



UNIVERSIDADE A POLITÉCNICA

INSTITUTO SUPERIOR DE ESTUDOS UNIVERSITÁRIOS DE NAMPULA

**APLICAÇÃO DO BIOBETÃO PARA A RECUPERAÇÃO DAS FISSURAS  
EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Momade Sayde Oscar Barreiros

Nampula:2020



UNIVERSIDADE A POLITÉCNICA  
INSTITUTO SUPERIOR DE ESTUDOS UNIVERSITÁRIOS DE NAMPULA

**APLICAÇÃO DO BIOBETÃO PARA A RECUPERAÇÃO DAS FISSURAS  
EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada à Instituto Superior  
de Estudos Universitários de Nampula da  
Universidade Politécnica (A Politécnica)  
para a obtenção do grau de licenciatura em  
Engenharia Civil.  
**Tutor:** Eng. Ângelo Daniel Soares

**Tutor:** Eng. Ângelo Daniel Soares  
**Parecer do Tutor:**

Nampula:2020

**Declaração de honra**

Declaro que esta monografia e resultado da minha investigação pessoal, e o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão mencionadas na bibliografia final.

Este trabalho é completamente feito por mim e nunca antes apresentado em qualquer instituição para obtenção de nenhum grau

Nampula aos \_\_/\_\_/2019

## **Agradecimentos**

Agradeço em primeiro lugar a Allha,(Deus) por tudo.

Agradeço a minha esposa pela força.

Agradecer ao meu tio Momade Icubal que para mim é como um pai, amigo e alguém indispensável na minha vida sempre pronto a se sacrificar por mim.

Agradecer o apoio da minha família Mãe, irmãos, sogra, cunhado que sempre acreditarão na minha determinação apesar dos obstáculos.

Agradecer também a alguém especial que infelizmente não pode viver para ver este momento o meu pai de criação JÚLIO DA CONCEIÇÃO.

Gostaria de agradecer também aos numerosos docentes desta instituição que me ajudaram bastante a todos eles dizer um muito obrigado.

Agradeço também ao meu docente e supervisor Eng,Angelo Soares por ter tamanha paciência em me orientar e ajudar na elaboração do trabalho e nos estudos.

## **Dedicatória**

Eu dedico este trabalho a toda minha família que sempre acreditou em mim e que sempre me apoiou em especial meu tio Momade Icubal

## Epigrafe

“A gravidade explica os movimentos  
dos planetas, mas não pode explicar  
quem colocou os planetas em  
movimento. Deus governa todas as  
coisas e sabe tudo que e ou que  
pode ser feito”

*Issac Newton*

## **RESUMO**

O Betão é um dos materiais mais importantes da construção civil, quando se fala em uma construção é o primeiro material que nos vem à cabeça, ele surge de uma mistura do cimento Portland com adição de água e seus agregados. Podendo-se adicionar vários outros aditivos para melhorar as suas propriedades. Apesar de ser um material com características mecânicas favoráveis como a sua resistência e dureza, ele ainda enfrenta certas patologias como as fissuras e rachaduras. Apesar de haver formas mais tradicionais de consertar estas patologias surgiu a ideia de aplicação do Bio-cimento para tratamento destas patologias. O Bio-cimento não é nada mais nada menos que o cimento Portland adicionado a bactérias que lhe concebem a capacidade de auto cicatrização, escusando a manutenção regular e aumentando a sua resistência de maneira considerável. Este material teria a capacidade de cicatrizar as fissuras e rachaduras, visto que a fissura é uma patologia inevitável causada por vários factores. Sendo elas fissuras activas ou passivas, o Bio-cimento as cicatrizaria. Fez-se um estudo de caso neste trabalho supondo a aplicação do Bio-cimento na obra do viaduto da cidade de Nampula, como método de reparar e controlar as suas fissuras, aumentando a durabilidade resistência e economia no que se refere à manutenção, visto que ele tem a capacidade de se auto cicatrizar sem a intervenção humana. O estudo de caso foi feito com base em uma avaliação visual e com apoio a bibliografias para o auxílio na caracterização das fissuras que o viaduto possui. Este material tem custos de implantação mais elevados que o betão convencional, mais acaba sendo mais económico pelo facto de não ser necessária a manutenção humana e por ter um tempo de vida estimado em 200 anos. Este aditivo e feito com base nas bactérias *Bacillus subtilis*, esta e uma bactéria encontrada em no solo argilosos e são nocivas a saúde humana.

**Palavras-chave:** Betão, Aplicação, Manutenção, Bactéria, Cicatrização.

## LISTA DE IMAGENS

FIGURA 1:FISSURAÇÃO DEVIDO AO ASSENTAMENTO DO CONCRETO EM LAJES ARMADAS ESPESSAS E BLOCOS DE .....	22
FIGURA 2:FISSURAÇÃO DE RETRAÇÃO HIDRÁLICA EM MUROS DE CONCRETO .....	22
FIGURA 3:FISSURAS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES DEVIDO À RETRAÇÃO HIDRÁLICA .....	23
FIGURA 4:FISSURAS PROVOCADAS PELA RETRAÇÃO DO CONCRETO EM VIGAS DE PÓRTICO COM PILARES DE GRANDE RIGIDEZ.....	23
FIGURA 5:FISSURAS PROVOCADAS PELA RETRAÇÃO DO CONCRETO EM VIGAS DE PÓRTICO COM PILARES DE REDUZIDA RIGIDEZ.....	23
FIGURA 6:FISSURAS PROVOCADAS PELA RETRAÇÃO DIFERENCIADA EM PILARES DE PÓRTICO	24
FIGURA 7:FISSURA EM BORDO DE CONSOLO POR CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO DE CISCALHAMENTO .....	25
FIGURA 8:FISSURAS EM LAJES EM BALANÇO DEVIDO À DISPOSIÇÃO REBAIXADA DAS ARMADURAS DE TRAÇÃO .....	25
FIGURA 9:FISSURAS EM VIGAS PROVENIENTES DE ESFORÇOS DE FLEXÃO .....	26
FIGURA 10:FISSURAS EM LAJES GERADAS POR CARGAS EXCESSIVAS APLICADAS .....	26
FIGURA 11: ARGILA EXPANDIDA (ESQUERDA) JUNTO COM OS ESPOROS BACTERIANOS E LACTADO DE CÁLCIO, E A INTRODUÇÃO DELAS NO CONCRETO (DIREITA).....	33
FIGURA 12: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.) .....	38
FIGURA 13: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). ACS .....	39
FIGURA 14:VIADUTO DA CIDADE DE NAMPULA.....	46
FIGURA 15: FISSURAS VIADUTO DA CIDADE DE NAMPULA.....	47
FIGURA 16:FISSURAS DO VIADUTO DA CIDADE DE NAMPULA .....	47
FIGURA 17: FISSURAS DO VIADUTO DA CIDADE DE NAMPULA .....	48
FIGURA 18:GEOGRELHAS .....	49
FIGURA 19:ATERRO FEITO EM GEOGRELHA .....	50
FIGURA 20:FISSURA DO VIADUTO REPARADA COM SILICONE .....	53
FIGURA 21:FISSURA DO VIADUTO REPARADA COM SILICONE .....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CRMA	Carolinas Ready Mixed Concrete Association
EPA	Environmental Protection Agency
MICP	Microbial Induced Carbonate Precipitation
NRMCA	National Ready Mixed Concrete Association
PH	Potencial de Hidrogénio

## **LISTA DE GRÁFICOS**

GRAFICO 1:GRÁFICO DO EFEITO DO pH NA ATIVIDADE UREASE NA BACILLUS PASTEURII .....	34
GRAFICO 2;TEMPERATURA EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE BACTÉRIAS. ....	35
GRAFICO 3:RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	40
GRAFICO 4: FORÇA DE COMPRESSÃO.....	41

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1:TABELA REFERENCIAL DA ESPESSURA DA ABERTURA E SUA CLASSIFICAÇÃO .....	21
TABELA 2:RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO NORMAL E CONCRETO COM A BACTÉRIA.....	39
TABELA 3: RESISTÊNCIA A FLEXÃO POR 7 E 28 DIAS .....	40
TABELA 4:RESULTADO DA COMPRESSÃO COM A BACTÉRIA BACILLUS SUBTILIS .....	41

## Índice

RESUMO .....	7
LISTA DE IMAGENS .....	8
LISTA DE ABREVIATURAS.....	9
LISTA DE GRÁFICOS.....	10
LISTA DE TABELAS .....	10
Índice .....	11
Capítulo I –Introdução 1.1.1.....	14
1.2.1 Contextualização .....	15
1.3.1 Justificativa.....	15
1.4.1 Objectivos.....	16
1.4.2 Objectivo geral .....	16
1.4.3 Objectivos específicos .....	16
1.4.4 Hipótese.....	16
1.4.5 ESQUEMA ESTRUTURAL DO TRABALHO .....	17
CAPITULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1.1 Cimento Portland.....	18
2.1.2 Composição do cimento Portland.....	18
2.1.3 Hidratação dos silicatos.....	19
2.1.4 Adições de cimento .....	19
2.1.5 Durabilidade .....	19
2.2.1 AS CAUSAS DAS FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS NA ESTRUTURA .....	20
2.2.2 Classificação de fissuras quanto a espessura.....	21
2.2.3 Classificação de fissuras quanto a actividade.....	21
2.2.4 FISSURAÇÃO NO ESTADO FRESCO OU EM INÍCIO DE ENDURECIMENTO .....	22
2.2.5 FISSURAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO.....	24
2.2.6 RECUPERAÇÕES DE FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS.....	27
2.3.1 BACTÉRIAS USADA PARA O BIO-BETÃO .....	28

2.3.2 BACTERIA-BACILLUS SUBTILIS.....	28
2.3.4 BIO-MINERALIZAÇÃO.....	29
2.3.5 CARBONATO DE CALCIO .....	29
2.4.1 Ureases .....	30
2.5.1 BIOBETÃO.....	31
2.5.2 PREPARAÇÃO DO BIOCIMENTO.....	33
2.5.3 Factor que influencia a produção do Bio-cimento.....	34
O PH.....	34
TEMPERATURA.....	35
Os nutrientes utilizados .....	35
Organismos nativos .....	36
2.6.1 ENSAIO E ANALISE DO BIOBETAO/BIOCIMENTO.....	37
2.6.2 Resultados.....	38
2.6.3 RESULTADOS DOS TESTES DE COMPRESSÃO.....	39
2.6.4 Possibilidade de aplicação/vantagens.....	42
2.6.5 Limitações da precipitação do carbonato de cálcio /Desvantagem .....	43
CAPITULO III: METODOLOGIA DE PESQUISA .....	44
3.1 Quanto à Abordagem.....	44
3.2. Procedimentos técnicos .....	44
3.3. Quanto aos Objectivos.....	45
3.4. Tipo de estudo .....	45
3.5. Instrumentos de Colecta de Dados .....	45
CAPITULO IV: ESTUDO DE CASO .....	46
4.1 MANUTENÇÃO DE FISSURAS COM APLICAÇÃO DE BIOCIMENTO .....	46
4.2 Factores causadores de fissuras no viaduto .....	51
4.3 Recuperação das Fissuras .....	52
4.4 VANTAGEM DE APLICAÇÃO DE BIOCIMENTO NO VIADUTO.....	55
4.5 DESVANTAGEM DE APLICAÇÃO DE BIOBETÃO NO VIADUTO .....	55
CAPITULO V: CONCLUSÕES .....	56
5.1 CONCLUSÃO.....	56
5.2 Balanceamento das Hipóteses .....	57

5.3 Sugestões .....	57
Referências bibliográfica.....	58

## Capítulo I –Introdução 1.1.1

O Betão de cimento Portland é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo e seu uso continua a ser expandido em construções modernas. Ele é um material barato, diversificado, com uma adaptabilidade à muitas formas e que possui propriedades altamente desejáveis (HENRIQUES, 2011)

Pela característica do Betão convencional sofrer vários tipos de patologias, de entre elas as fissuras e rachaduras, surge o Betão-biológico ou Bio-betão. Este que foi concebido com a capacidade de poder se regenerar por conta própria sem nenhuma interferência humana.

