

III-710 – BIOCONCRETO: ANÁLISE SOBRE A FISSURAÇÃO E SUA CAPACIDADE DE AUTO REPARAÇÃO

Rocheli Carnaval Cavalcanti⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina e Doutora pela Universidade Católica Dom Bosco.

Mariel Guerreiro da Fonseca Martins⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Desenvolvimento Local pela Universidade Católica Dom Bosco. MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas.

Willian de Araújo Rosa⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Giancarlo de Luca Paes Trevellin⁽⁴⁾

Acadêmico do curso de engenharia civil na Universidade Católica Dom Bosco, MS.

Gabriel Shinzato Soken⁽⁵⁾

Acadêmico do curso de engenharia civil na Universidade Católica Dom Bosco, MS.

Endereço⁽¹⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS - CEP: 79117-900 Tel: (67) 98416-5002 - e-mail: rf6535@ucdb.br

Endereço⁽²⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS- CEP: 79117-900 Tel: (67) 99980-7307 - e-mail: rf4747@ucdb.br

Endereço⁽³⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS- CEP: 79117-900 Tel: (67) 99983-9884 - e-mail: rf5510@ucdb.br

Endereço⁽⁴⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS- CEP: 79117-900 Tel: (67) 99263-0144 -e-mail: luca.giancarlo@gmail.com

Endereço⁽⁵⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS- CEP: 79117-900 Tel: (67) 99983-9884 - e-mail: gabriel.soken@hotmail.com

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais estudados na construção civil, sendo muito importante por ser derivado dos materiais mais antigos que são as rochas e minérios, sendo uma mistura de agregados que culminam em uma massa homogênea que deve suportar grandes esforços à compressão. Através desses estudos, a tecnologia do concreto se mostra cada vez mais preparada para os desafios estruturais. No entanto, um desses estudos originado na Holanda mostrou-se promissor para resolução do aparecimento de micro fissuras, inserindo a bactéria da família dos bacilos na massa de concreto. Com o intuito da verificação deste procedimento foi realizado um estudo que visou a reprodução deste experimento com materiais encontrados na cidade de Campo Grande, Estado de Mato Grosso do Sul. A pesquisa foi desenvolvida por meio de ensaios experimentais no Laboratório de Materiais e Solos da Universidade Católica Dom Bosco e a bactéria utilizada foi a bacillus subtilis, um probiótico animal próprio para a suinocultura. Foi também analisada a resistência à compressão do concreto com a bactéria e comparada ao concreto com traço tradicional. Portanto, concluiu-se

que a mistura do composto biológico ao concreto induzido a ter fissuras apresentou-se satisfatória, pois as bactérias agiram em meio agressivo.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto. Fissuras. Bactéria Bacillus Subtilis.

INTRODUÇÃO

Este trabalho é um estudo de um material compósito, devido a poucas soluções de resolver uma problemática muito frequente, em estruturas que tem sua face em concreto exposta às intempéries da natureza. A solução que tem o poder de regenerar pequenas fissuras no concreto em questão de semanas, dá-se o nome de Bioconcreto, ou seja, um concreto com procedimento automático de autorregeneração originado na Holanda, através da ativação de bactérias. Devido a processos bioquímicos envolvidos na mistura de concreto, ele é capaz de recuperar fissuras, evitando que elas se tornem trincas e fendas, o que pode levar a estrutura ao colapso.

O interesse pela elaboração desse tipo de concreto ocorreu devido à análise realizada por Jonkers no processo de cicatrização dos ossos humanos fraturados, onde a fratura é regenerada através dos osteoblastos, célula responsável pela formação do tecido ósseo.

Segundo Neville (2013, pg. 251), o maior risco é a presença de tensões de tração induzidas por algumas formas de restrição a esses movimentos, já que o concreto possui uma resistência à tração muito baixa, sendo suscetível à fissuração. As fissuras devem ser evitadas ou controladas e minimizadas, pois afetam a durabilidade e a integridade estrutural, além de serem também esteticamente indesejáveis. Neste parágrafo Neville incita fatores em que resultam as fissuras, demonstrando a importância que se deve considerar em tomar medidas para preveni-las.

