

BIOCONCRETO: A TECNOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO SUSTENTAVEL

Felipe Portela Candido Silva¹
Victor de Carvalho Passarini¹
Fernanda Cristina Storte Santos¹

RESUMO

O bioconcreto é uma tecnologia que vem sendo muito discutida alguns anos devido a sua peculiaridade, pois como o concreto é um dos materiais mais usados no mundo, na construção há geração de fissuras decorrentes das intempéries e pelas ações mecânicas, então esta tecnologia vem sendo muito estudada. Então o objetivo é mostrar como o bioconcreto pode ser muito eficaz na construção civil, e como é a formação do carbonato de cálcio, que é o componente que faz a “cicatrização” do concreto. Pela revisão pode-se compreender o processo que é realizado, a metodologia pode ser usada uma bactéria que tenha característica de precipitação de carbonato de cálcio em uma solução, e lactato de cálcio que funciona como alimento, que converte em carbonato de cálcio através do processo de urease. O experimento realizado por Henk Jonkers mostra resultados importantes para que o bioconcreto foi desenvolvido. E que a pesquisa para que foi feita cumpriu seu objetivo na eficiência na “cicatrização”. Com isso o bioconcreto está concluído, demonstrou sua eficiência na regeneração na fissura além de reforçar a estrutura do concreto.

Palavra-chave: Bioconcreto; Precipitação de carbonato de cálcio; Biomineralização; Concreto biológico; Auto cura do concreto.

ABSTRACT

Bioconcrete is a technology that has been put under a lot of discussion over the past few years because, as concrete, one of the most used construction materials in the world, frequently gets fissures caused by weather changes and mechanical action, studies about this new option are being made. The goal is to prove how bioconcrete can be very efficient on civil construction and how calcium carbonate, responsible for the “healing” of the concrete, is formed – by the review it is possible to understand the process: the method is to use a bacteria that feeds on calcium lactate, depositing calcium carbonate precipitate into the solution, as a residue of the urease process. Experiments by Henk show important results for which bioconcrete was developed and the research for which it was made has achieved its goal on the efficiency of the “healing”. With that, the purpose of the bioconcrete project is concluded; it has been shown its efficiency on regenerating the fissures in addition to fortifying the concrete composition.

Key words: Bioconcrete; Calcium carbonate precipitate; Biomineralization; Biological concrete; Concrete auto-healing.

¹ Complexo Educacional Faculdade Metropolitana Unidas . **E-mail:** felipepcandido@hotmail.com

RESUMEN

El bioconcreto es una tecnología que viene siendo muy discutida hace algunos años debido a su peculiaridad, pues como concreto es uno de los materiales más usados en el mundo, en la construcción hay generación de fisuras derivadas de las intemperies y las acciones mecánicas, entonces esta tecnología viene siendo muy estudiada. En cuanto al objetivo es mostrar cómo el bioconcreto puede ser muy eficaz en la construcción civil, y cómo es la formación del carbonato de calcio, que es el componente que hace la “cicatrización” del concreto. Por la revisión se puede comprender el proceso que se realiza, en la metodología puede ser usada una bacteria que tenga característica de precipitación de carbonato de calcio en una solución, y lactato de calcio que funciona como alimento, que convierte en carbonato de calcio a través del proceso de ureasa. Los experimentos realizados por Henk muestran resultados importantes para que el bioconcreto fue desarrollado. Y que la investigación para que fuera hecha cumplió su objetivo en la eficiencia de la “cicatrización”. Con ello el objetivo del bioconcreto está concluido, demostró su eficiencia en la regeneración en la fisura además de reforzar la estructura del concreto.

Palabra clave: Bioconcreto; Precipitación de carbonato de calcio; Biomineralización; Concreto biológico; Auto cura del concreto.

INTRODUÇÃO

Um dos materiais que é mais utilizado no mundo segundo o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável é o concreto, que aparentemente é resistente, mas mesmo assim este material está sujeito as intemperes do local, e que se agrava dependendo se esta sujeitas as forças mecânicas sobre ela, assim diminuindo sua vida útil (SANTOS. A. 2013).

E com tais problemas que surge no concreto, que pesquisadores da Universidade Técnica de Delft na Holanda desenvolveram um concreto um pouco peculiar, um concreto misturado com bactérias que quando se alimentam de lactato de cálcio e fazem a liberação de CaCO_3 (carbonato de cálcio) no seu processo (SANTOS. A. 2013).

Esta pesquisa foi realizada pelo microbiologista Henk Jonkers e o Engenheiro especializado em materiais de construção Eric Schlangen da Universidade Técnica de Delft na Holanda, que vem estudando esta técnica desde 2006 quando um engenheiro veio questionar sobre a utilização de bactérias em concretos que teria a capacidade de se “curar” (SANTOS. A. 2013).

E um problema que se encontra muito na construção civil são as fissuras geradas ao decorrer do tempo por patologias e desgastes dependendo de onde está superfície trincada se encontra, e o bioconcreto vem sendo discutido bastante recentemente para o seu uso na construção civil e pela sua capacidade de restaurar as fissuras através da precipitação de carbonato de cálcio.

BIOMINERALIZAÇÃO

A biomineralização é o processo pelo qual os microorganismos vivos precipitam estes tipos de minerais inorgânicos, e há formas, como, conchas, esqueletos, dentes, e também óxidos de

ferro e manganês, carbonatos, fosfatos e sílicas (VIEIRA DOS REIS, L. 2017). E os minerais criados por estes microorganismos possuem uma estrutura muito complexa que deixa qualquer engenheiro ou cientista ao produzi-la artificialmente, porém é uma prática difícil (FERNANDES; MARTENDAL 2016). Para entender o funcionamento do bioconcreto, temos que conhecer esta biomineralização que é o carbonato de cálcio.

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 (VIEIRA DOS REIS, L. 2017). Ela vem sendo estudada desde 1960, e então houve um aumento no estudo deste mineral, leituras de microscopia eletrônica de varreduras e transmissão e isso proporcionou informações importantes sobre as estruturas geradas que é encontrada em plantas, animais e microorganismo (DE PAULA, S. M. 2006). 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 (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

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 (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

A MICP é um processo biogeoquímico que acontece naturalmente no solo quando tem a precipitação de carbonato de cálcio, assim unindo os grãos de areia e fortalecendo o solo e também sua rigidez. Isso por bactérias que realiza processo de catalisação que acabam liberando carbonato de cálcio em seu processo, e tudo realizado pelo processo de hidrólise da ureia (MORTENSEN et al. 2011).

Ureases

A Ureases (EC 3.5.1.5) ou ureia amidohidrolise, são enzimas de níquel dependentes, que tem como objetivo catalisar a hidrólise da ureia tendo como produto final a amônia (NH_3), dióxido de carbono (CO_2) ou ácido carbônico (H_2CO_3) se estiver em meio aquoso. A uréase é sintetizada por, plantas, algas, invertebrados, fungos e bactérias, e isso é o que faz para a formação da biomineralização (CARLINI, C. 2011).