Diversos problemas surgem no Betão, pesquisadores da Universidade Técnica de Delft na Holanda desenvolveram um tipo de Betão peculiar, este material é misturado com bactérias que quando se alimentam de lactato de cálcio fazem a liberação de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de cálcio) no seu processo (SANTOS. A. 2013).

Esta pesquisa foi realizada pelo microbiologista *Henk Jonkers* e o Engenheiro de materiais de construção *Eric Schlangen* da Universidade Técnica de Delft na Holanda, eles vêm 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).

O presente trabalho foca na adição de microorganismos produtores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) na composição do Betão e os efeitos que isso pode gerar na interrupção de fissuras e porosidades interligadas na composição do material.

### **1.2.1 Contextualização**

Segundo (Gil, 1996:8), ‘O problema é um facto ou fenómeno que ainda não possui resposta ou explicação’. As obras de construção civil sofrem com certas patologias, algumas inevitáveis causadas por factores físicos e químicos. Estes comprometendo a integridade das infra-estruturas, reduzindo a vida útil das obras e aumentando o intervalo e custo da manutenção.

As obras públicas de construção civil em nossa província têm sofrido muito com a sua falta de manutenção ou manutenção inapropriada. Os seus períodos de manutenção estão sendo negligenciados prejudicando assim um conjunto de infra-estruturas públicas e de grande importância para a população.

### **1.3.1 Justificativa**

Este trabalho se justifica a vasta evolução dos materiais da área de construção civil, que infelizmente são por nos desconhecidos. Estes materiais podem servir de grande utilidade e valia para as nossas construções, dando melhor eficiência economia e resistência das nossas construções.

Na cidade de Nampula não se tem dado muita atenção ao que se trata de obra públicas em particular o viaduto localizado na rua da unidade. Vista já apresenta fissuras alarmantes surge a ideia de pesquisa de material mais resistente a estas patologias, e que escusa a manutenção feita pelo homem.

#### **1.4.1 Objectivos**

Toda pesquisa deve ter um objectivo determinado para saber o que se vai procurar e o que se pretende alcançar, sendo no entanto, uma decorrência directa do problema de investigação e consequentemente se derivam as hipóteses a formular no estudo.

#### **1.4.2 Objectivo geral**

- Avaliar a viabilidade na aplicação de Bio-cimento para a recuperação das fissuras nas obras de construção civil.

#### **1.4.3 Objectivos específicos**

- Expor método de recuperação de fissuras e rachaduras através de técnicas especiais de construção civil.
- Analisar a aplicação de Bio-betão para manutenção de obras especiais (pontes, viadutos, etc...).
- Propor mecanismos de aplicação de Bio-betão na correcção de patologias no viaduto a Rua de unidade, Cidade de Nampula;

#### **1.4.4 Hipótese**

Hipótese “... *é a suposição de uma causa ou de uma lei destinada a explicar provisoriamente um fenómeno até que os factos a venham contradizer ou afirmar*”.

(Cervo e Bervian 1996: 26).

- A falta de conhecimento de inovações feitas ao decorrer dos tempos em torno dos materiais de construção pode ser um dos factores que nos levam a escolha de matérias e aditivos não favoráveis para certas obras ou manutenção.
- A falta de fundos económicos ou baixo orçamento de obras não nos permitem a aplicação de materiais mais apropriados na correcção de patologias.

#### **1.4.5 ESQUEMA ESTRUTURAL DO TRABALHO**

vista à concretização dos objectivos acima descritos, a presente monografia é composta por seis capítulos que compõe o seu corpo. A anteceder os capítulos, encontram-se os elementos pré-textuais. De princípio é feito o resumo em seguida a introdução da monografia em seguida, problematização, justificativa, objectivo, hipótese e esquema do trabalho.

- O Primeiro capítulo é abordado a introdução.
- O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica.
- O terceiro capítulo trata da metodologia de pesquisa
- O quarto capítulo procede o estudo de caso.
- O quinto capítulo destina-se à apresentação das conclusões e sustões do trabalho.

## CAPITULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1.1 Cimento Portland

O Betão de cimento Portland e o Betão mais comumente usados nas obras de construção civil, ele é considerado o material mais usado a nível mundial perdendo apenas para o consumo da água. O cimento Portland foi inventado em 1824 pelo construtor inglês Joseph Aspdin.

O Cimento Portland é um aglomerante pulverulento constituído de silicatos e aluminatos de cálcio. Quando esse produto é associado à água, transcorrem sucessivas reacções químicas que o fazem endurecer e adquirir grande resistência mecânica. Posteriormente ao seu endurecimento, o material não é mais solúvel a água (BAUER, 1987).

O cimento Portland, em sua forma mais básica, é constituído calcário, argila e gesso. O calcário é um composto encontrado na natureza com prevalência de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e impurezas como óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ). O interessante é ter o mínimo de  $\text{MgO}$  no cimento, pois este é um composto de características expansivas (METHA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Neville (2016) fusão da argila e do calcário origina o clínquer. Este possui quatro compostos principais em sua composição química:

- Silicato tricálcico -  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ;
- Silicato bicálcico –  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ;
- Aluminato tricálcico –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- Ferro aluminato tetracálcico –  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### 2.1.2 Composição do cimento Portland

O cimento Portland comum é um produto composto de clínquer e sulfato de cálcio, enquanto que os cimentos Portland compostos, pela adição ou substituição do clínquer por filer calcário, materiais pozolânicos e escória de alto forno. A função do cimento ao se misturar com a água é aglomerar partículas e realizar sua ligação pela formação de produtos hidratados com desenvolvimento de resistência mecânica (CINCOTTO, 2011).

### **2.1.3 Hidratação dos silicatos**

Durante as primeiras horas após o contacto do cimento com a água não há muitas reacções. O que é conhecido como tempo de dormência. Passada esta fase, a pasta de cimento passa a aumentar a sua viscosidade e temperatura que é denominado início de pega (METHA e MONTEIRO, 2008). Mesmo após a pega, o Betão continua ganhando resistência, desde que não falte água para continuas as reacções de hidratação (METHA e MONTEIRO, 2008).

### **2.1.4 Adições de cimento**

As adições têm a finalidade de melhorar algumas propriedades, tais como: aumentar a trabalhabilidade e a resistência e retardar a velocidade das reacções químicas que ocorrem no Betão. (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2010).

### **2.1.5 Durabilidade**

A exposição do Betão de cimento Portland a meios agressivos como águas ácidas, pode ser prejudicial para o mesmo. Por consequência, a impermeabilidade desse material está directamente atrelada à sua durabilidade (Metha e Monteiro, 2008). No processo de hidratação ocorre formações de poros na mistura. O tamanho e a continuidade dos poros na microestrutura do concreto determinam sua permeabilidade e a sua resistência, podendo essas duas características serem relacionadas, uma vez que ambas têm estreita relação com a porosidade (Metha e Monteiro, 2008). De acordo com Neville (2016), a relação água/cimento, é determinante para a porosidade da pasta de cimento endurecida independente do estágio de hidratação.

### **2.2.1 AS CAUSAS DAS FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS NA ESTRUTURA**

Fissuras, trincas e rachaduras são manifestações patológicas causadas geralmente por tensões de tração em materiais como o Betão. Ocorrem quando os materiais são solicitados por um esforço maior que a sua resistência característica, provocando falha e ocasionando uma abertura (OLIVEIRA, 2012).

Segundo Holanda Jr. (2008), as fissuras são as causas mais frequentes de falha de desempenho em alvenarias, podem interferir na estética, na durabilidade e nas características estruturais da edificação. Tanto em alvenarias quanto nas estruturas de Betão.

A manifestação de fissuras é indício de que a estrutura perde sua durabilidade e o nível de segurança, comprometendo sua utilização tanto na redução de sua vida útil quanto no prejuízo ao seu funcionamento e estética, podendo causar a corrosão da armadura, quando estas se encontram em ambiente agressivo (CARMONA FILHO, 2005).

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

Factores externos são as condições físicas do local, condições climáticas, humidade e acção 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 Betão, maior o calor liberado pela mistura, e as vezes é dissipada do Betão para atmosfera ou poder ser absorvida pela massa da mesma (SOARES CARNEIRO, *et al.* 2011).

A variação de temperatura é por vez a grande geradora de fissuras, devido a retracção térmica, que é a acção 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 Betão 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 Betão 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 afectadas pelos efeitos das variações térmicas, enquanto as estruturas de menor volumes (mais esbeltas) são as mais afectadas (EFFTING, et al. 2015).

### 2.2.2 Classificação de fissuras quanto a espessura

As aberturas são classificadas de acordo com sua espessura em fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha (OLIVEIRA, 2012). Como mostra a tabela abaixo.

Tabela 1: Tabela referencial da espessura da abertura e sua classificação

Anomalias	Aberturas (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

Fonte: Oliveira (2012).

### 2.2.3 Classificação de fissuras quanto a actividade

Segundo Duarte (1998), as fissuras também podem ser classificadas segundo a sua actividade, em activas ou passivas.

**Fissuras activas** são aquelas que mudam de espessura à medida em que as condições que as provocaram sofre alterações, comportando-se como juntas induzidas pela estrutura. Variações térmicas diárias e sazonais, provocam variação dimensional nos componentes do edifício, estes movimentos de dilatação e contracção são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os materiais, gerando tensões que podem provocar fissuras cuja espessura varia de acordo com o gradiente de temperatura.

