

# ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE A APLICABILIDADE DO CONCRETO BIOLÓGICO

RAYANE DANIELA SILVA DE SOUZA<sup>14</sup>  
VINICIUS GONSALES DIAS<sup>15</sup>

**RESUMO:** Buscando uma solução para as patologias que venham a surgir nas estruturas de concreto, onde as mesmas reduzem consideravelmente a vida útil da estrutura, foi-se estudado a biotecnologia do bioconcreto, no qual é feito uma adição de bactérias (mais especificamente as bactérias do tipo *Bacillus*) que possuam uma proteção externa, juntamente ao lactato de cálcio (alimento das bactérias) no concreto convencional, através de pellets de argila. O concreto biológico ativa-se quando há presença de umidade na patologia, resultando no preenchimento por completo dos vazios presentes dentro da patologia em até três semanas. Através de estudos de materiais e pesquisas de outros autores a partir do ano 2000 até 2021 foi desenvolvido este trabalho, no qual traz um comparativo entre o concreto convencional e o concreto biológico com diferentes tipos de bactérias ureolíticas do tipo *Bacillus*, no qual o uso do bioconcreto apresentou melhores resultados tanto na resistência à compressão quanto a resistência à tração e também na redução da permeabilidade. Conclui-se que mesmo o concreto biológico sendo uma revolução na construção civil e uma tecnologia ecológica e sustentável, se faz necessário um aprofundamento maior na sua produção em larga escala devido ao seu custo atual, a fim de tornar essa biotecnologia mais acessível.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bactérias; Concreto; Lactato de cálcio; Patologia; Resistência.

## BIBLIOMETRIC STUDY ON THE APPLICABILITY OF BIOLOGICAL CONCRETE

**ABSTRACT:** Seeking a solution for the pathologies that may arise in concrete structures, where they considerably reduce the useful life of the structure, the biotechnology of bioconcrete was studied, in which an addition of bacteria is made (more specifically bacteria of the type *Bacillus*) that have an external protection, together with calcium lactate (food for bacteria) in conventional concrete, through clay pellets. Biological concrete activates when there is moisture in the pathology, resulting in the complete filling of the voids present within the pathology in up to three weeks. Through material studies and research by other authors from the year 2000 to 2021 this work was developed, in which it brings a comparison between conventional concrete and biological concrete with different types of ureolytic bacteria of the *Bacillus* type, in which the use of the bioconcrete showed better results both in compressive strength and in tensile strength and also in the reduction of permeability. It is concluded that even biological concrete is a revolution in civil construction and an ecological and sustainable technology, it is necessary to go deeper into its large-scale production due to its current cost, in order to make this biotechnology more accessible.

**KEYWORDS:** Bacteria; Calcium lactate; Concrete; Pathology; Resistance.

## INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, sobretudo pela sua resistência à compressão (MEHTA ; MONTEIRO, 2008). No decorrer dos anos, o concreto pode apresentar

---

<sup>14</sup> Acadêmica de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe-UNIFASIPE. Endereço eletrônico: [rayane\\_daniela@hotmail.com](mailto:rayane_daniela@hotmail.com);

<sup>15</sup> Professor Mestre em Engenharia Civil, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe-UNIFASIPE. Endereço eletrônico: [viniciusgonsolesdias@gmail.com](mailto:viniciusgonsolesdias@gmail.com)

patologias, necessitando assim de manutenções. Foi pensando nisso que o microbiologista Henk Jonkers e o Engenheiro especialista em materiais de construção Eric Schlangen da Universidade Técnica de Delft da Holanda começaram em 2006 a estudar o bioconcreto. Com essa técnica seria possível que ficasse anos sem ser preciso fazer manutenções estruturais ou até mesmo que diminuísse a frequência com que elas fossem feitas, podendo também ter um aumento de vida útil da edificação (BEZERRA et al., 2017).

Esse concreto é um pouco peculiar, pois é um concreto convencional misturado com bactérias, mais especificamente a bactéria *Bacillus Pseudofirmus*, que quando se alimentam de lactato de cálcio fazem a liberação de Carbonato de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>) no seu processo (SILVA et al., 2017). Mesmo o concreto apresentando uma ótima trabalhabilidade e boa resistência, ele ainda assim não é 100% resistente e eficaz (tanto a forças mecânicas quanto a ações ambientais). Intempéries, má execução da mão de obra e as ações mecânicas também são atualmente problemas presentes na construção civil.

As fissuras (aberturas de até 0,6 mm), trincas e rachaduras (aberturas com mais de 0,6 mm) são um dos maiores problemas que o concreto apresenta hoje no decorrer da sua vida útil, fazendo com que afete a durabilidade, os componentes estruturais e a estética da obra (BEZERRA et al., 2017). A falta de manutenção da obra ou um projeto mal elaborado são alguns fatores que podem facilitar o surgimento ou até mesmo agravar as patologias que podem ser apresentadas na construção de acordo com o seu tempo de vida útil (MAIDEL et al., 2009).

O concreto biológico foi estudado e criado com a intenção de que um concreto tradicional pudesse se auto curar, pois com as manifestações de diversas patologias e problemas estruturais, faz-se necessário que as construções tivessem estruturas mais duráveis e resistentes, reduzindo assim os gastos com manutenções futuras, pois não se necessitaria de tantos reparos (NASCIMENTO, 2018). E tanto a bactéria inserida, quanto a aplicada apresentou extrema eficácia no concreto.

Neste contexto será analisado a qualidade e desempenho do bioconcreto de acordo com estudos de casos. Para que assim possam ser comparadas as propriedades do concreto biológico feito com a adição de diferentes tipos de bactérias do gênero *Bacillus* e analisando-se também a viabilidade de se usar o concreto biológico. Em seguida serão apresentados os resultados dos ensaios feitos com o concreto biológico em comparação com o concreto convencional, baseando-se unicamente nos materiais de estudos.

Buscando-se agregar mais conhecimentos sobre o concreto biológico, foi feito um levantamento bibliográfico e análise bibliométrica do mesmo. A realização deste trabalho foi feita por meio de dados coletados através da análise de documentos de terceiros, podendo ser jornais, revistas científicas, artigos acadêmicos, entre outros. Tendo como finalidade deste trabalho apresentar o conceito da aplicabilidade do concreto biológico.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Concreto convencional e patologias na construção civil

O primeiro registro da origem do concreto como se conhece hoje, começou no ano de 1756, quando John Smeaton o desenvolveu através da mistura de agregado graúdo e cimento (RIBAS; OKONSKI, 2020). E desde então veio se revolucionando cada vez mais, até ser o concreto no qual se trabalha hoje em dia.

