

BACILLUS SUBTILIS UMA ADIÇÃO INCOMUM COM BENEFÍCIOS INESPERADOS AO CONCRETO

Diego Rodrigues Bonifácio (UNIJIPA) E-mail: engenheirobonifacio@hotmail.com

Taine de Oliveira Silva (UNIJIPA) E-mail: tayne.silva00@gmail.com

Allan Carlos Teles de Matos (UNIJIPA) E-mail: alantelles@gmail.com

Elizeu dos Santos Silva (UNIJIPA) E-mail: elzssv@gmail.com

Maria Luiza de Paula Cordeiro (UNIJIPA) E-mail: mariacordeiro.jipa@gmail.com

Matheus Henrique Otenio Fongaro (UNIJIPA) E-mail: matheus.fongaro@gmail.com

Thalita Mendonça Luz (UNIJIPA) E-mail: thalitamluz@gmail.com

Resumo: A bactéria *Bacillus subtilis* pode ser utilizada como um meio alternativo para a confecção de bioconcreto, pois tem características semelhantes à *Bacillus pseudofirmus* estudada por outros pesquisadores. Vale destacar que a bactéria *Bacillus subtilis* pode ser encontrada em território nacional brasileiro e que a mesma tem a capacidade de precipitação de cristais de carbonato de cálcio (CaCO_3), os quais por biodeposição preenchem os poros e fissuras nos materiais cimentícios. Desta forma, o objetivo deste artigo é realizar um levantamento bibliográfico sobre comportamento da bactéria *Bacillus subtilis* na adição de concreto, verificando se a mesma apresenta características similares ou até superiores a materiais estudados por outros autores em países com temperatura e materiais diferentes. Para a efetivação deste estudo, foi realizado levantamento teórico baseado em documentação indireta. Nota-se que a adição de bactérias ao concreto apresenta benefícios para engenharia, uma vez que pode dispensar reparos de fissuras devido ao processo de precipitação de calcita (forma cristalina de CaCO_3), o que também diminuirá a infiltração e perda de capacidade de carga, aumentando a vida útil das edificações.

Palavras-chave: Bioconcreto. *Bacillus subtilis*. Vida útil. Resistência.

BACILLUS SUBTILIS AN UNUSUAL ADDITION WITH UNEXPECTED BENEFITS TO CONCRETE

Abstract: The bacterium *Bacillus subtilis* can be used as an alternative medium for making bioconcrete, as it has similar characteristics to the *Bacillus pseudofirmus* studied by other researchers. It is worth noting that the bacterium *Bacillus subtilis* can be found in Brazilian territory and that it has the ability to precipitate calcium carbonate crystals (CaCO_3), which by biodeposition fill the pores and cracks in cementitious materials. Thus, the objective of this article is to carry out a bibliographic survey on the behavior of the bacterium *Bacillus subtilis* in the addition of concrete, verifying whether it has similar or even superior characteristics to materials studied by other authors in countries with different temperatures and materials. To carry out this study, a theoretical survey was carried out based on indirect documentation. It is noted that the addition of bacteria to concrete has benefits for engineering, since it can eliminate crack repairs due to the calcite precipitation process (crystalline form of CaCO_3), which will also reduce infiltration and loss of load capacity, increasing the lifespan of buildings.

Keywords: Bioconcrete. *Bacillus subtilis*. Lifespan. Resistance.

1. Introdução

O processo de remediação de fissuras no concreto, seja ocasionada por retração térmica, modificações internas, constituição do material, flexão, punção, cisalhamento e outros, é um campo de pesquisa que nos últimos anos vêm crescendo. Mesmo que sejam pequenas fissuras, estas podem ocasionar aumento na permeabilidade da estrutura de concreto, podendo reduzir sua durabilidade. É importante destacar que uma estrutura fissurada está passiva a penetração de substâncias agressivas, acarretando diversos problemas, dentre eles a corrosão da armadura (PAZZINI, 2018).