Uma característica importante na uréase é a presença de centro metálico no sítio ativo, que é ativar o substrato para que venha ocorrer as reações. As enzimas presentes são as únicas que possuem íons de níquel nos seus sítios ativos que dentre outras superfamílias das metalohidrolise (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

A precipitação do carbonato de cálcio é um processo químico que tem influência de quatro fatores chaves (VIEIRA DOS REIS, L. 2017): Primeiro fator é a concentração de carbono inorgânico presente no meio dissolvido; Segundo fator é a concentração de íons de cálcios; Terceiro fator, o pH; Quarto fator a presença de sítios de nucleação.

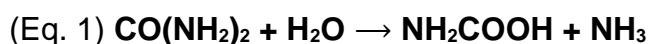
Na precipitação os três fatores são a chave para que aconteça a química, e possa haver precipitação, já no quarto fator, os sítios bacterianos podem já se comportar como sítios ativos nucleação (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

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 (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

A heterotrófica, as bactérias podem gerar o carbonato através de duas precipitações, ativa e passiva. A produção de carbonato na 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 (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

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, nisso caso um dos reagentes apresentar excesso. Um papel 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 (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

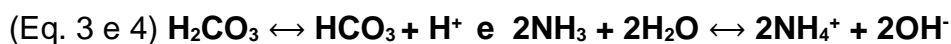
A uréase quando realiza a hidrólise da ureia, produz a amônia e o carbamato. (Eq. 1)



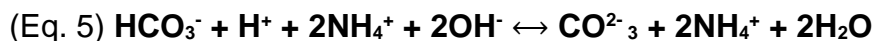
Que se hidrolisam imediatamente para produzir outra molécula de amônia e ácido carbônico se o meio for aquoso, ou dióxido de carbono. (Eq. 2)



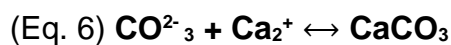
E com isso os produtos se equilibrando no meio aquoso, forma bicarbonato e amônio e também íons de hidróxidos. (Eq. 3 e 4)



Fazendo então a elevação do pH. E este aumento do pH pode alterar o equilíbrio do bicarbonato gerando íons de carbonato. (Eq. 5)



Que quando há presença de íons solúveis de cálcio, acabam fazendo a precipitação de CaCO_3 como a equação (VIEIRA DOS REIS, L. 2017). (Eq. 6)



Para Vieira dos Reis (2017), esquematiza o processo da produção de carbonato de cálcio pela enzima de uréase (Figura 1). Resumindo o papel da uréase na precipitação CaCO_3 mediada por micro-organismos quando tem uma elevada concentração de íons (Ca^{2+}). Os processos que envolve a precipitação de carbonato de cálcio são: (1) hidrólise da ureia, (2) aumento da alcalinidade, (3) adsorção superficial de íons (Ca^{2+}) e (4) nucleação e crescimento do cristal. **EPS*** significa substância polimérica extracelular, no caso de exopolissacarídeos circundando as células ureolíticas.

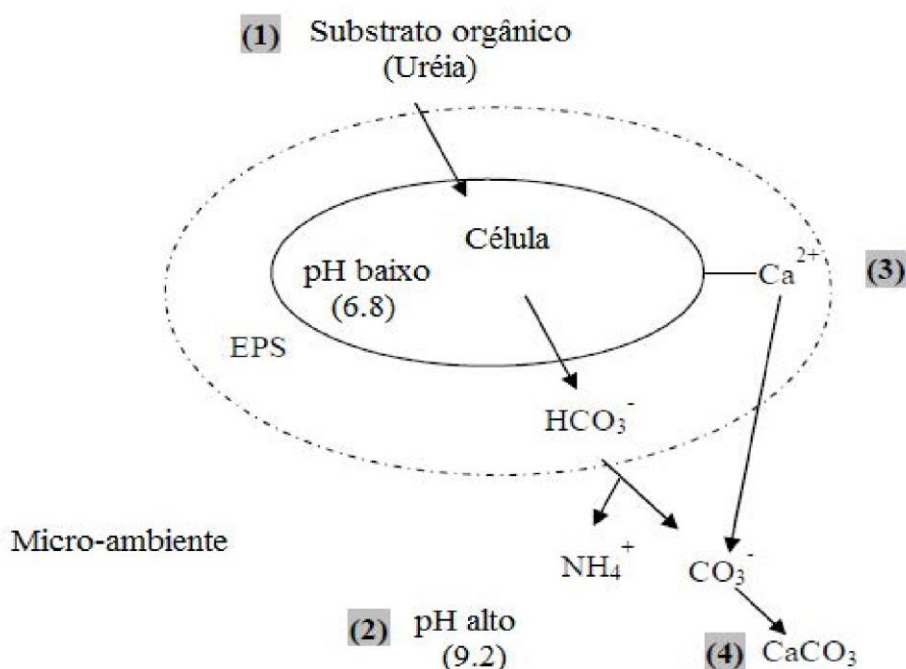


Figura 1 - Esquema resumido da uréase na precipitação de CaCO_3 .

Fonte: VIEIRA DOS REIS, L. 2017.

BIOCONCRETO

Na construção civil o uso da MICP é empregado em por duas formas: como material de cimentação ou uma camada superficial para proteção. Assim ambos tendo diferente nome, primeiro chamando de biocimentação (bioconcreto) e o outro chamado de biodeposição. O bioconcreto é um produto da MICP que tem como objetivo diminuir os espaços entre as partículas do concreto e também as fissuras geradas por diferentes patologias (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

O bioconcreto está relacionada com atividade enzimática da cepa bacteriana e a composição da cultura utilizada, e quanto mais a atividade da uréase, melhor o perfil nutricional de lactato de cálcio, por exemplo, será maior a precipitação de cálcio realizada por esta cultura. E o bioconcreto vem sendo usado para melhorar a resistência a compressão e também de outros materiais provenientes do concreto (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

E os estudos feitos a partir da MICP comprovou um aumento na resistência a compressão de 25% quando foi usada no bioconcreto a cultura de bactérias *Shewanella* sp. Um experimento feito utilizou as células bacterianas em meio líquido e logo foram adicionados a mistura de areia e cimento, e foi feito um corpo de prova de 70.6 mm. E este molde de cimentos foram realizados os testes de compressão e teve um aumento de 17 a 36% na sua resistência e a sua permeabilidade a água fora aumentada também (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

