

**FUNDAÇÃO CARMELITANA MÁRIO PALMÉRIO
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ALINE MARQUES DA SILVA

**Avaliação da viabilidade técnica e econômica do uso do
bioconcreto em substituição ao concreto comum**

**MONTE CARMELO - MG
DEZEMBRO / 2018**

ALINE MARQUES DA SILVA

**Avaliação da viabilidade técnica e econômica do uso do
bioconcreto em substituição ao concreto comum**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil, da Faculdade de Ciências Humanas
e Sociais da Fundação Carmelitana Mário
Palmério – FUCAMP, para obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Esp. Juliete Ribeiro
da Silva

**MONTE CARMELO - MG
DEZEMBRO / 2018**

Dedico este trabalho aos meus pais,
que me incentivaram e sempre lutaram para me dar
uma educação de qualidade e assim, dando todo suporte necessário.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a vida, e por ter guiado todos os meus caminhos nessa jornada, me dando força e sabedoria para saber lidar com os obstáculos do dia-a-dia.

Aos meus pais, Valmir Sebastião e Leda Maria, por sempre estarem presentes, incentivando meus estudos. Obrigado por todo amor incondicional e pela confiança.

Agradeço à Fundação Carmelitana Mário Palmério – FUCAMP, por ter me proporcionado tamanho conhecimento e amadurecimento pessoal.

Aos professores que tive ao longo desses cinco anos e que conseguiram passar seu conhecimento para nós. Em especial aos meus dois orientadores, Hélio Martim e Juliete Ribeiro da Silva, que com muita paciência e dedicação me instruiu para a realização desse trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso, com quem dividi momentos de alegria e tristeza.

E por fim, gratidão a vida por ter chegado onde cheguei e ter encontrado tantas pessoas maravilhosas.

Deixo aqui o meu muito obrigado a todos que esteve comigo nessa caminhada.

RESUMO

Na área da construção civil, de modo geral, o concreto é considerado como produto básico da indústria e consiste basicamente de uma mistura de agregados (gráúdo e miúdo), cimento e água. Existem alguns concretos especiais atuais são formados por mais do que essa mistura, pois frequentemente possuem materiais classificados como aditivos que podem ser químicos ou minerais que tem capacidade de melhorar algumas propriedades e características e proporcionar vantagens como por exemplo, maior resistência e durabilidade, ou até mesmo corrigir algumas deficiências dos cimentos existentes. Nesse sentido, o presente estudo foi realizado com intuito de avaliar a utilização do bioconcreto em substituição ao concreto comum no que abrange os aspectos técnicos e econômicos envolvidos. O objetivo principal foi realizar um estudo teórico da utilização do bioconcreto em comparação com o concreto comum. O bioconcreto, conhecido também como “concreto auto curável” consiste na mistura do concreto com bactérias produtoras de calcário. Quando o concreto é fissurado as bactérias produzem calcário e reestruturam a falha formada. Para manter as bactérias dormentes até que ocorra a patologia, as mesmas são encapsuladas em partículas pequenas compostas de argila expansível e lactato de cálcio, assim quando as fissuras ocorrem, as cápsulas são degradadas e as bactérias entram em contato com a água e começam a se alimentar do cálcio que reage com o carbono e produz o calcário, que por sua vez preenchem as fissuras existentes. O bioconcreto se apresenta como uma nova alternativa na área da construção civil. O presente estudo possibilita entender como funciona o seu processo de liberação do carbonato de cálcio e a regeneração. Também é possível acompanhar como é feito seu experimento e quantificação na análise após compressão do ensaio, verificando assim seu ganho de resistência com passar dos dias.

