

Bioconcreto: uma revisão sobre sua capacidade de regeneração

Wayne Kelvin Souto Vale¹, Marília Pereira de Oliveira²

Resumo: O concreto é amplamente reconhecido como um dos materiais mais utilizados em todo o mundo na construção civil. No entanto, sua popularidade não o isenta de desafios, pois as tensões e as ações do tempo podem provocar trincas e fissuras, comprometendo a integridade estrutural. Diante desse cenário, surge o bioconcreto como uma solução promissora para mitigar esses problemas, pois apresenta a capacidade de autoreparação ao incorporar bactérias em sua composição, tornando-se durável, reduzindo os custos com a manutenção e proporcionando maior segurança às estruturas expostas aos meios agressivos. A presente pesquisa tem como objetivo entender o processo de auto cicatrização do concreto. Tratando-se de uma revisão da literatura com abordagem qualitativa, pois não foram empregados dados estatísticos como centro do processo de análise, e sim leituras com a exposição dos elementos necessários para alcançar o objetivo proposto, conclui-se que o bioconcreto é uma tecnologia capaz de transformar o panorama da construção civil, oferecendo uma alternativa mais sustentável e eficiente para a preservação e manutenção de edificações.

Palavras-chave: concreto, bioconcreto, auto cicatrização, durabilidade

Abstract: Concrete is widely recognized as one of the most used materials worldwide in civil construction. However, its popularity does not exempt it from challenges, as stresses and weather actions can cause cracks and fissures, compromising structural integrity. In this scenario, bioconcrete emerges as a promising solution to mitigate these issues, as it has the ability to self-repair by incorporating bacteria into its composition, becoming durable, reducing maintenance costs, and providing greater security to structures exposed to aggressive environments. The present research aims to understand the process of concrete self-healing. Being a literature review with a qualitative approach, as statistical data were not employed as the centerpiece of the analysis process, but rather readings with the exposition of the necessary elements to achieve the proposed objective, it is concluded that bioconcrete is a technology capable of transforming the landscape of civil construction, offering a more sustainable and efficient alternative for the preservation and maintenance of buildings.

Keywords: concrete, bioconcrete, self-healing, durability.

1 - INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais amplamente utilizados na indústria da construção civil devido à sua durabilidade, resistência e versatilidade. No entanto, mesmo sendo um material robusto, o concreto está sujeito a danos ao longo do tempo devido a fatores como cargas aplicadas, movimentações estruturais, retração hidráulica e exposição a agentes ambientais agressivos. Nesta perspectiva, [1] destacam que a durabilidade inadequada se manifesta por uma deterioração que pode ser originada por fatores externos ou por causas internas no interior do próprio concreto.

A reparação dos danos causados pela deterioração pode ser custosa, demorada e disruptiva, afetando a integridade estrutural e a vida útil das construções. Fatores estes que levaram ao surgimento de uma abordagem inovadora para enfrentar esse desafio, a do desenvolvimento de bioconcretos. Esses que são materiais de construção que incorporam bactérias capazes de promover a autoreparação de fissuras e trincas sofridas por ele devido aos diversos fatores que levam ao surgimento dessas manifestações patológicas [2].

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura para entender o processo de auto cicatrização do concreto, destacando o que é e como é produzido.

2 - REVISÃO TEÓRICA

2.1 Bioconcreto

Na construção civil, o bioconcreto está revolucionando a forma como vemos os materiais de construção tradicionais. Ele não é apenas concreto comum; é uma mistura inteligente que incorpora microrganismos, como bactérias, durante sua produção. Esses microrganismos têm uma habilidade especial: podem produzir minerais que preenchem fissuras e trincas no concreto, permitindo que ele se autorrepare naturalmente ao longo do tempo. Essa ideia inovadora se inspira na natureza, onde vemos microrganismos desempenhando papéis cruciais na formação de minerais em ambientes naturais. Além de resolver problemas de durabilidade e manutenção, o bioconcreto também traz vantagens ambientais, reduzindo a necessidade de reconstrução e, consequentemente, economizando recursos naturais e energia. Assim, o bioconcreto não apenas fortalece estruturas, mas também promove práticas de construção mais sustentáveis.