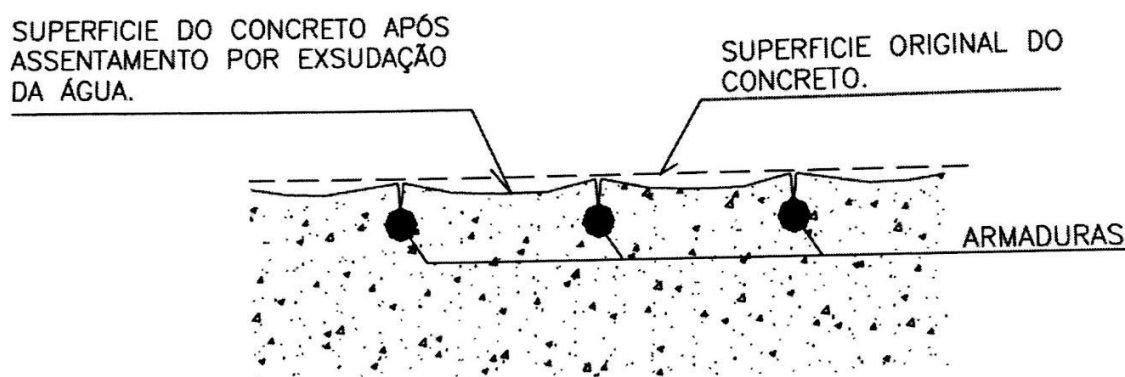
As fissuras activas também podem apresentar variação linear, decorrentes de recalques de fundações, por exemplo.

**Fissuras passivas** encontram-se num estado estabilizado, não apresentam variação em sua espessura ou no seu comprimento no decorrer do tempo.

## 2.2.4 FISSURAÇÃO NO ESTADO FRESCO OU EM INÍCIO DE ENDURECIMENTO

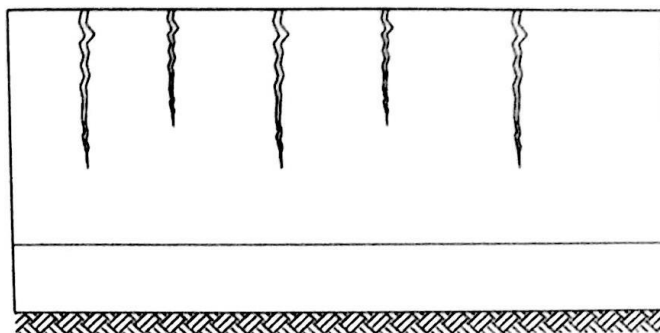
As situações entre as Fig:1 e a Fig:6 representam o surgimento de fissuras devido ao impedimento às deformações da massa geradas, ao assentamento dos componentes em Betão plásticos e à retracção de volume por perda de água de amassamento por evaporação.

Figura 1:Fissuração devido ao assentamento do concreto em lajes armadas espessas e blocos de



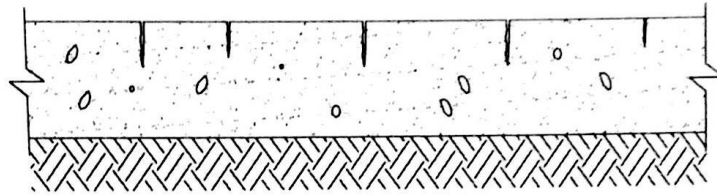
AZEVEDO, 2011

Figura 2:Fissuração de retracção hidráulica em muros de concreto



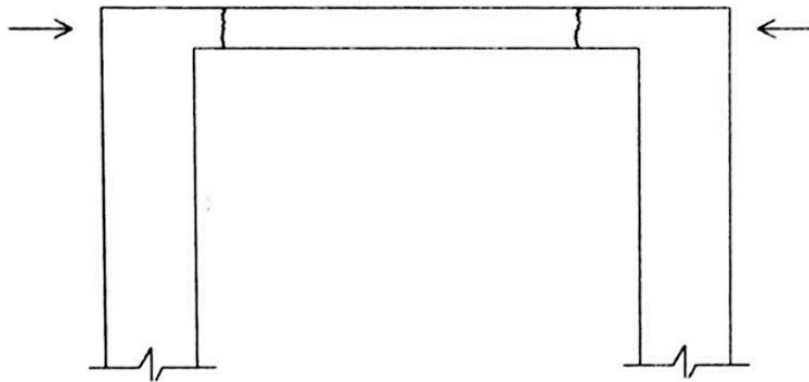
Fonte: AZEVEDO, 2011

Figura 3: Fissuras em pavimentos de concreto simples devido à retração hidráulica



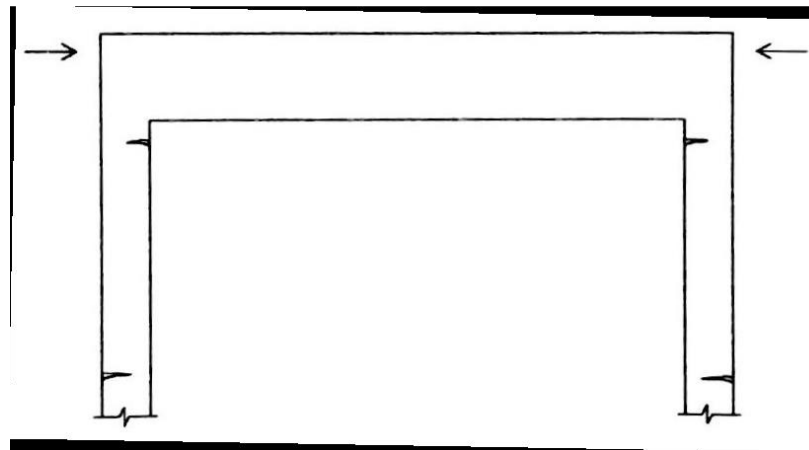
Fonte: AZEVEDO, 2011

Figura 4: Fissuras provocadas pela retração do concreto em vigas de pórtico com pilares de grande rigidez



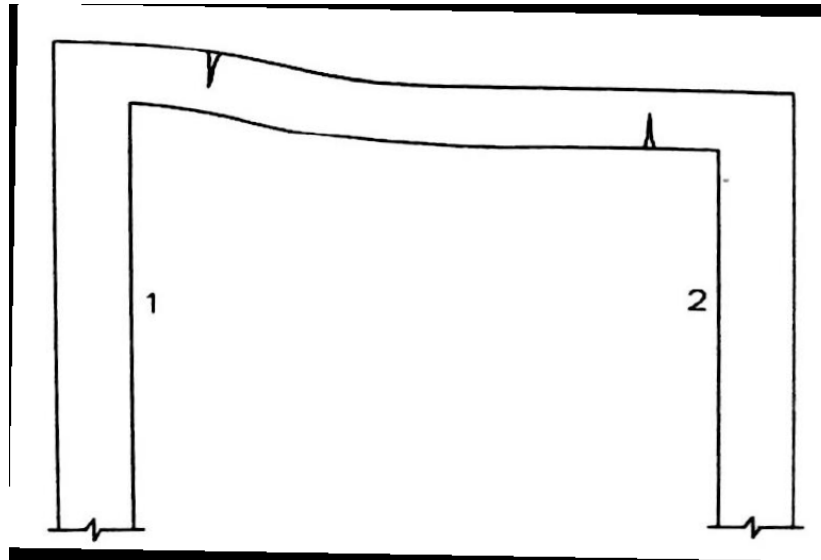
Fonte: AZEVEDO, 2011

Figura 5: Fissuras provocadas pela retração do concreto em vigas de pórtico com pilares de reduzida rigidez



Fonte: AZEVEDO, 2011

Figura 6: Fissuras provocadas pela retracção diferenciada em pilares de pórtico



Fonte: AZEVEDO, 2011

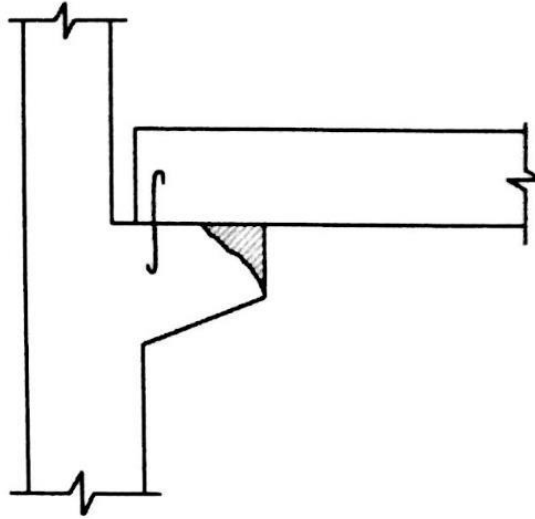
O fenómeno de assentamento das partículas sólidas que fazem parte da composição do Betão é uma característica do Betão mais plásticos, com elevado teor de humidade. A fissuração devido à evaporação pode ocorrer antes ou após o início da pega e visto que o processo se manifesta em todas as direcções, não tem uma direcção definida (AZEVEDO, 2011).

### 2.2.5 FISSURAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO

As fissuras no estado endurecido são geralmente causadas por deformações excessivas resultantes das acções mecânicas. Sendo de entre elas:

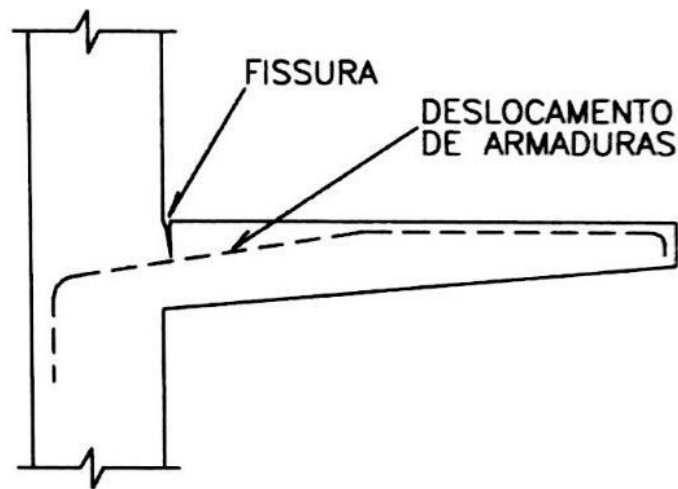
- Cargas actuantes excessivas;
- Concentrações de esforços devido a falhas de execução;
- Recalques diferenciais de fundações;
- Variações de temperatura;
- Expansão do concreto devido à reactividade dos componentes;
- Corrosão das armaduras internas do concreto armado;
- Acção do fogo nas estruturas.

