

**O Potencial do Concreto Vivo Como Alternativa Para Regenerar Estruturas Expostas a Ambientes Agressivos**

**The Potential of Living Concrete as an Alternative to Regenerate Structures Exposed to Aggressive Environments**

**El Potencial del Hormigón Vivo Como Alternativa Para Regenerar Estructuras Expuestas a Ambientes Agresivos**

Recebido: 08/10/2019 | Revisado: 13/10/2019 | Aceito: 16/10/2019 | Publicado: 29/10/2019

**Pedro Emílio Amador Salomão**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9451-3111>

Faculdade Presidente Antônio Carlos, Brasil

E-mail: [pedroemilioamador@yahoo.com.br](mailto:pedroemilioamador@yahoo.com.br)

**Alexandre Victor Silva Pinheiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5815-8287>

Universidade Presidente Antônio Carlos, Brasil

E-mail: [alexandrepinheiro982@gmail.com](mailto:alexandrepinheiro982@gmail.com)

**Resumo**

O potencial do concreto vivo ou bioconcreto como alternativa para regenerar estruturas é notável, e a sua aplicação em estruturas que muitas vezes necessitam de um concreto específico de resistência elevada, como pontes ou tuneis, é simplesmente ideal. A alta resistência a intempéries e a esforços são algumas das características que o concreto vivo tem como proposta oferecer para solucionar problemas comuns nas estruturas (rachaduras ou fissuras). Diversos fatores como, solos precários e agentes externos, podem contribuir para que essas patologias ocorram, pensando nesse tipo de problema, estudos vêm sendo realizados visando uma solução definitiva e eficaz, tendo sempre em vista a preservação do meio. Foi assim que surgiu a ideia de criar um tipo de concreto com adição de organismos vivos, mais especificamente de bactérias, que através do seu ciclo de vida pudessem regenerar fissuras ou trincas e ainda garantir propriedades mecânicas diferenciadas dos concretos comuns. Além de ser extremamente eficiente uma vez aplicado, a manutenção das estruturas passa a ser praticamente facultativa, reduzindo consideravelmente o custo pós-obra, evitando vários problemas pós-terros e, claro, estendendo a vida útil da mesma. Este trabalho tem como objetivo mostrar essa nova tendência na área de materiais.

**Palavras-chave:** Concreto Vivo; Regeneração; Solução Permanente.

### **Abstract**

The potential of living concrete or bioconcrete as an alternative to regenerate structures is remarkable, and its application to structures that often require a high strength specific concrete such as bridges or tunnels is simply ideal. High weather and stress resistance are some of the characteristics that live concrete has the purpose of offering to solve common structural problems (cracks or cracks). Several factors, such as precarious soils and external agents, can contribute for these pathologies to occur, thinking about this type of problem. Studies have been conducted aiming at a definitive and effective solution, always aiming at the preservation of the environment. This is how the idea of creating a type of concrete with the addition of living organisms, more specifically bacteria, that through their life cycle could regenerate cracks or cracks and guarantee differentiated mechanical properties from ordinary concretes. Besides being extremely efficient once applied, the maintenance of the structures is practically optional, considerably reducing the cost after work, avoiding many poster problems and, of course, extending its useful life. This paper aims to show this new trend in the area of materials.

**Keywords:** Living Concrete; Regeneration; Permanent Solution.

### **Resumen**

El potencial de hormigón vivo o bioconcreto como alternativa para regenerar estructuras es notable, y su aplicación a estructuras que a menudo requieren un concreto específico de alta resistencia, como puentes o túneles, es simplemente ideal. La alta resistencia a la intemperie y al estrés son algunas de las características que el concreto vivo tiene el propósito de ofrecer para resolver problemas estructurales comunes (en este caso, grietas o grietas). Varios factores, como los suelos precarios y los agentes externos, pueden contribuir a que estas patologías ocurran, pensando en este tipo de problema. Los estudios se han llevado a cabo con el objetivo de una solución definitiva y efectiva, siempre con el objetivo de preservar el medio ambiente. Así es como surge la idea de crear un tipo de concreto con la adición de organismos vivos, más específicamente bacterias, que a través de su ciclo de vida podrían regenerar grietas o grietas y garantizar propiedades mecánicas diferenciadas de los hormigones ordinarios. Además de ser extremadamente eficiente una vez aplicado, el mantenimiento de las estructuras es prácticamente opcional, lo que reduce considerablemente el costo después