O Bioconcreto também chamado de concreto auto curável é a mistura do concreto normal com a implementação de bactérias que são capazes de produzir calcário, quando detectadas fissuras essas bactérias agem para regenerar tais fissuras, evitando que a estrutura fique comprometida [4].

O bioconcreto representa uma inovação notável na indústria da construção civil, oferecendo uma solução promissora para aumentar a durabilidade e a vida útil das estruturas de concreto, ele foi desenvolvido pela Universidade de Tecnologia de Delft, na Holanda, pelo Microbiologista Henk M. Jonkers em colaboração com o experiente Engenheiro em materiais de construção civil Eric Schlangen, [4].

A essência do bioconcreto reside na sua composição especial, que inclui a incorporação de microrganismos específicos denominados de *Bacillus subtilis*, eles são bactérias que possuem uma capacidade única de autoreparação quando expostas a fissuras no concreto. A autoreparação acontece porque as bactérias são ativadas pela presença de água e nutrientes disponíveis, resultando no seu metabolismo, a produção do calcário (carbonato de cálcio), que preenche as fissuras e restaura a integridade estrutural do concreto [4].

A imagem ilustrada na Figura 1 mostra um corpo de prova feito de bioconcreto desenvolvido por Jonkers.



Figura 1. Corpo de prova do bioconcreto. (Jonkers 2015)

2.2 Produção do bioconcreto

Existe duas abordagens distintas para a preparação do bioconcreto, são elas: a aplicação direta de bactérias e o encapsulamento de bactérias em pastilhas de lacto de cálcio [2].

Aplicação direta da Bactéria: o conteúdo bacteriano é integrado durante a construção, enquanto o sistema de argamassa líquido de reparo só entra em ação quando ocorre dano agudo nos elementos de concreto [2].

Encapsulamento de bactérias em pastilhas de lacto de cálcio: que é possível fazer a preparação através dos esporos bacterianos são encapsulados dentro de pellets de argila de dois a quatro milímetros de largura e adicionados à mistura de cimento com nitrogênio separado, fósforo e um agente nutricional. O contato com nutrientes irá ocorrer somente se a água penetrar em uma fissura [2].

O bioconcreto é uma solução para estruturas sujeitas a condições climáticas adversas e de difícil acesso para manutenção. Pode ser produzido de duas formas principais: incorporando bactérias diretamente no concreto durante sua fabricação ou encapsulando as bactérias em pastilhas de lacto de cálcio. Ambos os métodos permitem que as bactérias se ativem em resposta à umidade, preenchendo fissuras e restaurando a integridade do concreto. Essa tecnologia oferece uma alternativa eficaz para a manutenção de estruturas expostas, reduzindo a necessidade de intervenções humanas frequentes.

2.3 Aplicação do bioconcreto na construção civil

A Figura 2 mostra a primeira edificação que utilizou na sua execução o bioconcreto.



Figura 2. Estação de salva vidas. (Jonkers,2015)

A imagem da Figura 2 corresponde a uma estação de salva-vidas em Galder na Holanda, pois como se localiza próximo às águas de um lago que fica sujeito a condições extremas com alta incidência solar e presença contínua de água [3]. Na imagem 3 está uma das paredes da estação salva vidas onde ocorreu uma trinca e foi regenerada.



Figura 3. Parede da estação Salva Vidas. (Jonkers,2015)

Em obras de pequeno porte, implicam manutenções eventualmente de difícil acesso, o processo construtivo por meio do bioconcreto acaba sendo defasado devido ao valor elevado do material. Sendo esse o grande desafio da implementação do bioconcreto na construção civil, o fato de ser comparado com a produção do concreto comum seu custo será superior. A tecnologia ainda não é empregada no Brasil justamente pelo alto custo. A expectativa é que com o avanço das pesquisas, possibilite o seu uso em construções no mundo todo [7]

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 4 mostra o processo passo a passo do processo de regeneração do bioconcreto, na primeira imagem mostra o momento que ocorre a fissura, na segunda imagem mostra o começo da regeneração onde as bactérias então em ação e por fim a regeneração completa onde ocorre o fechamento da fissura.

