



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

JAQUELINE MARTINS STOPASSOLI

CONCRETO BIO-RECEPTIVO EM OBRAS URBANAS

Tubarão

2022

JAQUELINE MARTINS STOPASSOLI

CONCRETO BIO-RECEPTIVO EM OBRAS URBANAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Prof.^a Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Ms.

Tubarão

2022

JAQUELINE MARTINS STOPASSOLI

CONCRETO BIO-RECEPTIVO EM OBRAS URBANAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheira Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 15 de junho de 2022.

Professora e orientadora Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor Charles Mendes de Souza, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor Gil Felix Madalena, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho a Deus que me permitiu capacidade para concluir, a meu companheiro que esteve ao meu lado com carinho e dedicação, e aos familiares que acreditaram no meu esforço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Charles Mendes de Souza que me auxiliou na primeira etapa deste trabalho, mas em especial agradeço a minha orientadora Lucimara Aparecida Schambeck Andrade por ter aceitado me acompanhar neste projeto e pelo empenho e dedicação em cada parágrafo deste trabalho. Sou grata também a todos aqueles que de alguma forma me apoiaram, participaram diretamente ou indiretamente na minha jornada até aqui.

RESUMO

De notória importância o concreto é um material que traz um vasto reflexo econômico e ambiental devido a sua utilização em larga escala. Nesse sentido, a preocupação com a qualidade desse material o torna alvo de estudos, cada vez mais avançados, visando buscar o seu melhor desempenho e durabilidade estrutural. Diante disso foi realizado uma revisão bibliográfica sobre a utilização do bioconcreto na construção civil. Tem como objetivo introduzir o conceito como uma alternativa tecnológica sustentável, que permite prover o autorreparo de problemas patológicos, como a minimização de fissuras presentes em estruturas de concreto. Como metodologia foi realizado o estudo de levantamento de dados para análise do comparativo de viabilidade do material através da coleta de material bibliográfico buscando verificar a análise de dados extraíndo as principais partes de cada pesquisa citada. Por meio deste trabalho é possível concluir uma opção que traz uma alternativa sustentável para o âmbito da construção civil. Visando suprir gasto com manutenções principalmente em obras de grande porte, por se tratar de um material menos acessível se comparado ao concreto convencional, acaba sendo menos indicado para obras de pequeno porte.

Palavras-chave: Concreto bio-receptivo. Fissuras. Bactérias. Autorregeneração. Vida útil.

ABSTRACT

Of notable importance, concrete is a material that brings a vast economic and environmental impact due to its large-scale use. In this sense, the concern with the quality of this material makes it the target of increasingly advanced studies, seeking its best performance and structural durability. Therefore, a literature review was carried out on the use of bioconcrete in civil construction. Its objective is to introduce the concept as a sustainable technological alternative, which allows self-repair of pathological problems, such as the minimization of cracks present in concrete structures. As a methodology, a data collection study was carried out to analyze the comparative feasibility of the material through the collection of bibliographic material, seeking to verify the data analysis by extracting the main parts of each cited research. Through this work it is possible to conclude an option that brings a sustainable alternative to the scope of civil construction. Aiming to supply expenses with maintenance mainly in large works, because it is a less accessible material compared to conventional concrete, it ends up being less suitable for small works.

Keywords: Bioreceptive concrete. Cracks. Bacteria. Self-regeneration. Lifespan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dosagem do concreto	15
Figura 2 – Viga isostática submetida a flexão	21
Figura 3 – Fissuras por compressão	21
Figura 4 – Fissuras por cisalhamento	22
Figura 5 – Os 3 tipos de corrosão segundo a morfologia	23
Figura 6 – Poros saturados: avanço da frente de carbonatação	24
Figura 7 – Atuação simultânea de mecanismos de transporte em estrutura marítima	26
Figura 8 – Transporte de cloretos via absorção capilar	27
Figura 9 – Transporte de cloretos via difusão iônica.....	28
Figura 10 – Esquema de auto cicatrização no bioconcreto	33
Figura 11 – Estação de salva-vidas realizada em bioconcreto	37
Figura 12 – Cicatrização de fissura aos 42 dias.....	41
Figura 13 – Cicatrização de fissura aos 100 dias.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Preços de insumos para a recuperação de estrutura.....	29
Tabela 2 – Ensaio de resistência à compressão do concreto	33
Tabela 3 – Propriedades do bioconcreto.....	36
Tabela 4 – Custo com manutenção de obras	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Causas, mecanismos e sintomas da deterioração do concreto armado.....	17
Quadro 2 – Causas e particularidades das fissuras.	19

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	CONCRETO E SUA COMPOSIÇÃO	15
2.2	PRINCIPAIS PATOLOGIAS DO CONCRETO EM OBRAS URBANAS	16
2.2.1	Degradação do concreto.....	16
2.2.2	Fissuras em estruturas de concreto armado	19
2.2.2.1	Fissura por flexão	20
2.2.2.2	Fissura por compressão	21
2.2.2.3	Fissura por cisalhamento	21
2.2.3	Corrosão nas armaduras de aço	22
2.2.4	Carbonatação das Estruturas	23
2.2.5	Infiltração dos Íons Cloreto.....	25
2.2.5.1	Permeabilidade sob pressão hidráulica.....	25
2.2.5.2	Absorção capilar	26
2.2.5.3	Difusão iônica.....	27
2.3	MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	28
2.4	BIOCONCRETO	30
2.4.1	Preparação do bioconcreto	31
2.4.2	Escolha da Bactéria.....	31
2.4.3	Escolha de Aditivos	32
2.4.4	Correção das Condições da Matriz de Concreto.....	32
2.4.5	Bactéria e nutrientes	32
2.5	UTILIZAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO BIOCONCRETO	32
3	METODOLOGIA.....	35
3.1	PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DE DADOS.....	35
3.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	35
4	RESULTADOS ESPERADOS	36
4.1	POTENCIAL DE USO EM OBRAS URBANAS.....	37

4.2	VIABILIDADE TÉCNICA	38
4.3	MANUTENÇÃO DE OBRAS URBANAS	38
4.4	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BIOCONCRETO	39
4.5	RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS COM A UTILIZAÇÃO DE BIOCONCRETO	40
5	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o segundo material mais consumido no mundo, ficando atrás apenas da água segundo o IBRACON.

Concreto convencional de cimento Portland é conhecido pelo bom desempenho quando submetido à esforços solicitantes de compressão, durabilidade satisfatória em relação a sua vida útil e baixa deterioração quanto a exposição a água se comparado a outros materiais de função estrutural.

De maneira sucinta, pode ser definido como um composto de mistura homogênea entre agregados e aglomerantes podendo haver ou não a incorporação de aditivos na pasta de cimento, bloco monolítico artificial que possui resistência similar de rochas naturais.

Ainda assim para que se tenha um bom desempenho, conforme supracitado envolve uma série de fatores determinantes para aplicações de estruturas alto-resistentes. Quando exposto a ambientes agressivos como alta taxa de carbonatação, intempéries climáticas e maresias ou ainda que seja causada por retração térmica e esforços de cargas excedentes prevista pelo projeto, a manutenção preventiva, ou manutenção de correção não é suficiente para não se desenvolver no corpo uma das principais e mais frequentes patologias que estão ligadas diretamente a resistência da peça, a medida em que o concreto sucumbe as fissuras e rachaduras sua armadura fica exposta e suscetível a um desgaste na resistência podendo levar ao seu colapso estrutural. Corsini (2010) relata que as fissuras são mais pacíficas interferindo em questões estéticas, mas podem originalizar o início de um problema estrutural grave.

Silva (2018) ressalta a dificuldade da prevenção do aparecimento de danos no concreto, pois existem vários tipos de patologias, cuja formação depende de fatores internos e externos, que, são proporcionados pelo ambiente.

A partir de estudos realizados por Henk Jonkers, a vida útil do concreto pode ser melhorada com a adição de colônias de bactérias em sua preparação. Esse processo passou a ser conhecido como bioconcreto (MORS & JONKERS, 2012). A produção deste é realizada por meio de bactérias pelo processo de biomineralização, que consiste na sintetização de minerais inorgânicos através de organismos vivos (GAUTAM, 2018).

1.1 JUSTIFICATIVA

A norma regulamentadora a NR nº 6118 (ABNT, 2014) – Projeto de Estruturas de Concreto, apresenta a vida útil de uma estrutura, o período o qual as características físicas do projeto se mantêm sem a necessidade de intervenções significativas, respeitando os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e construtor, incluindo a execução de reparos necessários devido a danos acidentais.

A manutenção de correção estrutural em obra consome significativamente tempo e recurso, os valores podem se equiparar ao valor total da construção, podendo chegar a ser inviabilizado o projeto de restauração.

De acordo com Krishnapriya; Babu; Arulraj, 2015 são utilizadas técnicas relativamente caras e produtos químicos que podem expor a saúde e o meio ambiente a riscos, para estabilizar as patologias causadas por fissuras em estruturas de concreto.

Sendo de notória necessidade o estudo para elaboração de novas técnicas eficazes aos tratamentos de fissuras patológicas, o assunto abordado desta pesquisa será a implantação de microrganismos ao concreto como forma eficaz e sustentável de reparação em estruturas de concreto em áreas urbanas.

Henk Jonkers é o cientista que possibilitou a aplicação do bioconcreto em construções elaboradas de concreto e aço. Na conjuntura do mercado, o uso de biobactéria no concreto é uma metodologia eficaz quando relacionada a problemas patológicos de fissuração. Por não se tratar de um agente industrializado, o bioconcreto é considerado ambientalmente correto.