Dos componentes que compõe o concreto, o componente que mais interfere é a água, pois é ela que determina a trabalhabilidade e viscosidade do concreto nas suas aplicações, manuseios, etc. Porém, sua adição em excesso traz malefícios, como a redução da resistência, o surgimento das trincas, fissuras e rachaduras, por exemplo (SALOMÃO; PINHEIRO, 2020).

Patologias são as manifestações que ocorrem no ciclo de vida da edificação e que venha a prejudicar o desempenho esperado do edifício e suas partes como os subsistemas, os elementos e os componentes. O mal projeto, os erros de execução, o uso inadequado de materiais e a falta de

manutenção são alguns motivos para a ocorrência das patologias nas estruturas assim como também os agentes mecânicos, químicos, biológicos e físicos (MAIDEL et al., 2009).

Geralmente os problemas mais graves que uma estrutura pode apresentar são precisamente as trincas e fissuras (CRISTINA et al., 2018; SALOMÃO; PINHEIRO, 2020). Pois, além de não serem esteticamente agradáveis, elas podem comprometer a resistência da estrutura dependendo do nível de alastramento que se encontra.

## **2.2 Bioconcreto**

Utiliza - se o tipo de bactéria do gênero *Bacillus* porque é necessário que ela possua uma proteção externa como, por exemplo, os endósporos que permitem que ela sobreviva inativamente por longos anos (SALOMÃO; PINHEIRO, 2020). No qual geralmente habitam lugares inóspitos, como por exemplo, as crateras de vulcões ativos e lagos altamente alcalino.

Pode ser de centímetros a quilômetros o reparo do bioconcreto, pois não há limite para a extensão da rachadura que ele possa reparar (JONKERS, 2008; GONÇALVES et al., 2019). Porém, essa rachadura deve ter uma largura inferior a 08 mm.

Por sua biotecnologia, as propriedades que compõe o bioconcreto fazem dele uma boa solução às obras, pois em relação aos problemas oriundos das fissuras, o concreto biológico tem um tempo máximo previsto de 03 semanas para o fechamento completo, sendo assim uma solução a curto prazo (BEZERRA et al., 2017).

Conforme o CEFET-MG (2017; FAUSTINO; ASSUNÇÃO, 2020) enquanto o concreto convencional tem um custo de R\$260,00m<sup>3</sup> o bioconcreto tem um aumento no seu custo de 40% a mais do que o concreto convencional chegando ao custo de R\$ 360,00/m<sup>3</sup>. Contudo estão estudando maneiras para fazer com que essa tecnologia do bioconcreto chegue ao mercado com um custo benefício mais acessível do que o valor de custo que está sendo ofertado atualmente.

### **2.2.1 Preparação do Bioconcreto**

O conteúdo bacteriano é integrado durante a construção, sendo então uma aplicação direta. Esporos bacterianos são encapsulados dentro de pellets de argila de dois a quatro milímetros de largura, sendo encapsulado junto o seu alimento o lactato de cálcio (NASCIMENTO, 2018).

### **2.2.2 Funcionamento do bioconcreto**

Quando a água ou umidade entra em contato com a fissura na estrutura de concreto, ocorre-se então a ativação do bioconcreto. É nesse momento que as bactérias “acordam” e começam a se multiplicar, logo começam a consumir o lactato de cálcio solúvel, e após a sua digestão as bactérias começam a liberar o calcário insolúvel (agente reparador), possibilitando que as bactérias se multipliquem e auto reparem a estrutura de concreto (SALOMÃO; PINHEIRO, 2020), conforme a figura 1.

O oxigênio no concreto é um agente que favorece a corrosão da estrutura, pois em contato com o aço o oxigênio ajuda na corrosão do mesmo, porém no caso do bioconcreto o oxigênio tem um ponto positivo com essa ação, pois é ele quem auxilia o lactato de cálcio a transformar o lactato de cálcio em Carbonato de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>) – componente primário do calcário. Esse processo do lactato de cálcio solúvel a ser transformado em calcário insolúvel faz acontecer um processo de sobressaturação e precipitação química, no qual faz endurecer o Carbonato de Cálcio que resulta no reparo das estruturas de modo que esse Carbonato de Cálcio sela as patologias em até três semanas (SALOMÃO; PINHEIRO, 2020).

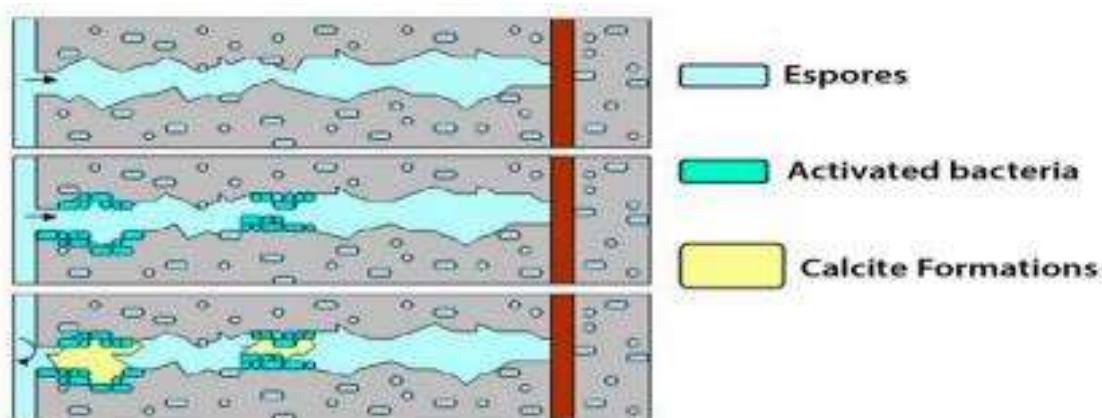
A figura 1 mostra a evolução da estrutura de concreto no processo de autorregeneração do concreto biológico, do momento em que ocorre a patologia até a total regeneração da estrutura (FAUSTINO; ASSUNÇÃO, 2020).