del trabajo, evita muchos problemas de póster y, por supuesto, extiende su vida útil. Este artículo tiene como objetivo mostrar esta nueva tendencia en el área de materiales.

**Palabras clave:** Concreto Vivo; Regeneración; Solución Ecológica.

## 1. Introdução

Todos os materiais possuem uma vida útil e tendem a deteriorar com o tempo, devido á ação de inúmeros elementos, o concreto não é exceção. O produto é, sem duvida, um dos materiais mais utilizados na construção civil e isso se deve tanto ao aumento da demanda na área quanto á sua fácil adaptação, além disso, é um produto de ótima trabalhabilidade, podendo as estruturas, compostas do mesmo, durar facilmente cerca de cinquenta a cem anos. A mistura é composta basicamente, por água, cimento e agregados.

O material, apesar da popularidade, possui fraquezas e consoante as circunstâncias surgem patologias nas estruturas, muitas vezes devido a agentes ambientais agressivos, como intempéries, ações mecânicas ou até mesmo falhas na própria execução. Os cinco principais problemas que o concreto pode apresentar são a descoloração, a lixiviação (que ocorre quando as camadas mais superficiais do concreto apresentam defeitos), ondulações, fissuras (aberturas de até 0,6 mm) e as infames trincas. Estes processos podem ocorrer tanto ao longo dos anos quanto no começo da construção e reduzem consideravelmente a vida útil da estrutura (Da Silva Barbosa, U 2018).

Um dos componentes mais determinantes do concreto é a água, e o seu papel majoritário é ajudar na trabalhabilidade em geral (aplicação, manuseamento, etc.). Entretanto a sua adição em excesso, fato comum, trás prejuízos, e além de reduzir a força do compósito, dependendo do tempo de secagem, a retração causa as celebres trincas e/ou fissuras.

Outras ocorrências, como o estudo precário do solo antes da construção (que ocasiona recalques na fundação), e variações térmicas (que propiciam dilatação e contração na estrutura) também são comuns e muitas vezes difíceis de prever ou rentáveis de remediar. Porem são precisamente as trincas e fissuras que são, geralmente os problemas mais graves que uma estrutura pode apresentar. (Cristina, P. et al. 2018; Salomão, P. E. A. et al. 2019)

As fissuras podem não comprometer seriamente a estrutura porem afetam a permeabilidade da mesma, podendo levar a problemas futuros. Já as rachaduras ou trincas (aberturas maiores de 0,6 mm) podem afetar seriamente a integridade da mesma e ocasionar danos sérios, sendo profundidade das mesmas proporcional ás consequências.

Esses fenômenos são quase impossíveis de serem totalmente evitados ou controlados

devido aos inúmeros fatores aos quais os elementos estarão submetidos, e além disso o método convencional, que consiste em constantes manutenções e verificações, é muito dispendioso e consome bastante tempo.

Tentando sanar ou reduzir esse problema, estudos têm sido realizados, focados no potencial de aditivos inovadores. Surgiu assim o concreto vivo ou bioconcreto, baseado na aplicação de uma bactéria, do gênero *Bacillus*, produtora de mineral que, através de processos de precipitação ou biomineralização, sela as rachaduras. A bactéria tanto inserida no concreto, quanto aplicada externamente (na tentativa de reparar danos já existentes) apresentou extrema eficácia.

Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão acerca dos detalhes que engloba a parte dos bioconcretos, afim de difundir essa nova tecnologia.

## 2. O Bioconcreto

O bioconcreto é simplesmente um produto, que se originou na tentativa de resolver um problema comum na construção civil, utilizando biotecnologia. O objetivo, primário, era a autorreparação de trincas e fissuras, porem, foi constatado que a sua aplicação trás outras características vantajosas.

O produto se baseia na utilização de Carbonato de Cálcio para autorreparação/regeneração de fissuras e rachaduras em estruturas. A bactéria, componente principal do bioconcreto, é misturada no compósito juntamente com Lactato de Cálcio e a mesma pode permanecer cerca de duzentos anos inativa. Na figura 1 fica ilustrado o modelo de uma trinca.

Figura 1: Mineralização, Carbonato de Cálcio.



(Fonte: Site UHPC Solutions, 2019)

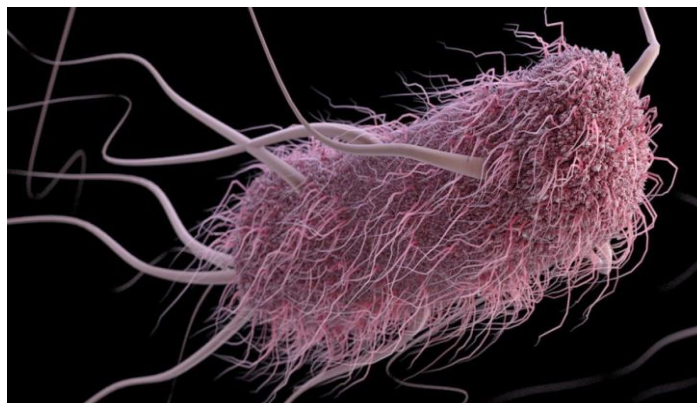
Em um processo de mineralização ocorre a formação de carbonato de cálcio, que por sua vez impacta na resistência do concreto, sendo bem ilustrado na trinca da figura 1.

Devido às características apresentadas no concreto (como o alto ph), a bactéria a ser aplicada deve apresentar capacidades únicas. A mesma necessita possuir uma proteção externa (como por exemplo, endósporos) que lhe permita sobreviver inativamente por longos períodos a ambientes hostis e deve possuir um comportamento desejado (nesse caso de produção mineral). Existem cerca de sete tipos de bactérias que apresentam propriedades específicas e preenchem os requisitos. São elas:

- Bacillus Pasteurizing;
- Bacillus Sphaericus;
- Escherichia Coli;
- Bacillus Subtilis;
- Bacillus Cohnii;
- Baccillus Balodurans;
- Bacillus Pseudofirmus.

De forma ilustrativo pode ser visto um modelo de como é um bacilo na figura 1, sendo esse um dos microrganismos que contribui para o bioconcreto.

Figura 2: Bacillus Subtilis.



(Fonte: Site Kit Labor, 2019)

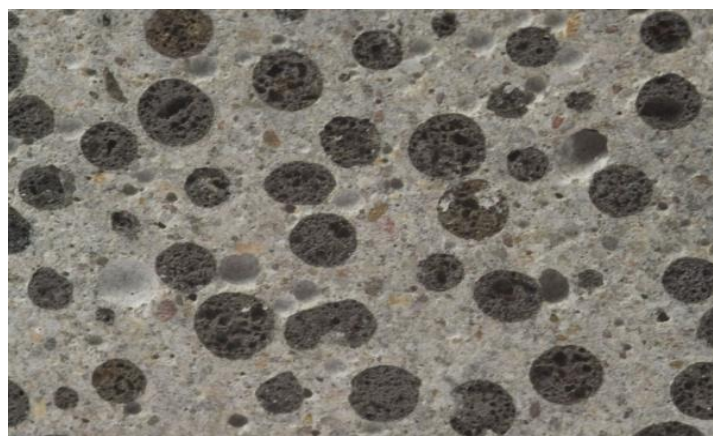
Como ilustrado na figura 2, o Bacillus Subtilis é um dos mais utilizados nesse processo de obtenção do bioconcreto.

