremamente altas. O bioconcreto, ao contrário, destaca-se como uma alternativa mais sustentável, minimizando o impacto negativo no meio ambiente <sup>9</sup>.

#### **4. CONCLUSÃO**

O setor da construção civil destaca-se como o segmento de maior crescimento global, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento urbano e na geração significativa de empregos formais. Essa vitalidade impulsiona a economia mundial. Nesse contexto, torna-se imperativo conduzir estudos sobre materiais inovadores que sejam economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis. A revisão bibliográfica realizada revelou que o biocimento, quando aplicado na construção civil, surge como uma alternativa mais sustentável e promissora para abordar questões patológicas relacionadas a fissuras no concreto.

Os estudos analisados nesta revisão indicam que o uso de bactérias, seja por inserção direta ou encapsulada, resulta em um aumento na durabilidade dos concretos. Esse fenômeno é atribuído ao fechamento das fissuras no concreto, facilitado pela precipitação de carbonato de cálcio gerado metabolicamente pelas bactérias. Além disso, observou-se um aumento na resistência à compressão do bioconcreto em comparação com o concreto convencional, evidenciando a capacidade desse material biotecnológico de aprimorar as propriedades mecânicas do concreto.

Dessa forma, conclui-se que o bioconcreto representa uma ideia inovadora e altamente promissora como substituto do concreto convencional. A revisão destacou seus benefícios a longo prazo, como a redução da necessidade de reparos e manutenções a curto prazo, além do aumento da durabilidade e permeabilidade à água. Isso viabiliza sua aplicação em ambientes mais desafiadores, como pontes, túneis e muros de contenção.

O uso do bioconcreto emerge como uma alternativa sustentável, contribuindo para a diminuição dos custos associados a reparos, bem como para a redução do consumo de recursos naturais e das emissões de CO<sub>2</sub>. Sua fabricação depende apenas da adição de bactérias, eliminando a necessidade de produtos industrializados para a manutenção das estruturas, consolidando assim sua posição como uma solução ecologicamente consciente para os desafios da construção civil.

---

#### **AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO**

D.S.B possui apoio financeiro da Universidade de Mogi das Cruzes (UMC) através da gratuidade. T.F.M é bolsista da Fundação de Amparo ao Ensino e Pesquisa (FAEP) da Universidade de Mogi das Cruzes (UMC).

---

## CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflitos de interesse. Eles são os únicos responsáveis pelo conteúdo e pela redação do artigo.

## REFERÊNCIAS

1. PIB cresce 4,6% em 2021 e fecha o ano em R\$ 8,7 trilhões. Agência IBGE Notícias. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 nov. 2023.
2. CBIC revisa projeção de crescimento e construção deve crescer 1,5% em 2023. Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). Brasília, 2023. Disponível em: <https://cbic.org.br>. Acesso em: 13 nov. 2023.
3. Construção civil gera mais empregos do que qualquer outro setor nos primeiros meses de 2023.g1. Rio de Janeiro, 2023. Disponível: <https://g1.globo.com>. Acesso em: 13 nov. 2023.
4. Martins, Maysa Lorena Figueiredo et. Al magnesium industry waste for partial replacement of Portland cement. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 13, 2020.
5. Mânica, Graciela. Utilização de microrganismo autógeno para recuperação de fissuras em corpos de prova de argamassa de cimento Portland. Lajeado: UNIVATES, 2019.
6. Mondal, Sadip; Gosh, Aparna. Construction and Building Materials. Review on microbial induced calcite precipitation mechanisms leading to bacterial selection for microbial concrete, [S.I.], ano 2021, 42, p.67-75, 2 nov. 2023.
7. Koga D.S, Santos L. M. Bioconcreto Autocicatrização do Concreto pelo processo de biomineralização realizado por bactérias. PUC, Goiás, 2020.

8. American Concrete Institute. Building code requirements for structural concrete. ACI 318-19, 2019, 624p.
9. Medeiros, João Victor. Concreto Sustentável: O estudo do estado da arte. (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal do Mato Grosso, 2022.
10. Zakrzewski, Mariana. Propriedades e Auto-cicatrização do Bioconcreto por meio da incorporação de bactérias do gênero *Bacillus Subtilis* encapsuladas em argila expandida. (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal da Fronteira do Sul Campus Erechim, RS, 2022.
11. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7211:2019: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2019.
12. Freitas, A. A. et al. Bioconcreto: Uma revisão de sua aplicação na construção civil. *Research Society and Development*, v 10, n 4 e37210414270, 2021 Universidade do Estado de Minas Gerais, 14 de abr. 2021.
13. Zanzarini, J. C. Análise das causas e recuperação em edificação em alvenaria estrutural- Estudo de caso. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Paraná, 2016.
14. JONKERS, Henk M. Bacteria-based self-healing concrete. *Heron*, 56 (1/2), 2011.
15. Brito, A. V. & Nascimento, M. S. A implantação do Bioconcreto desenvolvido para solucionar problemas estruturais tais como: Fissuras, Rachaduras e Trincas. *Revista Científica Semana Acadêmica*, ISSN 2236-67172018, 2018.
16. Vijay, K.; Murmu, M.; DEO, S. V. Bacteria based self-healing concrete – A review. *Construction and Building Materials*. v. 152, 2017, p.1008-1014.
17. Reis, L.G.V. Biotecnologia Microbiana da construção: potencial de biomineralização de bactérias ureolíticas de solo de cerrado e de rejeitos da construção civil. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
18. Zhang, J.; Liu, Y.; Feng, T.; Zhou, M.; Zhao, L.; Zhou, A.; LI, Z. Immobilizing bacteria in expanded perlite for the crack self-healing in concrete. *Construction and Building Materials*, Taiyuan, v. 148, p.610-617, maio, 2017.
19. Medeiros, Diego, Padilha da Cruz. Uso de bactérias *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Cereus* na produção de bioconcreto. (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal da Paraíba. 2020.
20. Santos, J.R., Effting, Carneane, Serbent, P. Maria, Matsuda, B. Josie. Biomineralização de carbonato de cálcio no concreto pela ação do *Bacillus pumilus*. *Rev. Eng Sanit Ambient* v. 28, e20220277, 2023 Universidade do Estado de Santa Catarina, SC, 2023.

- 
21. Silva, F. P. C., de Carvalho Passarini, V., & Santos, F. C. S. (2017). Bioconcreto: A Tecnologia Para Construção Sustentável. INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797), 5(2), 41-58.
  
  22. Da Silva Costa, Andressa e Rodrigues Aparecido, Flávio. Desenvolvimento de concretos auto curáveis utilizando a bactéria *Bacillus megaterium*. Revista Científica UMC. Universidade de Mogi das Cruzes, 2018.