**Figura 1:** Concreto biológico em processo de autorregeneração do concreto

**Fonte:** NASCIMENTO, (2018)

A partir do momento em que surge a patologia a autorregeneração começa a entrar em ação, pois após o surgimento da patologia a água entra em contato com os esporos das bactérias, nesse momento as bactérias são ativadas. Em seguida sela-se o vazio dentro da patologia, pois as bactérias preenchem completamente com Carbonato de Cálcio a patologia. Este processo está representado na Figura 2 (BEZERRA et al., 2017).



**Figura 2:** Demonstração da autorregeneração do concreto utilizando a tecnologia do bioconcreto

**Fonte:** ALVES et al., (2019)

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada de forma teórica, pois foi uma pesquisa em materiais de estudos que já foram realizados por outros autores e foram publicados a partir do ano de 2000 até 2021, esses materiais de estudos foram localizados através de revistas científicas, Google Acadêmico, Escopus, Web of Science, Springer, Sci-hub e Scielo, em formato de jornais, livros, documentários, artigos científicos, dissertações e monografias.

O estudo teórico da pesquisa foi em relação do bioconcreto em comparação ao concreto convencional. Também foram feitas pesquisas em relação a casos de utilização do concreto biológico no Brasil e relatos de pessoas que já utilizaram e/ou trabalharam com esse concreto biológico.

Foram analisados 40 materiais de estudo, a fim de encontrar-se uma conclusão mais precisa. Entretanto, para a análise e interpretação de dados foram-se utilizados somente 19 materiais de estudo, no qual esses materiais também trazem outras espécies de bactérias do tipo *Bacillus*, sendo mais condizente para comparar as características mecânicas que as bactérias podem aderir ao concreto.

O quadro 1 demonstra de forma mais detalhada a bactéria citada nos materiais de estudo que foram utilizados.

| Bactéria citada              | Autor   |
|------------------------------|---|
| <i>Bacillus Subtilis</i>     | Gato et. al., 2021. Gupta ; Naval, 2020. Ghoniem et al., 2021. Schwantes-Cezario et al., 2019. Dos Reis et al., 2017.                     |
| <i>Bacillus Pseudofirmus</i> | Muller et. al., 2022. Jonkers ; Schlangen, 2007. Jonkers ; Schlangen, 2008. Sharma et al., 2017. Mello et al., 2019. Gupta ; Naval, 2020. |
| <i>Bacillus Megaterium</i>   | Gupta ; Naval, 2020. Musyoki et al., 2022. Dos Reis et al., 2017.   |
| <i>Bacillus Pasteurii</i>    | Gupta ; Naval, 2020. Dos Reis et al., 2017.   |
| <i>Bacillus Sphaericus</i>   | Gupta ; Naval, 2020. De Muynck et al., 2007.  |
| <i>Bacillus Cohnii</i>       | Muller et. al., 2022. Jonkers ; Schlangen, 2008. Sharma et al., 2017. Mello et al., 2019. Gupta ; Naval, 2020.                            |
| <i>Bacillus Halodurans</i>   | Jonkers ; Schlangen, 2008. Sharma et al., 2017. Gupta ; Naval, 2020.  |
| Não especificou o gênero*    | Alves et. al., 2019. Arnold, 2011. Jayarajan ; Arivalagan, 2019. General Kinematics, 2019. Velan, 2021. Paspula, 2019.                    |

\*falou de modo geral do bioconcreto, sem citar espécie específica de bactéria *Bacillus*.

Quadro 1: Relação detalhada da bactéria utilizada nos materiais de estudo

Fonte: PRÓPRIA (2022)

As pesquisas foram feitas por meio das palavras chaves como: bioconcreto, compressão, concreto biológico, concreto com bactérias, concreto convencional, concreto autorregenerativo, uréase, carbonatação, corrosão, patologias, resistência e *Bacillus*, afim de facilitar e limitar essas pesquisas realizadas. E os testes apresentados serão comparando a resistência à compressão, a resistência à tração e a impermeabilidade do bioconcreto com a do concreto convencional.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os 19 materiais de estudo que foi utilizado para esta etapa de análise e interpretação de dados, as bactérias que foram citadas são: *Bacillus Subitilis*, *Bacillus Pseudofirmus*, *Bacillus Megaterium*, *Bacillus Pasteurii*, *Bacillus Sphaericus*, *Bacillus Cohnii* e *Bacillus Haloduran*. Além de também mencionar de uma forma geral sobre o concreto biológico.

##### 4.1 Estudo do concreto biológico com a bactéria *Bacillus Subitilis*

É um dos tipos mais comuns de bactérias que são utilizadas no processo de autocura do concreto biológico (GUPTA; NAVAL, 2020). Além de que elas podem produzir calcita, que é uma forma cristalina do Carbonato de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>) (SCHWANTES-CEZARIO et al., 2019). Essa precipitação do Carbonato de Cálcio pode aumentar tanto a resistência à compressão quanto a tração (devido às bactérias presentes no concreto) (GUPTA; NAVAL, 2020).

Foi utilizado esse tipo de bactéria com o objetivo de avaliar a influência do biocimento (SCHWANTES-CEZARIO et al., 2019). O grau de concreto utilizado é o M20 e foram-se realizados testes de resistência à compressão, resistência à tração bipartida, exposição a ácidos e módulo de elasticidade após 7 e 28 dias de cura (GUPTA; NAVAL, 2020).

Os testes após 7 dias mostram a presença de precipitação de CaCO<sub>3</sub>, um pequeno aumento gradual no módulo de elasticidade e também um aumento na resistência à compressão (SCHWANTES-CEZARIO et al.; 2019). Os testes após 28 dias mostram que durante a exposição ácida há perda de massa devido à presença de bactérias no concreto e isso se mostra útil contra o fator

de ataque ácido do mesmo, há também um aumento na resistência à compressão e à tração de 63% e de 42%, respectivamente (GUPTA; NAVAL, 2020).

Contudo observou-se também que as colônias de *Bacillus Subtilis* apresentam maior taxa de calcificação quando sujeitas a temperaturas acima de 25°C, o que consequentemente mostra que elas são resistentes a elevadas temperaturas (GATO et al., 2021). Entretanto esse tipo de bactéria não opera diretamente nas estruturas de casas e escritórios, devido a poderem causar problemas de saúde (GUPTA; NAVAL, 2020).