De acordo com Jonkers et al. (2010), o concreto possui predisposição ao surgimento de fissuras, fenômeno que prejudica a integridade estrutural do material e sua durabilidade. Apesar do concreto ser extremamente resistente a compressão, quando submetido à esforços de tração seu desempenho é inferior. As fissuras passivas, ou seja, fissuras que não variam de espessura ao longo do tempo, são facilmente recuperadas através de resinas sintéticas do tipo epóxi, acrílica ou e poliéster. Já as fissuras ativas que progridem, podem levar a estrutura ao colapso. Estas fissuras podem ser recuperadas com medidas de restauração a partir da aplicação, na área fissurada, de material de preenchimento (SCHWANTES, 2014).

Segundo Jonkers (2011), as bactérias do gênero *Bacillus* são capazes de precipitar carbonato de cálcio (CaCO_3), o qual por biodeposição tem a capacidade de fechamento de fissuras. Destaca-se que o processo pelo qual os organismos vivos sintetizam minerais inorgânicos é denominado de biomineralização. A precipitação de CaCO_3 é um exemplo desse processo, que pode ocorrer por células bacterianas e suas respectivas atividades metabólicas, entre outros fatores. Na bioprecipitação de carbonato de cálcio os microrganismos são capazes de secretar um ou mais produtos metabólicos que reagem com íons cálcio no ambiente resultando na precipitação de minerais (DHAMI et al., 2013).

2. Metodologia

Para a realização desta pesquisa, efetuou-se levantamento teórico com o objetivo de tratar sobre o tema de bioconcreto com a utilização da bactéria *Bacillus subtilis*. Segundo Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa bibliográfica trata-se de um levantamento, seleção e documentações de parte da bibliografia já publicada sobre o assunto que está sendo pesquisado, em revistas, monografias, dissertações, teses, artigos, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com o material já escrito sobre o mesmo. Embasado no que defendem Marconi e Lakatos (2003), foi possível realizar um levantamento bibliográfico sobre comportamento da bactéria *Bacillus subtilis* na adição de concreto, verificando se a mesma apresenta características similares ou até superiores a materiais estudados por outros autores em países com temperatura e materiais diferentes.

3. Desenvolvimento

De acordo com Jonkers (2011), o processo de biomineralização ocorre naturalmente no concreto, mas a uma taxa lenta ao longo dos tempos geológicos, como aqueles que levam à formação de calcário e arenito. O bioconcreto surge então com o objetivo de minimizar os problemas de fissuração em um tempo inferior, através da adição de bactérias do gênero *Bacillus*.

Como demonstra a Figura 1, as bactérias, em contato com a umidade que pode adentrar em uma fissura, se multiplicam e durante o seu processo metabólico produzem calcita, a qual funciona como um preenchimento e autocicatrizas as fissuras do concreto. Vale lembrar que a calcita também serve para o fechamento dos poros do concreto evitando não só os desgastes provenientes da água, mas também de outras substâncias prejudiciais, prolongando seu tempo de vida útil (JONKERS, 2011). Assim, esses estudos preliminares mostraram que a adição de esporos de *B. subtilis* ao concreto poderia ser benéfica e aumentar sua vida útil. Para isso, são necessários mais estudos sobre a concentração de adição desses esporos, bem como, sobre o procedimento de adição, processo de cura e análise microestrutural.

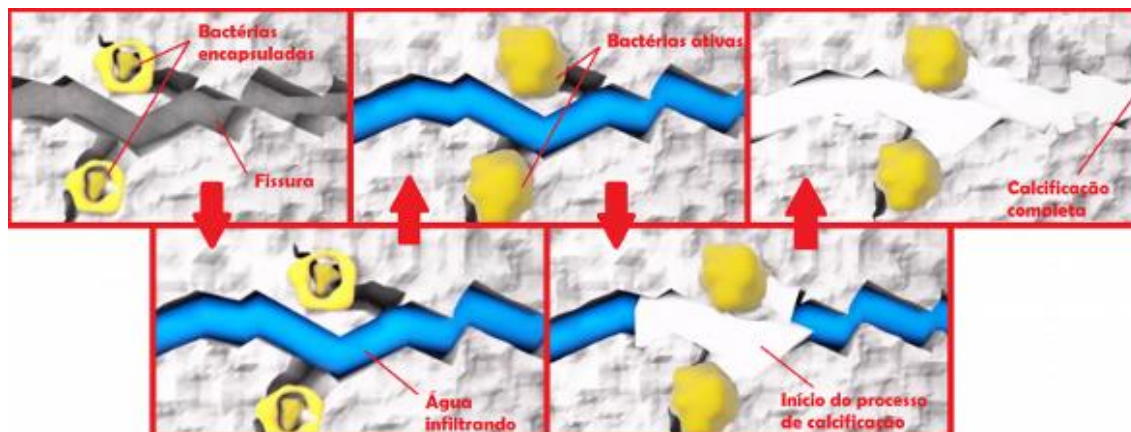


Figura 1: Comportamento da bactéria desde a fissura do concreto, passando por sua “ativação” em contato com a água até o início do fechamento da trinca.