O concreto bio-receptivo ou concreto auto regenerável, tem como princípio a precipitação de carbonato induzida micro biologicamente, por meio de uma bactéria *Bacillus pseudofirmus*, capaz de se adequar a ambientes hostis.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos a seguir detalham a importância e relevância de acordo com a sua proposta para a elaboração desse trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O Presente estudo tem por finalidade apresentar a utilização do concreto bioreceptivo em fissuras de obras urbanas, avaliando particularidades quando substituído pelo concreto convencional em relação aos demais métodos de correção das estruturas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudo teórico quando implantado o concreto bioreceptivo em obras urbanas;
- Viabilidade técnica no autorreparo das estruturas acometidas por fissuras patológicas;
- Apresentar as patologias mais recorrentes em construção urbana.

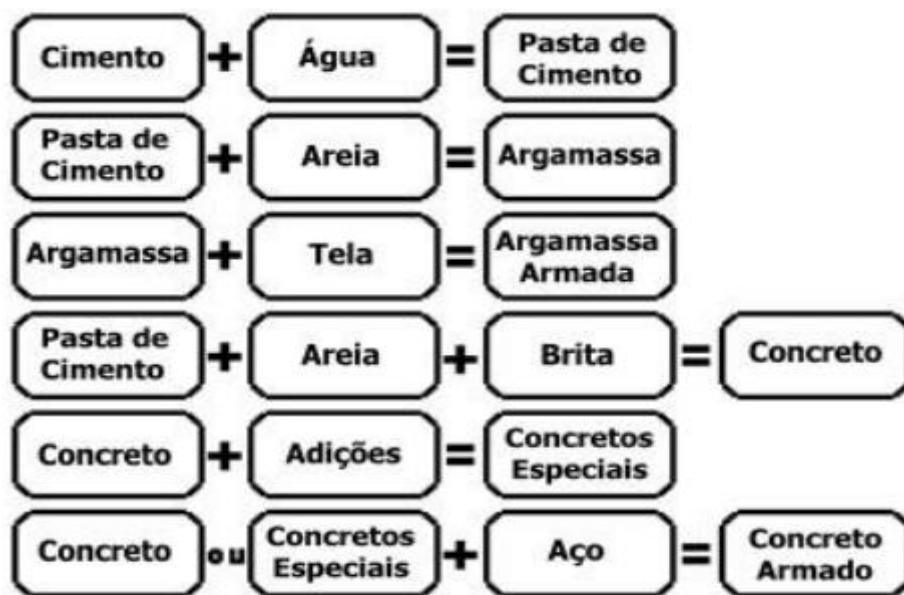
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a realização deste estudo foram realizados a coleta de dados já existentes.

2.1 CONCRETO E SUA COMPOSIÇÃO

É composto basicamente por uma mistura homogênea de água, cimento, pedra e areia. Cada obra possui uma particularidade distinta que precisa ser obedecido os métodos de dosagem dos materiais para que seja alcançado o fck (resistência característica à compressão), não alterando textura, trabalhabilidade e integridade da massa, que foram devidamente projetados para atender à necessidade da obra.

Figura 1 – Dosagem do concreto



Fonte: <https://www.portaldoconcreto.com.br/o-que-e-concreto>

As construções urbanas no Brasil estão em grande maioria sujeitas a ataques de agentes corrosivos devido a vulnerabilidade causada pelo clima tropical, e subtropical principalmente as que se localizam nas proximidades do mar. Os problemas estruturais agravam-se ainda devido a falhas de projeto e a indevida execução das edificações, afetando consequentemente a durabilidade estrutural em questão.

Atentar-se ao surgimento de fissuras na matriz de concreto é de primordial importância, seu surgimento pode causar instabilidade na sua estanqueidade a água e isolamento, comprometendo a sua armadura que fica suscetível ao processo de corrosão, a permeabilidade

é o principal determinante da vulnerabilidade aos agentes externos. Logo, para ser durável, o concreto deve ser impermeável (RIBEIRO, PINTO e STARLING, 2002).

Por consequência a necessidade de reparo nas estruturas afetadas, sobe proporcionalmente na medida em que são sujeitadas aos fatores de degradação. Alves (1980) descreve que um material será considerável durável quando resistir às ações do meio ambiente no qual está inserido.

2.2 PRINCIPAIS PATOLOGIAS DO CONCRETO EM OBRAS URBANAS

Segundo Souza e Ripper (2009), o concreto é um protetor para as armaduras, ele inibe a entrada de umidade e oxigênio na estrutura, mas para isso deve ser executado corretamente de forma em que haja total cobrimento das armaduras.

A impermeabilidade do concreto deve ser a primeira linha do sistema de defesa contra qualquer processo físico-químico de deterioração (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A permeabilidade do concreto, por sua vez, não é uma função simples, depende também das dimensões, distribuição, forma, sinuosidade do caminho a ser percorrido pelos fluídos e continuidade dos poros (NEVILLE, 1997), além de depender da interconectividade da rede capilar. Portanto, pode-se ter dois concretos distintos, com a mesma porosidade, mas com valores típicos de coeficientes de permeabilidade bem diferentes (CAVALCANTI FILHO, 2010).

Logo, quanto mais permissivo um concreto for ao transporte interno de água, gases e outros agentes agressivos, maior será a probabilidade da sua degradação, bem como a do aço que deveria proteger. Sendo que a degradação dependerá, diretamente, de dois fatores: permeabilidade do concreto e condições ambientais da superfície. Como, em geral, não se poderá lidar com a melhoria das condições ambientais, a única saída, neste sentido, para se evitar a degradação dos concretos, é a redução, ao menor nível possível, da sua permeabilidade (SOUZA e RIPPER, 2009).

2.2.1 Degradação do concreto

Bauer (2008) descreve o concreto como um material obrigatoriamente poroso, que conta com a presença de vazios que por sua vez são de origens diversas, tais como excesso de água na proporção água/cimento, ar incorporado durante a mistura, erro na dosagem de insumos, entre outros. Essa característica do material o torna permeável a líquidos e gases.

De acordo com Nepomuceno (2005) a degradação das estruturas de concreto armado ocorre pela penetração de substâncias nas formas de gases, líquidos e vapores, através dos poros e fissuras. A umidade relativa, periodicidade das chuvas, orientação dos ventos, oscilação de temperatura e concentração de substâncias agressivas presentes no meio ambiente.

Para Lima (2005) ainda que o concreto tenha sido devidamente especificado e executado, faz-se necessário conhecer o meio ambiente e sua interação (do ponto de vista físico e químico) com a estrutura, cuja vida útil pode ser significativamente reduzida devido à influência ambiental. As estruturas de concreto são consideradas comprometidas quando o seu desempenho está ameaçado ou deteriorado em função de interações entre os elementos que o constituem (cimento, areia, brita, água e aço), com os aditivos e com agentes externos, como água, ácidos, bases, sais, gases, vapores e micro-organismos.

É indispensável o conhecimento das causas da deterioração do concreto, não apenas para que se possa proceder aos reparos exigidos, mas também para se garantir que, depois de reparada, a estrutura não volte a se deteriorar (SOUZA e RIPPER,2009).

A seguir o quadro 1 apresentará as principais causas responsáveis pela redução da durabilidade do concreto armado que podem ser classificadas, de acordo com sua natureza, em:

- Causas Mecânicas;
- Causas Físicas;
- Causas Químicas;
- Causas Eletroquímicas.

Quadro 1 – Causas, mecanismos e sintomas da deterioração do concreto armado

Causa da deterioração	Mecanismo de deterioração			Sintomas	Afeta diretamente
Mecânica	Choques e Impactos			Fissuração e lascamento do concreto, possível perda de armadura	Peça estrutural (concreto + armadura)
	Recalque Diferencial				
	Acidentes Imprevisíveis				
Física	Desgaste Superficial	Atrito	Abrasão	Desgaste Superficial do Concreto	Concreto
			Erosão		
		Cavitação			
	Cristalização de Sais nos Poros do Concreto			Fissuração e Escamamento do concreto	Concreto
	Retração Hidráulica do Concreto Fresco	Assentamento Plástico		Fissuração do Concreto	Concreto
Retração Plástica					

Continua...

Continuação

Causa da deterioração	Mecanismo de deterioração		Sintomas	Afeta diretamente
Física	Gradiente Térmico	Retração Térmica	Fissuração do Concreto	Concreto
		Dilatação Térmica		
	Ação do Fogo (Incêndio)		Fissuração, Desidratação da Pasta, Expansão dos Agregados, Ruptura e Colapso da Armadura	Peça estrutural (concreto + armadura)
Química	Reação Álcali-Agregado		Expansão e Fissuração do Concreto	Concreto
	Hidratação dos Óxidos do Cimento			
	Ataque Por Sulfatos		Decomposição química da pasta, despassivação do aço, expansão, fissuração, desintegração, perda de resistência do concreto	Concreto
	Ataque Por Ácidos		Decomposição química dissolução e lixiviação, aço, expansão, fissuração, desintegração do concreto	Concreto
	Água Pura		Decomposição química dissolução e lixiviação da pasta de cimento, eflorescência, estalactite e estalagmite	Concreto
	Carbonatação		Redução progressiva do Ph do concreto e despassivação do aço, abrindo caminho para a corrosão do aço	Inicialmente o aço, posteriormente o concreto
	Ataque por Cloretos		Despassivação do aço, corrosão das armaduras (processo eletroquímico)	Inicialmente o aço, posteriormente o concreto
Eletroquímica	Corrosão das Armaduras		Deterioração e perda da seção do aço, perda da aderência aço – concreto, expansão, fissuração e lascamento do concreto	Inicialmente o aço, posteriormente o concreto

Fonte: Adaptado de Andrade (2005) e Andrade e Silva (2005).

2.2.2 Fissuras em estruturas de concreto armado

Para Azevedo (2011), as fissuras são manifestações patológicas que se manifestam nas estruturas de concreto devido à ocorrência de tensões de tração acima da capacidade resistente do concreto. Elas podem ocorrer tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido do concreto e sua configuração, posição na peça e variação de abertura permitem, em muitos casos, diagnosticar a causa da sua ocorrência.