Palavras – Chave: Bioconcreto; Agregados; Resistência

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
2.1 <i>Objetivo geral</i>	9
2.2 Objetivos específicos	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 <i>Concreto comum</i>	10
3.2 <i>Bioconcreto</i>	11
4 METODOLOGIA	13
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
6 CONCLUSÃO	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1 INTRODUÇÃO

O histórico da construção civil mostra que esta existiu para atender as necessidades básicas e imediatas do homem sem preocupação com a técnica aprimorada. No entanto, sendo o homem um ser diferencialmente qualificado dos demais seres vivos por inúmeras características, esse é capaz de incluir o dinamismo de produzir e transformar continuamente suas técnicas através de aperfeiçoamento e estudo contínuo dos resultados. A constituição das cidades, por exemplo, exigiu qualificação e técnicas mais apropriadas e vantajosas para se construir edifícios cada vez mais sustentáveis e, desse modo, surgem as edificações concebidas com responsabilidade social (CORRÊA, 2009).

Na construção civil, de modo geral, o concreto é considerado como produto básico da indústria e consiste basicamente de uma mistura de agregados (gráudo e miúdo), cimento e água.

No entanto, alguns concretos especiais atuais são formados por mais do que essa mistura, pois frequentemente possuem materiais classificados como aditivos que podem ser químicos ou minerais, que tem capacidade de melhorar algumas propriedades e características e proporcionar vantagens como por exemplo, maior resistência e durabilidade, ou até mesmo corrigir algumas deficiências dos cimentos existentes (CASTRO & PANDOLFELLI, 2009).

A incorporação de práticas de sustentabilidade na construção civil e o aumento de ocorrências patológicas nos concretos, desencadearam um crescimento significativo de pesquisas que buscam minimizar as limitações do concreto de maneira sustentável.

Pesquisas tem sido realizadas no sentido de desenvolver novidades em concreto de modo que esses defeitos sejam minimizados. A produção de um concreto pouco peculiar, misturado com bactérias que quando se alimentam de lactato de cálcio, fazem a liberação de CaCO_3 (carbonato de cálcio) no seu processo, incluindo ao concreto a capacidade de restaurar fissuras (SANTOS, 2013).

Nos últimos anos tem crescido o numero de pesquisas relacionadas ao concreto. E cada vez mais têm-se buscado materiais com desempenhos superiores em termos de comportamento mecânico e durabilidade (CASTRO & PANDOLFELLI,

2009). Nesse sentido, o presente estudo foi realizado com intuito de avaliar a utilização do bioconcreto em substituição ao concreto comum no que abrange os aspectos técnicos e econômicos envolvidos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar estudo teórico da utilização do bioconcreto em comparação com o concreto comum.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar comparações relativas à produção, desempenho estrutural e custos envolvidos com a utilização de bioconcreto.
- Realizar análise de viabilidade técnica e econômica na substituição do concreto comum pelo bioconcreto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Concreto comum

De forma simplificada, segundo Pinheiro *et al.*, (2007) o concreto é composto por agregados, aglomerantes e água. E cada um desses componentes deve ser adicionado nas devidas proporções, pois a quantidade de cada componente modificará as características finais do concreto.

Agregados são partículas minerais que segundo Pinheiro *et al.*, (2007) quando misturadas à massa do cimento, aumentam o volume da mesma reduzindo assim o seu custo, uma vez que geralmente estes materiais são menos onerosos. Os agregados podem ser areia, pedras ou brita. Já os aglomerantes foram definidos como os componentes que unem os outros materiais quando adicionados à massa, geralmente é usado o cimento. E a água que é usada para propiciar a mistura dos outros componentes além de participar de reações químicas juntamente com o cimento, o que ocasiona o endurecimento do concreto.

As proporções destes componentes adicionadas à massa, o modo de preparo desta, a qualidade dos componentes adicionados e os fatores externos (temperatura, produtos químicos, grandes tensões, dentre outros), podem favorecer a formação de patologias no concreto.

A fissuração do concreto é uma das patologias mais frequentes na construção civil. Esse tipo de dano, pode ser identificado por uma abertura sobre a superfície do concreto e ele torna uma porta de entrada para agentes agressivos tanto químicos quanto físicos (GONÇALVES, 2015; CÁNOVAS,1988; TRINDADE, 2015). Propiciando o surgimento de patologias como: corrosão das armaduras, a desagregação do concreto e seu desgaste (MARCELLI, 2007; TRINDADE, 2015). O tipo de condição a que o concreto for submetido definirá qual tipo de patologia este desenvolverá, seja esta condição intrínseca ou extrínseca a ele.