Fonte: Vieira (2015).

A proteção contra fissuras é fundamental em diversos elementos estruturais, especialmente aqueles que armazenam produtos químicos nocivos, nas quais as aberturas podem ocasionar problemas maiores com o passar do tempo. Nesse tipo de situação, a utilização de bactérias seria uma vantagem para o processo de fechamento dessas pequenas passagens. Este processo que pode ser desencadeado por microrganismos que no contato com a umidade, iniciam o processo de autocicatrização (MUYNCK et al., 2010). Apesar das fissuras, frequentemente, não comprometem a resistência das estruturas, elas contribuem significativamente com a porosidade e permeabilidade do material, fazendo com que a penetração de agentes agressivos, tais como cloretos, sulfatos e ácidos possam ocasionar a degradação da matriz do concreto e na corrosão prematura da armadura utilizada em elementos de concreto armado, o que prejudica a durabilidade da estrutura a longo prazo (JONKERS, 2011).

É importante destacar que as bactérias são organismos vivos, assim, quando são adicionadas ao concreto proporcionam uma nova característica, essa nova matriz foi denominada de bioconcreto (JONKERS et al., 2010). O prefixo bio significa vida, então ao adicionar a bactéria ao concreto ocorre a precipitação de cristais de carbonato de cálcio, isso se dá devido a umidade que infiltra pelas fissuras, por consequência, proporciona a autocicatrização dos elementos cimentícios (SCHWANTES, 2014).

Além da autocicatrização o bioconcreto gera outros benefícios em suas propriedades, tais como: maior resistência à compressão e tração, em comparação com o concreto convencional, também reduz a permeabilidade melhorando a propriedades de estado endurecido do concreto (SANTOS JUNIOR; SOUZA; MACHADO, 2018).

A bactéria *Bacillus subtilis*, vem do gênero *Bacillus* que por sua vez é classificado em três grupos, sendo ela do grupo I-b, constituído de bacilos com diâmetro inferior a 1 μm , nesse grupo também estão contidos os *B. coagulans*, *B. firmus*, *B. licheniformis*, *B. subtilis* e *B. pumilus*. Elas são compostas por microrganismos ambientais, produzindo colônias irregulares, com contornos filamentosos ou ondulados, podendo elaborar uma cápsula protetora contra a fagocitose. As bactérias gram-positivas que possuem uma membrana e gram-negativas contendo duas membranas, uma interna e outra externa, sendo as gram-positivas utilizadas para a moldagem dos corpos-de-prova (SCHWANTES, 2014). Os micro-organismos utilizados são não patogênicos e não nocivos ao meio ambiente. Além disso, diferentemente do cimento, solos ou terras contaminadas podem ser tratadas ou aprimoradas sem perturbar o terreno ou o ambiente, visto que os micro-organismos podem penetrar e se reproduzir no solo ou em quaisquer ambientes (SCHWANTES, 2014).

A bactéria do gênero *Bacillus* são altamente resistentes ao calor, os agentes químicos e a radiação. Além disso, são capazes de sobreviver com exaustão de nutrientes e presença de substâncias tóxicas (SCHWANTES, 2014). Assim, faz-se ideal para a mistura ao concreto, pois durante o processo de hidratação do cimento são liberados altos índices de calor por reação química exotérmica, podendo-se chegar até 85°C, sendo que parte deste calor liberado é absorvido pelo próprio concreto, elevando a temperatura do concreto (CARNEIRO et al., 2011).