Nesta pesquisa tem-se o intuito de confeccionar o Bioconcreto, produzindo uma mistura de concreto em estado fresco com a adição da pastilha de argila com a bactéria, seu nutriente e aditivos, sendo então capaz de produzir o calcário em situações de exposição a umidade e os variados efeitos climáticos. Este tema expressa o interesse para uma possível solução nos problemas ocasionados no concreto estrutural, quando este apresentar fissuras no seu revestimento externo. Portanto nesta pesquisa foi averiguado a viabilidade e eficácia deste método.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foi feita uma tentativa de reproduzir o Bioconcreto idealizado pelo pesquisador microbiólogo Hendrick Jonkers. No entanto algumas alterações nos materiais e métodos foram feitas para tornar este experimento possível, tomando como base, uma monografia “Estudo exploratório de concreto com introdução de Bacillus Subtilis, Bacillus Licheniformis, acetato de cálcio e ureia” aprovada pela UFG, no curso de engenharia civil.

PRIMEIRA ETAPA: ESTUDOS EM LABORATÓRIO

Conforme a NBR 7217 este ensaio é realizado para determinar a composição granulométrica do agregado graúdo, bem como conhecer o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado.

A amostra ensaiada consistiu num material disponível no laboratório na quantidade de 1 Kg conforme prescreve a NBR 7217. Reunidos todos os materiais, procede-se à execução do ensaio, montando-se a bateria de peneiras, conforme as peneiras (mm): 25 / 19 / 9,5 / 4,8 / 2,4 / 1,2 / 0,6 / 0,3 / 0,15 / fundo

A amostra foi peneirada através da bateria de peneiras, de maneira enérgica e contínua, permitindo a separação dos diferentes tamanhos de grãos do agregado. Em cada peneira o material retido será separado e pesado, anotando-se o valor na planilha de composição granulométrica. Os grãos de agregado graúdo que porventura ficarem presos nas malhas das peneiras, serão retirados com o uso de aço da escova. Ao final do processo, com todos os valores dos pesos retidos em cada peneira, efetua-se o cálculo da planilha de composição granulométrica, definindo-se os percentuais de material retido e retido acumulado. O percentual retido acumulado em relação a cada peneira da série utilizada fornece os dados para a definição da curva

granulométrica do agregado graúdo em estudo. Também será definido o módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado.

Conforme a NBR 7217 este ensaio é realizado para determinar a composição granulométrica do agregado miúdo, bem como conhecer o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado. A amostra ensaiada consistiu num material disponível no laboratório na quantidade de 0,3 Kg conforme prescreve a NBR 7217. Reunidos todos os materiais, procede-se à execução do ensaio, montando-se a bateria de peneiras, conforme as peneiras (mm): 4,8 / 2,4 / 1,2 / 0,6 / 0,3 / 0,15 / fundo.

A amostra será peneirada através da bateria de peneiras, de maneira enérgica e contínua, permitindo a separação dos diferentes tamanhos de grãos do agregado. Em cada peneira o material retido será separado e pesado, anotando-se o valor na planilha de composição granulométrica. Os grãos de agregado miúdo que porventura ficarem presos nas malhas das peneiras, serão retirados com o uso de aço da escova. Ao final do processo, com todos os valores dos pesos retidos em cada peneira, efetua-se o cálculo da planilha de composição granulométrica, definindo-se os percentuais de material retido e retido acumulado. O percentual retido acumulado em relação a cada peneira da série utilizada fornece os dados para a definição da curva granulométrica do agregado miúdo em estudo. Também será definido o módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado.

Através da NBR 9776, este ensaio teve por objetivo determinar a massa específica de agregados miúdos para concreto pelo frasco de Chapman. A massa específica dos agregados graúdos foi determinada utilizando a proveta. Este método não é normalizado, porém permite a obtenção da massa específica do agregado graúdo com rapidez e com precisão suficiente para a maioria das aplicações práticas.

Por meio da NBR NM 45, o ensaio tem o intuito de definir a massa unitária do agregado no estado compactado.