Assim, torna-se difícil a prevenção do aparecimento destes danos, uma vez que existem vários tipos de patologias e sua formação não depende apenas de fatores internos do concreto, depende também de fatores externos, que são proporcionados pelo ambiente.

Desta forma, é necessário a busca por alternativas de remediação destas patologias de forma eficiente e com baixo custo, uma vez que reparos em concreto demandam tempo, mão-de-obra e possuem uma boa aderência ao concreto original, ocasionando assim muitos gastos com manutenção. Neste contexto, uma alternativa é o uso do bioconcreto em substituição ao uso do concreto comum.

3.2 Bioconcreto

O bioconcreto, conhecido também como “concreto auto curável” consiste na mistura do concreto com bactérias produtoras de calcário. Quando o concreto é fissurado as bactérias produzem calcário e reestruturam a falha formada. Para manter as bactérias dormentes até que ocorra a patologia, as mesmas são encapsuladas em partículas pequenas compostas de argila expansível e lactato de cálcio. Assim, quando as fissuras ocorrem, as cápsulas são degradadas e as bactérias entram em contato com a água e começam a se alimentar do cálcio que reage com o carbono e produz o calcário, que por sua vez preenchem as fissuras existentes (OLIVEIRA, 2015; TAKAGI, 2013).

O uso do bioconcreto tem como principal benefício a redução de custos com recuperação do material, pois quando ocorre a fissuração o concreto, as bactérias realizam a MICP (Precipitação de carbonato induzida microbiologicamente, micro-organismo), e fecham as lacunas provocadas pelos danos. Outra vantagem que pode ser citada é o aumento da vida útil do concreto.

Silva e Passarini (2017) avaliaram a capacidade de auto regeneração, a durabilidade e a eficiência do bioconcreto, e concluíram que o uso do bioconcreto reduz custos de manutenção e reparos e estende a vida útil de construções além de ser um material sustentável. Segundo Mendes et al., (2016) a utilização de bactérias dormentes na mistura do concreto, além de corrigir as fissuras, aumentar o tempo de vida das estruturas e garantir condições seguras de uso desta, também diminui a necessidade de realização de manutenções e permite que estas sejam feitas em locais de difícil acesso devido à autonomia do concreto.

No Brasil o bioconcreto é uma nova tecnologia e sua viabilidade ainda deve ser estudada, pois alguns autores relatam alto custo em relação ao concreto tradicional. No entanto devem ser considerados também os custos com

manutenções futuras, frutos de reparos de possíveis patologias que podem surgir em estruturas concretadas.

As bactérias presentes no bioconcreto, ao entrarem em contato com a água (o que ocorre quando há alguma patologia no concreto) elevam a atividade da enzima urease ao se alimentar com o cálcio, e este reage com o carbono formando o CaCO_3 (CARMONA, 2016; REIS, 2017).

Este produto formado (CaCO_3) é resistente e fica alojado entre os espaços vazios do concreto formados pelas patologias. Assim, com o surgimento das fissuras as bactérias entram em contato com a água presente no meio externo e produzem CaCO_3 que faz “automaticamente” a manutenção desta patologia.

Na construção civil o uso da MICP é empregado por duas formas: como material de cimentação ou uma camada superficial para proteção. No primeiro caso é conhecido como biocimentação (bioconcreto) e no segundo por 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 (REIS, 2017).

4 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada através de um estudo teórico acerca da utilização do bioconcreto em comparação com a utilização do concreto comum. Para tal, serão usadas publicações com pesquisas realizadas a partir do ano de 2013.

As características avaliadas neste estudo serão: o custo de produção, facilidade de preparo e aspectos de produção, gastos com mão de obra e durabilidade do concreto comum em comparação ao bioconcreto.

O desempenho estrutural e a durabilidade do bioconcreto será comparado ao do concreto comum através de pesquisas sobre a resistência à formação de patologias de ambos.

Os custos da utilização do bioconcreto serão avaliados através de pesquisas sobre os custos de produção, mão de obra para instalação, e manutenção de ambos.