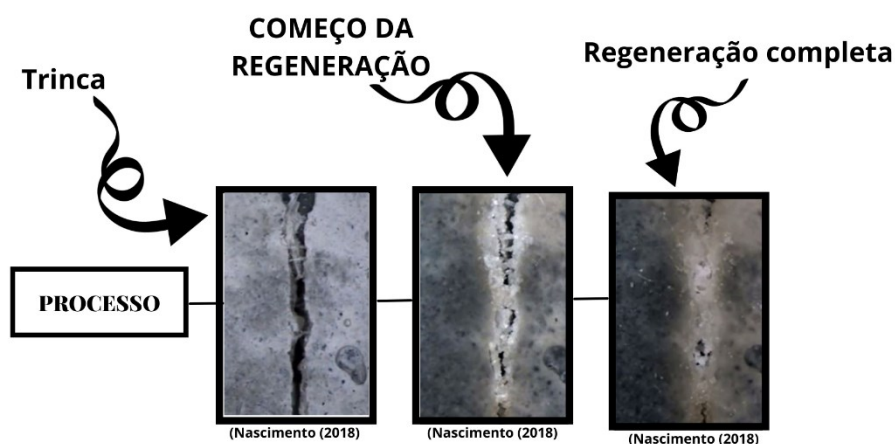


Figura 4. Esquema de regeneração (adaptado de Nascimento 2018)

3.1 Processo de auto cicatrização

Para fazer o bioconcreto, é necessária uma cadeia da bactéria onde inicialmente elas podem estar encapsuladas junto com o lactato de cálcio em pastilhas de argila expandida, ou ser aplicada a solução com as bactérias direto na água com o lactato de cálcio, e todo os outros agregados e cimento para fazer a mistura de concreto. A função da bactéria misturada ao concreto é de se alimentar do lactato de cálcio, onde origina a calcita que é o mineral constituinte do calcário, em seu processo digestivo. Elas podem ficar em estado dormente por até 200 anos, e só começam a agir na estrutura quando aparecer trincas ou fissuras, onde o material vai obter contato com o ar, umidade ou água, e aciona a bactéria e ela começa a se alimentar. Conseguindo assim regenerar ou selar as fissuras do concreto com até 8 milímetros de espessura, não tendo limites para a extensão da fissura, e podendo levar até

3 semanas para concluir o processo de regeneração. [4]

O processo de autocicatrização ou regeneração do bioconcreto acontece da seguinte maneira: O processo de autocicatrização no bioconcreto é muito mais eficiente devido à conversão metabólica ativa do lactato de cálcio. Esse processo resulta na precipitação de quantidades de CaCO_3 muito maiores no interior da fissura, visto que o composto, nesse caso, é produzido não apenas pela conversão do lactato de cálcio, mas também indiretamente pela carbonatação por meio do CO_2 produzido metabolicamente.[6]

A imagem apresentada na Figura 5 mostra o processo de recuperação do bioconcreto após sofrer uma fissura com aumento de 20x e a ampliação em 40x da mesma imagem na qual é possível uma melhor visualização da cicatrização da fissura.