Com o intuito de realizar estudos de análise sobre os corpos de provas, foi definido o traço tradicional 1:2:3:0,5, visando sua aplicação a estruturas de concreto armado. Foi realizado um estudo sobre as resistências em concreto com o traço tradicional e em concreto com agente biológico. Contudo, para uma pesquisa mais aprofundada, também seguiu-se o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), de maneira a oferecer dados auxiliares. Portanto, foram executados 12 corpos de provas, divididos em: 4 corpos de provas para teste de compressão com o traço de concreto convencional, 4 corpos de provas com o traço de concreto com o agente biológico (bactéria) e os outros 4 corpos de provas restantes com a bactéria para testes de fissuração e potencial regenerativo.

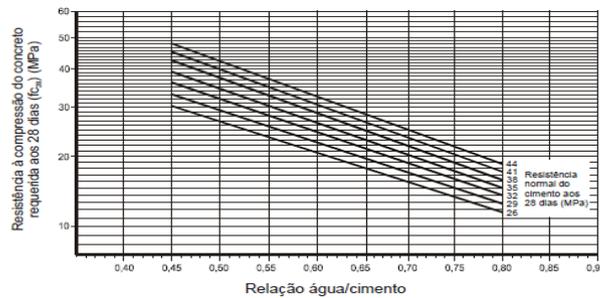
RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Para calcular a resistência aos 28 dias foi tomado como referência a NBR 12655:2006, através da Equação 1 a seguir:

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d \text{ (Equação 1)}$$

O fator água/cimento é um parâmetro que influencia diretamente na qualidade de “pega” da massa, resultando aspectos de trabalhabilidade e durabilidade do concreto. Esta relação ao fator água/cimento foi retirado da curva de Abrams, como está demonstrado na Figura 1.

Figura 1- Relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade (Curva de Abrams)



Fonte: Rodrigues, 1998

Utilizou-se a relação água/cimento o valor de 0,5.

O consumo da água por volume de concreto foi determinado em uma tabela que relaciona a medida de abatimento do tronco do cone com a dimensão máxima característica do agregado graúdo, valor encontrado como na Figura 2

Figura 2-O consumo de água por metro cúbico de concreto em função do diâmetro máximo característico do agregado e do abatimento da mistura

ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (Φ_{max})				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

Fonte: Rodrigues, 1998

Essa medida de consumo é a razão do consumo de água a cada metro cúbico de concreto pela relação água/cimento e pode ser calculada pela Equação 2.

$$C_c = \frac{C_a}{f_{a/c}} \text{ (Equação 2)}$$

O consumo do agregado graúdo por m³ de concreto é calculado de acordo com a Equação 3

$$C_b = V_b \cdot M_u \text{ (Equação 3)}$$

O volume compactado seco do agregado graúdo por m³ de concreto é calculado por meio da tabela abaixo (Figura 3).

Figura 3– Volume compactado seco (Vpc)de agregado graúdo por metro cúbico de concreto

MÓDULO DE FINURA DA AREIA	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (Φ_{max})				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues, 1998

Para estimar o consumo de agregado miúdo, primeiro é necessário o cálculo do seu volume, utiliza-se a Equação 4 para o cálculo.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

O consumo do agregado miúdo é obtido através da Equação 5.

$$C_m = \gamma_m \cdot V_m \quad (\text{Equação 5})$$

Foi adotado o traço volumétrico 1 : 2 : 3 : 0,5; pois é um traço mais usual na prática, se comparado ao traço em massa resultado dos ensaios de caracterização dos materiais adquiridos pelo grupo. Portanto, visto como um experimento poderá ser aplicado a práticas de construção civil, o traço volumétrico é o mais popular para a execução de estruturas. Para dosagem correta, foi utilizada a Fórmula de Molinari (Equação 6).

$$C = \frac{1}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b}{\gamma_b} + \text{fator } a/c} \quad (\text{Equação 6})$$

O cimento utilizado foi o CP 5 – ARI , devido ao prazo curto para a realização do experimento. Foi escolhido este tipo de cimento por alcançar alta resistência em pouco tempo.

Após a separação dos materiais para mistura de concreto foi inserido em sua mistura o composto biológico, antes que a massa secasse no fundo da betoneira.

Para esta composição biológica, foi utilizado como base as quantidades estudadas na monografia de estudo exploratório do concreto com introdução de bacilos, citado anteriormente. Contudo, foi estimado uma quantidade a mais, numa tentativa de aumentar a concentração deste composto no concreto.