Figura 7: Fissura em bordo de consolo por concentração de tensão de cisalhamento



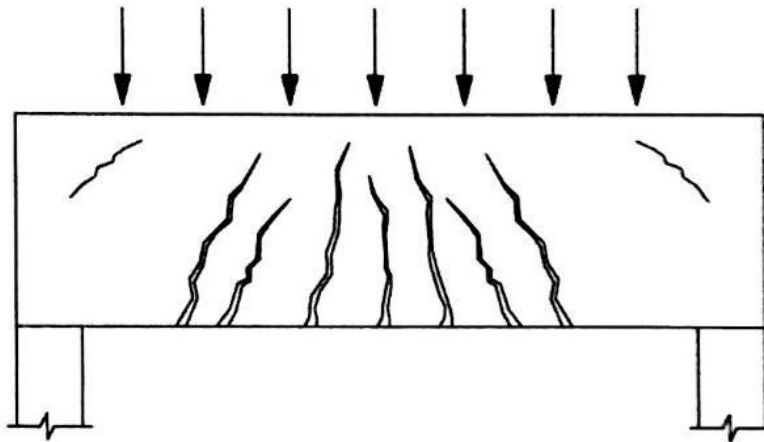
Fonte: AZEVEDO, 2011

Figura 8: Fissuras em lajes em balanço devido à disposição rebaixada das armaduras de tracção



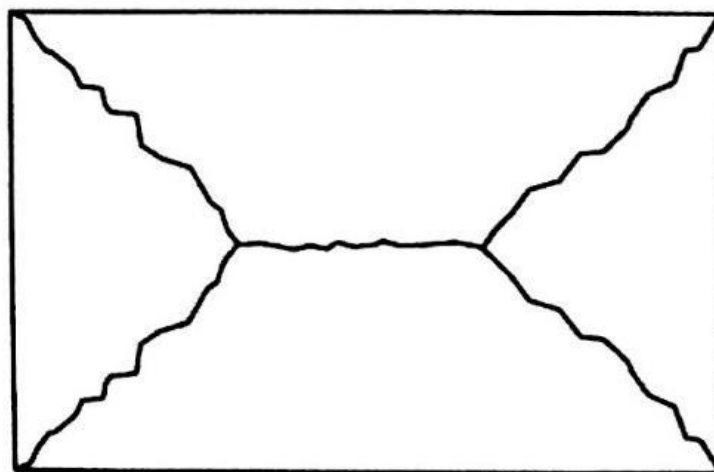
Fonte: AZEVEDO, 2011

Figura 9: Fissuras em vigas provenientes de esforços de flexão



Fonte: AZEVEDO, 2011

Figura 10: Fissuras em lajes geradas por cargas excessivas aplicadas



**FACE INFERIOR**

Fonte: AZEVEDO, 2011

### **2.2.6 RECUPERAÇÕES DE FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS**

A recuperação das fissuras, trincas e rachaduras nas estruturas só deve ser executada após as devidas verificações e redução ou eliminação dos agentes causadores da patologia.

A recuperação definitiva deverá ser projectada depois que todas as medidas preventivas necessárias para estabilização do mecanismo que provocou as aberturas.

Dentre as formas de reabilitação e reforço estrutural, as utilizadas com maior frequência, são: Restauração com Pintura Acrílica; Recuperação com Grampos de Fixação; Substituição do Revestimento; Argamassa armada e reboco armado; Injecção de graute ou resina epóxi expansiva; Adição de vigas e colunas de aço.

Segundo Ripper e Souza (1998), se a causa da fissura estiver ligada a agressividade do meio há ainda a necessidade da criação de uma barreira ao transporte nocivo de líquidos e gases para dentro das fissuras, impedindo a contaminação do concreto e até das armaduras.

Consoante a variação e complicação no controle e reparo de fissuras nas construções, levou Cientistas e Engenheiros a pensarem sobre meios mais económicos e eficazes para lidar com as fissuras, deste modo surge o Bio-betão, este feito com a adição de bactérias que dão a capacidade auto cicatrizante das fissuras e rachaduras, nas estruturas.

### **2.3.1 BACTÉRIAS USADA PARA O BIO-BETÃO**

As bactérias que possuem a capacidade de fazer a precipitação de carbonato de cálcio podem ser usadas no bio-cimento. De acordo com o Civil Eng. 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*.

### **2.3.2 BACTERIA-BACILLUS SUBTILIS**

A bactéria *Bacillus Pseudofirmus* Uma bactéria de alta resistência que sobrevive a ambientes extremamente hostis possui uma alta capacidade de regeneração e multiplicação e sobrevivência a mesma consegue sobreviver no Betão mais de 200 anos. Ela não altera as características e desempenho do Betão, concede ao Betão mais resistência à compressão e tracção. Sua adição pode ser feita em qualquer traço de Betão ou argamassa convencional, não altera factores importantes da mistura como factor (água/cimento) e não absorve nenhum componente químico da mistura. Com sua capacidade de regeneração ela é capaz de reparar danos na estrutura como: fissuras, trincas e rachaduras em edifícios, pontes e barragens em todo elemento estrutural. Com essas características, esse concreto permite uma grande economia com reforços estruturais e impedem danos maiores nas estruturas.

A *Bacillus pasteurii* é uma bactéria, não patogénica, nociva à saúde humana, que pode ser encontrada em quase todos os solos e que produz uma enzima chamada *Urease*. Uma enzima é uma proteína catalisadora de reacções químicas nas células. A *Urease*, de origem proteica catalisa precipitação de carbonato de cálcio por hidrólise da ureia presente no ambiente em que se encontra. Tal é conseguido pois a enzima provoca o abaixamento da energia de activação necessária para esta reacção. A bactéria, devido a ter esta propriedade, tem vindo a ser estudada para utilização em construção como uma medida de reparação ou aumento de durabilidade de uma forma ecológica, pois o carbonato de cálcio é um dos constituintes do cimento.

Os microrganismos mais utilizados na construção biotecnológica são as bactérias devido ao seu tamanho reduzido (0,5 – 10 µm), alargada diversidade fisiológica (pH 2 – 10,

temperatura de -10 a +110° C), alargado espectro de reacções bioquímicas e crescimento relativamente acelerado (*Inanov et al., 2015*).

#### **2.3.4 BIO-MINERALIZAÇÃO**

A bio-mineralização 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 criado por estes microorganismos possuem uma estrutura muito complexa que deixa qualquer engenheiro ou cientista ao produzi-la artificialmente, porém é uma pratica difícil (FERNANDES; MARTENDAL 2016). Para entender o Bio-betão temos que conhecer este mineral carbonato de cálcio.

#### **2.3.5 CARBONATO DE CALCIO**

A bio-mineralização que mais tem estudado é o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que é um fenómeno recorrente ao processo que as bactérias de actividades 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 electrónica de varreduras e transmissão e isso proporcionou informações importantes sobre a 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  $\text{CaCO}_3$  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 protecção 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 hidrolise da ureia (MORTENSEN et al. 2011).

#### **2.4.1 Ureases**

A Ureases ou ureia amidohidrolise, são enzimas de níquel dependentes, que tem como objectivo catalisar a hidrolise da ureia tendo como produto final a amónia ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ou ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) 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 sitio activo, que é activar o substrato para que venha ocorrer a reacções. As enzimas presentes são as únicas que possuem íons de níquel nos seus sítios activos 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 factores chaves (VIEIRA DOS REIS, L. 2017): Primeiro factor é a concentração de carbono inorgânico presente no meio dissolvido; segundo factor é a concentração de íons de cálcios; Terceiro factor, o pH; Quarto factor a presença de sítios de nucleação.

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

Na formação bacteriana para o carbonato, há duas vias metabólicas, o autotrófico e o heterotrófico. No eutrófico, o dióxido de carbono é usado como fonte de carbono, assim provoca uma redução bacteriano no ambiente. Com os íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 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, activa e passiva. A produção de carbonato na activa acontece devido a troca iónica que há entre o cálcio ou a de magnésio devida a bomba iónica. A passiva, a produção de íon de carbonato acontece devido a amonificação de aminoácidos, a redução de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) 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 e carbonato, assim obedecendo a cinética das reacções, nisto 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, a solução torna supersaturada, e quando mais saturada for, mais a chance da precipitação do carbonato de cálcio acontecer (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

### **2.5.1 BIOBETÃO**

O biocimento é um produto da MICP que tem como objectivo diminuir os espaços entre as partículas do Betão e as fissuras geradas por diferentes patologias (VIEIRA DOS REIS, L. 2017). Materiais de construção tais como argamassas e estruturas de concretos, estão sempre susceptíveis a acção do intemperismo e de vários outros factores 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 objectivo de reduzir a problemática da deterioração, muitos tratamentos têm sido empregados para alterar as características das rochas. Repelentes de água tem sido aplicado para protecção da mesma contra agentes agressivos presentes na atmosfera. Visando restabelecimento da coesão de seus grãos deteriorados tem sido usado consolidantes nas rochas, contudo ambos tratamentos estão sujeitos a controvérsias devido a suas acções não reversíveis, sua acção limitada, podendo até acelerar o processo de deterioração da rocha (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

Na bio deposição, 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 acção da água ou da invasão química (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

O bio-cimento vem sendo usado para melhorar a resistência à compressão dos materiais provenientes do cimento convencional (VIEIRA DOS REIS, L. 2017). E os estudos feitos a partir da MICP comprovaram um aumento na resistência a compressão de 25% quando foi usado as bactérias bacillus pseudoirmus na mistura da massa de concreto convencional .

Um experimento feito utilizou as bacterianas em meio liquido adicionando areia e cimento, e foi feito um corpo de prova de 70.6 mm. No corpo de prova foi realizado ensaios de compressão e teve um aumento significativo de 17 a 36 % na sua resistência. Para o biocimento não haverá limites para a extensão das rachaduras, mas para a cicatrização perfeita das fissuras elas não pode ter mais que 8mm.

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).

Segundo 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 Bio-betão vai ajudar ter uma economia nos custos de manutenção. Hank Jonkers comentou para um jornal britânico The Guardian (2015) que: “Apesar de ser mais caro que o Betão tradicional, o benefício económico é perceptível, pois economiza em custos de manutenção” (THE GUARDIAN, 2015).