Pretende-se classificar as vantagens e as desvantagens de cada tipo de concreto e ao final das pesquisas, será feita uma análise acerca da utilização do bioconcreto, levando-se em consideração aspectos econômicos e de trabalhabilidade do material.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos estudos realizados por autores citados nesse trabalho focaram na avaliação da resistência entre o bioconcreto e o concreto convencional produzido foram realizadas por análise morfológica e elementar e suas consequências. Foram avaliadas pela resistência a flexão e compressão. Todas as técnicas tiveram adaptações que permitiram realizar experimentos nas condições fornecidas pelo Laboratório de Microbiologia do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Através dos experimentos dos autores citados obteve -se os resultados que realmente os microrganismos fazem um bom trabalho no processo de precipitação de carbonato de cálcio, e que em comparação com as amostras de concreto comum, apresenta uma diferença no perfil do concreto com o carbonato de cálcio preenchendo as fissuras.

Os testes de compressão e flexão relatados em estudos revelaram que os ensaios em bioconcreto onde foram introduzidas bactérias teve um aumento na sua resistência em relação ao ensaio de controle (sem as bactérias). A Tabela 01, apresenta os resultados obtidos por Marques (2018) através do ensaio de resistência à compressão em amostras de concreto simples e bioconcreto em 7 e 28 dias de idade.

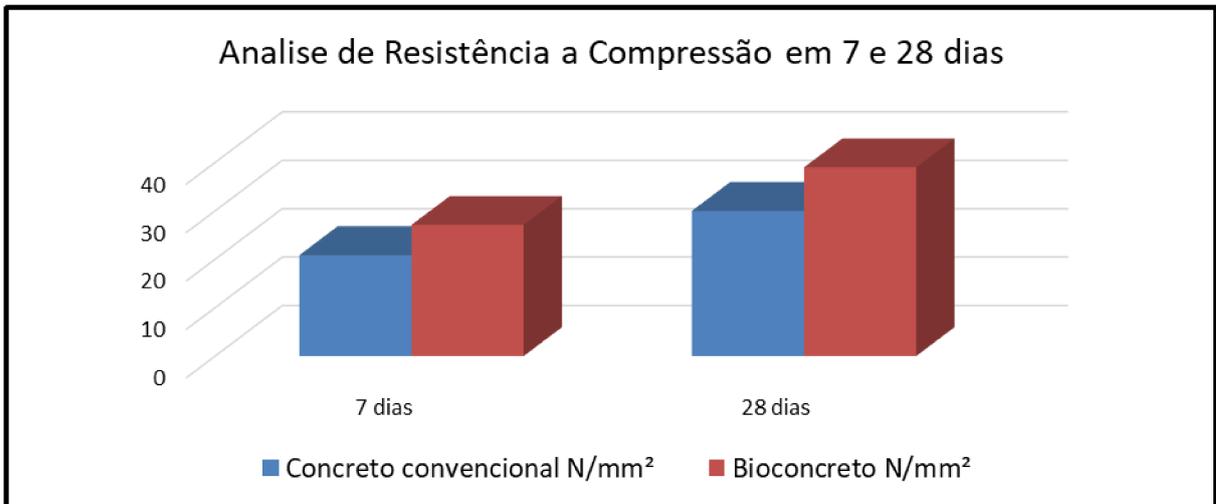
Tabela 01 - Relação de resultados de ensaio de Resistência a Compressão do concreto em 7 e 28 dias.

Ensaio	Dias	Concreto convencional N/mm²(Mpa)	Bioconcreto N/mm²(Mpa)
1	7	20,84	27,09
2	28	29,99	38,98

Fonte: Adaptado de Marques (2018).

Ao analisar a Tabela 01, é possível observar que quando comparar os valores adquiridos nos ensaios observa-se que o bioconcreto adquiriu maior resistência a compressão que o concreto convencional. Nesse ensaio fica comprovado a eficiência das bactérias no ganho de resistência do concreto a compressão.

Figura 01 - Relação de resultados de ensaio de Resistência a Compressão do concreto em 7 e 28 dias.



Fonte: Adaptado de Marques (2018).