Materiais de construção tais como argamassas e estruturas de concretos, estão sempre suscetíveis a ação do intemperismo e de vários outros fatores químicos, físicos e biológicos. Devido a sua composição, rochas carbonáticas estão sujeitas ao intemperismo, o que leva a um aumento de sua porosidade, conseqüentemente, a redução de suas características mecânicas. Com objetivo de reduzir a problemática da deterioração, muitos tratamentos têm sido empregados para alterar as características das rochas. Repelentes de água tem sido aplicado para proteção da mesma contra agentes agressivos presentes na atmosfera. Visando reestabelecimento da coesão de seus grãos deteriorados tem sido usado consolidantes nas rochas, contudo ambos tratamentos estão sujeitos a controvérsias devido a suas ações não reversíveis, sua ação limitada, podendo até acelerar o processo de deterioração da rocha (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

Na biodeposição, uma camada de origem microbiológica de carbonato é precipitada sobre um substrato poroso como cimento, tijolo ou argamassa. Com a precipitação do mesmo a MICP pode se depositar os cristais formados dentro dos poros, assim evitando a entrada de materiais nocivos ao substrato, o protegendo da ação da água ou da invasão química (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

A MICP tem sido uma proposta eco amigável para proteger rochas ornamentais deterioradas e como um método de melhoramento de materiais cimentícios (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

Para o inventor e cientista Henk Jonkers da Universidade Técnica de Delft, para ele não haverá limites para a extensão das rachaduras, mas há um limite para as fissuras. Para que haja uma cicatrização perfeita a fissura não pode ter mais que 8 mm, mas com esta nova tecnologia o bioconcreto vai ajudar ter uma economia de milhões de dólares em manutenções. E mesmo o Hank comentou para um jornal britânico The Guardian (2015) que: “Apesar de ser mais caro que o concreto tradicional, o benefício econômico é perceptível, pois economiza em custos de manutenção” (THE GUARDIAN, 2015).

AÇÃO DA TEMPERATURA NO CONCRETO

O concreto está sujeito a vários fatores físicos e químicos que possa comprometer suas características físicas e mecânicas ao longo do tempo, e estes fatores faz com que apareça fissuras no concreto, tanto fatores externos quanto internos (EFFTING, et al. 2015).

Fatores externos são as condições físicas do local, condições climáticas, umidade e ação do vento. O interno tem o calor de hidratação, que é a fonte de variação volumétrica ocasionada pela liberação de energia exotérmica, quanto maior for o volume do concreto, maior o calor liberado pela mistura, e as vezes é dissipada do concreto para atmosfera ou poder ser absorvida pela massa da mesma (SOARES CARNEIRO, et al. 2011).

A variação de temperatura e por vez a grande geradora de fissuras, devido a retração térmica, que é a ação que mais faz gerar fissuras, devido que sua superfície perde mais calor que o seu centro e com isso há uma elevação na temperatura no seu interior e com forme o calor se propaga para superfície tendo uma expansão, mas como o concreto tem um modulo de elasticidade muito baixa e nisso com a propagação térmica para a superfície a massa ganhara um certa rigidez e o centro contraindo mais que a superfície faz com que a capacidade do concreto de deformação seja ultrapassada ocorrendo as fissuras. Já dilatação térmica quando tem fissuras provocadas por levantamento quando não há juntas de dilatação com o espaçamento adequado (EFFTING, et al. 2015).

As estruturas que possuem um volume muito grande são as menos afetadas pelos efeitos das variações térmicas, enquanto as estruturas de menor volumes (mais esbeltas) são as mais afetadas (EFFTING, et al. 2015).

No Brasil por ser um país tropical, tem as variações sazonais de temperatura, é sem dúvida uma região onde há grandes problemas nas patologias devido a dilatação térmica, no inverno quando se tem geadas que pelas ações dos ventos, e como o concreto é poroso tem a percolação de água e gases, ocasiona um fenômeno de gelo e degelo deteriorando o concreto. E quando tem o esfriamento do concreto gera um choque térmico devido a variação brusca de temperatura, geram as fissuras, aparecendo na superfície do concreto e depois em toda sua massa, sua resistência a compressão diminui, e tudo isso é mais comum em estruturas esbeltas (EFFTING, et al. 2015).

Visando estes efeitos da temperatura no concreto que ocasiona as fissuras, que o bioconcreto possa ser uma ótima solução para a sua reparação, os microorganismos em contato com as intemperes sai do seu estado latente e fazendo a precipitação de carbonato de cálcio e cicatrizando a fissura.

FATORES AMBIENTAIS QUE AFETAM A PRECIPITAÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO

A quantidade de carbonato de cálcio precipitado através da atividade de uréase é influenciada pelos fatores ambientais que o local se encontra, tais como, o tipo de bactérias utilizadas no

projeto, o pH do meio, a temperatura, a concentração celular bacteriana, da ureia e do cálcio (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

Os diferentes tipos de bactérias vêm sendo descritas por sua capacidade de produzir quantidades diferentes de uréase e carbonato de cálcio. A bactéria que mais comumente utilizada é a do gênero *Bacillus* que precipita calcita através das reações químicas das enzimas de uréases. E também as elevadas concentrações de bactérias aumenta a concentração de carbonato de cálcio, devido ao aumento da uréase e da hidrólise da ureia (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

O carbonato de cálcio é influenciado pelo pH, pois as enzimas uréase só se ativam em certas faixas de pH específicas, para que a hidrólise venha ocorrer. O CaCO_3 precipitado ocorre em grandes partes em condições que sejam alcalinas, com o pH variando entre 8,7 a 9,5 (VIEIRA DOS REIS, L. 2017). Observou-se que a maior atividade ureásica deu por volta do pH 8 (Figura 2), mas se a concentração de bactérias no local tem muita, há uma diminuição na precipitação de carbonato de cálcio, e assim menor disponibilidade de ureia no local e tendo uma produção adicional de NH_4 (amônio) se o meio for aquoso (Figura 3) (GONZALES, Yamile Valencia, 2009).

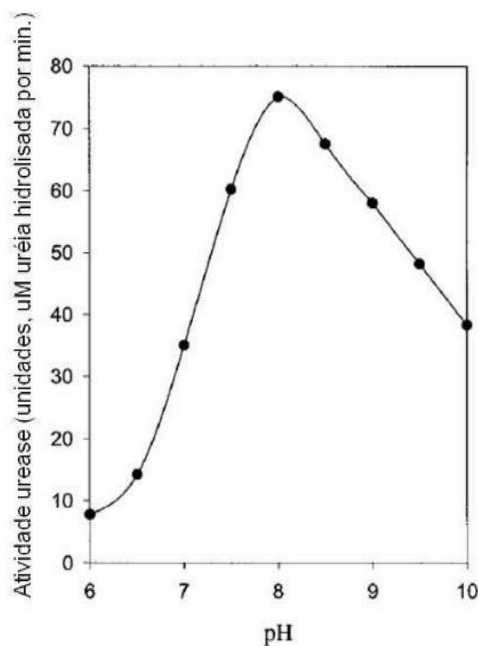


Figura 2 - Gráfico do efeito do pH na atividade urease na *Bacillus pasteurii*.