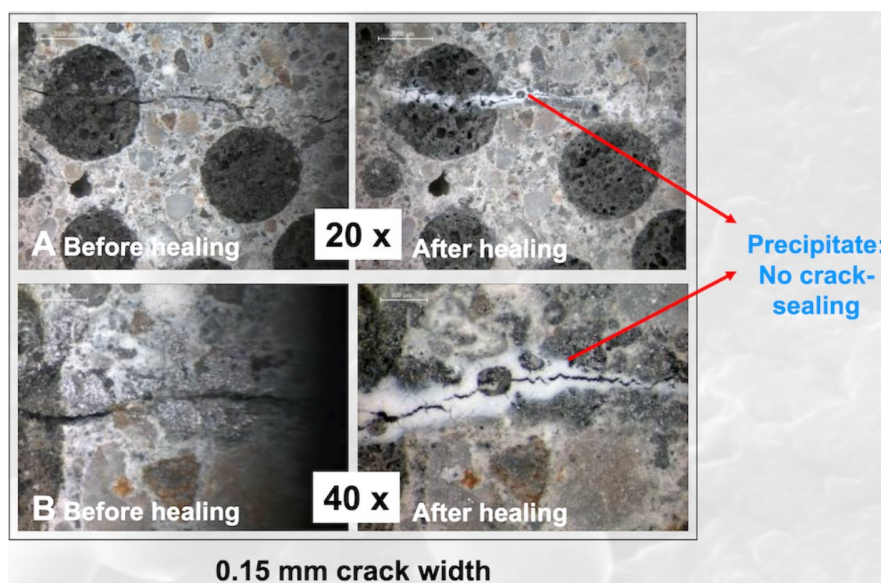


Figura 5. Processo de autoreparação do bioconcreto. (Delft University of Technology)

Na Figura 6 é possível ver como se regenera a fissura após sua criação, quer seja ela causada por intempéries ou agentes do tempo ou até mesmo causada pelo uso ou ainda acidentes que possam ocorrer.



Figura 6. Processo de autoreparação do bioconcreto (Nascimento 2018)

3.2 Identificação e listagem dos micro-organismos envolvidos no processo de autocicatrização

As espécies dos microrganismos são determinadas a partir da sua capacidade de precipitação do carbonato de cálcio. O pesquisador [2] explica como age bactéria *Bacillus Pseudofirmus*.

O ponto de partida da pesquisa foi encontrar bactérias capazes de sobreviver em um ambiente extremamente alcalino. O cimento e a água têm um valor de pH de até 13 quando misturados, geralmente um ambiente hostil para a vida: a maioria dos organismos morre em um ambiente com um valor de pH de 10 ou acima. A pesquisa concentrou-se em micróbios que se desenvolvem em ambientes alcalinos que podem ser encontrados em ambientes naturais, como lagos alcalinos na Rússia, solos ricos em carbonatos em áreas desérticas da Espanha e lagos de soda no Egito. Amostras de bactérias endolíticas (bactérias que podem viver dentro de pedras) foram coletadas junto com bactérias encontradas em sedimentos nos lagos. Cepas do gênero bactéria *Bacillus* foram encontrados para prosperar neste ambiente altamente alcalino. De volta à Universidade de Delft, as bactérias das amostras foram cultivadas em um frasco de água que seria usado como parte da mistura de água para o concreto. Diferentes tipos de bactérias foram incorporados em um pequeno bloco de concreto. Cada bloco de concreto ficaria por dois meses para ser endurecido. Então o bloco seria pulverizado e os restos testados para ver se as bactérias haviam sobrevivido. O crescimento bacteriano também depende do pH. Cada espécie microbiana tem a gama diferente de pH. Um nutriente de diferentes faixas de pH de 4 a 12 foi preparado em tubo de ensaio introduzindo a cultura bacteriana nela e crescimento foi observado, o teste foi realizado medindo-se a turvação da amostra utilizando

calorímetro e foi observado que o crescimento na faixa de pH 7,5-9,0. O *Bacillus pasteurii* teve o crescimento na faixa de pH de 7-9 e *Bacillus sphaericus* foi 8-9. [2]

Na Figura 7 é mostrada uma visão macroscópica da bactéria *Bacillus Pseudofirmus*.