A Figura 01 esquematiza os valores de uma maneira mais simples os dados relacionados na Tabela 01, apresentando a diferença de resistência entre o concreto convencional e o Bioconcreto. Já a Tabela 02, apresenta os resultados de um teste de flexão nos dois tipos de concreto (Bioconcreto e Concreto convencional).

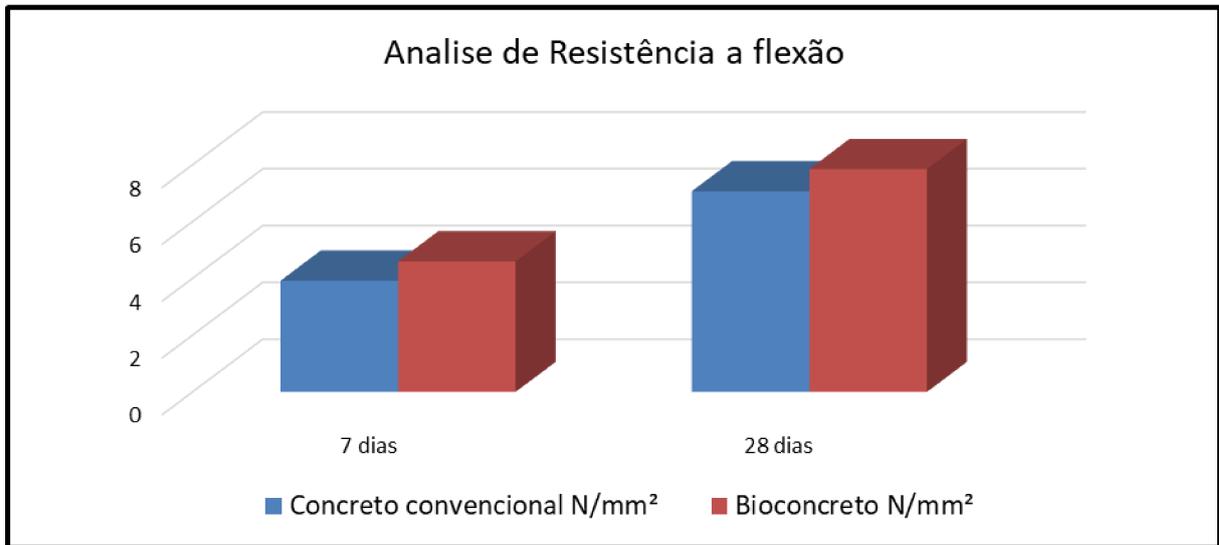
Tabela 02 - Relação de resultados de ensaio de Resistência a flexão do concreto em 7 e 28 dias.

Ensaio	Dias	Concreto convencional N/mm ² (Mpa)	Bioconcreto N/mm ² (Mpa)
1	7	3,92	4,6
2	28	7,07	7,85

Fonte: Silva e Passarini (2018).

Ao analisar a Tabela 02, é possível observar que quando comparamos os valores adquiridos nos ensaios observa-se que o bioconcreto adquiriu do mesmo modo que na compressão maior resistência a flexão que o concreto convencional. Nesse ensaio fica comprovado a eficiência das bactérias no ganho de resistência do concreto a flexão.

Figura 02 - Relação de resultados de ensaio de Resistência a flexão do concreto em 7 e 28 dias.



Fonte: A autora (2018).

A Figura 02 esquematiza os valores de uma maneira mais simples os dados relacionados na Tabela 02, apresentando a diferença de resistência entre o concreto convencional e o Bioconcreto. Já a Tabela 02, apresenta os resultados de um teste de flexão nos dois tipos de concreto (Bioconcreto e Concreto convencional).

Os testes de compressão também realizados foram desenvolvidos em 7, 14, 28, 60, 90, 180, 270 e 360 dias usando bactéria *Bacillus Pseudofirmus*, e foi usada uma máquina de compressão de capacidade de 1000 KN. Estes resultados obtidos nos estudos mostram que o bioconcreto de fato comprovou sua eficiência com base no projeto realizado e apresentado pelo inventor da tecnologia, o Dr. Henk Jonkers.