### 3. Preparação do Bioconcreto

O bioconcreto pode ser preparado de duas formas, a primeira é por aplicação direta, em que os esporos bacterianos e o nutriente (Lactato de cálcio) são adicionados quando a mistura do concreto está pronta. O outro método é a “encapsulação”, onde a bactéria e o Lactato são inseridos dentro de pelotas, tratadas, de argila expandida e adicionados ao concreto.

O processo de regeneração não difere do já citado, as fissuras ou rachaduras possibilitam a entrada de oxigênio e água, acionando assim as bactérias que através do seu metabolismo e, outros processos, produzem Carbonato de Cálcio, em seguida o mesmo solidifica e sela as aberturas existentes. Dentre os métodos citados o mais propício para utilização é o da “encapsulação”, pois, apesar de ser mais caro que o método da “aplicação direta”, proporciona propriedades distintas ao concreto, na qual na figura 3 é ilustrado o modelo de como ficaria o concreto com porções de microorganismos.

Figura 3: Método da “encapsulação” do bioconcreto.



(Fonte: Site INOVAE, 2019)

Na figura 3 é mostrado uma visão superficial de como fica o concreto encapsulado com os microrganismos percussores do bioconcreto.

Figura 4: Amostra de bioconcreto.



(Fonte: Site Administradores, 2019)

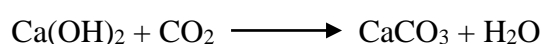
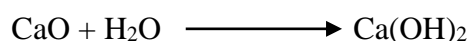
Em uma visão lateral, como ilustrado na figura 4, pode ser visto como fica o corpo de prova com os microrganismos encapsulados.

#### 4. O Processo Químico

A bactéria germina quando ativada pela água, ou seja, quando a estrutura perde permeabilidade e as brechas (fissuras e trincas) surgem, a mesma entra em contacto com a água que infiltra e começa a consumir o nutriente também misturado (Lactato de Cálcio) e juntamente com oxigênio, transforma o Lactato de Cálcio em Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), componente primário do calcário).

Entretanto a conversão gera um processo de sobressaturação e precipitação química no Carbonato de Cálcio, endurecendo o mesmo e reparando as estruturas/selando as trincas e fissuras em cerca de três semanas. O consumo de oxigênio no processo é um ponto positivo extra, pois o mesmo é um dos principais agentes que alavancam a corrosão do aço.

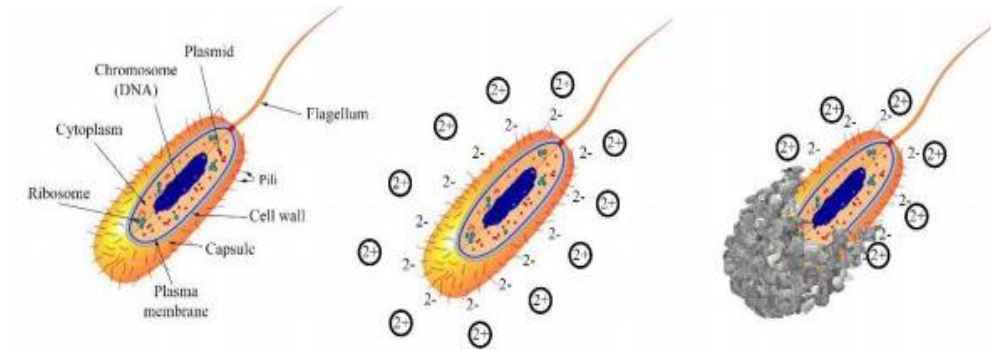
A largura ideal para ação do produto foi de oito mm, porém as limitações dependem de muitos elementos, como a aplicação, o tipo de abertura, entre outros.