#### 4.2 Estudo do concreto biológico com a bactéria *Bacillus Pseudofirmus*

Foi o tipo de bactéria que deram uma maior relevância ao assunto do bioconcreto quando descobertas (GATO et al., 2021). Além de também ser um dos tipos mais comuns de bactérias que são utilizadas no processo de autocura do concreto biológico (GUPTA; NAVAL, 2020). E que assim como a *Bacillus Subtilis* também produz calcita.

Jonkers, que criou o bioconcreto com a bactéria *Bacillus Pseudofirmus*, obteve sucesso ao substituir 20% do volume de areia por EP (perlita expandida) juntamente com a *Bacillus Pseudofirmus* (MELLO et al., 2019).

A aplicação de *Bacillus Pseudofirmus* em microfissuras resultou em oclusão, em virtude da deposição de material forte e aderente (o biomineral precipitado era duro e fortemente aderido ao concreto, que resistiu a extração física com lâmina de bisturi). As rachaduras foram efetivamente vedadas. O Carbonato de Cálcio precipitado permanece intacto, portanto, deve fornecer uma vedação permanente e eficaz (SHARMA et al., 2017).

As bactérias *Bacillus Pseudofirmus* ajudaram na obtenção de melhores resultados, pois desempenharam um papel importante no aumento da resistência à compressão (como mostrado na tabela 1 e 2) e também na absorção de água que diminuiu em 87,4% (GUPTA; NAVAL, 2020).

| Ensaio | Dias | Concreto convencional N/mm <sup>2</sup> (MPa) | Bioconcreto N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
|--------|------|---|-------------------------------------|
| 1      | 7    | 20,84   | 27,09                               |
| 2      | 28   | 29,99   | 38,98                               |

**Tabela 1:** Resultados do ensaio de compressão do concreto convencional e do bioconcreto de 7 dias a 28 dias

**Fonte:** FAUSTINO; ASSUNÇÃO, (2020)

| Dias | Concreto convencional N/mm <sup>2</sup> (MPa) | Bioconcreto N/mm <sup>2</sup> (MPa) |
|------|---|-------------------------------------|
| 7    | 37,57   | 39,48                               |
| 14   | 44,73   | 51,26                               |
| 28   | 51,19   | 60,17                               |
| 60   | 55,39   | 63,35                               |
| 90   | 56,97   | 66,27                               |
| 180  | 58,37   | 67,62                               |
| 270  | 59,17   | 68,84                               |
| 365  | 60,87   | 70,07                               |

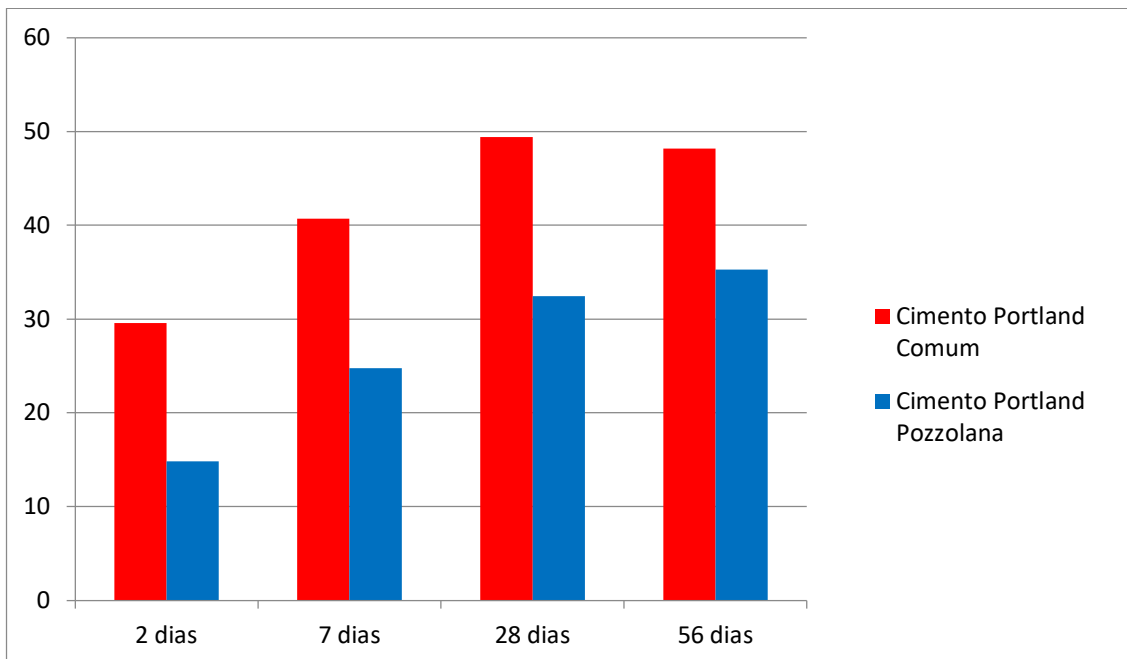
**Tabela 2:** Resultados do ensaio de compressão do concreto convencional e do bioconcreto de 7 dias a 365 dias

**Fonte:** FAUSTINO; ASSUNÇÃO, (2020)

Sendo assim as bactérias do tipo *Bacillus Pseudofirmus* parece ser uma cepa apropriada para uso como agente de autocura para biomineralização em cimento (SHARMA et al., 2017).

### 4.3 Estudo do concreto biológico com a bactéria *Bacillus Megaterium*

Têm sido utilizadas para aumentar a força no concreto e melhorar a durabilidade de materiais de construção e estruturas (DOS REIS et al., 2017). Para determinar a resistência à compressão foram feitos teste no 2º, 7º, 28º e 56º dia de cura com a média de 8 corpos-de-prova e uma carga de 50 N/s, no qual essa carga foi aplicada verticalmente, os corpos-de-prova foram então pulverizados e suavemente esmagados pela carga aplicação a 2400 N/s (MUSYOKI et al., 2022). O resultado do teste no qual foi usado Cimento Portland Comum x Cimento Portland Pozzolana estão representados na figura 7.



**Figura 3:** Resultados de resistência a compressão de teste com Cimento Portland Comum x Cimento Portland Pozzolana no 2º, 7º, 28º e 56º dia de cura

**Fonte:** SCHWANTES-CEZARIO et al., (2019)

A resistência à compressão para o corpo-de-prova de Cimento Portland Comum aumentou até o 28º dia de cura, após o 28º dia de cura diminuiu. Esse aumento até 28 dias de cura pode ser atribuído à formação de mais  $\text{CaCO}_3$  pelas bactérias encapsuladas (SCHWANTES-CEZARIO et al., 2019).