O fissuramento em uma estrutura pode ter diversas causas e para que se possa ter um estudo eficaz e correto da configuração da fissura, do grau de abertura da mesma e se há variação em relação ao tempo, é necessário classificar a fissura, como ativa ou inativa, ativa quando a causa responsável por gerar a fissura ainda atua sobre a estrutura e inativa, ou seja, estável, quando a causa teve efeitos por um período de tempo e após esse período deixou de atuar na estrutura. (SOUZA E RIPPER, 2009 p. 57)

Como comprometem a vida útil da peça por serem uma porta de entrada para agentes agressivos, apresentam sinal de preocupação, podendo condenar o elemento estrutural. Ao serem monitoradas chamamos de fissuras ativas aquelas que ainda sofrem com os efeitos patológicos, que não estão estabilizadas na estrutura havendo modificação em seu comprimento, profundidade e altura. Já as fissuras inativas são aquelas que já sofreram com os esforços patológicos, que não se movimentam mais.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) diz que as fissuras são consideradas agressivas quando elas possuem aberturas superiores a 0,2 milímetros quando se trata de estruturas expostas a meios agressivos fortes como áreas industriais ou em contato direto com a maré, 0,3 milímetros quando as estruturas estão em meios de agressividade mediana como áreas urbanas e 0,4 milímetros quando estão em meio de pouca agressividade como áreas rurais. O quadro 2 indica alguns tipos e particularidades das fissuras em obras urbanas.

Quadro 2 – Causas e particularidades das fissuras.

Causas de Fissuração	Aspectos particulares
Recalque de fundação	Assentamentos diferenciais de fundações diretas.
	Variação do teor de umidade dos solos argilosos.
	Deficiência da compactação de aterros.
Sobrecargas de projeto	Concentração de cargas e tensões.

Continua...

Continuação

Causas de Fissuração	Aspectos particulares
Deformação das estruturas de concreto	Deformação diferente entre os pavimentos.
	Deformação na região do balanço.
	Rotação na região de apoio do pavimento
	Deformação nos vértices de abertura
Retração térmica	Variação do teor de umidade causas externas
	Variação do teor de umidade dos materiais
	Retração da argamassa
	Retração da cerâmica

Fonte: Autora, 2021.

As fissuras acometidas por erros de execução, principalmente na concretagem não podem ser previstas levando a redução da durabilidade e segurança da estrutura, ANDRADE (2005). As fissuras que podem ser controladas são aquelas que se originizam pelo excesso de cargas, descritas nos itens abaixo.

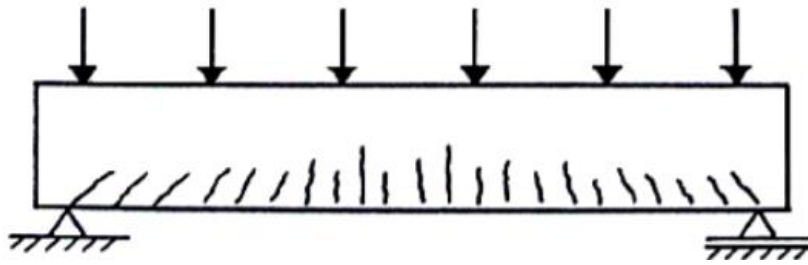
2.2.2.1 Fissura por flexão

Para Thomas (2014) os elementos que sofreram os esforços de flexão já são dimensionados prevendo a fissuração do concreto na região.

Quando não se faz uma análise correta das cargas sobre os componentes fletidos, se inicia o processo de fissuração da peça.

De acordo com Marcelli (2007) este tipo de fissura ocorre normalmente em pontos de cortante máximo, e é característico de sessão insuficiente, excesso de carga, falta de armadura ou armadura disposta de forma incorreta, conforme demonstrado abaixo na figura 2.

Figura 2 – Viga isostática submetida a flexão

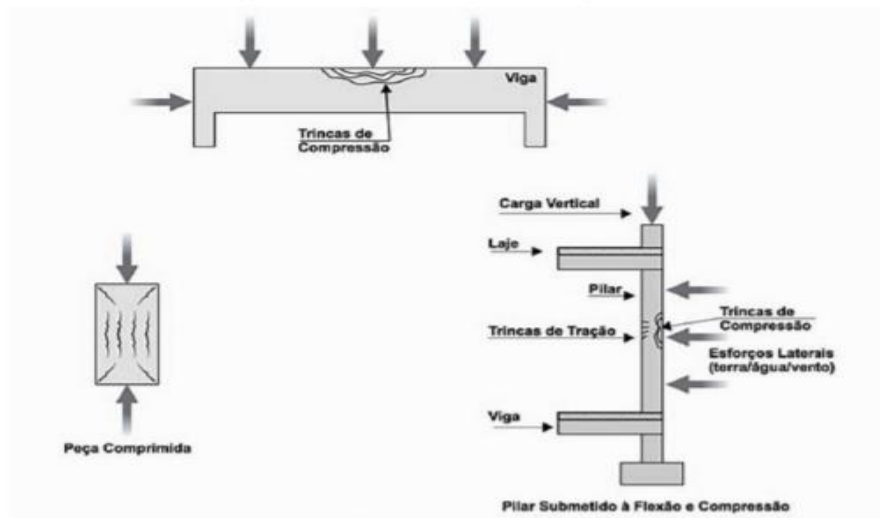


Fonte: Thomas, 2014.

2.2.2.2 Fissura por compressão

Marcelli (2007) ainda diz que fissuras por compressão são o início do colapso da estrutura, quando não possui mais a capacidade de suportar as cargas aplicadas. Isso porque o concreto é considerado com alta resistência a esforços de compressão. A figura 3 apresenta características de fissuras por compressão.

Figura 3 – Fissuras por compressão



Fonte: Marcelli, 2007.

2.2.2.3 Fissura por cisalhamento

De acordo com Hibbeler (2004) a força de cisalhamento é a força por unidade de área aplicada na tangente da sessão tensionada conforme demonstração na figura 4.

Figura 4 – Fissuras por cisalhamento



Fonte: Marcelli, 2007.

2.2.3 Corrosão nas armaduras de aço

A corrosão se define por uma interação físico-química entre o metal e o meio exposto provocando sua deterioração. Esse tipo de patologia ocorre principalmente quando o cobrimento é insuficiente ou de má qualidade. Por consequência de variáveis químicas e físicas que ocorrem nas barras de aço, este problema se destaca no comprimento do aço, diminuindo a área da armadura resultando na redução da seção dos componentes (SOUZA; VICENTE, 2009).

Cascudo (1997) classifica a corrosão em: corrosão química também conhecida como oxidação e corrosão eletroquímica. A primeira se dá por uma reação gás-metal, com formação de uma película de óxido. É um processo lento e não provoca deterioração superficial das superfícies metálicas, exceto quando se tratar de gases extremamente agressivos. Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes. NBR 6118 (ABNT, 2003).

Para Helene (1986) apud Polito (2006) o fenômeno da corrosão química ocorre preponderantemente durante a fabricação das barras, resultando na formação de uma película compacta, uniforme e pouco permeável, sob a superfície do aço, podendo até servir de proteção relativa contra a corrosão de natureza eletroquímica. Entretanto, trata-se de uma proteção frágil. Devido à pouca relevância da corrosão química como mecanismo de deterioração do aço.

Já a corrosão eletroquímica ou aquosa, conforme descreve Cascudo (1997), é a que efetivamente traz problemas às obras civis. Trata-se de um ataque de natureza eletroquímica, que ocorre em meio aquoso, como resultado da formação de uma pilha ou célula de corrosão eletroquímica.

Cascudo (1997) classifica a corrosão eletroquímica da seguinte maneira:

- Corrosão Generalizada: ocorre em toda a superfície do metal, podendo ser uniforme, com a superfície tendendo a ser lisa e regular, ou não uniforme, apresentando superfície rugosa e irregular;

- Corrosão por Pite; ocorre de forma localizada, na qual há pontos de formação de desgaste definidos na superfície metálica, os quais evoluem aprofundando-se, podendo causar a ruptura pontual da barra. Na maioria dos casos, ocorrem na forma de depressões rasas e de maior diâmetro ao longo das barras de aço;

- Corrosão sob Tensão Fraturante; também ocorre de forma localizada, a qual se dá juntamente com uma tensão de tração na armadura, podendo dar origem à propagação de fissuras na estrutura do aço. Ocorre principalmente em estruturas protendidas, mas pode-se dar também em estruturas de concreto armado, já que com pelo menos 10% do limite de resistência à tração do aço é possível a sua ocorrência. Conforme demonstrado na figura 5 a diferença no comportamento da corrosão no aço.

Figura 5 – Os 3 tipos de corrosão segundo a morfologia



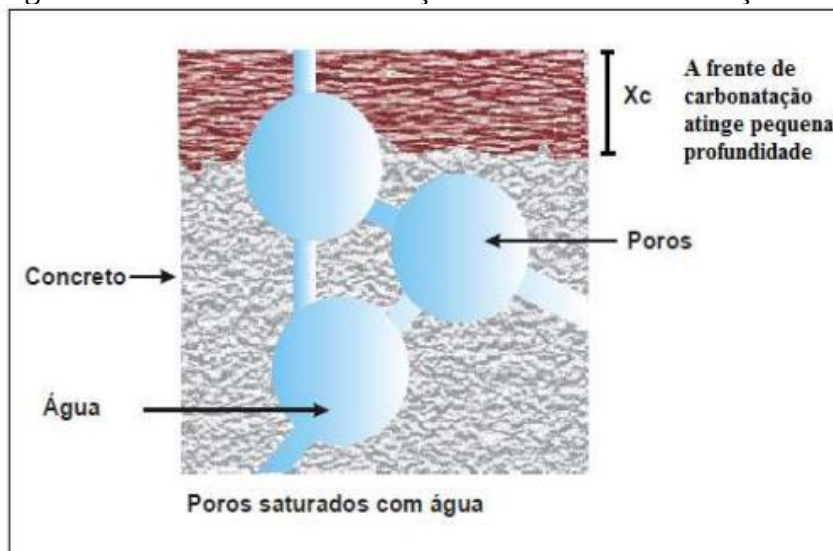
Fonte: Cascudo (1997) apud Polito (2006).