O embasamento do bioconcreto ou “concreto bacteriano” é juntamente a biomineralização ou mineralização biologicamente induzida. Processo similar acontece no corpo humano, onde os osteoblastos utilizam para reparar ossos.

Na figura 5 é detalhado melhor com ocorre a formação do bioconcreto ao redor do microrganismo.

Figura 5: Detalhe do processo de formação do Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).



(Fonte: Site Semantic Scholar, 2019).

Por atração eletrostática de cargas entre os constituintes do concreto e do microrganismo, ocorre a formação da parece do bioconcreto.

## 5. Propriedades Mecânicas do Bioconcreto – Testes

Estudos realizados comparando as propriedades mecânicas do bioconcreto com as do concreto convencional mostraram que a aplicação da bactéria trás diversas vantagens alem da reparação das fissuras, como por exemplo, o aumento da resistência em geral. No quadro 1 fica ilustrado alguns resultados de compressão de corpos de prova que passaram pelo processo de bioregeneração.

Quadro 1: Teste de resistência à compressão (resultados).

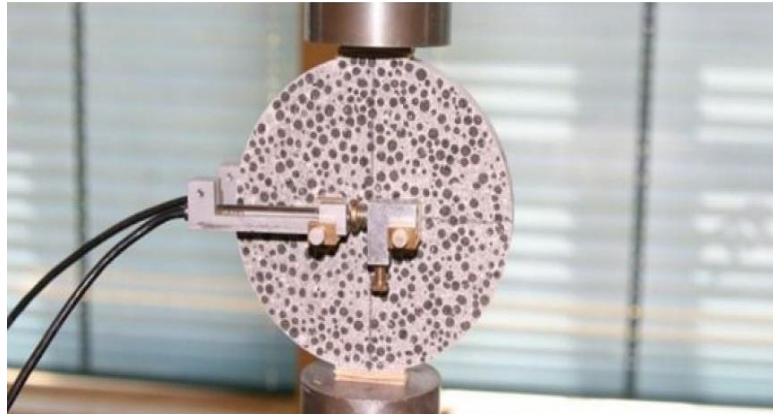
Amostra (nº)	Dias	Concreto Comum (N/mm <sup>2</sup> )	Bioconcreto (N/mm <sup>2</sup> )
1	7	20,84	27,09
2	28	29,99	39,98

(Fonte: The International Journal of Engineering and Science, 2019).



Na figura 6, fica expresso o modelo de como o corpo de prova passa pelo processo de bioregeneração.

Figura 6: Ensaio de Tração (por compressão diametral) Bioconcreto



(Fonte: Site Plasma Engenharia, 2019).

Os resultados dos teste de tração ilustrado esquematicamente na figura 6, são reportados no quadro 2, podendo ser visto que o bioconcreto melhorou a resistência a compressão.

Quadro 2: Teste de resistência à flexão (resultados).

<b>Amostra (nº)</b>	<b>Dias</b>	<b>Concreto Comum (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Bioconcreto (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	<b>7</b>	<b>3,92</b>	<b>4,6</b>
<b>2</b>	<b>28</b>	<b>7,06</b>	<b>7,85</b>

(Fonte: The International Journal of Engineering and Science, 2019)

Além dos ensaios de compressão e flexão, que evidenciaram a vantagem que o bioconcreto tem em relação aos concretos comuns em todos os aspectos, estudos e análises estruturais utilizando o SEM ou MEV (microscópio eletrônico de varredura) mostraram uma diferença significativa nas microestruturas dos dois tipos de concreto.

O concreto comum ou convencional apresentou, microscopicamente falando, muito

mais espaços vazios ou vácuos que o bioconcreto, esses elementos estão diretamente relacionados com a densidade, que por sua vez influencia na força do concreto. Comprovando mais uma vez o potencial inquestionável do bioconcreto.