Segundo Silva e Passarini (2018) quando aplicadas de maneira correta as bactérias ajudam promover melhorias na capacidade de auto-cura do concreto. A capacidade microbiológica de cura de concreto é presumivelmente devido à formação combinada direta e indireta de carbonato de cálcio: que é 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 .

De acordo com Reis (2017) também foram analisadas nos estudos 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 do bioconcreto são principalmente em redução de custos de manutenção e reparação e extensão da vida útil de construções de concreto e ser um material sustentável.

A Tabela 03 apresenta os resultados dos ensaios de resistência a compressão no concreto, durante o período de 365 dias.

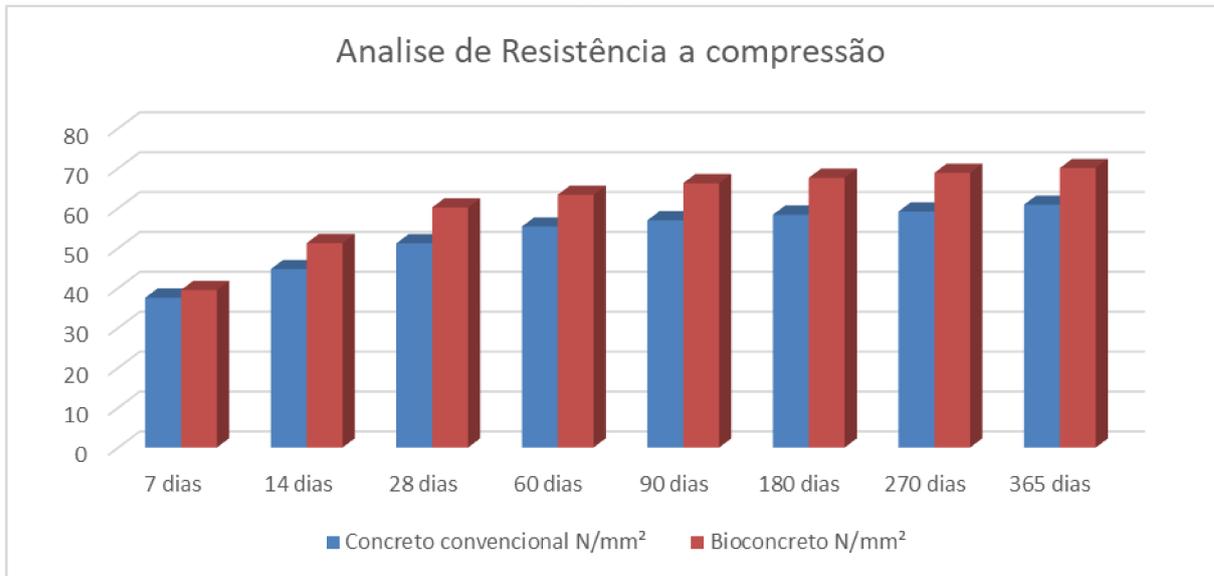
Tabela 03 - Relação de resultados de ensaio de Resistência a compressão do concreto em de 7 a 365 dias.

Dias	Concreto convencional N/mm²(Mpa)	Bioconcreto N/mm²(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

Fonte: Silva e Passarini (2018).

De modo que foi possível notar o aumento de resistência durante o passar do tempo. Também é possível notar que em comparação com o concreto convencional o bioconcreto apresenta uma resistência a compressão maior que a do concreto convencional. A Figura 03, apresenta dados da análise comparativa a resistência a compressão dos concretos.

Figura 03 – Análise de resistência a compressão do concreto convencional e Bioconcreto.



Fonte: Silva e Passarini (2018).

O no teste de 365 dias percebe-se um ganho na resistência de quase 10%, em comparação ao teste realizados aos 7 dias que era de quase 2%. A resistência a compressão do concreto se dá, pois, os poros presentes no concreto são preenchidos por carbonato de cálcio, que é precipitado pelas bactérias, gerando consequentemente maior resistência ao concreto.