Schwantes (2014) realizou dois traços de concreto para análise da autocicatrização por precipitação de CaCO_3 promovida pela bactéria *B. subtilis* AP91. Os traços adotados pela pesquisadora foram de 1:1:2 (traço 1) com fator água/cimento de 0,33, considerado rico, e 1:2:3 (traço 2) com fator água/cimento de 0,45, considerado pobre. A bactéria foi adicionada na água de amassamento do traço, em três concentrações diferentes, sendo estas de $0,3 \times 10^8$, $0,6 \times 10^8$ e $1,2 \times 10^8$ esporos/ml.

A pesquisadora efetivou os ensaios de abatimento de tronco de cone de acordo com a norma NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998), obtendo valores de 85 mm para o traço 1 e 90 mm para o traço 2. Para a análise de fechamento das fissuras através da bioprecipitação de calcita, foram feitas fatias dos corpos de prova de aproximadamente 2,0 centímetros, passados oito dias do processo de cura as fatias sofreram um processo de aplicação de carga em prensa hidráulica, fazendo com que as amostras fissurassem (SCHWANTES, 2014).

Pode-se observar que na Figura 4, houve precipitação de carbonato de cálcio pela bactéria que por ventura ocasionou o fechamento das fissuras, notou-se ainda que amostra onde não havia a adição da bactéria (Figura 5) não ocorreu nenhuma alteração representativa, provando assim que o processo de autocicatrização do concreto foi devido a ação da bactéria *Bacillus subtilis* (SCHWANTES, 2014).

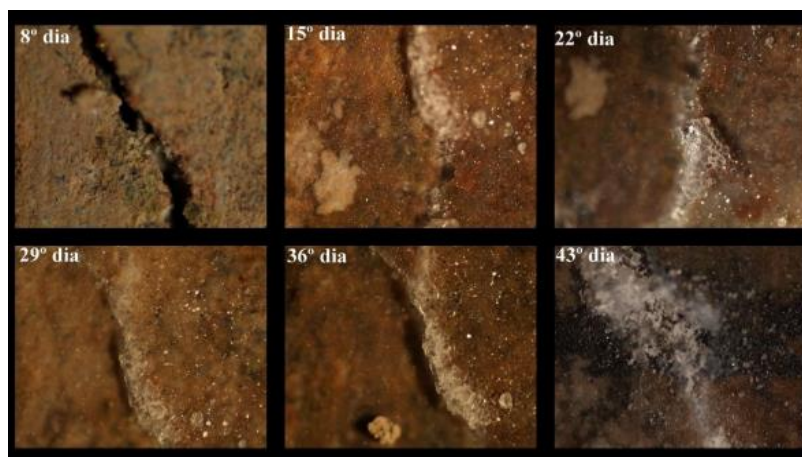


Figura 4: Processo de fechamento das fissuras com a adição da bactéria *Bacillus*, traço 1 com adição de $1,2 \times 10^8$ esporos/ml.

Fonte: Schwantes (2014).

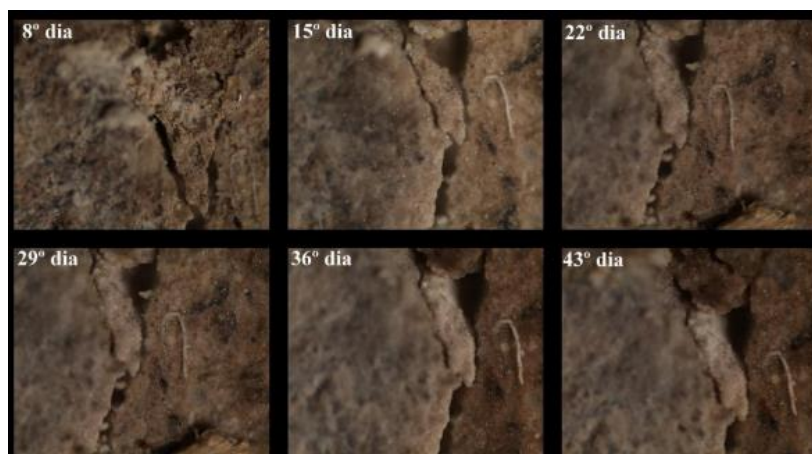


Figura 5: Amostra sem a adição da bactéria *Bacillus subtilis*, confirmando que foi a ação das bactérias que proporcionaram o fechamento das fissuras na imagem anterior
Fonte: Schwantes (2014).