## **6. Aplicação do Bioconcreto Contemporaneamente**

A ascensão da popularidade do bioconcreto têm sido evidente e o potencial inquestionável, decorrente disso, a inserção do bioconcreto no mercado tem se tornando cada vez mais uma realidade. A utilização do produto para reparação de estruturas precárias, antigas (como monumentos e locais históricos) ou até mesmo para melhorar propriedades em certos tipos de concretos a serem utilizados em situações específicas, apresentou extrema eficácia e conveniência. O bioconcreto foi idealizado para aplicação em estruturas marinhas ou próximas a litorais, que sofrem com ações de agentes externos agressivos como maresia e precipitações constantes, porem, a utilização do produto em outros ambientes hostis foi mais tarde constatada como extremamente proveitosa.

Alem do enriquecimento de diversas características, a viabilidade de desenvolvimento e, posteriormente, aplicação vem atrelada tanto á redução considerável de custos quanto ao prolongamento da vida útil, consoante a sua aplicação.

"Nosso concreto vai revolucionar a maneira como construímos, pois nos inspiramos na natureza", (JONKERS, 2015).

O bioconcreto pode ser utilizado em todos os tipos de estruturas ou artefatos de concreto, como por exemplo, pré-moldados, blocos ou material de reparação, e um dos fatores que tem alavancado/contribuído para o aumento das pesquisas e estudos, visando o amadurecimento no objeto, é a voga da sustentabilidade na construção civil. Na figura 7 ilustrada a seguir, pode ser visto uma parede que passou pelo processo de recuperação.

Figura 7: Bioconcreto aplicado.



(Fonte: Site Pitt.edu, 2019)

A parede que passou pelo processo de reconstrução mostra que visualmente aparecem as marcas da trinca como ilustrado na figura 7, porém a mesma recuperou sua resistência que deveria apresentar antes da trinca.

## 7. Vantagens e Desvantagens

As vantagens que o bioconcreto proporciona às estruturas (mediante a sua utilização ou aplicação) são inúmeras, dentre elas é fundamental citar, o aumento da resistência em comparação com concretos comuns, a autorreparação das estruturas (fissuras ou trincas), a redução considerável da corrosão do aço devido às características da bactéria, a redução da permeabilidade do concreto, o aumento da resistência a variações de temperatura e o fato de que a bactéria é inofensiva tanto ao ser humano quanto ao ambiente. Sendo assim podemos dizer que as vantagens são consideráveis, porém o aperfeiçoamento do produto pode potencializar tanto o seu rendimento quanto o seu controle.

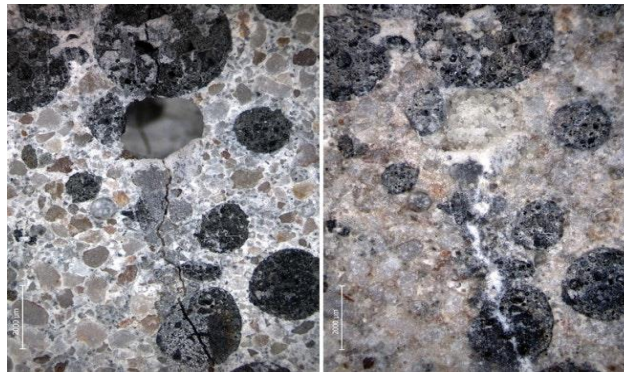
Dentre das desvantagens temos aspectos menos relevantes, mas vale a pena citar alguns, como, o custo elevado em comparação com concretos comuns, o fato de que o crescimento de bactérias não é recomendável em nenhum ambiente, os estudos e o seu desenvolvimento são caros, as pelotas de argila além de ocuparem bastante espaço na mistura (cerca de 20% do volume do concreto) podem propiciar a formação de “zonas de cisalhamento” e a árdua disponibilidade ou até mesmo inacessibilidade devido á recente emersão dessa tecnologia.