Figura 7. bactéria *Bacillus Pseudofirmus*. (Nascimento 2018)

A mesma diz que, esse concreto autorregenerante é composto pelos mesmos componentes do concreto convencional, mais um elemento adicional denominado agente de cura, que por sua vez é composto por bactérias *Bacillus Pseudofirmus* e lactato de cálcio ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CaO}_6$).

A figura 8 mostra uma fotografia dos esporos bacterianos feita a partir do microscópio.

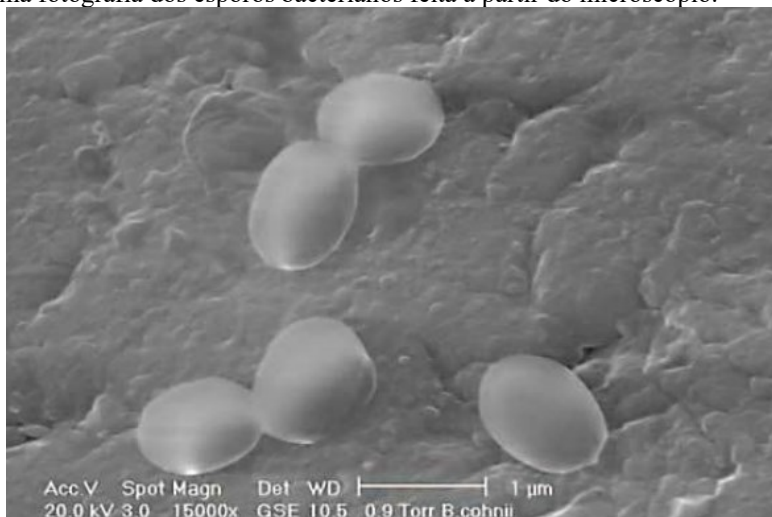


Figura 8. Fotografia de esporos bacterianos por microscópio eletrônico (Arnold 2011)

O processo de auto cicatrização do concreto se dá a partir do momento em que essas bactérias inativas presentes no concreto são ativadas ao entrarem em contato com a água, que entra nas fissuras formadas. Essas fissuras são, então, rapidamente preenchidas e seladas por meio da precipitação de carbonato de cálcio (CaCO_3), produzido pelo aumento do número de bactérias, mediada metabolicamente pelos micro-organismos presentes no concreto. [4].

A biomineralização é um processo pelo qual organismos vivos, como bactérias, algas e fungos, precipitam minerais em suas estruturas. No contexto do bioconcreto, a biomineralização é frequentemente utilizada para melhorar as propriedades do concreto, como sua resistência e durabilidade. No processo de biomineralização do bioconcreto, microrganismos como bactérias são incorporados ao concreto durante a produção. Essas bactérias são geneticamente modificadas para produzir substâncias que promovem a formação de minerais, como carbonato de cálcio. Quando o concreto é exposto a condições favoráveis, como umidade e nutrientes adequados, as bactérias começam a metabolizar e liberar produtos químicos que promovem a precipitação de minerais, preenchendo assim eventuais fissuras e melhorando a resistência do concreto. Para entender o funcionamento do bioconcreto, tem-se que conhecer esta biomineralização que é o carbonato de cálcio. A biomineralização que mais tem estudado é o carbonato de cálcio (CaCO_3), que é um fenômeno recorrente ao processo que as bactérias de atividades metabólicas secretam. Uma variedade de bactérias tem esta capacidade de liberarem cristais de CaCO_3 quando são cultivadas em um meio de fonte de cálcio como lactato de cálcio, por exemplo. O processo de MICP (do inglês Microbial-Induced Carbonate Precipitation) é uma técnica ambientalmente “amigável” que vem sendo usada para resolver problemas ambientais incluindo a remediação de íons cálcio, radionucleotídeos e metais potencialmente

tóxicos, dentre outros. Este processo está sendo estudado na construção civil que é uma área mais ampla, que vem sendo usada na proteção de argamassas e concretos. A precipitação do carbonato de cálcio é um processo químico que tem influência de quatro fatores chaves.