Os ingredientes para este composto foram:

a) Probimais R pasta 80g (probiótico animal) (Figura 4), este probiótico tem alta concentração da bactéria bacillus subtilis.

Figura 4 Probiomais R pasta



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

b) Acetato de Cálcio (em pó) 40g: serve como nutriente para as bactérias agirem em ambientes altamente alcalinos (Figura 5).

c) Acetato de Cálcio (em pó) 40g: serve como nutriente para as bactérias agirem em ambientes altamente alcalinos (Figura 5).

Figura 5- Ureia e acetato de cálcio



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

d) Vermiculita 40g: utilizada como agregado leve, auxilia para contenção das propriedades originais dos nutrientes (Figura 6).

Figura 6- Vermiculita



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Para gerar o composto de maneira homogênea e aumentar sua trabalhabilidade, foi inserido 20 ml de água, sendo misturados manualmente para evitar a perda de material. A partir deste composto já misturado, percebeu-se um cheiro característico de terra úmida, que não estava presente na mistura de concreto convencional (Figura 7).

Figura 7- Mistura manual do composto biológico



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Ao finalizar a mistura biológica foi deixado em repouso por 20 minutos, a seguir foi iniciada a batida de massa na betoneira sem a presença do composto bacteriano, pois desta forma retirou-se o concreto convencional, que posteriormente foi destinado a ensaio comparativo.

Foram moldados 4 corpos de provas com o concreto convencional, porém antes foi realizado o slump-test seguindo a NBR NM 67 de 1998, de maneira a buscar o melhor desempenho na relação água/cimento, garantindo ao concreto seu estado de trabalhabilidade.

O resto da massa voltou para a betoneira, batendo-se novamente, na qual foi adicionado o composto bacteriano. Foram moldados 8 corpos de provas a fim de se fazer um comparativo de resistências à compressão e indução de fissuras por compressão.

Os corpos de prova foram induzidos a fissuras a partir da força de compressão da prensa hidráulica, utilizando em torno de 90% da força estimada para o rompimento (Figura 8).

Figura 8- Fissuras no corpo de prova contendo a bactéria



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Na tabela 1 a seguir está demonstrado os resultados obtidos do ensaio de determinação granulométrica do agregado miúdo, expressando em massa e porcentagens as quantidades retidas nas peneiras.

Tabela 1- Granulometria da areia

Granulometria agregado miúdo						
Peneiras abnt(mm)	Massa retida (g)		% Retida individual			%Retida acumulada
	m1	m2	m1	m2	média	
4,80	0,00	0,20	0,00	0,07	0,03	0,03
2,36	0,33	0,57	0,11	0,19	0,15	0,18
1,18	0,29	0,10	0,10	0,03	0,06	0,25
0,60	0,35	0,40	0,12	0,13	0,13	0,37
0,30	64,98	59,28	21,66	19,76	20,71	21,08
0,15	204,29	206,21	68,10	68,74	68,42	89,50
fundo	30,29	33,15	10,10	11,05	10,57	100,07
Módulo de finura						1,11

M. amostra 1 (g)	300,08
M. amostra 2 (g)	300,09

Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Na tabela 2 está demonstrado os resultados obtidos do ensaio de determinação da massa específica do agregado miúdo.

Tabela 2- Massa específica da areia

Massa específica agregado miúdo		
Amostra	1	2
Massa da amostra (g)	500,03	500,04
Leitura frasco chapman (ml)	390,00	390,00
Massa específica (g/cm ³)	2,63	2,63
Massa específica (kg/m ³)	2631,74	2631,79
Média (kg/m ³)	2631,76	

Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Na tabela 3 a seguir está demonstrado os resultados obtidos do ensaio de determinação granulométrica do agregado graúdo, expressando em massa e porcentagens as quantidades retidas nas peneiras.