O bioconcreto por ser uma tecnologia nova no Brasil e no mundo, esta sendo estudada para se tornar uma tecnologia viável para as construções apesar de evitar reparos futuros ainda é um custo alto a se pagar. De acordo com estudo realizado pelo CEFET-MG (2017) enquanto o concreto tradicional custa US\$80 (R\$260,00), o novo produto custaria US\$110 (R\$360,00), um aumento de quase 40%, assim precisa reduzir seu alto custo de produção para se tornar a tecnologia mais barata á competir com o concreto comum.

6 CONCLUSÃO

O bioconcreto se apresenta como uma nova alternativa na área da construção civil. O presente estudo possibilitou entender como funciona o seu processo de liberação do carbonato de cálcio e a regeneração. Também foi possível acompanhar como é feito seu experimento e quantificação na análise após compressão do ensaio, verificando assim seu ganho de resistência com passar dos dias.

Além disso verificou o acréscimo na resistência à compressão e à flexão do concreto, em consequência do preenchimento dos vazios pelo carbonato de cálcio. Embora não tenham sido realizadas medidas de permeabilidade direta nos ensaios analisado neste estudo, o monitoramento de cicatrização da fissura ao longo do tempo indica significativa melhoria na permeabilidade do concreto após o dano.

A partir dos dados analisados conclui-se que o bioconcreto de fato comprovou sua eficiência. Aplicado com sucesso para promover e melhorar a capacidade de auto-cura do concreto.

Neste estudo, além da capacidade de autoregeneração do concreto, várias outras características foram analisadas, como a durabilidade ao longo dos anos e a eficiência em comparação com o concreto convencional. As vantagens potenciais deste do bioconcreto são principalmente em redução de custos de reparação e extensão da vida útil de construções de concreto e a utilização de material sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. Ed. Pini, 1 ed. 522 p. São Paulo, 1988.
- CARMONA, J. P. S. F. Utilização da biotecnologia para a estabilização de solos: Precipitação de CaCO_3 por via enzimática. **Dissertação de mestrado**. Universidade de Coimbra. 78 p. Coimbra, 2016.
- GONÇALVES, E. A. B. Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações. **Trabalho de conclusão de curso**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 174 p. Rio de Janeiro, 2015.
- JONKERS, H. M. **Bacteria-based self-healing concrete**. Disponível em: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:8326f8b3-a290-4bc5-941d-c2577740fb96?collection=research>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.
- MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007
- MENDES, F. G. B.; RUAS, B. L. A.; SILVA, R. K. R.; MELO, T. M.; ELEUTÉRIO, I. A. R.; COSTA, R. A. L. GOMES. L. S. P. Concreto auto regenerativo: uma revisão bibliográfica sobre suas propriedades e benefícios para as estruturas de concreto. **Anais de eventos**. 10º FEPEG. Montes Claros, 2016.
- OLIVEIRA, T. Y. M. Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações. **Trabalho de conclusão de curso**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 114 p. Rio de Janeiro, 2015.
- PINHEIRO. L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. **Universidade de São Paulo**. 380 p. São Carlos, 2007.
- REIS, L. G. V. Biotecnologia microbiana da construção: potencial de biomineralização de bactérias ureolíticas de solo de cerrado e de rejeitos de construção civil. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal de Goiás. 103 p. Goiânia, 2017.
- SILVA, F. P. C.; PASSARINI, Victor de Carvalho. **BIOCONCRETO: A TECNOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO SUSTENTAVEL**. Complexo Educacional Faculdade Metropolitana Unidas. São Paulo, Vol.5, N.2, JUL-DEZ, 2017 - pág. 41-58.
- TAKAGI, E. M. Concretos autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de alto-forno ativados por catalisador cristalino. **Dissertação de mestrado**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. 130 p. São José dos Campos, 2013.
- TRINDADE, D. S. Patologia em estruturas de concreto armado. **Trabalho de Conclusão de curso**. Universidade Federal de Santa Maria. 88 p. Santa Maria, 2015.

REIS, L. **Biotecnologia microbiana da construção: potencial de biomineralização de bactérias ureolíticas de solo de cerrado e de rejeitos de construção civil**. Dissertação de Mestrado. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS- UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS. 2017. 103 f.

CEFET-MG. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Abril de 2017.