2.2.4 Carbonatação das Estruturas

O fenômeno acontece através dos gases carbônicos. O processo consiste no transporte de gás por difusão do concreto, reagindo com os hidróxidos de cálcio presentes em sua composição, por ser alcalino seu pH é reduzido de 12 para valores menores. A umidade relativa do ar de 60% a 98% exposto a ciclos de molhagem e secagem possibilita a corrosão. O processo de carbonatação não é prejudicial ao concreto, o problema é que em função da concentração de CO_2 na atmosfera e da porosidade e nível de fissura do concreto, a armadura pode ser atingida pela carbonatação, arrebatando um filme de proteção de óxido que a protege, iniciando sua corrosão. A carbonatação não é possível se considerado volume de água nos poros do concreto de 0,5% a 1%. (SOUZA; VICENTE, 2009).

De acordo com Cascudo (1997), uma característica do processo de carbonatação é a existência de uma “frente” de avanço do processo, que separa duas zonas com pH muito diferentes: uma com pH menor que 9 (carbonatada) e outra com pH maior que 12 (não carbonatada). Conforme apresentada na figura 6, ela é comumente conhecida como frente de carbonatação, e avança progressivamente para o interior do concreto, devendo sempre ser mensurada com relação à espessura do concreto de cobrimento da armadura. É importante que essa frente não atinja a armadura. Caso contrário, isto é, ao atingi-la, gera sua despassivação, que é a perda da camada passivadora protetora do aço.

Figura 6 – Poros saturados: avanço da frente de carbonatação



Fonte: Cascudo (1997) apud Polito (2006).

Por este motivo, a carbonatação do concreto proporciona o início da corrosão das armaduras. O processo de carbonatação, felizmente, ocorre a uma velocidade lenta, atenuando-se com o tempo. Isto pode ser explicado pela hidratação crescente do cimento, além dos próprios produtos da reação de carbonatação que preenchem os poros superficiais, dificultando cada vez mais o acesso de CO_2 (presente no ar) ao interior do concreto (CASCUDO, 1997).

Segundo Aguiar (2006), nos concretos de qualidade moderada apresenta que a velocidade da carbonatação varia cerca de 1 e 3 mm por ano. Logo, a corrosão por carbonatação é influenciada pela espessura do cobrimento. Assim, a corrosão se inicia nas armaduras onde as espessuras da camada de cobrimento são menores.

2.2.5 Infiltração dos Íons Cloreto

Como afirma Cavalcante Filho (2010), íons de cloreto são os agentes causadores do maior problema das armaduras de concreto armado. A corrosão por pites, ou seja, a patologia na estrutura, se manifesta de forma puntiforme, danificando de forma centrada a película apassivante do aço mesmo em pH extremamente elevado. A incidência dessa ação se dá em localidades litorâneas, devido ao fato de que as regiões marítimas fazem com que a atmosfera contenha íons cloretos. Os aerossóis de sais dissolvidos, causados pelas partículas provenientes de água do mar, são levados pelo vento e se depositam nas estruturas circunvizinhas. O cloreto é capaz de penetrar no concreto através da absorção capilar da água em que se encontram dissolvidos, há também a possibilidade de vir a adentrar nos elementos estruturais de forma involuntária através de aditivos de pega que possuam em sua composição cloreto de cálcio ou agregados, águas e solos contaminados. Para tanto, devem ser observadas situações que podem favorecer a permeabilização do agente agressor, tais como, a localização geográfica do elemento estrutural, a qualidade do concreto que o reveste e suas variáveis durante a execução, composição do aglomerante, relação água/cimento e a condição da superfície do aço empregado, o clima do meio em que está exposto não deve ser subestimado, bem como a exposição à ânions, como o sulfato.

Porém, Cascudo e Helene (2001) concluem, com base em experimentos, que este roll de variáveis não é taxativo e nem é isolado, podendo ocorrer o aprazamento entre os fatores que possibilitam a contaminação por íons cloretos, e assim, alterarem de forma significativa o efeito da corrosão proporcionalmente à medida que interagem entre si.

Descrito nos itens abaixo os principais mecanismos de transporte dos cloretos ao interior do concreto:

- Permeabilidade sob pressão hidráulica;
- Absorção capilar;
- Difusão iônica.

2.2.5.1 Permeabilidade sob pressão hidráulica

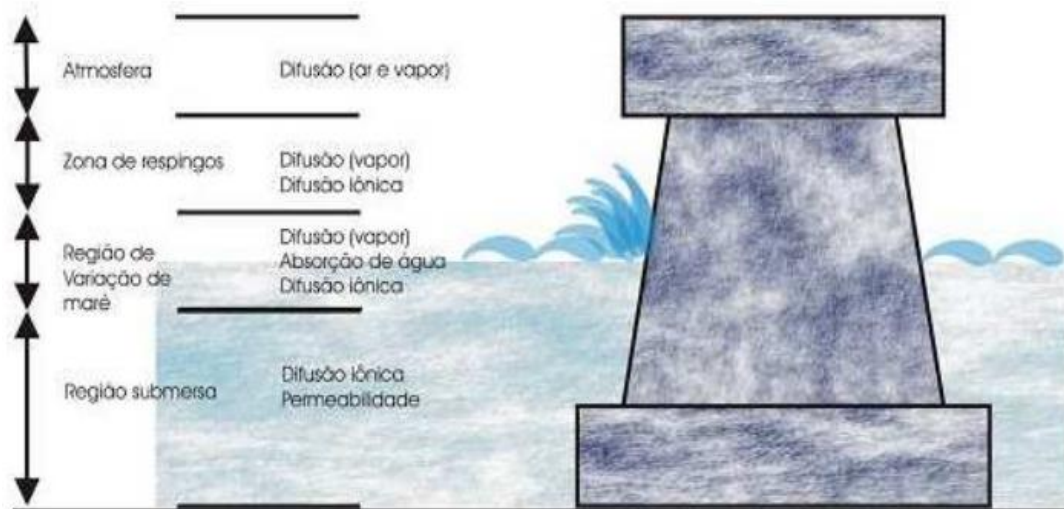
Para Mehta e Monteiro (2008) a permeabilidade pode ser definida como a facilidade com que um fluido pode escoar através de um sólido, sob um gradiente de pressão externa. O mecanismo de penetração de água sob pressão se caracteriza pela existência de um gradiente

hidráulico que força a entrada de água no concreto. Cascudo (1997) salienta que este processo está relacionado tanto ao diâmetro dos poros capilares quanto à interconexão eles.

O que define a estrutura porosa do concreto (tamanho dos poros e interconectividade entre eles), é a relação dada pelo fator a/c (água / cimento). Quanto menor for a relação a/c, mais compacta a matriz de concreto será, e menores serão a porosidade capilar e a interconexão entre os poros. Consequentemente, menor será a permeabilidade do concreto. Esta situação ocorre em estruturas submersas ou parcialmente submersas (MONTEIRO, 2002).

A verificação do transporte de substâncias líquidas pela permeabilidade sob pressão é realizada apenas em situações especiais onde haja o acúmulo ou a contenção de águas, a contenção de solos, o contato direto com a ação de águas correntes e o caso de estruturas semienterradas com a presença do lençol freático (CASCUDO, 1997), bem como nas estruturas submersas em geral. Apresentado na figura 7 como age os mecanismos de transporte em diferentes etapas.

Figura 7 – Atuação simultânea de mecanismos de transporte em estrutura marítima



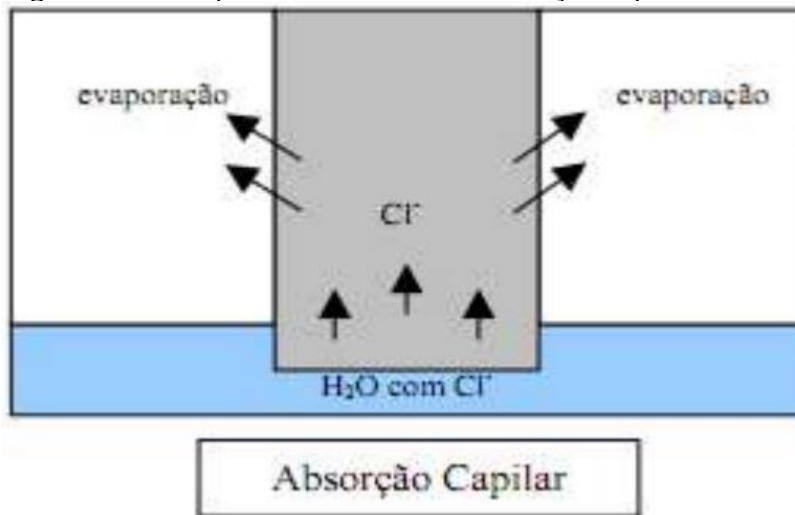
Fonte: Ferreira (1999) apud Missau (2004).

2.2.5.2 Absorção capilar

De acordo Cavalcanti Filho (2010) este fenômeno se dá através do contato entre o concreto e a solução líquida rica em íons cloretos, a qual penetra pelos poros devido às tensões capilares. Tal fenômeno ocorre imediatamente após o contato superficial entre o líquido e a matriz de concreto, ou seja, ocorre na superfície. É a porta de entrada para os cloretos nas estruturas marítimas sujeitas a ciclos de molhagem e secagem, tais como estruturas parcialmente submersas.

A absorção capilar é o principal mecanismo para a penetração de cloretos em estruturas em atmosfera marinha, pois os cloretos ficam impregnados na superfície da peça e quando dissolvidos em contato com a água penetram por absorção capilar (CAVALCANTI FILHO, 2010). Este fenômeno é possível observar conforme ilustrado na figura 8.

Figura 8 – Transporte de cloretos via absorção capilar



Fonte: Helene (1992) apud Hoffmann (2001).