1. Primeiro fator - a concentração de carbono inorgânico presente no meio dissolvido;
2. Segundo fator - é a concentração de íons de cálcios;
3. Terceiro fator - o pH;
4. Quarto fator - a presença de sítios de nucleação.

Na precipitação os três primeiros fatores são a chave para que aconteça a química, e possa haver precipitação, já no quarto fator, os sítios bacterianos podem já se comportar como sítios ativos nucleação. Na formação bacteriana para o carbonato, há duas vias metabólicas, o autotrófico e o heterotrófico. No autotrófico, o dióxido de carbono é usado como fonte de carbono, assim provoca uma redução bacteriano no ambiente. Com os íons de cálcio (Ca^{2+}) a depleção faz com que tenha um aumento na produção de carbonato de cálcio. A heterotrófica, as bactérias podem gerar o carbonato através de duas precipitações, ativa e passiva. A produção de carbonato ativa acontece devido a troca iônica que há entre o cálcio ou a de magnésio devida a bomba iônica. A passiva, a produção de íon de carbonato acontece devido a amonificação de aminoácidos, a redução de nitratos (NO_3^-) ou pela degradação da ureia, mas independentes do que foi citado, a amônia será produzida como produto final, assim elevando o pH. A quantidade de carbonato de cálcio que precipita, é uma função resultante na concentração de produtos de íons de cálcio (Ca^{2+}) e carbonato (CO_3^{2-}), assim obedecendo a cinética das reações, nesse caso um dos reagentes apresentar excesso. Um papel importante das bactérias é influenciar uma saturação atingível e a taxa de precipitação do carbonato de cálcio, tendo assim uma regulação morfológica dos cristais que são formados. A concentração de íons quando excede o produto da solubilidade (Kps), a solução torna supersaturada, e quando mais saturada for, mais a chance da precipitação do carbonato de cálcio acontecer. [3]

O microencapsulamento do contexto no bioconcreto serve para poder preservar e proteger as bactérias que são colocadas no concreto. Essas bactérias que são capazes de calcificar o concreto para poder proteger a estrutura contra as fissuras que causam danos na construção. Nesse processo consiste em utilizar microcápsulas que geralmente são feitas de matérias como polímeros, argila expandida ou outros compostos orgânicos. Essas capsulas servem como uma espécie de escudo para proteger e manter as bactérias isoladas do ambiente até que elas precisem ser ativadas no processo de auto cicatrização. O autor [5] também explica que as microcápsulas são sensíveis a presença de água, se rompem liberando os microrganismos para o meio. O processo tem início no surgimento de micro trincas na superfície do concreto que permite que a água penetre no seu interior e entre em contato com as microcápsulas contendo os microrganismos e seus nutrientes. Os microrganismos, na presença de água e dos nutrientes adequados, têm sua atividade metabólica ativada, iniciando o processo de indução a formação de cristais de carbonato de cálcio. À medida que são produzidos, estes cristais atuam como reparadores e vão fechando as trincas [5]. Ele também explica que porque as bactérias não são capazes de sobreviver mais que 7 dias no interior do concreto, pois com o tempo de cura avançado, os poros do material – de até 1 μm de tamanho – se tornam pequenos demais a tal ponto que se tornar inviável a sobrevivência do microrganismo [5].

O mecanismo de atuação envolve uma abordagem única, combinando princípios biológicos e químicos. O bioconcreto apresenta bactérias com poder de autocura que ao ser hidratado desprende hidróxido de cálcio, resultando em um meio bastante alcalino. Esta bactéria se alimenta deste hidróxido solúvel e mediante seu metabolismo produz carbonato de cálcio (CaCO_3). Esse carbonato ocupa os poros do concreto aumentando sua resistência mecânica, e ao longo de três semanas, promove a vedação das fissuras. As bactérias existentes no bioconcreto, ao adentrarem em contato com a água, quando há alguma patologia no concreto, aumentam a atividade da enzima urease ao se alimentar com o cálcio, e este reage com o carbonato de cálcio (CaCO_3). O carbonato de cálcio produzido é resistente e fica armazenado entre os locais vazios do concreto ocasionados por patologias. Desta forma, com o aparecimento das fissuras as bactérias entram em contato com a água presente no meio externo e produzem CaCO_3 que faz “automaticamente” a manutenção da patologia.[7]