A resistência à compressão para o corpo-de-prova de Cimento Portland Pozzolana aumentou gradativamente, porque no período inicial de cura, a taxa de hidratação aumenta com o período de cura, sendo então avançada a resistência à compressão de acordo com a diminuição da taxa de hidratação (SCHWANTES-CEZARIO et al., 2019).

Em geral observa-se que o uso de bactérias *Bacillus Megaterium* no concreto biológico melhorou a resistência à compressão (SCHWANTES-CEZARIO et al., 2019). A autocura do concreto com bactérias *Bacillus Megaterium* ocorre devido à produção de calcita, entretanto esse tipo de bactéria também não opera diretamente nas estruturas de casas e escritórios, devido a poderem causar problemas de saúde (GUPTA ; NAVAL, 2020).

### 4.4 Estudo do concreto biológico com a bactéria *Bacillus Pasteurii*

São usadas para verificar a resistência e durabilidade do bioconcreto. Aos 7 e 28 dias de idade a durabilidade e a resistência do concreto aumentam (GUPTA; NAVAL, 2020). Houve um aumento de 17-36% da resistência à compressão, enquanto a resistência à permeabilidade à água fora aumentada quatro vezes. Bioconcreto com *Bacillus Pasteurii* mostraram aumento à força compressiva e a redução da permeabilidade (DOS REIS et al., 2017). Entretanto esse tipo de bactéria também não opera diretamente nas estruturas de casas e escritórios, devido a poderem causar problemas de saúde (GUPTA; NAVAL, 2020).

#### 4.5 Estudo do concreto biológico com a bactéria *Bacillus Sphaericus*

Também é um dos tipos mais comuns de bactérias que são utilizadas no processo de autocura do bioconcreto. Esse tipo de bactéria também foi usado para verificar a resistência e durabilidade do bioconcreto. E consequentemente aos 7 e 28 dias de idade a durabilidade e a resistência do concreto também aumentou (GUPTA; NAVAL, 2020).

De Muyenck et al. (2007) demonstraram nesse artigo que a precipitação bacteriana de carbonatos melhorou a resistência dos corpos-de-prova aos processos de degradação. A deposição de uma camada de cristais de Carbonato de Cálcio na superfície resultou na diminuição das propriedades de permeação.

Os corpos-de-prova tratados com bactérias e Cloreto de Cálcio absorveram quase cinco vezes menos água do que os corpos-de-prova de controle (corpos-de-prova sem bactérias), uma diminuição significativa média de 37%. A aplicação repetida de bactérias e uma fonte de cálcio podem resultar em uma diminuição adicional da absorção de água (DE MUYNCK et al., 2007).

#### 4.6 Estudo do concreto biológico com a bactéria *Bacillus Haloduran*

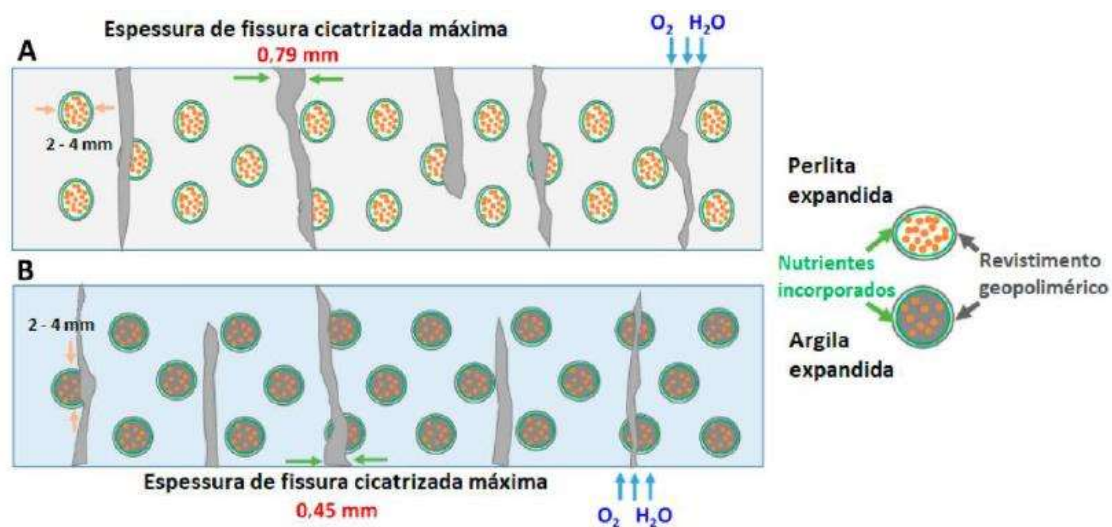
Assim como outras bactérias já citadas essas também são um dos tipos mais comuns de bactérias a serem utilizadas no processo de autocura do bioconcreto (GUPTA ; NAVAL, 2020). Jonkers e Schlangen, (2008) observaram que essa cultura bacteriana também produz a calcita, no qual é uma forma cristalina do Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Embora se deseje concreto com alto potencial de autocura (cicatrização de rachaduras), a adição das bactérias *Bacillus Haloduran* pode resultar em diminuição indesejada das propriedades de resistência, resultou em cerca de 10% de redução na resistência à compressão (JONKERS; SCHLANGEN, 2008).

#### 4.7 Estudo do concreto biológico com a bactéria *Bacillus Cohnii*

Assim como outras espécies de bactérias já citadas acima as bactérias *Bacillus Cohnii* também são um dos tipos mais comuns de bactérias que são utilizadas no processo de autocura do concreto biológico (GUPTA; NAVAL, 2020) e também se foi observado que essa espécie de cultura de bactérias também produz calcita (JONKERS; SCHLANGEN, 2008).

Muller et al. (2022) realizaram teste comparando as bactérias encapsuladas tanto em argila expandida (EC) quanto em perlita expandida (EP) na faixa granulométrica de 2 mm a 4 mm e constataram que a cicatrização é mais efetiva com EP como mostrado na figura 8.