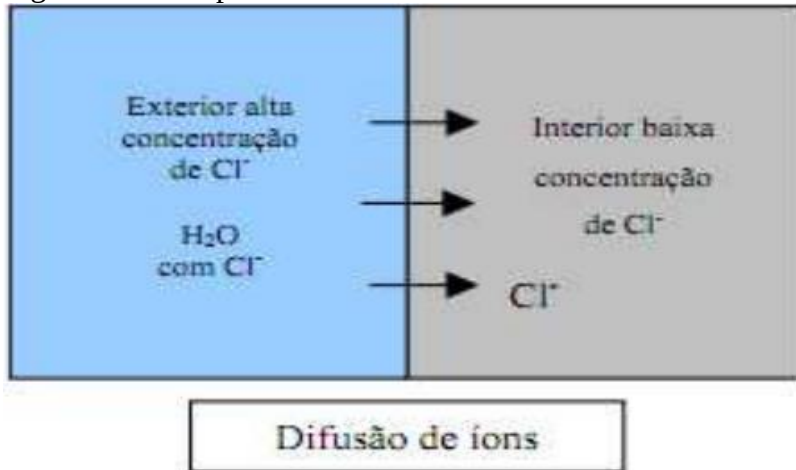
2.2.5.3 Difusão iônica

Enquanto a absorção capilar ocorre na camada superficial da peça, a difusão iônica se desenvolve no interior do concreto. Consiste no movimento de íons cloretos no interior do concreto, em meio aquoso (visto que a presença do teor de umidade é mais intensa no interior do concreto), provocado pela diferença ou gradiente de concentração iônica, seja entre o meio externo e o interior do concreto, seja dentro do próprio concreto. Estas diferenças nas concentrações de cloretos suscitam o movimento desses íons em busca do equilíbrio. Entretanto, para que ocorra a difusão iônica, é necessário que haja interconexão capilares (porosidade aberta), bem como a existência de um eletrólito, o meio aquoso ou a umidade, sem os quais a difusão iônica não ocorre (CASCUDO, 1997; CAVALCANTI FILHO, 2010).

A difusão iônica é mais efetiva quando os poros da pasta de cimento hidratado estão saturados, mas também ocorre em concretos parcialmente saturados, segundo Neville (2007) apud Cavalcanti Filho (2010). Além disso, a difusão dos íons cloreto será tanto mais intensa quanto maior for a sua concentração na solução externa. Portanto, tomando por referência uma estrutura de concreto parcialmente submersa, a difusão iônica ocorre nas regiões submersas, na

de variação da maré (molhagem e secagem constantes) e naquelas sujeitas aos respingos e vapor do mar. Conforme ilustrado na figura 9.

Figura 9 – Transporte de cloretos via difusão iônica



Fonte: Helene (1992) apud Hoffmann (2001).

2.3 MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A NBR 5674 (ABNT, 2012) ressalta que a manutenção é como um conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou reparar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários.

Segundo Villanueva (2015) o desempenho satisfatório do concreto na boa durabilidade está na capacidade de aplicar a manutenção adequada. Na ausência de manutenção as edificações podem ocasionar anomalias causadoras de danos materiais até mesmo danos pessoais em casos isolados. Para Helene (1992) as construções que apresentam patologias em intensidade e incidência significativas, são as que geram elevados custos para a realização de manutenção corretiva. Na tabela 1 é possível a análise do levantamento de gastos com manutenção em alguns países.

Tabela 1 – Preços de insumos para a recuperação de estrutura

País	Gastos totais com construção	Gastos com Construções novas	Gastos com Manutenção e Reparo
França	165,2 bilhões de euros	85,6 bilhões de euros (52%)	79,6 bilhões de euros (48%)
Alemanha	198,7 bilhões de euros	99,7 bilhões de euros (50%)	99,0 bilhões de euros (50%)
Itália	135,4 bilhões de euros	58,6 bilhões de euros (43%)	76,8 bilhões de euros (57%)

Fonte: Adaptação Medeiros Andrade e Helene (2011).

Segundo Andrade e Gonzales (1978) o custo com manutenção causados por corrosão nas estruturas de concreto armado é equivalente de 1,25% a 3,50% do produto nacional bruto de países em desenvolvimento. Denota-se que mais de 40% dos gastos em construção, acaba sendo gerado pela necessidade de manutenção.

Recuperar uma estrutura é devolver as suas condições originais. Afim de reduzir os altos custos gerados para a recuperação das estruturas, se faz necessário medidas de manutenção podendo ser estratégicas que são baseadas em revisões periódicas na estrutura, e manutenções esporádicas que nascem pela necessidade de reparo, geralmente as mais caras.

Dentre as falhas humanas ocorridas na etapa de manutenção, destacam-se:

- Dificuldade de manutenção em obras devido à inexistência, nos projetos, de detalhes construtivos que possibilitem a substituição dos aparelhos de apoio em pontes e viadutos, os quais possuem uma vida útil inferior à própria estrutura de concreto (ANDRADE e SILVA, 2005);

- Falta de limpeza e de manutenção periódica da impermeabilização das lajes de cobertura, marquises e mezaninos, possibilitando a infiltração prolongada de águas de chuva e o entupimento de drenos, fatores que, além de implicarem a deterioração da estrutura, podem levá-la à ruína por excesso de carga, devido à acumulação de água (SOUZA e RIPPER, 2009).

Para diminuir os altos gastos gerados com recuperações, se fazem necessários ações de manutenção, podendo tais ações ser classificadas como estratégica e esporádica, conforme exposto a seguir:

Manutenção Estratégica: Esse tipo de manutenção baseia-se nas revisões periódicas realizadas nas estruturas, tendo por finalidade programar os serviços preventivos ou corretivos, visando evitar as falhas nas estruturas.

- a) Preventiva: em conformidade com Nakamura e Farias (2013), a observação e a manutenção preventiva são as melhores formas de manter uma estrutura de concreto em ordem;

- b) Corretiva: Segundo Helene (1992), esse é um tipo de solução que permite a correção de manifestações patológicas evidentes. Esse tipo de manutenção tem caráter de recuperação, pois os procedimentos para que ocorram são bem semelhantes, mas pode ocorrer em situações mais simples e ser executado por equipe de manutenção.

Manutenção Esporádica: Para Villanueva (2015), esse é o primeiro tipo de manutenção a ser adotada pelo meio profissional, e também o mais caro. Geralmente nasce da necessidade de uma determinada atividade de correção ou de um esforço na estrutura que estava prevista em nenhum plano de ação pré-determinado (SOUZA e RIPPER, 2009).

- a) Corretiva: Geralmente ocorre de forma não planejada, por este motivo pode acarretar custos maiores que a manutenção corretiva estratégica;
- b) Emergencial: Segundo Lourenço e Mendes (2011), essa técnica é empregada para permitir a recuperação da estrutura gravemente avariada, quando normalmente já existe impossibilidade de uso.

2.4 BIOCONCRETO

A implantação do bioconcreto surgiu para combater as patologias apresentadas, tendo como sua principal característica a autorregeneração.

O pesquisador microbiologista Henk Jonkers foi quem desenvolveu a tecnologia na Universidade Técnica de Delft na Holanda.

Uma cicatrização contínua de fissuras particularmente superficiais resulta em uma menor permeabilidade do material e um risco significativamente reduzido de degradação prematura da matriz e corrosão do reforço do aço embutido devido a entrada de água e produtos químicos agressivos (JONKERS 2007).

Jonkers (2008) afirma que não há limites para a restauração do concreto em comprimento, podendo se regenerar fissuras de centímetros até quilômetros, mas existe uma largura máxima que a bactéria incorporada consegue fazer o processo de autorregeneração.

As colônias de bactérias podem ser encontradas em regiões vulcânicas, são extremamente resistentes a ambientes hostis, por isso conseguem se adaptar ao pH alcalino do concreto. A bactéria *Bacillus pseudofirmus* foi a escolhida por Jonkers, elas se alimentam através de um nutriente a base de cálcio conhecido como lactato de cálcio, podendo ficar adormecidas no concreto por até dois séculos.

Quando a água começar o processo de infiltração pelas fissuras na matriz de concreto, irá formar o lactato de cálcio ativando as bactérias adormecidas, no processo de metabolização a precipitação do carbonato de cálcio dará início ao processo de regeneração das fissuras.

2.4.1 Preparação do bioconcreto

Podendo ser composto de duas formas distintas, podendo ser por aplicação direta ou encapsulamento das bactérias.

Quando utilizado de forma direta, o processo ocorre por meio da adição de cápsulas de argilas que variam de 2 a 4 mm diretamente na mistura da pasta de cimento, introduzidos com nitrogênio separado, fósforo e um agente nutricional.

No encapsulamento das bactérias o lactato de cálcio é introduzido juntamente com a colônia dentro da pastilha de argila expandida, e adicionada na mistura do concreto.

Lowenstam (1981) descreve o processo de biomineralização de duas formas distintas. Uma que ocorre de forma controlada quando o microrganismo sintetiza os minerais utilizando uma estrutura especializada, ou seja, a biomineralização ocorre de forma independente das condições ambientais. O outro ocorre através de uma indução biológica, que seria dependente das condições ambientais para o desenvolvimento da biomineralização, o mineral formado é resultado da atividade biológica do organismo e o tipo de íons metálicos presentes no meio.

Para a utilização no âmbito da construção civil, o material pode ser empregado na cimentação da peça pelo processo do bioconcreto, ou por uma camada superficial para proteção chamado de biodeposição. De acordo com a metodologia de Jonkers e Schlangen (2008) dividiram em etapas de análise de dados para misturar as bactérias no concreto de forma que aconteça o preenchimento das fissuras através do processo de precipitação, diminuindo os danos na estrutura.

2.4.2 Escolha da Bactéria

Jonkers e Schlangen (2008) determinaram que a escolha do tipo da bactéria é estabelecida com a capacidade de precipitação do carbonato. O fornecimento da matéria prima para o desenvolvimento deve ser terceirizado. Após a definição deve ser feito um levantamento do ambiente na matriz de concreto para a verificação da eficiência das bactérias.