Fonte: (GONZALES, Yamile Valencia, 2009).

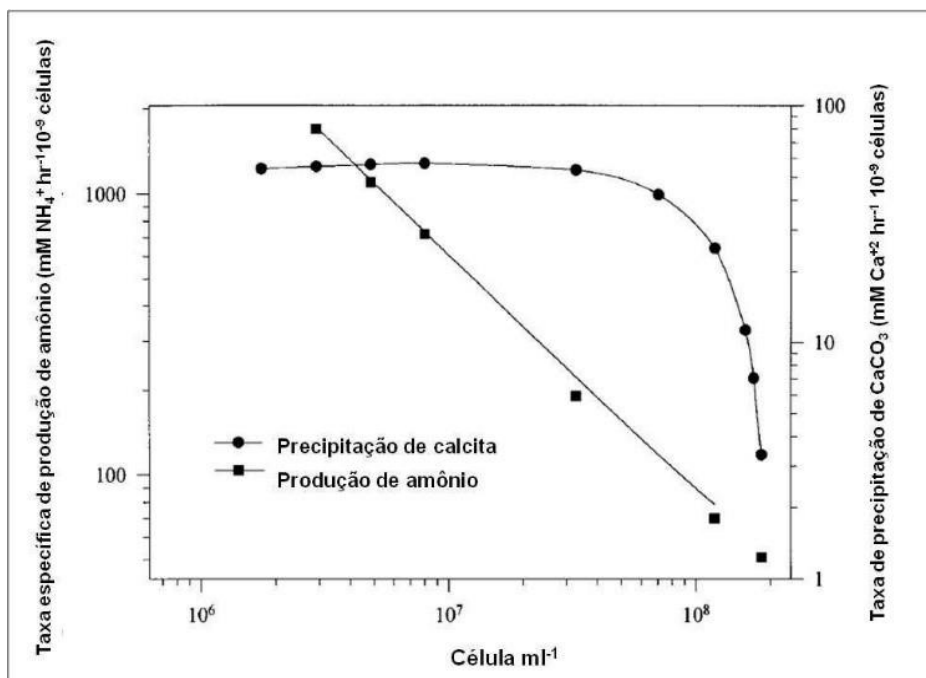


Figura 3 - Gráfico da taxa de precipitação de CaCO_3 (esquerda) e a taxa específica de produção de amônio (direita) em relação a concentração bacteriana.

Fonte: (GONZALES, Yamile Valencia, 2009).

A hidrólise pela ureia de enzimas uréase é muito influenciada pela temperatura. A temperatura que estas enzimas possam realizar as reações tem que estar por volta de 20 a 37 °C, constaram que as enzimas da uréase são estáveis a 35 °C, mas se a temperatura for de 55 °C a atividades enzimáticas tem uma redução para 47% de 100% (VIEIRA DOS REIS, L. 2017). E diferentes tipos de *Bacillus* indicou que a habilidade de formar CaCO_3 através da hidrólise de ureia em diferentes temperaturas, mostrou que a temperatura mais indicada e tem maior precipitação foi a 25° C (Figura 4). E esta precipitação começou 15 dias após o início do experimento (Figura 5) (GONZALES, Yamile Valencia, 2009).

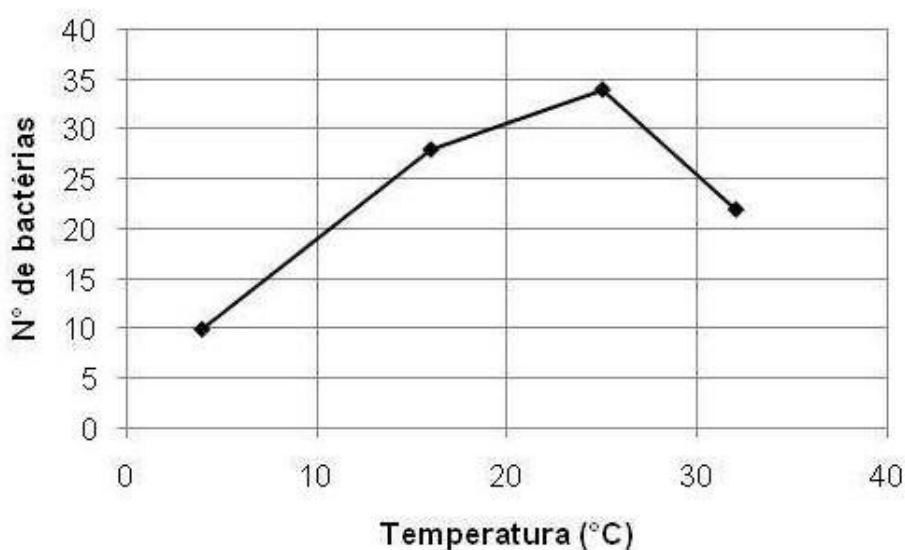
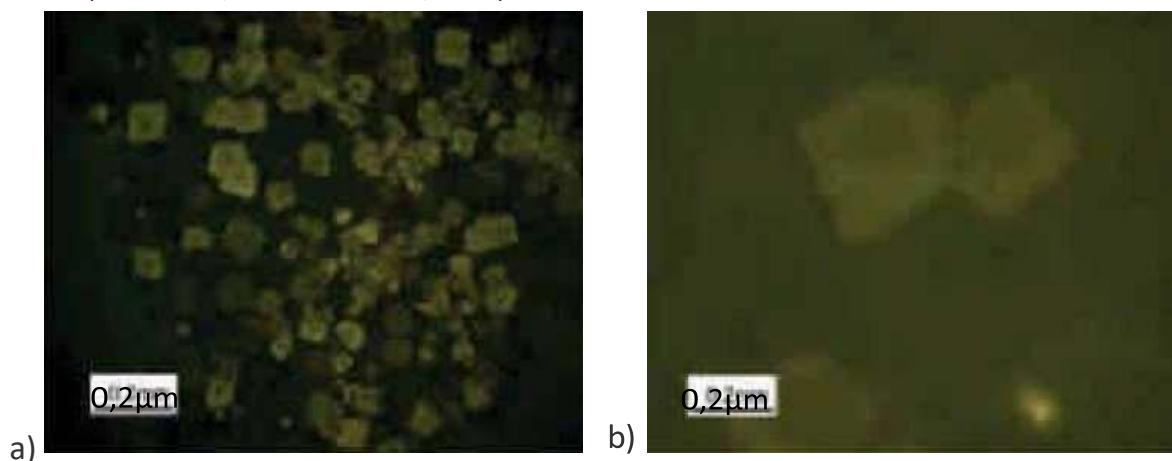


Figura 4 - Gráfico da temperatura em relação a produção de bactérias.

Fonte: (GONZALES, Yamile Valencia, 2009).