Como já citado o produto é vanguardista e os estudos são recentes, portanto, as desvantagens são as esperadas (por exemplo, o preço que do m<sup>3</sup> é majoritariamente referente ao custo elevado do Lactato de Cálcio no mercado, e ao encapsulamento da bactéria nas pelotas), entretanto as previsões são otimistas.

"Apesar de ser mais caro que o concreto tradicional, o benefício econômico é perceptível, pois economiza em custos de manutenção" (JONKERS, 2016).

A maior vantagem e finalidade do produto é, sem duvida, a redução ou minimização da constante intervenção humana de correção de estruturas, que consiste, basicamente, no processo de remoção e reparação dos locais afetados, como ilustrado na figura 8.

Figura 8: Bioconcreto aplicado.



(Fonte: Site Pitt.edu, 2019)

Na figura 8 é bem ilustrado o modelo de como fica o corpo de prova que passou pelo processo de reconstrução com o microrganismo.

## 8. Considerações finais

O Bioconcreto trás a característica mais desejada, no concreto, desde os primórdios da sua concepção, a confiabilidade, e isso se deve ao fato do mesmo propiciar um acréscimo considerável da vida útil das estruturas. Apesar de ser uma tecnologia inovadora e recente, o bioconcreto tem mostrado que além de ser mais eficiente que diversos métodos convencionais é uma opção ecológica, encaixando-se assim, facilmente no emergente mercado dos sustentáveis. O produto é classificado como um material inteligente, ou seja, é um material que se adapta automaticamente quando detecta mudanças específicas no seu meio. As possibilidades e campos de exploração na área são ilimitados e só provam o avanço e prosperidade da biotecnologia na engenharia em geral. A utilização do produto mostra ter

potencial para revolucionar o processo de construção contemporâneo e a maior característica é justamente tornar quase facultativas as manutenções e os reparos durante e depois da execução da obra. Aplicado a uma situação empresarial ou até mesmo residencial seria ótimo, pois não haveria qualquer necessidade de evacuação ou fechamento temporário de locais para reparos estruturais, poupando assim tempo e dinheiro. Entretanto, de acordo com pesquisadores da área, o bioconcreto inserido no mercado brasileiro custaria cerca de 40% a mais que o concreto convencional, cerca de R\$360 o metro cúbico em comparação com R\$260 o metro cúbico do concreto comum atual, ou seja, o aumento de custo em estruturas ou construções de grande escala seria considerável, situação essa que não seria favorável no país. O próximo passo, sem dúvida, seria o aprofundamento nas pesquisas e a produção em larga escala possibilitando assim tanto uma redução de custo como uma maior acessibilidade a essa tecnologia, pois, sem dúvida possuir um produto que oferece este tipo de características, futuramente, será exigência básica para estruturas de qualidade superior.

## 9. Referências

Alcântara, A. S. (2010). *Decifrando a biomineralização*. Website da FAPESP. Disponível Em: <http://agencia.fapesp.br/decifrando-a-biomineralizacao/11662/>.

Brito, A. V. & Nascimento, M. S. (2018). A Implantação Do Bioconcreto Desenvolvido Para Solucionar Problemas Estruturais Tais Como: Fissuras, Rachaduras E Trincas. *Revista Científica Semana Acadêmica* - ISSN 2236-6717. 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).

Cerqueira, L. & Junior, A. (2019). *Bioconcreto: Uma Nova Tecnologia Na Recuperação De Estruturas*. Relatório Final, referente ao período de agosto/2018 a julho/2019, apresentado à Faculdade de Ciências e Tecnologia –Área1, como parte das exigências do PICT. Disponível Em: <https://even3.blob.core.windows.net/anais/149469.pdf>

Ferro, S. (2015). *Living Bio-Concrete Can Heal Itself*. Website FM. Disponível em: <http://mentalfloss.com/article/64099/living-bio-concrete-can-heal-itself>.