2.4.3 Escolha de Aditivos

Determinasse necessário a adição de aditivos no intuito de aumentar a eficiência do processo de precipitação sem perder a estabilização da estrutura do bioconcreto.

2.4.4 Correção das Condições da Matriz de Concreto

Amostras do concreto devem ser retiradas em corpos de prova seguindo a normativa regulamentadora. Serão retiradas impurezas e substâncias contaminantes que contribuem para ineficiência da precipitação. A verificação do pH é necessário para o metabolismo da bactéria devido a alcalinidade elevada.

2.4.5 Bactéria e nutrientes

Jonkers e Schlangen (2008) utilizaram a bactéria *Bacillus* introduzindo juntamente os nutrientes necessários para o desenvolvimento da colônia selecionada no concreto.

2.5 UTILIZAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO BIOCONCRETO

Sua aplicação consiste no aperfeiçoamento da vida útil do concreto convencional como é conhecido hoje. A utilização de micro-organismos capazes de realizar o processo de reparo na estrutura através da precipitação de lactato de cálcio se destaca não só na vida útil, mas também na viabilidade econômica além de ser um material sustentável de acordo com Silva e Passarini (2017).

Silva e Passarini (2017) ainda apresentam resultados satisfatórios ao analisar a durabilidade do bioconcreto a longo prazo (anos) e a eficiência de custo desse novo tipo de concreto. De acordo com a pesquisa, os benefícios potenciais do bioconcreto são principalmente a redução de custos de manutenção e reparação, a extensão da vida útil das construções e o fato desse ser um material sustentável como mostra a tabela 2.

Tabela 2 – Ensaio de resistência à compressão do concreto

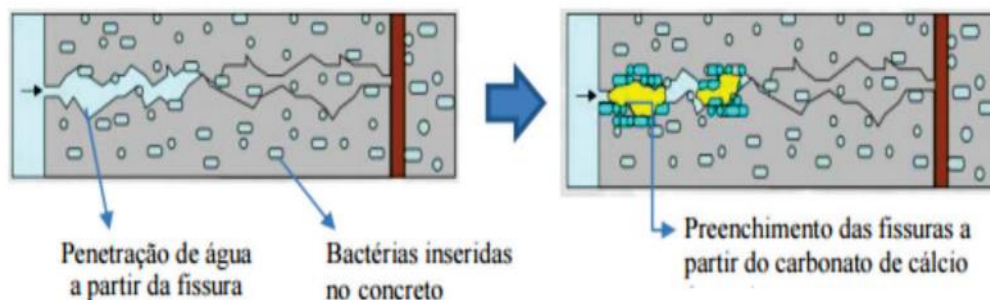
Dias	Concreto Convencional N/mm ² (MPa)	Bioconcreto (MPa)
7	37,57	39,48
14	44,73	51,26
28	51,19	60,17
60	55,39	63,35
90	56,97	66,27
180	58,37	67,62
270	59,17	68,84
365	60,87	70,07

Fonte: Adaptação Silva e Passarini (2017).

De acordo com os dados é notório o acréscimo da resistência com o passar dos dias. É perceptível, em comparação ao concreto convencional, que o bioconcreto apresenta uma resistência considerável à compressão.

O mecanismo e procedimento utilizado para o resultado desejado se deu através da substituição do agregado, a brita, por esferas de argila expansiva contendo as bactérias junto com o nutriente de lactato de cálcio. A modificação na estrutura do concreto se desenvolve a partir do surgimento de fissuras que irá romper as esferas de argila que contem a bactéria, visto que o material ficará suscetível a penetração de água, logo se inicia o processo de biomineralização do lactato de cálcio ativando as bactérias conforme figura.

Figura 10 – Esquema de auto cicatrização no bioconcreto



Fonte: Moreira (2016).

O processo de auto cicatrização do concreto como demonstrado se dá a partir do momento em que se promove a ativação das bactérias adormecidas no concreto pelo contato

com a água que entra nas fissuras. Sendo o mecanismo de precipitação conforme visto na figura o atuante como solução para não expor a estrutura de ferro e aço às intempéries como água e ar, preservando a sua integridade estrutural.

3 METODOLOGIA

Este trabalho até o presente momento, como proposto no capítulo 2, foi desenvolvido em materiais já elaborados, sendo assim se classifica como uma pesquisa bibliográfica de acordo com Gil (2010). Não tendo disponibilizado os recursos para a obtenção do experimento, como matéria prima, foi realizado o estudo de levantamento de dados para análise do comparativo de viabilidade do material.

3.1 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DE DADOS

Após coletado, absorvido todo o referencial teórico que norteará a presente pesquisa, a análise de dados foi executada, de modo a extrair as principais partes de cada pesquisa citada.

Após a leitura dos volumes teóricos atinentes, análise e separação do exato material que referenciará o presente trabalho, extração de informações e dados que comporão parte desta pesquisa, decidiu-se dividir a apresentação dos dados em 4 subitens que formarão a base teórica desta obra.

3.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho foi ordenado visando atingir o objetivo proposto. Desta forma organizou-se da seguinte forma:

No capítulo 1, apresenta-se a introdução, onde estão inseridas a problematização e problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a justificativa.

O capítulo 2 discorre sobre a fundamentação teórica que serviu como arcabouço para a composição do presente trabalho que visam descrever pilares importantes da problemática ora exposta.

Dando prosseguimento ao trabalho, o capítulo 3 e 4 destaca a apresentação, análise e discussão dos dados da pesquisa.

4 RESULTADOS ESPERADOS

Tendo como base a bibliografia dos experimentos dos autores supracitados, analisou-se que os resultados de comparação entre os tipos de concreto apresentam de forma satisfatória o desempenho no processo de precipitação de carbonato de cálcio para o preenchimento de fissuras do que em comparação a matriz de concreto convencional.

Na análise dos dados verificou-se ainda que o tempo de duração para que se obtenha o fechamento das fissuras é consideravelmente baixo, tendo a bactéria aspectos que são condizentes para a sua sobrevivência dentro da matriz de concreto. Detalhado na tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades do bioconcreto

Propriedades	Resultados
Tempo máximo para fechamento	3 semanas
Limite de extensão da rachadura	Não possui, pode ir de cm para km
Limite de largura da rachadura	0,8 milímetros
Custo	40% mais caro do que o convencional
Vida útil da bactéria	200 anos na edificação

Fonte: Adaptação Geotesc (2017).

O bioconcreto tem como particularidade a capacidade de se auto regenerar devido a incorporação de colônias de bactérias em sua composição, mas além da característica de auto recuperação apresenta vantagens como prolongamento da vida útil, baixa manutenção e sustentável ao meio ambiente.

Silva e Passarini (2018) afirmam que se aplicadas de maneira correta as bactérias ajudam a promover o desenvolvimento na capacidade de regeneração do concreto. A capacidade microbiológica de cura do concreto eventualmente devida à formação direta e indireta de carbonato de cálcio.

A formação direta de carbonato de cálcio é devido o processo de precipitação de CaCO_3 , pelo meio de conversão metabólica de lactato de cálcio que é a fonte de alimento das colônias de bactérias presentes no meio.

Já de forma indireta o carbonato de cálcio é obtido pela reação de produção metabólica das moléculas de CO_2 que possuem minerais de Ca(OH)_2 presentes na matriz de concreto.

4.1 POTENCIAL DE USO EM OBRAS URBANAS

O uso do concreto autorregenerativo na engenharia vem se tornando cada vez mais popular. Segundo Vekarina e Pitroda (2013) suas possíveis aplicações que consistem no aperfeiçoamento da durabilidade da peça, vem sendo testado no desenvolvimento de construções urbanas.

De acordo com o site da WEG a primeira estrutura que foi usado oficialmente o material no desenvolvimento estrutural da construção foi uma estação de salva-vidas de um lago na Holanda. A edificação em questão serve de teste pois é sujeita a condições extremas com alta incidência solar e presença contínua de água. Sendo monitorada a cada dois anos, a construção comprova a eficácia do bioconcreto, que permanece vedada, estanque a água desde a sua construção.

O material também vem sendo utilizado em canais de irrigação no Equador. Devido à grande atividade sísmica no país, as estruturas em concreto ficam mais suscetíveis ao surgimento de rachaduras na estrutura de acordo com a intensidade desses eventos sísmicos.

Em obras de pequeno porte, ou que não aplicam manutenções eventualmente de difícil acesso, o processo construtivo por meio do bioconcreto acaba sendo defasado devido ao valor elevado do material. Sendo esse o grande desafio da implementação do bioconcreto na construção civil, o fato de ser comparado com a produção do concreto comum seu custo será superior. A tecnologia ainda não é empregada no Brasil justamente pelo alto custo. A expectativa é que com o avanço das pesquisas, possibilite o seu uso em construções no mundo todo (WEG 2021).

Figura 11 – Estação de salva-vidas realizada em bioconcreto



Fonte: Jonkers (2015).

4.2 VIABILIDADE TÉCNICA

Diante da problemática exposta no decorrer do trabalho, os problemas em construções de concreto envolvem uma série de fatores que influenciam de forma direta no seu desempenho.

Com o tempo, o desgaste ocasionado nas estruturas, seja por motivos naturais, por causas externas, ou até mesmo devido a erros na construção, resulta em problemas na edificação. O surgimento de fissuras, por exemplo, é um sinal de que algo está errado e pode acarretar-se em outras consequências.