Figuras 5 - Imagem com microscópio óptico em: Calcita depois de uma semana, b) Calcita depois de 15 dias.

Fonte: (GONZALES, Yamile Valencia, 2009).

LIMITAÇÕES DA PRECIPITAÇÃO DO CARBONATO DE CÁLCIO

Apesar de seu elevado potencial em diversos campos, esta tecnologia possui limitações em seu uso, na qual devem ser superadas antes de sua aplicação em larga escala comercial. Uma de suas desvantagens é seu processo lento, por se tratar de algo mais complexo que os processos químicos. Isso ocorre, pois, a atividade de micro-organismos depende de muitos fatores ambientais como temperatura, pH, concentração e difusão de nutrientes e metabólicos. (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

Outra desvantagem é que a MICP pode não ser um produto bom por completo, devido ao amônio formado pela hidrólise da ureia em altas concentrações pode ser tóxico e prejudicial à saúde humana e micro-organismos do solo. Este composto quando presente em dentro de materiais de construção pode ser transformado ácido nítrico se nutrido por bactérias. Que por sua vez pode reagir com a calcita, formando nitrato de cálcio, que por ser altamente solúvel pode contribuir a biodeterioração dos materiais de construção (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

A parte econômica deve ser superada, como uso de nutrientes de laboratório nas aplicações de campo, tentando encontrar uma forma alternativa e mais barata de nutrientes para a MICP. Se comparada a métodos tradicionais a produção em escala comercial de grandes volumes de culturas e reagentes torna o este processo de precipitação economicamente desafiador. Desta forma, são necessários estudos adicionais para melhoria da tecnologia, redução de custos e subprodutos indesejáveis para que seja permitido seu uso em escala comercial (VIEIRA DOS REIS, L. 2017). Segundo uma pesquisa feita pelo jornal The Guardian, enquanto o concreto tradicional tem um custo US\$ 80 (R\$ 260), o bioconcreto custaria US\$ 110 (R\$ 360), um aumento de quase 40% e com isso implicaria muito no mercado devido seu valor (JONKERS, H.M. 2015).

METODOLOGIA

Tipos de bactérias usadas para o bioconcreto

As bactérias que possuem a capacidade de fazer a precipitação de carbonato de cálcio podem ser usadas no bioconcreto. De acordo com o Civil Engg. Saminar (2016). As bactérias citadas podem ser introduzidas no concreto: *Bacillus pseudofirmus*, *Bacillus cohnii*, *Escherichia coli*, *Bacillus pasteurii*, *Bacillus balodurans*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus sphaericus*.

Preparação do bioconcreto

O bioconcreto pode ser preparado de duas maneiras, de acordo com o Civil Engg. Saminar (2016). Primeiro é o método de aplicação direta, ou seja, a solução bacteriana é misturada junto com o lactato de cálcio e adicionada a água junto ao concreto, quando há a fissura no concreto as bactérias ficam expostas as intemperes, e com isso elas saem do seu estado vegetativo e começam a se alimentar do lactato de cálcio ali presente.

O segundo método é o encapsulamento das bactérias junto ao lactato de cálcio em pastilhas geralmente de argilas expandida tratadas (Figura 6), e adicionadas juntas a mistura do concreto. Quando há fissura no concreto, a estrutura dos grânulos de argila é quebrada, assim dando o início do tratamento de reparação.

E verificou também que este método usado em tem esporos das bactérias introduzidas junto com o lactato de cálcio em argila expandida, constatou que houve uma prolongação na vida útil das bactérias, observou que não teve perda de viabilidades ao longo do estado observada.

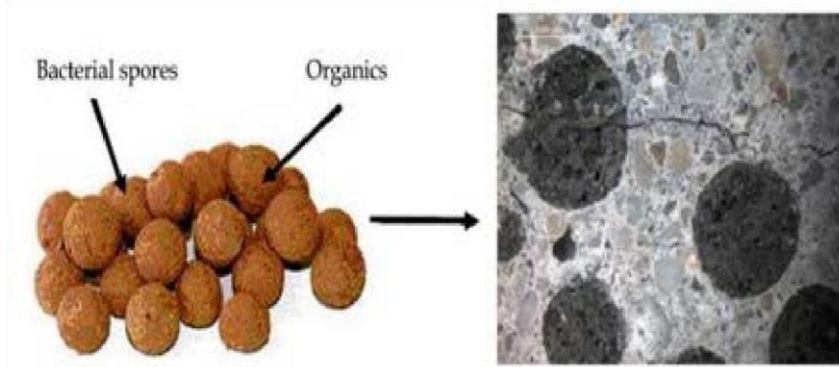


Figura 6 - Argila expandida (esquerda) junto com os esporos bacterianos e lactado de cálcio, e a introdução delas no concreto (direita).

Fonte: (JONKERS, H.M. 2015).

Este método por encapsulamento é o mais usado que a de aplicação direta, porém mais cara também, inclusive é o método que Henk Jonkers, o desenvolvedor desta técnica fez suas amostras. De acordo com o Civil Engg. Saminar (2016) as bactérias *Bacillus* são inofensivas para a saúde humana, portanto podendo ser usada de uma forma eficaz e não causas algum tipo de problemas de saúde.

Usando o corpo de prova apresentado pelo Civil Engg. Saminar (2016). Que foi usado um molde cubico de 150mm x 150mm x 150mm. Na preparação da argamassa de bioconcreto fez se a peneiração dos agregados fino e grosseiros, usando uma peneira de SI de 20mm de tamanhos retidos foram 4,75 mm. Na preparação foram usados os agregados de areia fino mais o cimento e misturado manualmente até que a mistura fique uniforme. Logo depois os agregados grossos que foram retidos são adicionados a mistura feita acima e misturada novamente. O projeto realizado por Sunil Pratap Reddy. S et al. (2010), *foi bem similar, foram usados cubos de moldes de 100 mm x 100 mm x 100 mm e foram moldados e depois compactados em uma máquina de vibração*. E na preparação do concreto foi usada uma quantidade calculada de solução bacteriana de *Bacillus Subtillis* que foi introduzida a esta mistura, no projeto apresentado por Sunil Pratap Reddy. S et al. (2010). A solução bacteriana era uma concentração de 10^5 células/mL, o lactato de cálcio e água. E o concreto é misturado até ter uma mistura uniforme.

O concreto já misturado é adicionado aos moldes cúbicos apresentado pelo Civil Engg. Saminar (2016). Depois de 7 dias as amostras foram testadas num período de 7 a 28 dias numa máquina de compressão.

Sendo feito o teste de compressão nas amostras, fissuras apareceram. No teste realizado pelo cientista Jonkers, H.M. (2015), de 12-14 fissuras foram apresentadas que podem variar de 0,05 mm a 1 mm de largura dependendo das condições.