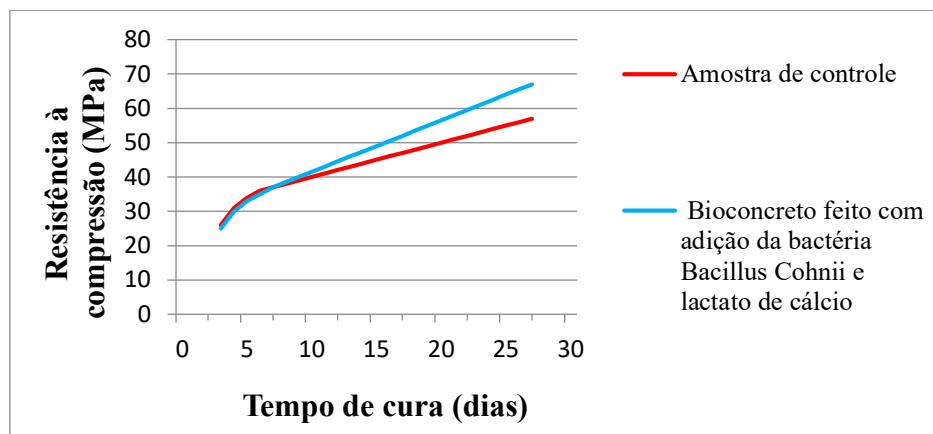


**Figura 4:** Comparativo entre o encapsulamento em argila expandida e em perlita expandida

**Fonte:** MELLO et al., (2019)

Mello et al. (2019) realizaram teste com o intuito de avaliar a resistência à compressão da *Bacillus Cohnii* encapsulada em perlita expandida, que pode ser observado o resultado na figura 9.





**Figura 5:** Resistência à compressão do bioconcreto feito com adição da bactéria *Bacillus Cohnii* e lactato de cálcio x resistência a compressão do concreto convencional (amostra de controle)

Fonte: MELLO et al., (2019)

A inserção de lactato de cálcio apresentou melhora nos valores de resistência à compressão em relação à amostra controle, atingindo um valor de resistência superior a 60 Mpa. As bactérias do tipo *Bacillus cohnii* desempenharam um papel importante no aumento da resistência à compressão (MELLO et al., 2019).

#### 4.8 Estudo do concreto biológico de modo geral

Os trabalhos citados a seguir falavam do bioconcreto de maneira geral, ou seja, sem especificar o tipo específico de bactéria *Bacillus*.

Falando um pouco agora em síntese, “o bioconcreto visa diminuir ou eliminar os espaços entre as partículas de um material granular (areia como um agregado, por exemplo), sendo assim uma alternativa ao cimento para melhorar a resistência e durabilidade de materiais cimentícios” (DOS REIS et al., 2017). E o principal objetivo do concreto biológico é aumentar a durabilidade do concreto, visto que ele pode suportar forças de compressão, mas não forças de tração. Devido à baixa resistência à tração, que quando submetido à tração, começa a rachar (PASPULA, 2019), essa baixa resistência à tração e sua suscetibilidade à fissuração muitas vezes comprometem a integridade estrutural (SHARMA et al., 2017).

O bioconcreto é ecologicamente correto, altamente durável e com comportamento de reparo automático (GUPTA; NAVAL, 2020), por esses e outros motivos a tecnologia de concreto bacteriano mostra-se ser melhor do que muitas tecnologias convencionais (JAYARAJAN; ARIVALAGAN, 2019).

Em relação às suas propriedades mecânicas, o bioconcreto com adição de lactato de cálcio teve resultados promissores, um aumento na resistência à compressão (ALVES et al., 2019) uma redução da permeabilidade ao cloreto, absorção de água e porosidade no concreto biológico. Essa taxa de aumento e queda acontece devido à parede celular das bactérias. A parede celular dos vazios bacterianos é preenchida com a produção de  $\text{CaCO}_3$  (GUPTA; NAVAL, 2020), no qual pode aumentar a estabilidade das estruturas (SHARMA et al., 2017).

O teste de compressão em nível microscópico mostrou que o concreto convencional apresentou muito mais espaços vazios que o concreto biológico, o que influencia na força do concreto, pois esses elementos estão diretamente relacionados com a densidade. O que comprova mais uma vez o potencial inquestionável do concreto biológico (SALOMÃO; PINHEIRO, 2020).

#### 4.9 Vantagens e desvantagens - bioconcreto x concreto convencional

São inúmeras as vantagens que a utilização do bioconcreto proporciona em relação ao concreto convencional. Dentre as vantagens tem-se a autorreparação das patologias nas estruturas, o aumento da resistência mecânica, a redução da permeabilidade do concreto, o fato da bactéria ser inofensiva tanto ao ambiente quanto ao ser humano, a redução considerável da corrosão do aço (por

causa das características que a bactéria possui) e o aumento da resistência a variações de temperatura. Contudo o aperfeiçoamento deste produto pode potencializar seus benefícios, a redução das manutenções que a estrutura irá necessitar é a maior vantagem e finalidade do uso desta biotecnologia (SALOMÃO; PINHEIRO, 2020).

Mesmo tendo esses resultados promissores, o uso do bioconcreto não se faz indispensável às inspeções, monitoramento, as manutenções e reparos (ALVES et al., 2019). Toda via o concreto biológico também possui suas desvantagens, uma delas é que do ponto de vista econômico, tal sistema químico de autocura à base de partículas de cimento não é preferido devido aos altos custos do cimento (JONKERS; SCHLANGEN, 2008), pois a questão financeira tem uma influência significativa nas decisões entre ações preventivas e corretivas (ALVES et al., 2019).

Outra desvantagem é que o custo do concreto bacteriano é o dobro do concreto convencional (VELAN, 2021), que atualmente é de cerca de € 80 euros por metro cúbico. Jonkers diz: “Ao redor de € 160 por metro cúbico, o concreto autorregenerativo só seria um produto viável para certas estruturas, onde o custo do concreto é muito mais alto por ser de qualidade muito mais alta, por exemplo, revestimentos de túneis e estruturas marítimas, onde a segurança é um fator importante” (ARNOLD, 2011) ou em estruturas onde há acesso limitado disponível para reparo e manutenção (JAYARAJAN; ARIVALAGAN, 2019).