Embora o concreto seja o material de construção mais utilizado do mundo, ele tem uma falha grave: ele pode facilmente quebrar quando sob tensão. Se estas fissuras se tornarem muito grandes, elas levarão à corrosão do reforço de aço, o que não só resulta em uma aparência pouco atrativa, mas também compromete as qualidades mecânicas da estrutura. (WEBREDACTIE, 2016)

Logo o bioconcreto foi desenvolvido afim de sanar as patologias apresentadas. Em obras que foram elaboradas há décadas e que sofrem com o surgimento de fissuras e trincas devido a ação de agentes externos e sobrecargas, a necessidade de mão de obra para reparos é inevitável e constante. Com o intuito de amenizar os problemas que provocam incômodos e podem vir a comprometer a estrutura, foi elaborado um líquido com a mesma composição do bioconcreto capaz de restaurar as patologias já existentes no concreto ou proteger a edificação (VENDRAMI, 2016).

Com o mercado de trabalho cada dia mais competitivo e inovador, a utilização de um modelo de construção sustentável é essencial, e esse novo concreto que foi criado vem mostrando uma ótima qualidade, pois sua capacidade de se auto regenerar depois de sofrer algum esforço e causar patologias é muito útil em uma estrutura.

4.3 MANUTENÇÃO DE OBRAS URBANAS

As edificações com o passar dos anos podem sofrer vários tipos de patologias como trincas, fissuras e rachaduras prejudicando sua estrutura e diminuindo sua resistência e durabilidade. Materiais de construção como as estruturas de concretos e argamassas estão sempre suscetíveis a fatores químicos, físicos, biológicos e ações de intemperismo, que conseqüentemente leva ao aumento da porosidade, que é um dos fatores que reduz sua característica de resistência mecânica. Com o objetivo de reduzir a problemática de deterioração, tem sido empregado tratamentos para alterar as características das rochas, visando o reestabelecimento da parte que está deteriorada, sem que seja necessário manutenções de correção da parte afetada. (VIEIRA DOS REIS, L. 2017)

A capacidade do bioconcreto em se regenerar a diversas patologias diminui consequentemente a quantidade de manutenções que normalmente são feitas nos edifícios para manter a resistência desta estrutura. (NASCIMENTO, 2018).

O bioconcreto é atualmente um material sustentável e rentável, embora tenha um custo mais alto que os demais concretos, leva-se em consideração o custo das manutenções de outro tipo de concreto, que se tornaria mais caro do que o investimento no bioconcreto, podendo se tornar, portanto, o melhor investimento a ser feito.

Além de diminuir o custo gasto com manutenções e reparos como mostrado na tabela 4, a introdução no uso do bioconcreto reduz o impacto de economia em países em até 69% do consumo total gerado (ARAÚJO, ABREU, ÓRFÃO E AMARANTE, 2019).

Tabela 4 – Custo com manutenção de obras

Ano	Despesa com Manutenção	69% de Economia	Valor Real de Manutenção
2010	R\$1.352.000,00	R\$00	R\$419.120,00
2011	R\$2.297.000,00	R\$1.584.930,00	R\$712.070,00
2012	R\$5.651.000,00	R\$3.899.190,00	R\$1.715.813,00
2013	R\$8.761.000,00	R\$6.045.090,00	R\$2.715.910,00
2014	R\$4.800.000,00	R\$3.312.000,00	R\$1.488.000,00
2015	R\$1.241.000,00	R\$856.290,00	R\$384.710,00
2016	R\$1.759.000,00	R\$1.213.710,00	R\$545.290,00
2017	R\$1.183.000,00	R\$816.270,00	R\$366.730,00

Fonte: Adaptação Araújo, Abreu, Órfão e Amarante (2019).

O concreto convencional não tem sido tão eficaz, pois os novos métodos construtivos que estão sendo utilizados estão cada vez mais aprimorados. Os profissionais da área da construção civil devem sempre estar um passo à frente, se adaptando a novas tecnologias e consequentemente inovando a maneira de elaborarem seus projetos, atentando-se a materiais de excelente qualidade e sustentabilidade, uma vez que é de suma importância buscar o desenvolvimento sustentável.

4.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BIOCONCRETO

Como principal característica, o bioconcreto apresenta vantagens na redução significativa em manutenções e permite que sejam feitas em locais de difícil acesso, em

ambientes de difícil manutenção. Em específico construções subterrâneas, túneis, construções marítimas. Com a capacidade de se auto regenerar, aumenta a durabilidade de uma estrutura, diminuindo o impacto ambiental em até 10 vezes. (SILVA E PASSARINI, 2017)

Outra vantagem que se pode citar é a respeito da sua resistência. Anteriormente neste trabalho foi apresentado na tabela 2 um comparativo entre o concreto convencional e o bioconcreto, que avaliava a resistência de corpos de prova quando submetidos a ensaios de compressão. No final do comparativo quando se obteve a análise entre 365 dias houve um acréscimo de aproximadamente 10 MPa na amostra do bioconcreto em relação a amostra analisada do concreto convencional. O aumento da resistência do bioconcreto, é devido aos espaços vazios do concreto serem preenchidos pelo carbonato de cálcio precipitado pelas bactérias, ocasionando uma redução na sua permeabilidade (SILVA E PASSARINI, 2017).

Dentre suas desvantagens o elevado custo para sua preparação pode ser citado, já que por sua vez, fica em torno de 40% mais caro conforme demonstrado na tabela 3. Para permitir a utilização dos materiais em escala real, deve-se trabalhar na busca da redução de custos na produção dos agentes cicatrizantes, como o lactato de cálcio, ao qual Patel (2015) define como tendo um custo elevado.

Apesar do potencial de utilização, outra limitação que pode ser apontada é a partir do processo lento de precipitação, por se tratar de algo mais complexo que os processos químicos. Isso ocorre porque a atividade dos micro-organismos presentes na matriz é dependente de fatores ambientais como temperatura, pH, concentração e difusão de nutrientes para o processo de metabolização. (VIEIRA DOS REIS, L. 2017)

Sua limitação também se estende ao fator de limite de cobrimento de trincas e fissuras, como detalhado na tabela 3, em questão de cobrimento em relação a distâncias, não há impedimentos, podendo se regenerar de centímetro até quilômetros, mas quando se trata de espessura, o máximo de regeneração alcançado seria de 0,8 mm para trincas e fissuras.

4.5 RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS COM A UTILIZAÇÃO DE BIOCONCRETO

O bioconcreto por ainda estar em seus primeiros testes, configuram de difícil acesso pesquisas que analisam a utilização do material na recuperação de patologias em obras urbanas, seus testes ainda se referem a ensaios laboratoriais.

Para que fosse resolvido o problema das fissuras nas estruturas de concreto e argamassa, comumente apresentadas no decorrer da sua vida útil, tornasse necessário a produção de mais cimento. São conhecidas diversas técnicas utilizadas na reparação de fissuras, entretanto

apresentam desvantagens como degradação ambiental, diferença de coeficiente de expansão entre os materiais aplicados na correção, até mesmo a utilização de aditivos que podem comprometer a resistência da peça. Em função disso surgiu a proposta da utilização de incorporar microrganismos como colônias de bactérias na matriz de concreto como alternativa de reparo. (THIVYA; CHANDRASEKAREN, 2016)

Em um estudo publicado pela UNIVATES (2020) o destaque acadêmico, foi a pesquisa de recuperação fissuras em corpos de prova de argamassa. Na pesquisa, foram divididas amostras contendo os microrganismos encapsulados ou livres, que foram mergulhados em água e água com ureia, para cultura no desenvolvimento da bactéria, após foram comparadas aos corpos de prova de referência, onde não foram adicionados os microrganismos. Ao final do período de cem dias foram observadas a cicatrização das fissuras nos CPs contendo microrganismo encapsulado. Não foi verificada diferença de cicatrização entre os CPs mergulhados em água e água com ureia. Os resultados obtidos indicam a viabilidade da utilização de microrganismo autógeno para a cicatrização de fissuras em corpos de prova de argamassa.

Aos sete dias da realização dos CPs que continham as amostras, foi iniciado o processo de indução de fissuras realizadas com auxílio de imagens de um microscópio. Por análise visual, apenas com 42 dias foram possíveis observar os primeiros sinais de cicatrização nos CPs que havia microrganismos encapsulados demonstrado na figura abaixo. (FERNANDA E SOUZA, 2020)

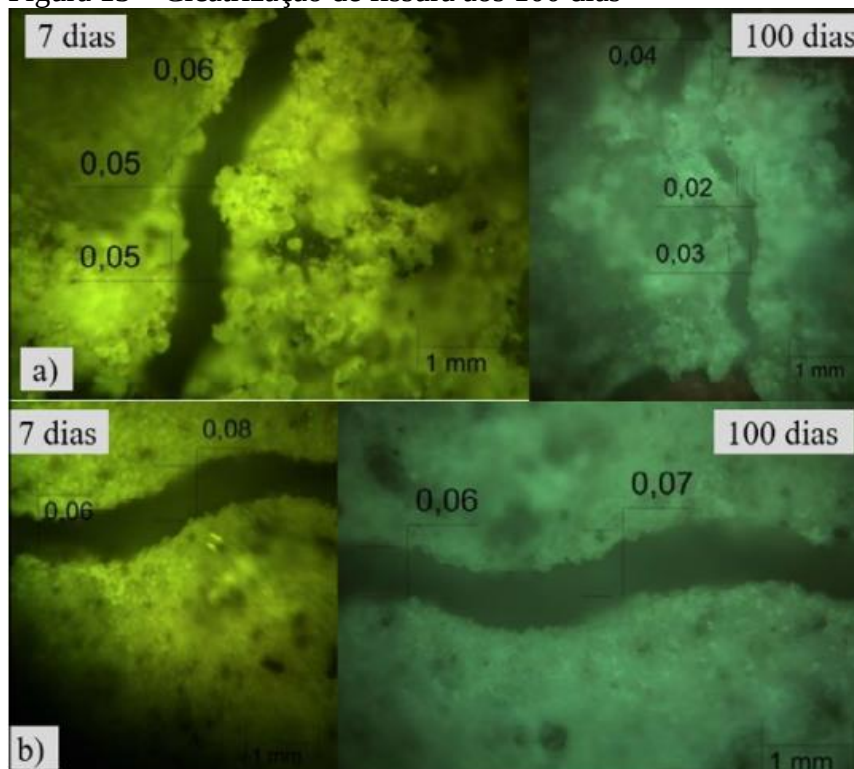
Figura 12 – Cicatrização de fissura aos 42 dias



Fonte: Fernanda e Souza (2020).