O procedimento de análise do bioconcreto feito pelo Jonkers, H.M. (2015). Fez dois ensaios com as fissuras após o teste de compressão (um é de controle e o outro com as bactérias), com grande número de rachaduras individuais com diferentes larguras, foram imersos horizontalmente em água da torneira (coluna de água de 3,5 cm cobrindo os ensaios) em uma balde de plástico que foi mantida aberta à atmosfera durante todo o período de incubação para permitir a livre difusão de oxigênio e dióxido de carbono sobre a interface água-ar. Os espécimes foram removidos da água semanalmente para inspeção estereomicroscópica e imagens fotográficas para quantificação da cicatrização do concreto como tempo. Cinco fissuras, com um comprimento total de 53 mm, foram monitoradas em ambas amostras. Dependendo da largura da fissura, ela pode ser preenchida após 28 dias, dependendo da bactéria utilizada no experimento e também dependendo das condições do ambiente.

RESULTADOS

O resultado apresentado no experimento feito pelo Jonkers, H.M. (2015), foi que após 100 dias de observações concluiu que realmente os microorganismos fazem o seu papel no processo de precipitação de carbonato de cálcio (Figura 7), e que em comparação com a amostra de controle, tem uma diferença no perfil do concreto com o carbonato de cálcio preenchendo as fissuras. E pode-se observar que esporos bacterianos que foram postos nas argilas expandida fizeram a precipitação de carbonato de cálcio (Figura 8).

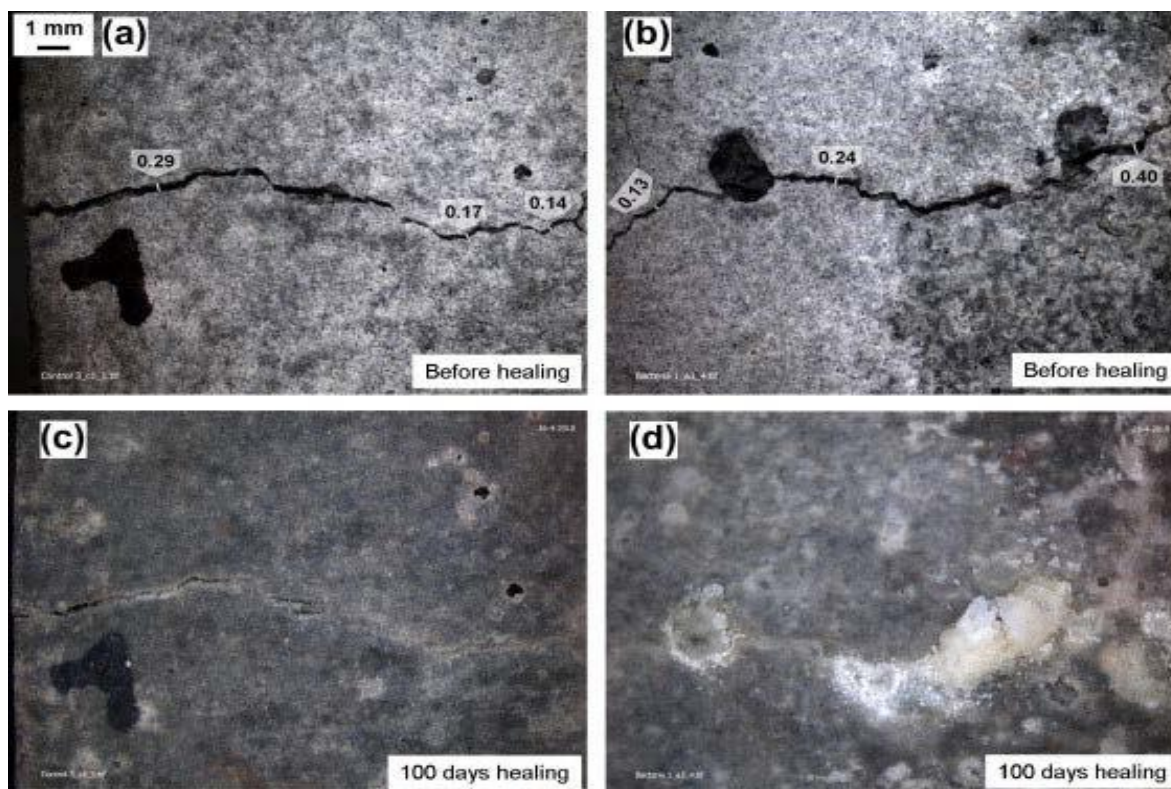


Figura 7 - Observação estereomicroscópica das amostras feita por Jonkers, H.M.: direta a) e c) rachaduras de amostras de controle e a esquerda b) e d) com as bactérias.

Fonte: ScienceDirect (2016).

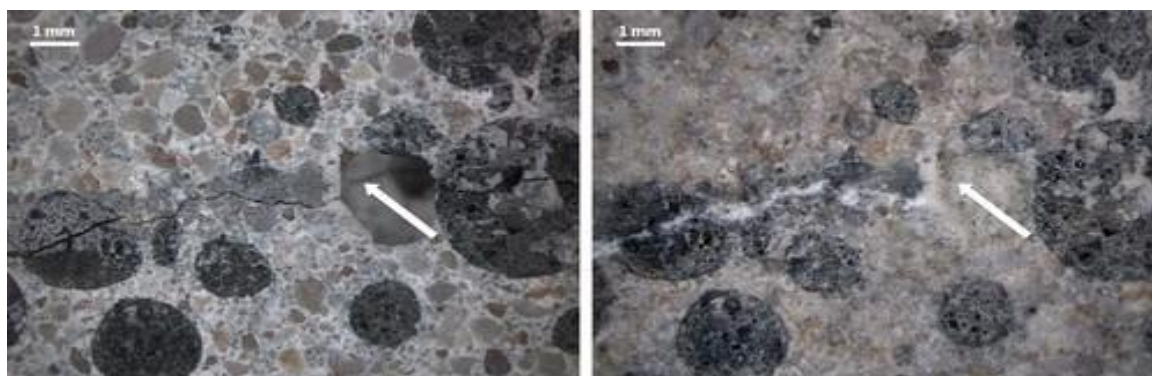


Figura 8 - Esporos bacterianos dormentes contidos em grânulos de argila (círculos preto e cinza, à esquerda) germinam quando as rachaduras os expõem à umidade. Os micróbios alimentam o lactato de cálcio para formar calcário, selando as rachaduras (direita).

Fonte: ACS central science (2015).