Ainda sobre o custo elevado do concreto biológico em comparação com concreto convencional, tem-se os pellets de argila que ocupam bastante espaço na mistura (cerca de 20% do volume total do concreto) e esses pellets de argila podem propiciar a formação de zonas de cisalhamento. Existindo também uma desvantagem com aspecto menos relevante, como por exemplo, ser uma alternativa de solução para obras ainda em recentes estudos, onde estes estudos e o desenvolvimento do bioconcreto são caros (SALOMÃO; PINHEIRO, 2020).

Contudo, se fosse produzido em escala industrial, acredita-se que o bioconcreto poderia diminuir consideravelmente em custo. Atualmente, a maior parte do custo elevado vem do lactato de cálcio, que é muito caro. O processo de incorporação das bactérias e nutrientes nos pellets também é caro porque envolve uma técnica de vácuo. Um nutriente alimentar à base de açúcar reduziria potencialmente o custo do bioconcreto para € 85-90 por metro cúbico. Porém, um nutriente à base de açúcar não permaneceria intacto dentro dos grânulos de argila expandida como o lactato de cálcio permanece. Muito do açúcar seria dissolvido e atrasaria o tempo de pega do concreto (JAYARAJAN; ARIVALAGAN, 2019).

## 5. CONCLUSÃO

Todas as edificações estão propensas a ocorrer patologias durante sua vida útil, com o surgimento das patologias a integridade das propriedades do concreto são comprometidas, conseqüentemente os surgimentos das patologias interferem na qualidade da edificação, seja ela estrutural ou estética.

Portanto, a presente pesquisa abordou um comparativo entre o concreto convencional e o concreto biológico. O estudo foi realizado por meio de revisões bibliográficas, que demonstraram a auto eficiência do bioconcreto em autorregenerar as estruturas de modo eficiente, mesmo sendo uma tecnologia ainda nova, o bioconcreto é uma ótima opção ecológica e até mesmo financeira, sendo assim uma tecnologia ainda inovadora e sustentável.

O uso do concreto biológico com bactérias ureolíticas do tipo *Bacillus* além de autorreparar as estruturas através da biomineralização e pela conversão do lactato de cálcio solúvel em calcário insolúvel por meio da precipitação do Carbonato de Cálcio (SILVA et al., 2021) também traz melhores resultados tanto na resistência à compressão quanto na resistência à tração. Também reduz a permeabilidade do concreto, que melhoram a durabilidade do material.

Logo, mostra-se que o bioconcreto será uma revolução na construção civil, trazendo maior vida útil para o concreto (GONÇALVES et al., 2019). O uso de bactérias como agente reparador no concreto parece ser promissora (JONKERS; SCHLANGEN, 2007) entretanto, por conta do seu custo

atualmente é necessário um aprofundamento na produção em larga escala, possibilitando assim uma redução de custo assim como uma maior acessibilidade a tecnologia (SALOMÃO; PINHEIRO, 2020).

Por fim, para concluir, temos que as bactérias *Bacillus Pseudofirmus* e *Bacillus Cohnii* apresentam melhores resultados na obtenção de maior resistência à compressão e redução a permeabilidade, além de não haver nenhum impedimento de poderem ser usadas em qualquer tipo de construção. Sendo então indicadas para continuidade e aprofundamento de estudos posteriores.

## REFERÊNCIAS

ALVES, L., et al. **Characterization of Bioconcrete and the Properties for Self-Healing**, Proceedings, vol. 38, n 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/proceedings2019038004>. Acesso em: 05 maio 2022.

ARAUJO, C. E. S. B.; ABREU, B. G. **Bioconcreto**, Revista Diálogos Interdisciplinares, v. 8, n. 2, 2019, p. 45 – 55. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/dialogos/article/view/686/680>. Acesso em 05 setembro 2021.

ARNOLD. D. **Self-healing concrete**, Ingenia, 2011. Disponível em: <https://www.ingenia.org.uk/getattachment/743f5997-3362-4eef-92c1-4540ce8c6f57/Arnold.pdf>. Acesso em: 04 maio 2022.

BEZERRA, L. E. F., et al. **Bioconcreto como solução de manifestações patológicas na construção civil: estado de arte**, João Pessoa: Revista Fenec, 2017, p. 239 – 245. Disponível em: <https://www.revista.fenec.com.br/wp-content/uploads/2020/12/28-BIOCONCRETO-COMO-SOLUCAO-DE-MANIFESTACOES.pdf>. Acesso em: 18 agosto 2021

DE MUYNCK, W., et al. **Improvement of concrete durability with the aid of bacteria**, Springer, 2007. Disponível em: <https://biblio.ugent.be/publication/363122/file/574729>. Acesso em: 06 maio 2022.

DOS REIS, L. G. V. et al. **Bioprecipitação de carbonato de cálcio por bactérias ureolíticas e suas aplicações**, Centro Científico Conhecer, 2017. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2017b/biol/bioprecipitacao.pdf>. Acesso em: 06 maio 2022.

FAUSTINO, A. L. D.; ASSUNÇÃO, B. H. B. **Avaliação do desenvolvimento e eficiência do bioconcreto em relação ao concreto convencional**, Faculdade Tesoma, 2020, p. 668 – 678. Disponível em: <https://finom.edu.br/assets/uploads/cursos/tcc/202102051402204.pdf>. Acesso em: 16 agosto 2021.

GATO, M. C. S., et al. **Autorregeneração de fissuras em concreto a partir de uma cultura de bactérias**, Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 10, n. 6, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15734>. Acesso em: 05 maio 2022.

GENERAL KINEMATICS. **What is bio-concrete?**, General Kinematics, 2019. Disponível em: <https://www.generalkinematics.com/blog/what-is-bio-concrete/#:~:text=Currently%20a%20cubic%20meter%20of,or%20approximately%20239%20US%20Dollars>. Acesso em: 06 maio 2022.

GHONIEM, A., et al. **Behavior of Macro-Synthetic Fiber-Reinforced High-Strength Concrete Beams Incorporating Bacillus subtilis Bacteria**, Latin American Journal of Solids and Structures, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1679-78256378>. Acesso em: 04 maio 2022.

GONÇALVES, J. R. M. R., et al. **Bioconcreto: a próxima geração de concreto auto – reparável**, Rio de Janeiro: Projectus, v. 4, n. 2, 2019, p. 24 – 33. Disponível em: <https://apl.unisuam.edu.br/index.php/projectus/article/view/581/409>. Acesso em: 1 setembro 2021.