Tabela 3 - Granulometria da brita zero

Granulometria agregado graúdo						
Peneira (mm)	Massa retida (g)		(% Retida			(% Retida acumulada
	m1	m2	m1	m2	média	
25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,50	812,11	808,08	81,21	80,73	80,97	80,97
4,80	181,35	180,28	18,13	18,01	18,07	99,04
2,40	2,64	8,41	0,26	0,84	0,55	99,59
1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,59
0,60	0,00	0,1	0,00	0,01	0,00	99,60
0,30	0,15	0,00	0,01	0,00	0,01	99,60
0,15	0,27	0,15	0,03	0,01	0,02	99,63
fundo	4,16	3,77	0,42	0,38	0,40	100,02

Dimensão máxima característica (mm)	9,50
Módulo de finura	6,78
M. amostra 1 (g)	1000,01
M. amostra 2 (g)	1001,02

Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Na tabela 4 a seguir está demonstrado os resultados obtidos do ensaio de determinação da massa específica pela proveta, expressão que relaciona a massa conhecida da amostra pela leitura do volume da proveta ao misturar a amostra em água.

Tabela 4- Massa específica da brita zero

Massa específica agregado graúdo		
Amostra	1	2
Massa da amostra(g)	1000,08	1000,10
Massa proveta + água (g)	1488,10	1479,90
Massa proveta + água + amostra (g)	2138,20	2126,90
Massa específica (g/cm ³)	2,86	2,83
Massa específica (kg/m ³)	2857,53	2832,34
Média (kg/m ³)	2844,94	

Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Na tabela 5, está demonstrado os resultados obtidos do ensaio de determinação da massa unitária em estado compactado, expressão que relaciona a massa em estado compactado de maneira padronizada pelo volume do recipiente preenchido.

Tabela 5- Massa unitária da brita zero

Massa unitária do agregado graúdo			
Amostra	1	2	3
Massa do recipiente (kg)	6,60	6,60	6,60
Massa do rec. + amostra (kg)	23,30	23,55	23,75
Massa da amostra (kg)	16,70	16,95	17,15
Volume do recipiente (m ³)	0,01	0,01	0,01
Massa unitária (kg/m ³)	1648,57	1673,25	1692,99
Média (kg/m ³)	1671,60		

Fonte: Trevellin e Soken(2022)

A tabela 6 a seguir demonstra o traço assim como a tabela 7 apresenta o consumo de materiais utilizados.

Tabela 6- Traço de concreto

Traço de Concreto em massa				
Material	cimento	areia	brita	água
Massa esp. (kg/m ³)	3120	2631,76	2844,94	1000
traço tradicional	1	2	3	0,5

Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Embora tenha sido calculado o traço do concreto em massa, o traço utilizado para moldagem dos corpos de prova foi de 1 : 2 : 3 : 0,5; pois é um traço mais prático na sua dosagem, e manuseio na betoneira, sem a preocupação de perda de material que pode ficar acumulado ao fundo da betoneira.

O real consumo de cimento e agregados foi calculado a partir do traço tradicional pela fórmula de Molinari, na qual relaciona o volume de concreto, traço e a massa específica dos agregados, que foram calculados a partir dos experimentos de caracterização.

Tabela 7- Consumo real utilizado

V	0,019	m ³
Cc	7,15	kg
Ca	14,30	kg
Cb	21,45	kg
Cágua	3,58	litros

Fonte: Trevellin e Soken(2022)