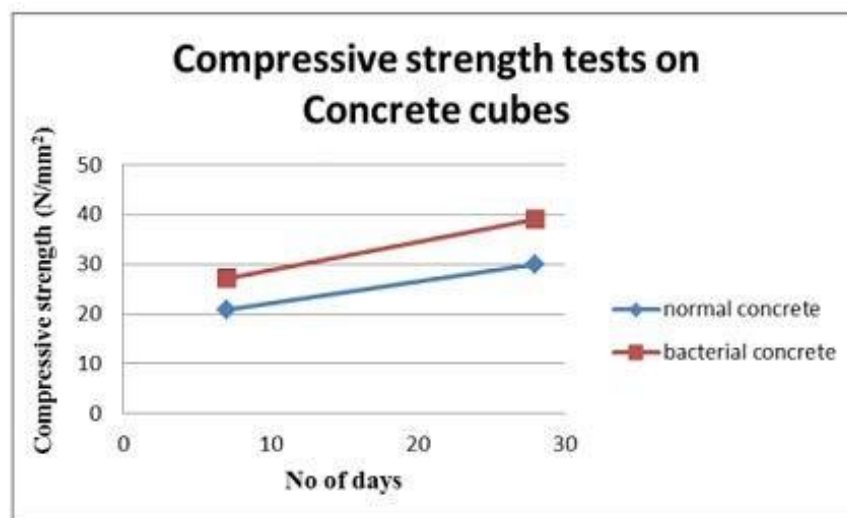
Resultado dos testes de compressão

O resultado do teste de compressão e flexão apresentado pelo Civil Engg. Saminar (2016). Nos revelou que, os ensaios introduzidos com bactéria teve um aumento na sua resistência em relação ao ensaio de controle (sem as bactérias).

Tabela 1. Resultado da compressão de 7 a 28 dias.

Ensaio	Dias	Concreto normal (N/mm ²)	Concreto com a bactéria (N/mm ²)
1	7	20,84	27,09
2	28	29,99	38,98

Fonte: Civil Engg. Saminar (2016).

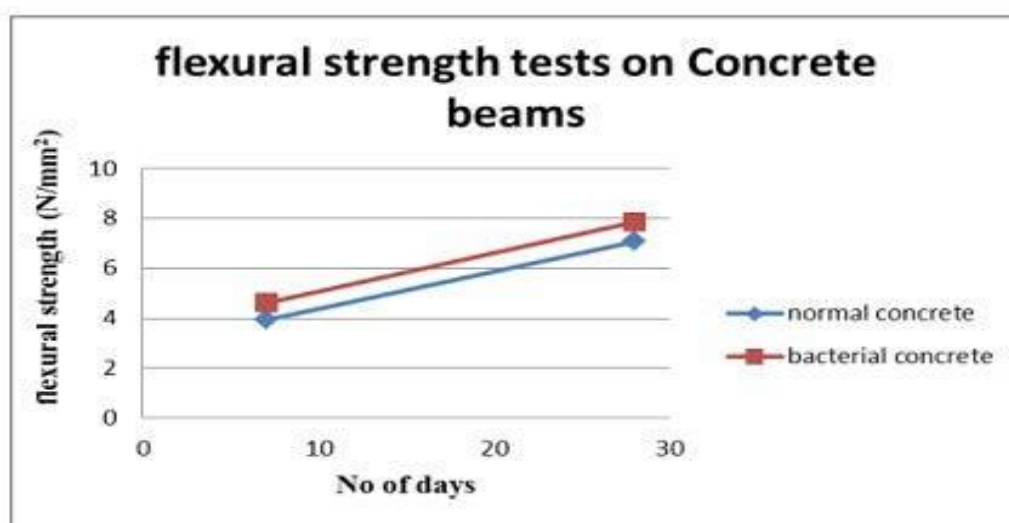
**Figura 9** - Resistência a compressão do concreto normal e concreto com a bactéria.

Fonte: Civil Engg. Saminar (2016).

Tabela 2. Resultado da resistência a flexão por 7 e 28 dias.

Ensaio	Dias	Concreto normal (N/mm ²)	Concreto com a bactéria (N/mm ²)
1	7	3,92	4,6
2	28	7,07	7,85

Fonte: Civil Engg. Saminar (2016).

**Figura 10** - Resistência a flexão do concreto normal e concreto com a bactéria.

Fonte: Civil Engg. Saminar (2016).

Os testes de compressão realizados por Sunil Pratap Reddy. S et al. (2010). Foram feitas em 7, 14, 28, 60, 90, 180, 270 e 360 dias usando bactéria *Bacillus Subtilis*, e foi usada uma máquina de compressão de capacidade de 1000 KN pelo IS 516:1959.

Tabela 3. Resultado da compressão com a bactéria *Bacillus Subtilis*.

Idade em dias	Concreto convencional, (N/mm ²)	Concreto com a bactéria, (N/mm ²)
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

Fonte: (SUNIL PRATAP REDDY. S. et al. 2010).

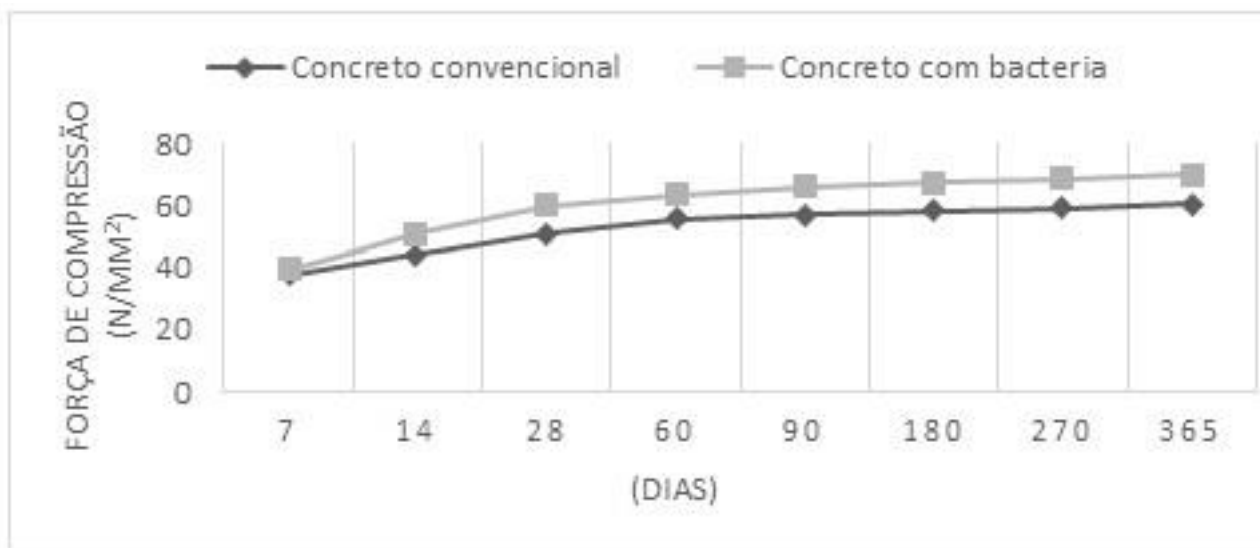


Figura 11 - Compressão com a bactéria *Bacillus subtilis* realizado pelo Sunil Pratap Reddy. S et al. (2010).