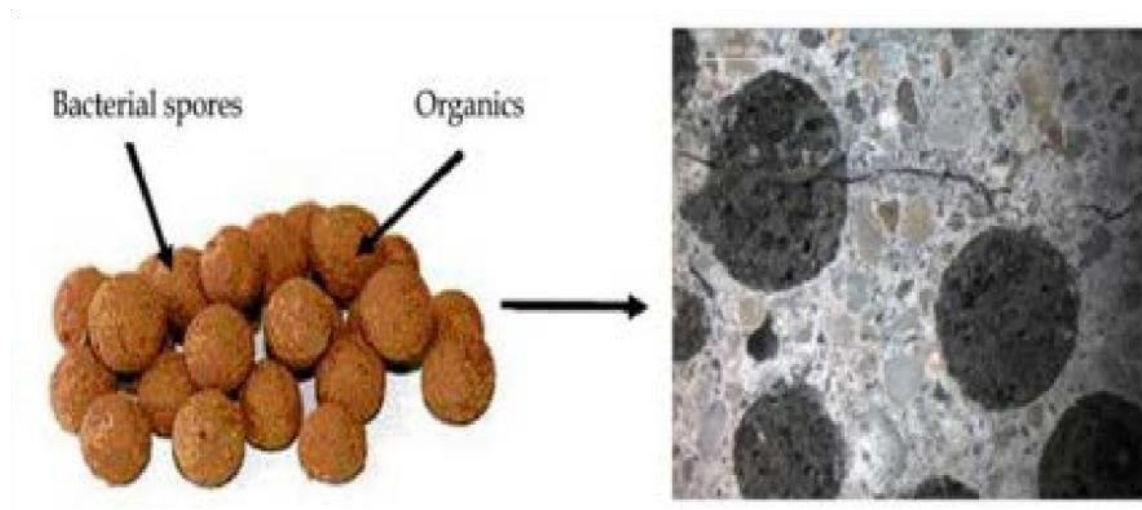
## 2.5.2 PREPARAÇÃO DO BIOCIAMENTO

O bio-cimento pode ser preparado de duas maneiras, de acordo com o Civil Engg. Saminar (2016).

**Primeiro é o método** de aplicação directa, 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 11*), 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 11: Argila expandida (esquerda) junto com os esporos bacterianos e lactado de cálcio, e a introdução delas no concreto (direita).



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

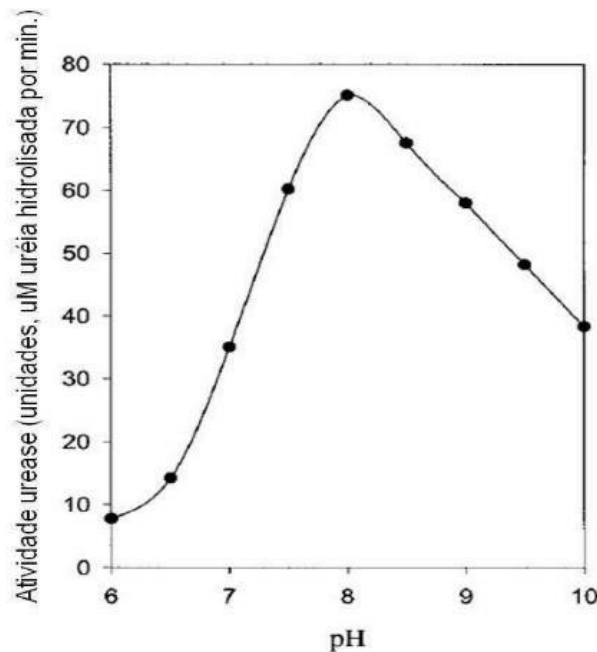
Este método por encapsulamento é o mais usado que a de aplicação directa, porém mais cara também, inclusive é o método que *Henk Jonkers*, o desenvolvedor desta técnica fez suas amostras. De acordo com o *Civil Engg. Saminar (2016)*. as bactérias *Bacillus* são inofensivas para a saúde humana, portanto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

### 2.5.3 Factor que influencia a produção do Bio-cimento

#### O PH

Segundo *Stocks-Fischer et al (2009)*, o pH óptimo é considerado ser entre os 7,5 e 8 para garantir a máxima actividade da enzima. Contudo, embora com níveis de rendimento inferiores, com um pH de 9 a enzima tem a capacidade de realizar a sua actividade. Outros autores como *Alvarado (2010)*, admitem como condições perfeitas para criação de calcite um pH de 9. Consideram como um bom intervalo de pH – 8,5 a 9,3.

gráfico 1:Gráfico do efeito do pH na atividade urease na *Bacillus pasteurii*

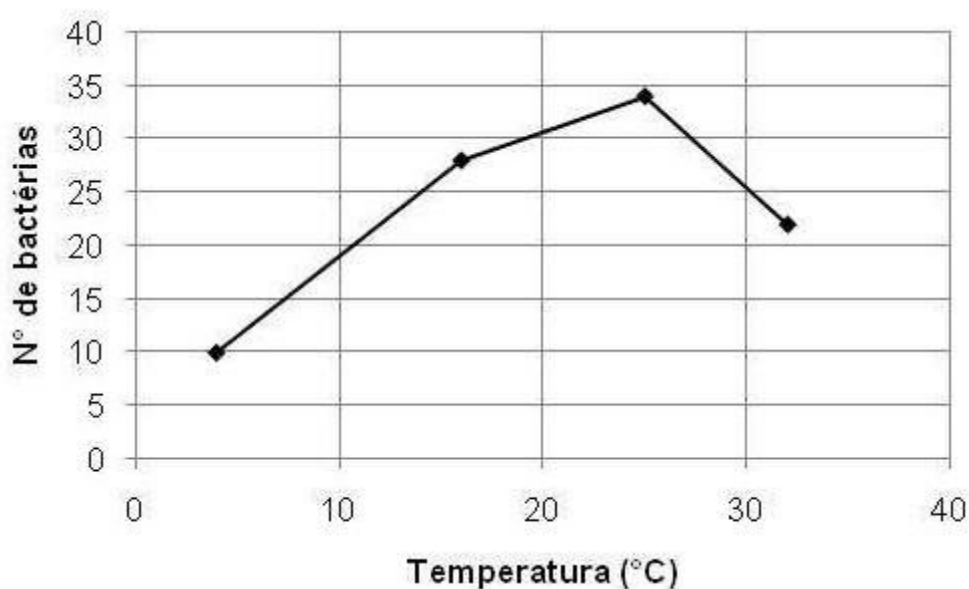


. Fonte:(GONZALES, Yamile Valencia, 2009).

## TEMPERATURA

A temperatura óptima que garante a máxima actividade dos microrganismos utilizados nesta experiência é 30°C. Contudo a *Bacteria pasteurii* tem a capacidade de sobreviver à temperatura ambiente embora com rendimentos menores. No que diz respeito à enzima *Urease* a sua máxima actividade é registada a uma temperatura que ronda os 60°C (Jacobson, et al 2009).

Gráfico 2; Temperatura em relação a produção de bactérias.



Fonte: (Jacobson, 2009).

## Os nutrientes utilizados

A concentração e tipo de nutrientes tem que ser calibrada tendo em conta o tipo de bactéria em estudo. Sabendo os nutrientes a utilizar, a sua concentração e proporção afecta o rendimento da bactéria que neste caso, se traduz na maior ou menor produção de *calcite*.

Um exemplo da necessidade do controlo da concentração é o facto de uma quantidade excessiva de sais de cálcio ter um efeito inibidor da actividade bacteriana e consequentemente, na produção de *calcite*. Isto sucede, pois, estes sais aumentam a salinidade da solução. Por outro lado, a falta de nutrientes pode da mesma forma reduzir a actividade bacteriana (Irwan, et al 2013).

### **Organismos nativos**

Existem diversos microrganismos que podem competir com a bactéria em estudo. Deste modo é necessário garantir uma concentração de bactérias suficiente para que estas dominem em relação aos restantes microrganismos presentes. De outra forma os organismos nativos podem dominar o meio e como consequência, inibir as bactérias de executarem a sua função (*Irwan, et al 2013*).

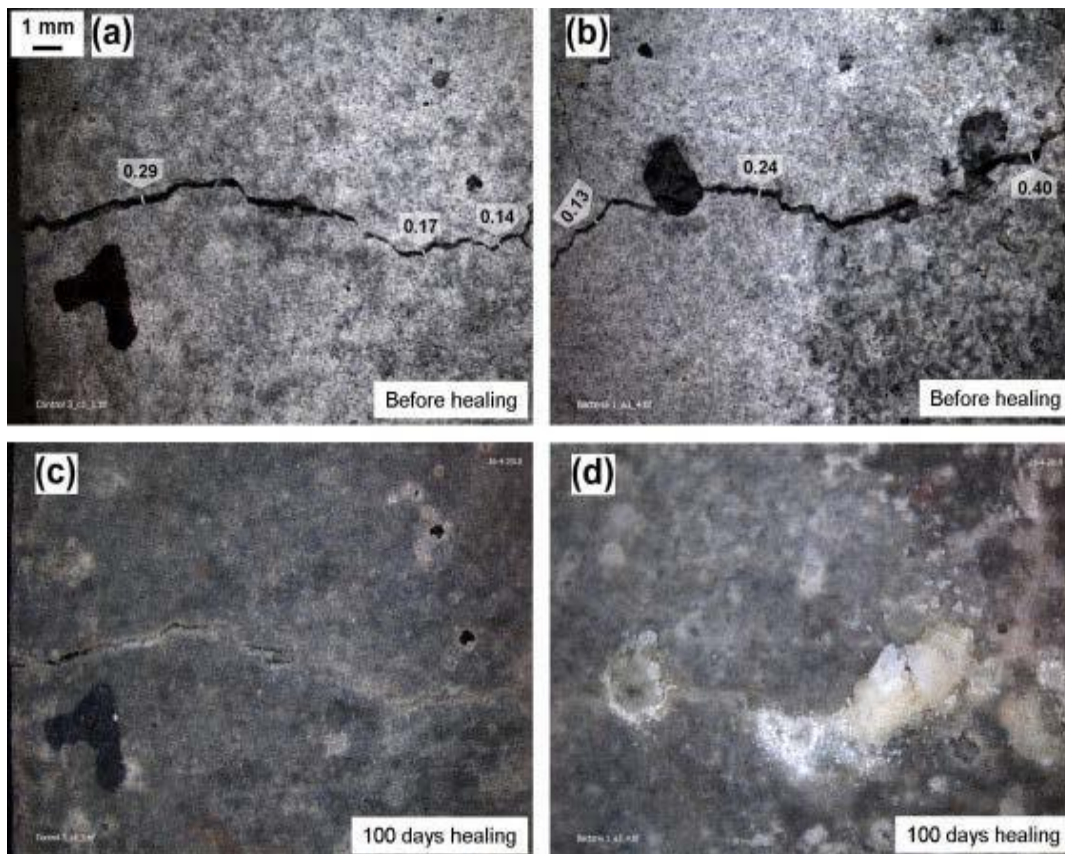
### **2.6.1 ENSAIO E ANALISE DO BIOBETÃO/BIOCIMENTO**

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 projecto 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 Subtilis* que foi introduzida a esta mistura, no projecto apresentado por *Sunil Pratap Reddy. S et al. (2010)*. A solução bacteriana era uma concentração de 10<sup>5</sup> 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 biobetão 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 oxigénio e dióxido de carbono sobre a interface água/ar. Os espécimes foram removidos da água semanalmente para inspecção estereomicroscópica e imagens fotográficas para quantificação da cicatrização do concreto com o 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.