GUPTA, A.; NAVAL, S. **A Critical Literature on Auto Repair Behaviour of Bio Concrete**. International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 29, n. 5s, 2020, p. 2043–2047. Disponível em: [https://www.academia.edu/43367779/A\\_Critical\\_Literature\\_on\\_Auto\\_Repair\\_Behaviour\\_of\\_Bio\\_Concrete?auto=citations;from=cover\\_page](https://www.academia.edu/43367779/A_Critical_Literature_on_Auto_Repair_Behaviour_of_Bio_Concrete?auto=citations;from=cover_page). Acesso em: 05 maio 2022.

GUPTA, A.; NAVAL, S. **Self Healing Behaviour of Bio Concrete: A Critical Literature Review**. International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 29, n. 3, 2020, p. 11679–11683. Disponível em: [https://www.academia.edu/43837949/Self\\_Healing\\_Behaviour\\_of\\_Bio\\_Concrete\\_A\\_Critical\\_Literature\\_Review?auto=citations;from=cover\\_page](https://www.academia.edu/43837949/Self_Healing_Behaviour_of_Bio_Concrete_A_Critical_Literature_Review?auto=citations;from=cover_page). Acesso em: 05 maio 2022.

JAYARAJAN, G.; ARIVALAGAN, S. **Performance and characteristics of bacterial concrete**, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol. 6, n 9, 2019, p. 1660-1664. Disponível em: <https://www.irjet.net/archives/V6/i9/IRJET-V6I9252.pdf>. Acesso em: 06 maio 2022.

JONKERS, H. M.; SCHLANGEN, E. **Crack repair by concrete-immobilized bacteria**, Springer, 2007. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/CRACK-REPAIR-BY-CONCRETE-IMMOBILIZED-BACTERIA-Jonkers-Schlangen/970737617f3df089f1b79b8eed70cd8a878dccfd#citing-papers>. Acesso em: 04 maio 2022.

JONKERS, H. M.; SCHLANGEN, E. **Development of a bacteria-based self healing concrete**, Tailor Made Concrete Structures, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Erik-Schlangen/publication/267716612\\_Development\\_of\\_a\\_bacteria-based\\_self\\_healing\\_concrete/links/54983d0a0cf2519f5a1dda63/Development-of-a-bacteria-based-self-healing-concrete.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Erik-Schlangen/publication/267716612_Development_of_a_bacteria-based_self_healing_concrete/links/54983d0a0cf2519f5a1dda63/Development-of-a-bacteria-based-self-healing-concrete.pdf). Acesso em: 04 maio 2022.

MAIDEL, B., et al. **Patologias das edificações**, Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://speranzaengenharia.ning.com/page/patologias-das-edificacoes>. Acesso em: 26 setembro 2021.

MEHTA, MONTEIRO, P. **Concreto microestrutura, propriedades e materiais**, 2 ed. Ibracon, 2008, p. 22.

MELLO, V., et al. **Técnicas e Metodologias de Biomineralização na Cicatrização de Fissuras do Concreto**, Revista de Arquitetura IMED, vol. 8, n 2, 2019, p. 164-182. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/3679>. Acesso em: 04 maio 2022.

MULLER, V., et al. **Analysis of cementitious matrices self-healing with bacillus bacteria**, IBRACON Structures and Materials Journal, vol. 15, n. 4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952022000400004>. Acesso em: 04 maio 2022.

MUSYOKI, D. M., et al. **Effect of Immobilizing Bacillus megaterium on the Compressive Strength and Water Absorption of Mortar**, Journal of Chemistry, 2022. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2022/7752812/>. Acesso em: 05 maio 2022.

NASCIMENTO, M. S. **A implantação do bioconcreto desenvolvido para solucionar problemas estruturais tais como: fissuras, rachaduras e trincas**, Manaus: Uninorte, 2018. Disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/bioconcreto-\\_pos\\_grad.1\\_artigo\\_0.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/bioconcreto-_pos_grad.1_artigo_0.pdf). Acesso em: 18 agosto 2021.

PASPULA, V. **Bioconcrete or Self-healing Concrete to Repair Cracks**, Builders Mart, 2019. Disponível em: <https://www.buildersmart.in/blogs/self-healing-concrete/>. Acesso em: 06 maio 2022.

RIBAS, I. M.; OKONSKI, M. E. P. S. **Resíduos para incorporação em traços de concreto convencional**, Repositório Universitário da Âmina, 2020. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/15426/1/RES%C3%84DUOS%20PARA%20INCORPORA%C3%87%C3%83O%20EM%20TRA%C3%87OS%20DE%20CONCRETO%20CONVENCIONAL.pdf>. Acesso em: 16 junho 2022.

SALOMÃO, P. E. A.; PINHEIRO, A. V. S. **O potencial do concreto vivo como alternativa para regenerar estruturas expostas a ambientes agressivos**, Research, Society and Development, v. 9, n. 1, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338312154\\_O\\_Potencial\\_do\\_Concreto\\_Vivo\\_Como\\_Alternativa\\_Para\\_Regenerar\\_Estruturas\\_Expostas\\_a\\_Ambientes\\_Agressivos](https://www.researchgate.net/publication/338312154_O_Potencial_do_Concreto_Vivo_Como_Alternativa_Para_Regenerar_Estruturas_Expostas_a_Ambientes_Agressivos). Acesso em: 16 agosto 2021.

SCHWANTES-CEZARIO, N., et al. **Effects of Bacillus subtilis biocementation on the mechanical properties of mortars**, IBRACON Structures and Materials Journal, vol. 12, n 1, 2019, p. 31-38. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/YKbG3kHZ6PKx4gYxt5kLDxD/?lang=en>. Acesso em: 13 maio 2022.

SHARMA, T. K., et al. **Alkaliphilic Bacillus species show potential application in concrete crack repair by virtue of rapid spore production and germination then extracellular calcite formation**, Journal of Applied Microbiology, 2017. Disponível em: <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jam.13421>. Acesso em: 04 maio 2022.

SILVA, F. P. C., et al. **Bioconcreto: a tecnologia para construção sustentável**, São Paulo, v. 5, n. 2, 2017, p. 41 - 58. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1678>. Acesso em: 25 agosto 2021.

VELAN, S. S. **Bacterial concrete (or) self healing concrete**, Slide Share, 2021. Disponível em: <https://www.slideshare.net/SSudhaVelan/bacterial-concrete-or-self-healing-concrete>. Acesso em: 06 maio 2022.