Fonte: (SUNIL PRATAP REDDY. S. et al. 2010).

O no teste de 356 dias percebe um ganho na resistência de quase 10%, em comparação com o teste feito no dia 7 que era de quase 2%. A resistência a compressão do concreto se dá pois os esporos que fica no concreto é preenchido pelo carbonato de cálcio precipitado pelas bactérias

e nisso preenchendo estes espaços parcialmente, dando esta resistência a mais (SUNIL PRATAP REDDY. S. et al. 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre o bioconcreto procurou entender como funciona o seu processo de liberação do carbonato de cálcio e a regeneração e como é feito seu experimento e quantificação na análise após compressão do ensaio, verificando assim sua cicatrização na fissura ao passar dos dias. E isso revelou que a cicatrização estava limitada às larguras de fissuras até 0,18 mm. Isso está de acordo com os dados relatados. A largura máxima de fissura que pode sofrer cicatrização em vários estudos relatados, estimados entre 0,1 e 0,3 mm, dependendo das condições de exposição, comprovando que de fato este experimento com o uso de bactérias que tem a capacidade de precipitação, e fez o seu propósito no experimento, e a vida útil do concreto sendo prolongada e diminuindo gastos com manutenções (JONKERS, H.M. 2015).

Além disso verificou o acréscimo na capacidade a compressão e flexão do concreto devido que o espaço vazio no concreto é preenchido pelo carbonato de cálcio, dando-o mais resistência. Embora não tenham sido realizadas medidas de permeabilidade direta nos ensaios analisado neste estudo, o monitoramento de cicatrização da fissura ao longo do tempo dá uma boa indicação sobre a melhoria da permeabilidade do concreto após o dano (JONKERS, H.M. 2015).

Os resultados apresentados neste estudo realizado pelo artigo do Civil Engg. Saminar, mostram que o bioconcreto de fato comprovou sua eficiência com base no projeto realizado e apresentado pelo inventor da tecnologia, o Dr. Hank Jonkers. Aplicado com sucesso para promover e melhorar a capacidade de auto-cura do concreto.

Além da capacidade microbiológica de cura de concreto é presumivelmente devido à formação combinada direta e indireta de carbonato de cálcio: que a precipitação direta de CaCO_3 através da conversão metabólica de lactato de cálcio que a fonte de alimento presente junto ao meio, e a formação indireta devido à reação de produção metabólica moléculas de CO_2 com minerais de Ca(OH)_2 presentes na matriz de concreto, levando a uma precipitação adicional de CaCO_3 .

Neste estudo, além da capacidade de autoregeneração do concreto à base de bactéria foi quantificada, várias outras características foram analisadas, como a durabilidade de longo prazo (anos) e a eficiência de custo deste novo tipo de concreto, precisam ser resolvidas antes da aplicação em larga escala tem que ser considerada. As vantagens potenciais deste do bioconcreto são principalmente em redução de custos de manutenção e reparação e extensão da vida útil de construções de concreto e ter ser um material sustentável.

REFERENCIAS

BACTERIAL CONCRETE. [S.l.]: Civ. Eng. Saminar 2016 [Acesso em: 2017 out 22]; Disponível em: <<http://civilenggseminar.blogspot.com.br/2016/06/bacterial-concrete.html>>.

CARLINI, C. R. **Ureases**: aspectos estruturais. Laneurotox [internet] [Acesso em: 2017 ago 25] Disponível em: <<http://laneurotox.net.br/publicacoes-selecionadas>>.

DE PAULA, Silva Maria. **Uma abordagem de parâmetros da biomineralização em um sistema constituído por carbonato de cálcio** . 2006. 182 p. tese (Doutorado em Física)- Instituto de física, USP, [S.l.], 2006.

EFFTING, Carmeane et al. **Efeitos da Temperatura Sobre o Concreto** . Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/355067447/Efeitos-da-Temperatura-Sobre-o-Concreto-FINAL-pdf>>. Acesso em: 06 set. 2017.

FERNANDES, Viviane Kettermann ; MARTENDAL, Caroline Pereira. **O que é biomineralização?**. Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/2016/06/03/oque-e-a-biomineralizacao/>>. Acesso em: 03 set. 2017.

GONZALES , Yamile Valencia. **INFLUÊNCIA DA BIOMINERALIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICO - MECÂNICAS DE UM PERFIL DE SOLO TROPICAL AFETADO POR PROCESSOS EROSIVOS** . 2009. 208 p. TESE (TESE DE DOUTORADO EM GEOTECNIA)- FACULDADE DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA , [S.l.], 2009.

JONKERS, Henk Marius. **Bacteria-based self-healing concrete**. Tudelft [internet]. 2011 [Acesso em: 2017 out 01]; 56 (1/2): 12. Disponível em: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:8326f8b3-a290-4bc5-941d-c2577740fb96?collection=research>

JONKERS, Henk Marius; SCHLANGEN, Eric. **Self-healing of cracked concrete: A bacterial approach**. IA-FraMCoS [internet]. [Acesso em: 2017 out 04]; Disponível em: <http://framcos.org/FraMCoS-6.php#gsc.tab=0>

MORTENSEN BM, HABER MJ, DEJONG JT, CASLAKE LF, NELSON DC. **Effects of environmental factors on microbial induced calcium carbonate precipitation**. On. library [internet]. 2011 [acesso em 2017 out 5]; 338-349. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2672.2011.05065.x/full>

SANTOS, Altair. **Bactéria pode dar “imortalidade” ao concreto** . Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/bacteria-pode-dar-imortalidade-ao-concreto/>>. Acesso em: 21 jul. 2017.

SOARES CARNEIRO, Guilherme Victor Humberto; DOS SANTOS GIL, Leonardo Koziel; CAMPOS NETO, Manoel Pires. **Calor de Hidratação no Concreto** . 2011. 67 p. Trabalho de conclusão de curso (GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL)- ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL, UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, [S.I.], 2011.

SUNIL PRATAP REDDY S; SESHAGIRI RAOB M.V; APARNAC P; SASIKALAC Ch.

PERFORMANCE OF STANDARD GRADE BACTERIAL (BACILLUS SUBTILIS)

CONCRETE. Researchgate [internet]. 2010 [acesso em 2017 out 30]; 11(1): 43-55. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267799642_Performance_of_standard_grade_bacteria_Bacillus_Subtilis_concrete

THE GUARDIAN (2015): **The self-healing concrete that can fix its own cracks**. United Kingdom, UK: Rosie Spinks.

VIEIRA DOS REIS, Luann. **BIOTECNOLOGIA MICROBIANA DA CONSTRUÇÃO: POTENCIAL DE BIOMINERALIZAÇÃO DE BACTÉRIAS UREOLÍTIAS 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.I.], 2017.

Recebido em: 25/11/2017
Aceito em: 12/12/2017