A Figura 6 exerce o comparativo de uma bactéria similar a *Bacillus subtilis*, a *Bacillus alkalinitrilicus* estudada por Wiktor e Jonkers (2011). Os experimentos realizados por estes pesquisadores foi diferente do anterior, pois a bactéria não foi adicionada ao traço de concreto, mas sim a um tanque de água utilizado para depositar as amostras em cura submersa. Pode-se notar que os resultados obtidos através da precipitação de carbonato de cálcio foram semelhantes, quanto ao fechamento da fissura com a utilização da *Bacillus subtilis* foi visivelmente maior, visto que em apenas 43 dias os resultados foram superiores em alguns casos (SCHWANTES, 2014).

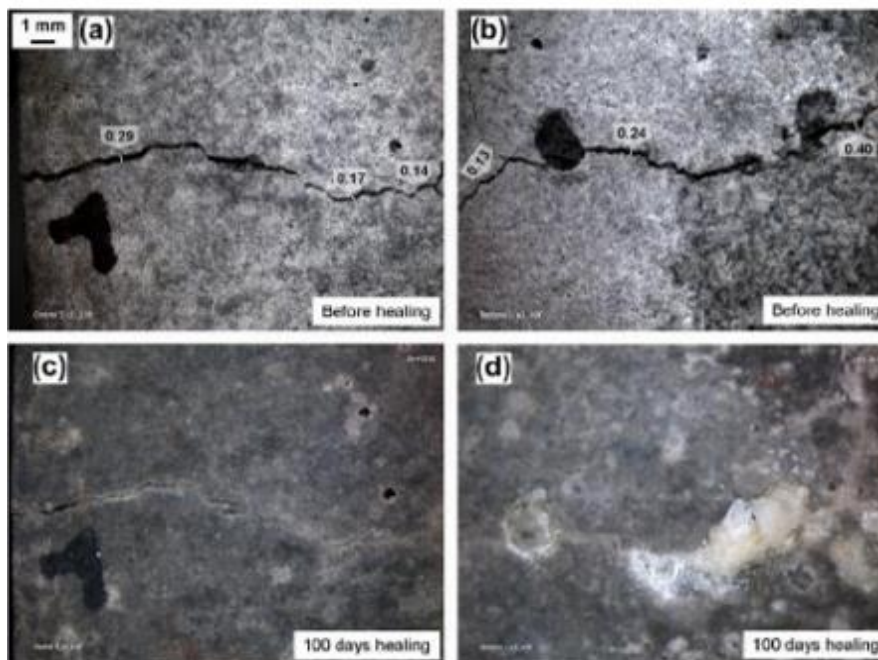


Figura 6: Imagem comparativa do fechamento de fissuras com a *Bacillus alkalinitrilicus*
Fonte: Wiktor e Jonkers, 2011 apud Schwantes 2014.

O concreto ganha resistência com o tempo após o seu processo de pega, de acordo com Schwantes (2014), o ensaio de resistência à compressão foi realizado no vigésimo oitavo dia de cura. Leva-se muito tempo para o concreto atingir o máximo potencial de força e o tempo para o mesmo ainda é desconhecido. A taxa de ganho de resistência à compressão

do concreto chega ao seu ápice elevado durante os primeiros 28 dias, em seguida esse aumento de sua resistência diminui a velocidade ficando praticamente linear quando comparado a um gráfico, o concreto ainda continua tendo acréscimo de força após esse período, mas essa taxa de ganho na resistência à compressão é muito menor em comparação aos 28 dias iniciais.

Os dados obtidos entre os 2 traços tiveram uma diferença significativa no valor final da resistência, ao qual se justifica pelos componentes de cada traço. Depois de realizado o cálculo de porcentagem de variação de resistência, considerando os traços com a referência das taxas de bactéria por molde de corpo-de-prova, onde os valores positivos representam um aumento na resistência em relação ao traço de referência, nesse caso sem a adição da bactéria e o valor negativo uma diminuição da resistência em relação à mesma referência (SCHWANTES, 2014).