### 2.6.2 Resultados

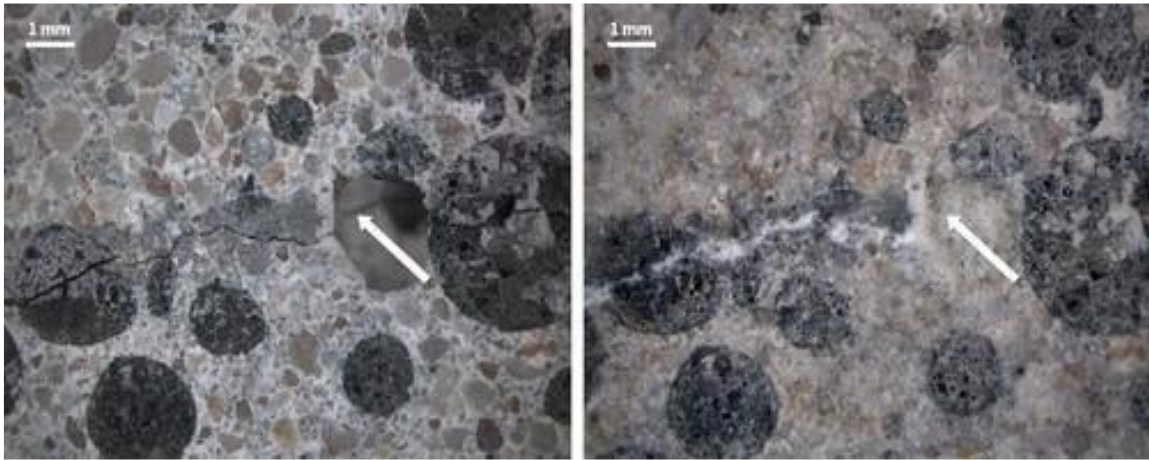
O resultado apresentado no experimento feito pelo Jonkers, H.M. (2015), foi que após 100 dias de observações concluiu que realmente os microrganismos fazem o seu papel no processo de precipitação de carbonato de cálcio (Fig:12 ), e que em comparação com a amostra de controle, tem uma diferença no perfil do concreto com o carbonato de cálcio preenchendo as fissuras. E pode-se observar que esporos bacterianos que foram postos nas argilas expandidas fizeram a precipitação de carbonato de cálcio (Figura:13 ).

Figura 12: 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 13:Esporos bacterianos dormentes contidos em grânulos de argila (círculos preto e cinza, à esquerda) germinam quando as rachaduras os expõem à humidade. Os micróbios alimentam o lactato de cálcio para formar calcário, selando as rachaduras (direita). ACS



Fonte:ScienceDirect (2016)

### 2.6.3 RESULTADOS DOS TESTES DE COMPRESSÃO

O resultado do ensaio de compressão e flexão apresentado pelo *Civil Eng. Saminar*. Demonstrou que, os ensaios introduzidos com bactéria tiveram um aumento na sua resistência em relação ao ensaio de controle (sem as bactérias)

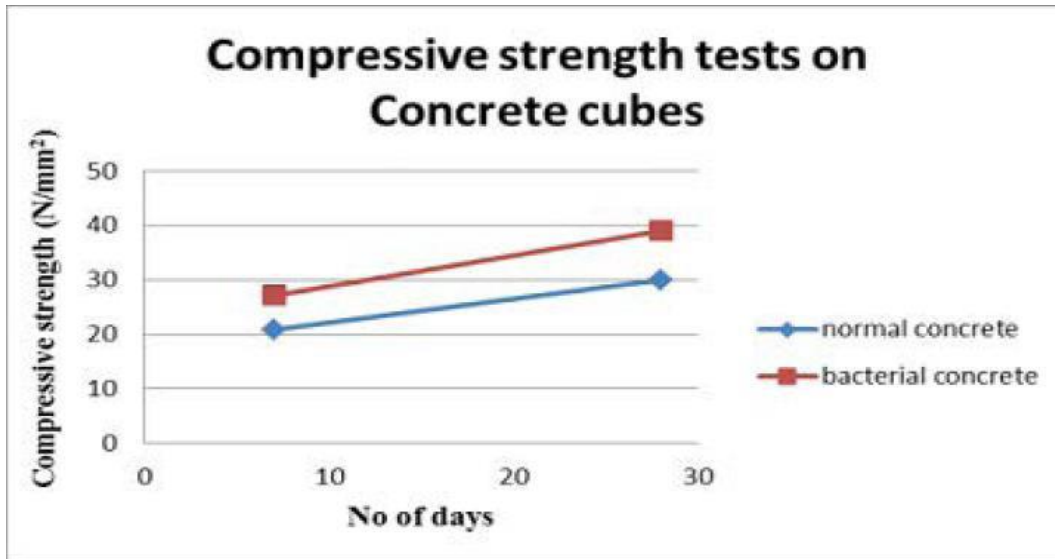
Tabela 2. Resultado da compressão de 7 a 28 dias.

Tabela 2:Resistência a compressão do concreto normal e concreto com a bactéria.

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

Fonte:Civil Eng.Saminar).

Gráfico 3: resistência a compressão



Fonte: (Civil Engg. Saminar).

Tabela 3: resistência a flexão por 7 e 28 dias

Ensaio	Dias	Concreto normal (N/mm²)	Concreto com a bactéria (N/mm²)
1	7	3,92	4,6
2	28	7,07	7,85

Fonte: Civil Eng. Saminar.

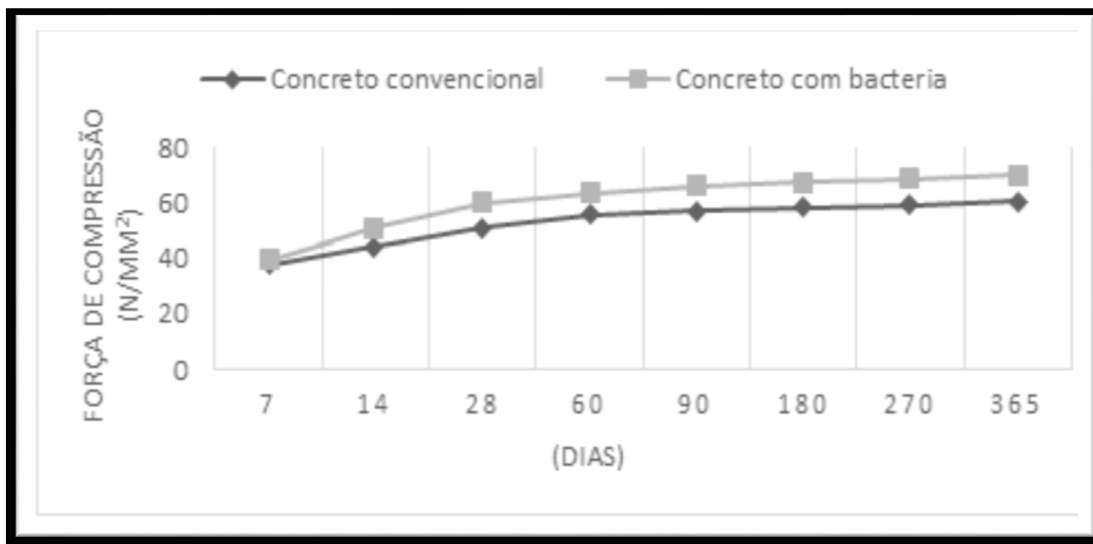
Os testes de compressão realizados por *Sunil Pratap Reddy. S et al. (2010)*. Foram feitas em 7, 14, 28, 60, 90, 180, 270 e 360 dias usando bactéria *Bacillus Subtilis*, e foi usada uma máquina de compressão de capacidade de 1000 KN pelo IS 516:1959.

Tabela 4:Resultado da compressão com a bactéria Bacillus subtilis

Idade em dias	Cimento convencional (N/mm <sup>2</sup> )	Cimento com bactéria (N/mm <sup>2</sup> )
7	37,7	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)

Gráfico 4: força de compressão



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

No ensaio 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 à compressão do concreto se dá, pois, os esporos que fica no concreto são preenchidos 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*).

#### **2.6.4 Possibilidade de aplicação/vantagens**

A precipitação de calcite induzida microbiologicamente, em engenharia, tem um vasto leque de aplicações, entre as quais:

- Produção de tijolos (*Sarda et al., 2009*).
- Reparar fissuras em Betão e rochas e aumentar a durabilidade de estruturas de Betão (*De Muynck et al., 2008, 2010, 2012*).
- Betão com capacidade de autorreparação (*Jonkers 2007;Jonkers et al., 2010; Wiktor and Jonkers 2011*).
- Consolidação de pedras porosas (*Jimenez-Lopez et al., 2008*);
- bio reparação da superfície de pedra estrutural (*Achalet al., 2011*);
- Redução de permeabilidade de rocha fracturada (*Cuthbert et al., 2013*).
- Supressão de poeiras(*Bang et al., 2011*).
- Construção de lagoas e canais (*Chu et al., 2012b, 2013a*);
- Suavização da liquefacção dos solos devido a terremotos(*DeJong et al., 2006, 2013*)
- Encapsulamento de argila mole (*Ivanov et al., 2014*);
- Revestimento de superfícies com calcite para melhorar comportamento de obras marinhas, (*Ivanov et al., 2009*).

### **2.6.5 Limitações da precipitação do carbonato de cálcio /Desvantagem**

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 actividade de microorganismos depende de muitos factores 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 amónio formado pela hidrólise da ureia em altas concentrações pode ser tóxico e prejudicial à saúde humana e microorganismos 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 bio-deterioração dos materiais de construção (VIEIRA DOS REIS, L. 2017).

A parte económica 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, o bio-betão custaria US\$ 110, um aumento de quase 40% e com isso implicaria muito no mercado devido seu valor (JONKERS, H.M. 2015).

## **CAPITULO III: METODOLOGIA DE PESQUISA**

Este capítulo tem como objectivo central expor os aspectos de ordem metodológica. A fim de alcançar os objectivos propostos, foi necessária a estipulação de uma metodologia de investigação que propiciasse o conhecimento teórico-prático sobre o tema. Isso implicou a definição de métodos de colecta de dados, desde o levantamento bibliográfico sobre a temática até a delimitação do campo de pesquisa.