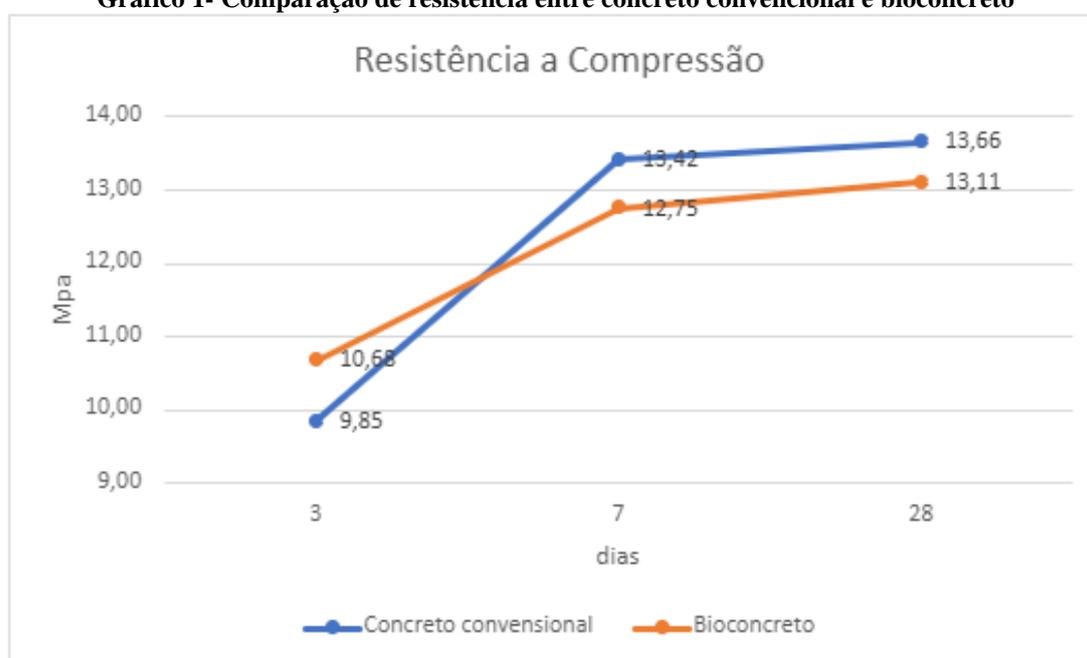
Para o ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova foram moldados com o traço mencionado acima, foram rompidos os corpos de prova em dupla a cada prazo determinado. Portanto, um de concreto convencional e um com a introdução da bactéria, aos 3 dias, 7 dias e aos 28 dias, sendo quatro corpos de prova, como maneira comparativa, como demonstrado na Tabela 8 e Gráfico 1.

Tabela 8 - Resistência à compressão

Idade	Resistência de compressão (MPa)	
	Concreto convencional	Concreto c/ bactéria
3 dias	9,85	10,68
7 dias	13,42	12,75
28 dias	12,66	9,50
	14,66	16,72

Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Gráfico 1- Comparação de resistência entre concreto convencional e bioconcreto



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Após a análise do gráfico 1, é visível considerar que o concreto convencional se mostrou mais resistente num intervalo de tempo dos 5 aos 28 dias de idade, os percentuais de resistência são de:

- 8,4% a mais do bioconcreto em relação ao concreto convencional no período de 3 dias;
- 5,3% a mais de resistência do concreto convencional em relação ao bioconcreto, correspondente ao período de 7 dias;
- 4,2% entre a mesma relação anterior, no período de 28 dias.

Era-se esperado os corpos de provas apresentar fissuras de acordo com a idade do concreto, ou seja, de forma natural, porém, viu-se a importância de adiantar-se este procedimento para que fosse possível recolher dados a tempo de uma análise por semana, dos 4 corpos de provas. Portanto, as microfissuras foram induzidas por compressão na prensa hidráulica do laboratório. O acompanhamento visual das fissuras foi observado com o auxílio de uma lupa que amplia a percepção visual.

Nas Figuras 9 e 10 têm-se o corpo de prova 1 após fissuramento, exposto diretamente ao ar livre, sem influência direta de umidades elevada, aos 7 e 14 dias, respectivamente.

Figura 9- Fissuras aos 7 dias no corpo de prova com bactérias



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Figura 10- Fissuras aos 14 dias no corpo de prova com bactérias



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Como pode-se notar, este método de armazenamento em ambientes secos com umidade baixa, mostrou-se não surtir efeitos visíveis mesmo sendo observado com a lupa.

Nas Figuras 11 e 12 têm-se o corpo de prova 2 após fissuramento, confinado na câmara de umidade, exposto indiretamente ao oxigênio, aos 7 e 14 dias, respectivamente.

Figura 11- Fissuras aos 7 dias no corpo de prova com bactérias



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Figura 12- Fissuras aos 14 dias no corpo de prova com bactérias



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Este método de armazenamento na câmara úmida conferiu ao corpo de prova uma diferença pouco notável, mesmo sendo observado com a lupa, porém ao observar minuciosamente aparenta ter um sombreamento leve, onde houve o rasgo da fissura.

Na Figura 13 têm-se os corpos de prova 3 e 4 após fissuramento, imergidos em água no tanque do laboratório, totalmente submersos durante todos os dias de teste, aos 7 e 14 dias respectivamente.