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bioconcreto e sua capacidade de autoreparação representam um olhar otimista em relação ao futuro da construção civil. Ao longo deste trabalho, foi explorado como essa inovação tecnológica pode revolucionar a maneira como concebemos e mantemos as estruturas construídas. A introdução do bioconcreto no mercado da construção civil promete não apenas aumentar a durabilidade e a resistência das edificações, mas também reduzir significativamente os custos e impactos ambientais associados à manutenção e reparação de concreto convencional. A capacidade das bactérias incorporadas no bioconcreto de autoreparar fissuras e trincas oferece uma solução sustentável e eficaz para um dos principais problemas enfrentados por estruturas de concreto em todo o mundo. Além disso, o uso do bioconcreto pode abrir caminho para uma abordagem mais abrangente e proativa em relação à preservação de edifícios e infraestruturas. Ao invés de aguardar danos significativos antes de intervir, o bioconcreto permite uma manutenção contínua e preventiva, garantindo a integridade estrutural a longo prazo. No entanto, é importante reconhecer que a adoção em larga escala do bioconcreto ainda enfrenta desafios, incluindo questões relacionadas à aceitação do mercado, custo inicial e processos de fabricação em larga escala. Portanto, são necessários investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento, bem como colaborações entre academia, indústria e governos para impulsionar a implementação bem-sucedida dessa tecnologia inovadora. Em suma, o bioconcreto representa um passo significativo em direção a uma construção mais sustentável, resiliente e econômica. Seu potencial de transformação na indústria da construção civil é promissor, e cabe a nós como profissionais do setor aproveitar essa oportunidade para promover um futuro mais seguro e sustentável para as gerações futuras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COUTO, J. A. C.; CARMINATT, R. A.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C. A. O concreto como material de construção. *Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas*, 1 (17), 49-58, 2017. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/552/566> . Acesso em: Março de 2024.
- [2] DO NASCIMENTO, M. S. A implantação do bioconcreto desenvolvido para solucionar problemas estruturais tais como: fissuras, rachaduras e trincas. *Revista Científica Semana Acadêmica*. Fortaleza, 2018. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/bioconcreto-_pos_grad.1_artigo_0.pdf . Acesso em: Março de 2024.
- [3] Vieira dos Reis, Luann. *Biotecnologia Microbiana da Construção: Potencial de Biomineralização de Bactérias Ureolíticas de Solo de Cerrado e de Rejeitos de Construção Civil*. 2017. 103 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, [s.l.], 2017.
- [4] ZAGO, Alan de Freitas. *Estudo comparativo entre métodos de recuperação de estruturas com processos de autocura: bioconcreto e concreto autocicatrizante*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, [Tubarão], 2021.
- [5] VIEIRA, Juliana Aparecida. *Biodeposição de CaCO₃ em materiais cimentícios: contribuição ao estudo da biomineralização induzida por Bacillus subtilis*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, 2017.
- [6] EUZÉBIO, Luíz Antônio; ALVES, Thiago Rodrigues; FERNANDES, Vítor Andrade. *Bioconcreto: Estudo exploratório de concreto com introdução de Bacillus subtilis, Bacillus licheniformis, acetato de cálcio e ureia*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, 2017.
- [7] STOPASSOLI, Jaqueline Martins. *Concreto bio-receptivo em obras urbanas*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, 2022. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Civil
- [8] ARNOLD, Damian. Self-Healing Concrete. *Self-Healing Concrete*, n. 46, p. 39–43, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946519302781>
- [9] Delft University of Technology Disponível em: <<https://celere-ce.com.br/inovacao/bioconcreto/>>. Acesso em: 5 Abril 2024