### **3.1 Quanto à Abordagem**

Quanto à abordagem metodológica, foi feita uma pesquisa qualitativa que de acordo com Vieira (1996), pode ser definida como a que se fundamenta principalmente em análises qualitativas caracterizando-se em princípios pela não utilização de instrumental estatístico na análise dos dados. Esse tipo de análise tem como base conhecimentos teórico-empíricos que permite atribuir-lhe cientificidade.

A pesquisa qualitativa não se preocupa com a representatividade numérica, mas sim com aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização. Os pesquisadores que adoptam a abordagem qualitativa opõe-se ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências já que as ciências sociais têm sua especificidade, o que pressupõe uma metodologia própria. Assim, os pesquisadores qualitativos recusam modelo positivista aplicado ao estudo da vida social, uma vez que o pesquisador não pode fazer julgamentos nem permitir que seus preconceitos e crenças contaminem a pesquisa (Goldenberg, 1997, p.37).

A pesquisa qualitativa preocupa-se com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão, explicação da dinâmica das relações sociais.

### **3.2. Procedimentos técnicos**

Foi realizada pesquisa bibliográfica, que, segundo Gil (1999) e Severino (2007), é aquela desenvolvida a partir de material já elaborado e disponível, constituindo principalmente de documentos impressos em livros, artigos científicos, dissertações e teses. Utiliza-se de dados ou de categorias teóricas já trabalhadas por outros pesquisadores e, devidamente registadas.

### **3.3. Quanto aos Objectivos**

Quanto aos objectivos é exploratória, que de acordo com Gil (1996), tem o objectivo de aprimorar ideias. Hairet al (2005) complementa ao afirmar que a pesquisa exploratória serve para desenvolver melhor a compreensão do tema abordado. Para Chaoubah (2007), a pesquisa exploratória inicia sua busca em dados secundários, sendo uma busca informal de dados directamente com os pesquisados, procurando identificar as variáveis que causam o problema e formular soluções ou hipóteses sobre o caso que está sendo estudado.

Para a realização deste estudo, a pesquisa realizada foi de carácter exploratório, pois é a melhor e a mais adequada maneira de se adquirirem informações precisas, desenvolver o conhecimento e, formular soluções para os problemas das políticas analisadas.

### **3.4. Tipo de estudo**

O estudo de caso, segundo Bell (2004) nos permite estudar um caso particular de uma forma aprofundada. O estudo de caso permite construir o processo da descoberta e fazer o cruzamento de informação, no sentido de confirmar ou rejeitar questões, podendo os dados recolhidos ser de natureza quantitativa, qualitativa ou ambas.

Para Gil (2010), “o estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objectos de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante outros delineamentos já considerados”.

### **3.5. Instrumentos de Colecta de Dados**

Os instrumentos utilizados na elaboração dessa monografia envolveram as necessidades relativas à pesquisa bibliográfica e à pesquisa de campo. Através desses instrumentos, buscou-se identificar as opiniões sobre o tema. O instrumento adoptado foi a entrevista.

## CAPITULO IV: ESTUDO DE CASO

### 4.1 MANUTENÇÃO DE FISSURAS COM APLICAÇÃO DE BIOCIMENTO

Na cidade de Nampula, foi concebida a obra de um viaduto com intuito de abrigar o trafego de veículos que transitam da AV, de trabalho para a Rua da Unidade (fig:14

Figura 14:Viaduto da cidade de Nampula



Fonte: Agosto de 2020

Esta construção do viaduto teve impactos positivos para a circulação do trafego, visto que é a única via rápida e mais acessível para circulação de veículos de quase todas as categorias. Este viaduto está apresentando fissuras na camada de revestimento da estrutura como mostra as figuras(15, 16, 17).

Figura 15: Fissuras viaduto da cidade de Nampula



Fonte: Agosto de 2020

Figura 16: fissuras do viaduto da cidade de Nampula



Fonte: Agosto de 2020

Figura 17: Fissuras do viaduto da cidade de Nampula



Fonte: Agosto 2020

As fissuras, rachaduras são patologias de fácil identificação visual. O Betão está sujeito a vários factores físicos e químicos que possam comprometer suas características físicas e mecânicas ao longo do tempo, e estes factores faz com que apareça fissuras no Betão, tanto factores externos quanto internos (*EFFTING, et al. 2015*).

Factores externos são as condições físicas do local, condições climáticas, humidade e acção 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 Betão, maior o calor liberado pela mistura, e as vezes é dissipada do Betão para atmosfera ou pode ser absorvida pela massa da mesma (*SOARES CARNEIRO, et al. 2011*).

A variação de temperatura é por vez a grande geradora de fissuras, devido a retracção térmica, que é a acção 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 Betão 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 Betão 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*).

Sendo este viaduto feito com material como Betão convencional, estruturas de Betão pré-fabricadas em pré-esforço, e para o seu aterro foi aplicado o uso da geogrelhas como mecanismo de contenção dos solos lá aplicados.

Segundo (koerner, 1994 apud Antunes, 2008, p. 10) geogrelhas são matérias planares flexíveis formados por uma rede regular de elementos com aberturas de tamanho suficiente para interagir com o material de enchimento circundante.fig;25; 26.

Figura 18:Geogrelhas



Fonte: Agosto de 2020

Figura 19:Aterro feito em geogrelha



Fonte:google

Após o aterro em solo cimento e a ancoragem da geogrelha, foi revestido todo o aterro com uma camada de argamassa feita em cimento Portland que e considerado como cimento convencional.

O viaduto desempenha um papel fundamental para o tráfego de veículos que abriga naquela área. Sendo de grande importância ele abriga um grande volume de tráfego em quase toda a hora do dia. Ele está apresentando fissuras na sua camada de reboco, se caso a camada de reboco se desagregar da estrutura ira deixar exposta a camada da geogrelha, uma vez que está exposta poderá se desencadear vários eventos que possam prejudicar a vida do viaduto. O viaduto tem tão pouco tempo de uso e está apresentando aspectos visuais de desgaste, dando intender a má utilização e a falta de manutenção. As fissuras que lá apresentam podem ter sido causadas por vários factores.

## 4.2 Factores causadores de fissuras no viaduto

Feito uma análise as fissuras do viaduto, levantou a questão das possíveis causas que possam ter gerado tais fissuras, sabendo que surgiram após o endurecimento e funcionamento da estrutura então fiz o levantamento de alguns possíveis factores.

- Cargas actuantes excessivas;
- Concentrações de esforços devido a falhas de execução;
- Recalques diferenciais de fundações;
- Variações de temperatura;

**Cargas actuantes excessivas**, esta pode ser uma das causas das fissuras visto que sendo um viaduto de elevado volume de tráfego, podem estar circulando veículos com grande número de toneladas vibrando a estrutura de modo a contribuir para o surgimento de fissuras.

**Concentrações de esforços devido a falhas de execução**, este pode estar a ser causado pelo facto de que quando foi concebido o projecto da construção do viaduto não se tenha previsto um volume elevado de tráfego, sendo que em determinados pontos do dia o tráfego tende a se elevar, o viaduto acaba por receber esforços a mais.

**Recalques diferenciais de fundações**, pode estar ocorrendo pelos assentamentos diferenciais no aterro da estrutura.

**Variações de temperatura**, este deve estar a ocorrer devido ao aquecimento e arrefecimento da estrutura, visto que os corpos tendem a aumentar de tamanho quando expostos a altas temperaturas.

Tratando-se de um viaduto aéreo, e pelas suas técnicas construtivas todas as acções que nela ocorrem ira reflectir no seu revestimento do reboco, isto por que ele envolve todo o aterro.

### 4.3 Recuperação das Fissuras

A recuperação das fissuras, trincas e rachaduras nas estruturas só deve ser executada após as devidas verificações e redução ou eliminação dos agentes causadores da patologia.

A recuperação definitiva deverá ser projectada depois que todas as medidas preventivas necessárias para estabilização do mecanismo que provocou as aberturas.

O viaduto apresenta fissuras activas, elas tendem a aumentar a sua extensão com o passar do tempo mais não aumenta a sua espessura. Sendo ela activa deve-se tomar medidas para que elas não se propaguem. Se tratando de fissuras em camada de reboco de protecção da geogrelha não tem muito impacto estrutural mais poderá criar caso esta camada se desagregue da estrutura expondo a geogrelha a componentes como vandalismo. Uma vez rompida a esteira da geogrelha o aterro estará completamente comprometido.

Uma vez que se trata de uma camada de reboco, tornasse a manutenção simples, podendo ser feita com tinta acrílica, ou argamassa de cimento. A manutenção das fissuras no viaduto está sendo feita com o uso do silicone.

Silicones são compostos quimicamente inertes, inodoros, insípidos e incolores, resistentes à decomposição pelo calor, água ou agentes oxidantes, além de serem bons isolantes eléctricos. Podem ser sintetizados em grande variedade de formas com inúmeras aplicações práticas, por exemplo, como agentes de polimento, vedação e protecção.

São também impermeabilizantes, lubrificantes e na medicina são empregados como material básico de próteses. Actualmente estima-se que os silicones são utilizados em mais de 5.000 produtos. O termo silicone é o termo inglês para a classe de compostos químicos cujo nome correto em português é silicone, em função da sua semelhança da sua fórmula geral com as cetonas ( *Wikipédia*). Apesar do silicone ser um material de vasta aplicação e implementado em vários produtos nas indústrias, deu-me a parecer de que o silicone usado para manutenção das fissuras não era o mais apropriado, sabendo que a indústria de construção civil já usa polímeros mais apropriados para diversas aplicações na construção.

Segundo a textura e a aparência semelhante de um elástico deu a entender que o silicone usado para a manutenção é o mesmo usado para colar tubos de PVC em canalização. fig 20; 21.

Figura 20:fissura do viaduto reparada com silicone



Fonte: autor

Figura 21:fissura do viaduto reparada com silicone



Fonte: autor

Pelo fato de que as fissuras são activas, e pela técnica usada, a manutenção do viaduto deve ser feita de forma mais regular.

As aplicações de medidas mais efectivas para a recuperação destas fissuras seriam mais caras e ainda assim elas poderiam surgir novamente com o passar do tempo, permanecendo assim o seu período de manutenção, dando mais gastos económicos a longo prazo.

Fazendo uma análise a aplicação do bio-cimento seria de grande valia, visto as suas capacidades auto cicatrizantes.

O bio-cimento é um produto da MICP que tem como objectivo diminuir os espaços entre as partículas do concreto e as fissuras geradas por diferentes patologias (*VIEIRA DOS REIS, L. 2017*).

O bio-cimento vem sendo usado para melhorar a resistência à compressão dos materiais provenientes do cimento convencional (*VIEIRA DOS REIS, L. 2017*). E os estudos feitos a partir da MICP comprovaram um aumento na resistência a compressão de 25% quando foi usado as bactérias *bacillus pseudoirmus* na mistura da massa de Betão convencional.