Figura 13- Comparativo das fissuras aos 7 e 14 dias no corpo de prova 3 submerso



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

Como esperado, a bactéria teve reação em meio ao concreto, a umidade de 100% foi a chave para desencadear a produção de calcário nas fissuras. Os pontos brancos significam que está ocorrendo a calcificação no presente momento. Após este processo natural a micro fissura estará selada, tomando as devidas proporções de espessura e extensão, na qual Jonkers especificou em sua literatura.

Os corpos de prova estão em locais diferentes do laboratório para que seja observado os diferentes efeitos de umidade e exposição ao oxigênio, agindo assim pode-se trazer mais ou menos eficiência no procedimento de regeneração autógena (Figura 14).

Figura 14 - Comparativo das fissuras aos 7 e 14 dias no corpo de prova 4 submerso



Fonte: Trevellin e Soken(2022)

No entanto, pode observar-se que com uma semana, ainda não é possível enxergar grandes mudanças através da lupa, embora as aberturas de algumas micro fissuras aparentam estar menores e sombreadas levemente,

observando a distâncias milimétricas. Contudo, é possível sentir um cheiro característico de terra úmida com muita facilidade, podendo ser a vermiculita a causa disto, devido ao seu potencial de reter água em ambientes permeáveis.

CONCLUSÕES

Portanto, conclui-se que a mistura do composto biológico em meio ao concreto preparado na betoneira previamente teve aderência suficiente para reagir quando foi solicitado a autoreparar as fissuras induzidas. Sua produção de calcário se deu visualmente pela formação de cristais, e aparência esbranquiçada no local fissurado. É importante salientar que a presença de umidade foi a chave principal para que houvesse a reação esperada. Portanto, o bioconcreto é uma técnica recomendada para utilização em ambientes com umidades elevadas para conferir a eficiência esperada, otimizar custos e tempo que seria necessário para reparação das fissuras, embora seja difícil o acesso à bactéria. É esperado que este trabalho sirva de auxílio para mais estudos, para que mais pesquisadores possam colaborar e buscar ferramentas para uma possível viabilidade, difundindo esta solução eficiente, que é o bioconcreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 2002. 28 f. 7ª Ed. São Paulo, 2002.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739: Concreto — Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7222: Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: Concreto — Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8953: Concreto para fins estruturais. Rio de Janeiro, 2015.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 35: Agregados leves para concreto estrutural – Especificação. Rio de Janeiro, 1995.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1995.
11. AYRES, Ana Paula- A história da represa Hoover Dam, disponível em: <https://www.eunagranga.com.br/noticias-e-lazer/pontos-turisticos/represa-hoover-dam/>. Acesso em: 4 jul. 22.
12. BBC NEWS BRASIL- Conheça o bioconcreto, material que fecha as próprias rachaduras, disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-37204389>. Acesso em: 28 mai.2022.
13. BARROS, Leonardo; NASCIMENTO, Edievan- Bioconcreto, disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3153.pdf>. Acesso em: 30 mai.2022.
14. EUZÉBIO, L.A.; ALVES, T.R.; FERNANDES, V.A. Bioconcreto: Estudo exploratório de concreto com a introdução de bacillus subtilis, bacillus licheniformis, acetate de cálcio e ureia. Monografia (graduação em Engenharia civil ou em Engenharia ambiental e sanitária). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2017.
15. GRAU, A.C.; BARBOSA, M.D.S. CONCRETO AUTOCICATRIZANTE COM ESCÓRIA DE ALTO FORNO E ADITIVO POR CATALISADOR CRISTALINO. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Católica Dom Bosco. Campo Grande, 2020.
16. NEVILLE, A M. Tecnologia do Concreto. Grupo A, 2013. 9788582600726, disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582600726/>. Acesso em: 21 mai. 2022.
17. SOUZA, Carolina - Bioconcreto: o superconcreto que se autorepara, disponível em: <https://celerece.com.br/inovacao/bioconcreto/>. Acesso em: 30 mai.2022.
18. VAN TITTELBOOM, K.; DE BELIE, N. Self-Healing in Cementitious Materials - A Review. Materials v. 6, p. 2182-2217, Jun. 2013.