Nos resultados obtidos no traço 2 houve uma queda no ganho de resistência, de acordo com Schwantes (2014) a “diminuição da resistência, a qual pode ter sido ocasionada por erro de concretagem, já que nenhuma das outras amostras apresentou um resultado negativo”. Nota-se que através da utilização da bactéria *Bacillus subtilis* além do processo de autocicatrização decorrente da precipitação de CaCO_3 , há um acréscimo no ganho de resistência à compressão, fazendo com que os benefícios sejam além do esperado com a utilização dessa adição não convencional (SANTOS JUNIOR, et al., 2018). Comprovando que essa prática benéfica não somente o fechamento das fissuras e sim outros meios, isso devido à geração de carbonato de cálcio nos elementos cimentícios (SCHWANTES, 2014).

4. Conclusão

O desenvolvimento aprimorado do bioconcreto com a utilização da *B. subtilis* pode trazer consigo uma relevante evolução para os elementos de concreto, possibilitando maior vida útil, gerando uma diminuição de reformas e manutenções em edificações, resultando em um maior conforto e tranquilidade para seus proprietários, além de diminuir de maneira significativa o valor gasto com esses reparos com o processo de autocicatrização das fissuras por precipitação de cristais de CaCO_3 , que além de ocasionar o fechamento das fissuras faz com que o concreto ganhe resistência a compressão, essa resistência extra não esperada em um concreto convencional, pode resultar em elementos mais esbeltos também.

Os dados até então utilizados não apresentam resultados da aplicação das bactérias no âmbito do concreto armado, apesar da precipitação de CaCO_3 ocasionar o fechamento das fissuras e até melhorias nas propriedades mecânicas no concreto, pode apresentar efeito contrário e promover patologias graves. Por esse motivo, estudos ainda precisam ser conduzidos para avaliar a aplicabilidade das bactérias em estruturas de concreto armado, porque ainda não se sabe quanto a precipitação de CaCO_3 bacteriana influenciará no pH do concreto.

Por fim, a adição de *B. subtilis* em concreto não armado é uma prática extremamente benéfica, pois além de proporcionar elevação da resistência do concreto, também atua no fechamento de fissuras e diminui sua porosidade, sendo extremamente vantajoso em casos de reparos e influenciando positivamente nas propriedades mecânicas do concreto.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. São Paulo: ABNT, 1998.

JONKERS, H. M.; THIJSSSEN, A.; MUYZER, G.; et al. **Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete.** *Ecological Engineering*, v. 36, n. 2, p. 230–235, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857409000202>>. Acesso em: 15 de setembro de 2018.

JONKERS, H. M. **Bacteria-based self-healing concrete.** *Heron*, v. 56, n. 1–2, p. 5–16, 2011. Disponível em: <<http://heronjournal.nl/56-12/1.pdf>>. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 5. ed. p. 174-213, São Paulo: Atlas, 2003.

MUYNCK, W.; DE BELIE, N.; VERSTRAETE, W. **Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review.** *Ecological Engineering*, v. 36, n. 2, p. 118–136, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092585740900113X>> Acesso em: 16 de setembro de 2018.

PAZZINI, E. **ENGENHARIA - 5 Anos de luta, uma vida inteira de conquistas.** 2018. Disponível em: <<https://www.sosengenheiro.com.br/palestra-eneio-pazzini-enec-2018-rio-de-janeiro/>>. Acesso em 01 de janeiro de 2019.

SANTOS JUNIOR, D. L.; SOUZA, T. C.; MACHADO, L. F. M. **Bioconcreto, método inovador para solução de patologias na construção civil.** 2018. Disponível em: < <http://abre.ai/nlouwyq0ietwf89rw> >. Acesso em: 19 de janeiro de 2019.

SANTOS JUNIOR, D. L. et al. **Bioconcreto: reparos através da autocicatrização.** 2018. Disponível em: < <https://unijipa.edu.br/por-que-a-unijipa/revista-saberes/edicao-11/>>. Acesso em: 19 de janeiro de 2019.

SCHWANTES, N. **Bioconcreto: análise da resistência e do fechamento de fissuras em concreto com adição da bactéria *Bacillus subtilis*.** 2014. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, 2014.

VIEIRA, G. **Professor holandês cria un 'concreto vivo' que se repara a sí mismo.** 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8Lw_qFDSHgg>. Acesso em: 11 de novembro de 2018.

WIKTOR, V. E JONKERS, H.M., **Quantificação da cura de crack em concreto auto-curador baseado em novas bactérias.** *Cimento & Concreto Compostos*, 33, pp. 763-770, 2011.