General Kinematics Corporation. (2019). *What Is Bio-Concrete?* Website da General Kinematics. Disponível em: <https://www.generalkinematics.com/blog/what-is-bio-concrete/>.

Gonçalves, E.A.B. (2015). *Estudo De Patologias E Suas Causas Nas Estruturas De Concreto Armado De Obras De Edificações*. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro. Disponível Em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014879.pdf>.

Goyal, N. (2015). *Self-Healing Concrete Can Repair Its Own Cracks with Bacteria*. Website Industry Tip. Disponível em: <http://www.industrytap.com/self-healing-concrete-can-repair-cracks-bacteria/29051>

Jonkers, H. M. (2011). Bacteria-based self-healing concrete. *Heron*. 56(1/2). Disponível Em: <http://heronjournal.nl/56-12/1.pdf>.

Muci, D.W.S., Netto, J.R.B. & Silva, R.A. (2013). *Sistemas De Recuperação De Fissuras Da Alvenaria De Vedação: Avaliação Da Capacidade De Deformação*. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Engenheiro Civil. Disponível em: [https://www.eec.ufg.br/up/140/o/SISTEMAS\\_DE\\_RECUPERA%C3%87%C3%83O\\_DE\\_FISSURAS\\_DA\\_ALVENARIA\\_DE\\_VEDA%C3%87%C3%83O\\_AVALIA%C3%87%C3%83O\\_DA\\_CAPACIDADE\\_DE\\_DEFORMA%C3%87%C3%83O\\_\(2013\).pdf](https://www.eec.ufg.br/up/140/o/SISTEMAS_DE_RECUPERA%C3%87%C3%83O_DE_FISSURAS_DA_ALVENARIA_DE_VEDA%C3%87%C3%83O_AVALIA%C3%87%C3%83O_DA_CAPACIDADE_DE_DEFORMA%C3%87%C3%83O_(2013).pdf).

Passarini, V.C.; Santos, F.C.S. & Silva, F.P.C. (2017). *Bioconcreto: A Tecnologia Para Construção Sustentável*. 5(2): 41-58. INOVAE - Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation. Disponível em: <http://www.revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1678>

Paula, S. M. (2011). Uma abordagem de parâmetros da biomineralização em um sistema constituído por carbonato de cálcio. Disponível Em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-09022007-112553/publico/1523167.pdf>.

The Engineer.(2012) Wise crack: Self-healing concrete. Disponível Em: <https://www.theengineer.co.uk/wise-crack-self-healing-concrete/>.

Tula, L. S. (2000) Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de armaduras de aço inoxidável. Tese D. Sc. USP, São Paulo, 2000.

Van der Hoeven, Diederik. Self-healing concrete in full development. Disponível Em: <https://www.biobasedpress.eu/2018/02/self-healing-concrete/>.

Zanzarini, J. C. (2010) Análise Das Causas E Recuperação De Fissuras Em Edificação Residencial Em Alvenaria Estrutural – Estudo De Caso. Disponível Em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6879/1/CM\\_COECI\\_2016\\_1\\_15.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6879/1/CM_COECI_2016_1_15.pdf).

Da Silva Barbosa, U., Salomão, P. E. A., Lauer, G. T., & Ribeiro, P. T. (2018). reutilização do concreto como contribuição para a sustentabilidade na construção civil. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro–Unipac ISSN*, 2178, 6925.

Cristina, P., Salomão, P. E. A., Cangussú, L., & de Carvalho, P. H. V. (2018). Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil. *Research, Society and Development*, 7(9), 12.

Salomão, P. E. A., Silva, B. A., & Barbosa, F. A. (2019). Chemical stabilization of franco texture soil: addition of lime and cement. *Research, Society and Development*, 8(5), 50851019.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Pedro Emílio Amador Salomão – 50%

Alexandre Victor Silva Pinheiro – 50%