Pelo facto de que o bio-cimento não ter limites para a extensão das rachaduras, e poder cicatrizar fissuras de até 8mm, seria um material de óptima aplicação para o viaduto. Ele poderia cicatrizar as suas fissuras sem a intervenção humana durante bastante tempo, visto que o bio-cimento tem o tempo de vida de 200 anos, economizaria muito dinheiro em manutenção.

As fissuras do viaduto teriam a cicatrização por si só, por mais que sejam fissuras activas o bio-cimento as cicatrizaria em toda a extensão, podendo permitir a recuperação de fissuras causadas por assentamentos diferenciais ou por dilatação térmica.

#### **4.4 VANTAGEM DE APLICAÇÃO DE BIOCIMENTO NO VIADUTO**

- Redução de custo de manutenção, escusaria alguma manutenção de custos elevados.
- Auto-manutenção.
- Estrutura mais resistente e duradoura
- A manutenção seria feita apenas se houvesse uma destruição da estrutura

#### **4.5 DESVANTAGEM DE APLICAÇÃO DE BIOBETÃO NO VIADUTO**

- Custos elevados.
- Mão de obra especializada.

## **CAPITULO V: CONCLUSÕES**

### **5.1 CONCLUSÃO**

De acordo com o descrito ao longo deste trabalho evidencia-se que é de grande importância, o conhecimento dos tipos de defeitos que surgem em forma de patologias nas construções de obras especiais e procura de melhores mecanismos de correção que sejam eficientes.

A evolução tecnológica tende sempre a suprir as necessidades do homem, vista que há existência de matérias que podem ajudar a obter um sistema de infra-estruturas funcionais, ecológicas e económicas a longo prazo escusando a manutenção. Concluo que em numera vantagem deste material devesse fazer um estudo de viabilidade de aplicação de novas tecnologias a nível nacional como método de suprir as necessidades do povo em geral. Garantindo a economia, durabilidade e eficiência das infra-estruturas de carácter público e privado. As fissuras sendo patologia inevitável do betão, ela pode ocorrer a qualquer momento, causada por diversas razões.

Apesar de haver métodos eficazes de tratamento destas patologias, eles têm seus custos e são métodos que não duram por muito tempo e sempre requisitando a manutenção. A evolução tecnológica deu ao mundo o bio-cimento, este material feito com base no cimento Portland e adição de bactérias que dão a capacidade de auto cicatrização e aumenta a sua resistência significativamente. O bio-cimento tem propriedades valiosas para a construção, ele possibilita a exclusão de manutenção, visto que ela faz por si só, curando as suas fissuras e rachaduras, esta capacidade pode promover economia no que se trata de manutenção.

A aplicação deste material seria de uma grande valia nas infra-estruturas no geral, principalmente em obras de arte como pontes e viadutos.

A aplicação das novas tecnologias como o bio-betão seria algo de custos elevados na aplicação, mas muito mais económico e benéfico no seu uso a longo prazo.

As fissuras activas do viaduto em estudo devem ser tratadas de maneiras mais apropriadas de acordo com a sua classificação e importância. A aplicação do biocimento seria um método bem eficaz sabendo que ele pode ser aplicado directamente a fissura ou feita a mistura na argamassa. Com tudo concluo que o estudo na aplicação das novas tecnologias é de grande valia e importância para o crescimento e desenvolvimento da sociedade.

## **5.2 Balanceamento das Hipóteses**

A falta do conhecimento deste tipo de material se justifica pelo facto de que o bio-cimento é um material não abundante como o Betão convencional, apesar de que ele é feito com bactérias encontradas nos solos ainda não há muitas empresas que fabriquem este material na mesma escala que o Betão convencional. Este material necessita de profissionais mais experientes para a sua aplicação.

Pelo facto de ser um material raro e de baixa produtividade ele acaba por ser um material muito caro, o que dificultaria a aplicação deste no nosso país. Pelo facto das condições financeiras.

## **5.3 Sugestões**

Após uma investigação a conclusão do trabalho só me resta sugerir algumas buscas que não foram por mim apresentadas, como todos os métodos de reparação das fissuras, como eles são feitos o passo a passo e os seus custos para uma comparação actual. Também não consegui encontrar a fonte do custo actual do bio-cimento.

## Referências bibliográfica

Achal V, Mukherjee A, Reddy MS Effect of calcifying bacteria on permeation properties of concrete structures. J Ind Microbiol Biotechnol 38:1229–1234. doi:10.1007/ s10295-010-0901-8 Bang SS, Galinat JK, Ramakrishnan V, (2001) Calcite precipitation induced by polyurethaneimmobilized Bacillus pasteurii. Enzyme Microb Technol 28:404-409.2011

AZEVEDO, Minos Trocoli de. Patologia das Estruturas de Concerto. *In*: ISAIA, Geraldo C. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1a. ed. São Paulo: IBRACON, , p. 1119–1128. 2011.

Eng. Civ. Saminar. 2016. BACTERIAL CONCRETE.: disponível em:<<http://civilenggseminar.blogspot.com.br/2016/06/bacterial-concrete.html>>.

BAUER L.A.F.1987. Materiais de construção. Rio de Janeiro: LTC – Livros Tecnicos e Cientificos.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FL, Jasson Rodrigues. 2010. Calculo e detalhamento de estruturas de concreto armado São Carlos.

CARLINI, C. R. Ureases: aspectos estruturais. Laneurotox.Disponível em: <<http://laneurotox.net.br/publicacoes-selecionadas>>.

CINCOTTO, Maria Alba. 2011. Reações de Hidratação e Pozolânicas. *In*: ISAIA, Geral C. (Org.).Concreto: Ciência e Tecnologia. 1a. ed. São Paulo: IBRACON.

Chu J, Ivanov V, Stabnikov V.2013. Microbial method for construction of aquaculture pond in sand. Géotechnique.

Cuthbert MO, McMillan LA, Handley-Sidhu S, Riley MS, Tobler DJ, Phoenix VR. 2013. A field and modeling study of fractured rock permeability reduction using microbially induced calcite precipitation. *Env Sci Technol*.

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

DeJong J, Fritzes M, Nusstein K. 2006. Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear. *J Geotech Geoenviron Eng*.

DeJong JT, Soga K, Kavazanjian E. 2013. Biogeochemical processes and geotechnical applications: progress, opportunities and challenges. *Geotechnique*.

DE MUYNCK, Willem; COX, Kathelijin; BELIE, Nele De; *et al*. Bacterial carbonate precipitation as an alternative surface treatment for concrete. *Construction and Building Materials*. 2008. Disponível em:  
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061806003667>>.

DUARTE, R.B. 1998. Fissuras em alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação. Porto Alegre. CIENTEC – Boletim técnico n.25.

EFFTING, Carmeanne et al. Efeitos da Temperatura Sobre o Concreto . Disponível em:  
<<https://pt.scribd.com/document/355067447/Efeitos-da-Temperatura-Sobre-o-Concreto-FINAL-pdf>>.

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

GONZALES , Yamile Valencia. 2009. INFLUÊNCIA DA BIOMINERALIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICO - MECÂNICAS DE UM PERFIL DE SOLO TROPICAL

AFETADO POR PROCESSOS EROSIVOS. TESE (Tese se Doutorado em geotecnia)-  
Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental,  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2009.

HENRIQUES, Roger Arun D'Aquino. 2011. Estudio Relativo al Hormigón Bacteriano  
:Fabricación y Potenciales Campos de Aplicación.

IVANOV, V.; CHU, J.; STABNIKOV, V. Basics of Construction Microbial  
Biotechnology. *In: Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering*. Cham:  
Springer International Publishing, 2015. Disponível  
em:<[http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-09287-4\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-09287-4_2)>.

Ivanov V, Chu J, Stabnikov V, Li B. 2014. Strengthening of soft marine clay using  
biocementation. *Marine Georesour Geotechnol*.

Ivanov V, Kuang SL, Guo CH, Stabnikov V. 2009. The removal of phosphorus from reject  
water in a municipal wastewater treatment plant using iron ore. *J Chem Technol  
Biotechnol*.

JONKERS, Henk M.; THIJSEN, Arjan; MUYZER, Gerard. 2010. Application of bacteria  
asself-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological*, Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857409000202>>.

JONKERS, Henk M. 2011. Bacteria-based self-healing concrete. *Heron*, Disponível em:  
<http://heronjournal.nl/56-12/1.pdf>

JONKERS, Henk M.; SCHLANGEN, Erik. 2007. Crack Repair by Concrete-Immobilized  
Bacteria.. Disponível em: <<http://extras.springer.com/2007/978-1-4020-6250-6/documents/9.pdf>>.

Jimenez-Lopez C, Jroundi F, Pascolini C, Rodriguez-Navarro C, Piñar-Larrubia G, Rodriguez-Gallego M, González-Muñoz MT (2008) Consolidation of quarry calcarenite by calcium carbonate precipitation induced by bacteria activated among the microbiota inhabiting the stone. *Int Biodeterior Biodegrad*.

Li P, Qu W. 2012. Microbial carbonate mineralization as an improvement method for durability of concrete structures.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. 2008. *Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3a. ed. São Paulo: IBRACON, (2008).

MORTENSEN BM, HABER MJ, DEJONG JT, CASLAKE LF, NELSON DC. Effects of environmental factors on microbial induced calcium carbonate precipitation. *On. Library* Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.13652672.2011.05065.x/full>

Neville, A. M. *Propriedades do concreto* [recurso eletrônico] / A. M. Neville; tradução: Ruy Alberto Cremonini. – 5. ed. – Porto Alegre: Bookman, (2016).

OLIVEIRA, Alexandre Magno. 2012. *Fissuras e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações*. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, (2012).

RIPPER, Thomaz; SOUZA, Vicente C. M. 1998. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: PINI.

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

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

Stocks-Fischer S., Galinat J. K., Bang S. S. (1999). Microbiological precipitation of CaCO<sub>3</sub>. Soil Biol.Biochem.

SUNIL PRATAP REDDYS.2010.SESHAGIRI RAOB M.V; APARNAC P; SASIKALAC Ch. PERFORMANCE OF STANDARD GRADE BACTERIAL (BACILLUS,SUBTILIS)CONCRETE.Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/267799642\\_Performance\\_of\\_standard\\_grade\\_bacteria\\_Bacillus\\_Subtilis\\_concrete](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 UREOLÍTICAS DE SOLO DE CERRADO E DE REJEITOS DE CONSTRUÇÃO

WIKTOR, Virginie; JONKERS, Henk M. Quantification of crack-healing in novel bacteriabased self-healing concrete. Cement and Concrete Composites. Disponível em: <<http://fulltext.study/download/1455070.pdf>>.