Novas imagens foram realizadas após um período de cem dias, para que fosse feita a verificação do acompanhamento da formação de cristais. Com ampliação de 20 vezes, foram comparadas as imagens com os corpos de prova de referência. Abaixo foi denominado na imagem A para CP mergulhados na água com ureia, e na imagem B para CP mergulhado apenas em água.

Figura 13 – Cicatrização de fissura aos 100 dias



Fonte: Fernanda e Souza (2020).

Nos resultados as autoras mencionam a ocorrência da formação de cristais de calcita, comprovado nas imagens do microscópio. Apesar de não ter diferença de cicatrização relevante entre as amostras mergulhadas em água e nas amostras mergulhadas em água com ureia, o experimento apontou que os CPs que estavam na cultura que continha ureia apresentaram uma cicatrização mais rápida. O acompanhamento visual que foi feito da cicatrização das fissuras, mostrou resultados relevantes.

De acordo com Fernanda e Souza (2020), embora as cápsulas de microrganismos tenham se mantido viáveis durante o período de análise, que ocorreu em cem dias, apenas sucedeu-se em função de estarem presentes em câmara úmida ou mergulhadas em água. Em condições desprovidas de umidade não teria sido possível a obtenção de tais resultados.

5 CONCLUSÃO

Diante do exposto, pode-se verificar que a utilização do Bioconcreto apresenta vantagens estéticas, estruturais e financeiras. Além disso, vantagens ambientais, visto que, com o aumento da vida útil da estrutura, reduz-se a necessidade da produção de concreto, que, por sua vez, causa impactos ambientais. Tendo em vista a diminuição do número de manutenções necessárias, custo com reparos de patologias, resultando em redução de custos e maior segurança na estrutura por conta de preservar a integridade das armações.

No entanto, a implantação do bioconcreto pode se tratar de um material de custo superior se comparado ao concreto convencional. Ele apresenta um bom desempenho se aplicado em obras de grande porte e de difícil manutenção que são fatores que contribuem para o elevado valor gasto em reparos.

Por fim, o bioconcreto é de notória importância no desenvolvimento da construção civil devido a sua utilização promover redução de tempo com reparos e manutenções. Além disso sua aplicabilidade propicia um aumento na estabilidade das construções, atribuindo uma estética mais apresentável e o prolongamento da vida útil da peça. Em função disso sugere-se a trabalhos futuros o acompanhamento do material aplicados em obra, e não apenas em laboratório.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014), “Texto concluído da NBR 6118:2014: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento”.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012), “Texto concluído da NBR 5674:2012: Manutenção de edificações – Procedimento”.

AGUIAR, José Eduardo de. Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis. Dissertação (Mestrado), Programa de Pósgraduação em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. 173p.

ALVES, J. D. Manual de Tecnologia do Concreto. Goiânia: UFG, 1982

ANDRADE, C.; GONZÁLEZ, J. A. Quantitative measurements of corrosion rate of reinforcing steels embedded in concrete using polarization resistance measurements. *Werkstoffe um Korrosion*, Berlim, Alemanha, v. 29, p. 515-19, 1978.

ANDRADE, T; COSTA E SILVA, A. J. Patologia das estruturas. In: ISAIA, G.C (Editor). *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005

ARAÚJO, ABREU, ÓRFÃO E AMARANTE, *Bioconcreto*, vol.8Nº 2, 2019, Disponível em <<https://revistas.brazcubas.br/index.php/dialogos/article/view/686/680>>, Acesso em: 24 de jan de 2022.

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

BAUER, L. A. F. *Materiais de construção*. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 1v. 488p.

CASCUDO, O.; HELENE, P.R.L. Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.

CASCUDO, Oswaldo. O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas. 1ª ed. Goiânia: Editora UFG, 1997. 237p.

CAVALCANTI FILHO, A. N. Contribuição ao controle tecnológico de concretos estruturais de cimento Portland em ambientes marítimos. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CORSINI, R. Trinca ou fissura. São Paulo: *Téchne*. 160, p., jul. de 2010.

FERREIRA, A. A. Concreto de alto desempenho com adição de cinza de casca de arroz: avaliação de propriedades relacionadas com a durabilidade. Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

GAUTAM, B. R. (2018). Bacteria based self healing concrete—a bacterial approach. *Constr. Build. Mater.* 57-61.

GEOTESC, Bioconcreto: o concreto que auto regenera Disponível em:
<<https://www.geotesc.com.br/site/tag/bioconcreto/>>

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5a ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HELENE, P. R. L. Corrosão de armaduras no concreto. São Paulo: PINI, 1986. 47p.

HELENE, P. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. São Paulo: PINI, 1992.

HIBBELER, R.C. Resistencia dos Materiais. Revisão Tecnica Wilson Carlos Da Silva. Ed. São Paulo, 2004.

HOFFMANN, A. T. Influência da adição de sílica ativa, relação água/aglomerante, temperatura e tempo de cura no coeficiente de difusão de cloretos em concretos. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

KRISHNAPRIYA, S.; BABU, D. L. V.; ARULRAJ, G. P. Isolation and identification of bacteria to improve the strength of concrete. Microbiological Research, v. 174, p. 48–55, 2015.

JONKERS, H.M. Self healing concrete: a biological approach. In Self healing materials - An alternative approach to 20 centuries of materials science. (ed. S. van der Zwaag), pp. 195–204. Springer, the Netherlands, 2007

JONKERS, HENK & SCHLANGEN, ERIK. Development of a bacteria-based self healing concrete. Tailor Made Concrete Structures. 1. 10.1201/9781439828410.ch72. (2008).

JONKERS, H.M., MORS R. Reduction of Water Permeation through Cracks in Mortar by Addition of Bacteria based Healing Agent, 2015.

LIMA, Maryangela Geimba de. Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. 1v. Cap.24, p.713-751.

LOWENSTAM, H. A. Minerals formed by organisms. Science, v. 211, n. 4487, p. 1126-1131, mar. 1981.

MARCELLI, Mauricio. Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: PINI, 2007. 270 p

MEDEIROS, A.H.F, ANDRADE, J.J.O. HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: Isaia, G.C.(Org.) 1. ed. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011, v.1, p.887-902.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1ª ed. São Paulo: PINI, 1994. 1v. 580p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MISSAU, F. Penetração de cloretos em concretos compostos com diferentes teores de cinza de casca de arroz. Dissertação (Mestrado), Curso de Pósgraduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MONTEIRO, E. C. B. Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. 211p

MOREIRA, M. M. Efeito do aditivo redutor de permeabilidade em concretos com diferentes tipos de cimento Portland – Contribuição aos processos de autocicatrização. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília, Brasília, 2016. 162p.

MORS, R. M., & Jonkers, H. M. (2012) Bacteria-based self-healing concrete-introduction, 32-39.

NASCIMENTO, Marlesson Soares do. A implantação do bioconcreto desenvolvido para solucionar problemas estruturais tais como: fissuras, rachaduras, e trincas. 2018. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universitário do Norte – Uninorte, Manaus, 2018. Disponível em: < <https://semanaacademica.org.br/artigo/implantacao-do-bioconcreto-desenvolvido-para-solucionar-problemas-estruturais-tais-como> >

NAKAMURA, J; FARIAS, R. Intervenções corretivas estendem a vida útil das estruturas de concreto armado: Conheça produtos e técnicas para recuperação estrutural. Técnica: São Paulo, 2013. Edição 201.

NEPOMUCENO, Antonio Alberto. Mecanismo de Transporte de Fluidos no Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. Cap.26, p.793-827.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1997. 828p.

PATEL, P. Helping Concrete Heal Itself. ACS Central Science, v. 1, n. 9, p. 470–472, 2015.

POLITO, Giuliano. Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação. Monografia (Aperfeiçoamento / Especialização), Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PORTAL DO CONCRETO, O que é concreto? Disponível em: <<https://www.portaldoconcreto.com.br/o-que-e-concreto>>

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. Materiais de construção civil. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002. 102p.

SILVA, A. M. D. (2018). Avaliação da viabilidade técnica e econômica do uso do bioconcreto em substituição ao concreto comum. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, FUCAMP, Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil

SILVA, F. P. C., de Carvalho Passarini, V., & Santos, F. C. S. (2017). Bioconcreto: A Tecnologia Para Construção Sustentável. INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797), 5(2), 41-58

SOUZA, V.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estrutura de concreto: 1. Ed. São Paulo: Pini Ltda, 2009.

THIVYA J., CHANDRASEKAREN M. Experimental Study On The Behavior Of Self Healing Concrete By Using Bacillus Subtilis. International Journal of Advanced Engineering Research and Technology, Índia, v. 4, n. 4, p. 138-142, April 2016.

THOMAZ, E. Trincas em Edifícios: causas, prevenções e recuperações. Ed. São Paulo. PINI, 2003. 194p.

UNIVASTES, Utilização de Microrganismo Autógeno para a Recuperação de Fissuras em Copos de Prova de Argamassa, 2020. Disponível em: < UTILIZAÇÃO DE MICRORGANISMO AUTÓGENO PARA A RECUPERAÇÃO DE FISSURAS EM CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA | Mânica | Revista Destaques Acadêmicos (univates.br) >. Acesso em 09 de Maio de 2022.

VEKARIYA, M. S., & PITRODA, J. (2013). Bacterial concrete: new era for construction industry. International journal of engineering trends and technology, 4(9), 4128-4137.

VENDRAMI, J. Bioconcreto: o concreto que ganhou vida, 2016

VIEIRA DOS REIS, Luann. Biotecnologia Microbiana Da Construção: O Potencial de Biomineralização de Bactérias Ureolíticas de Solo de Cerrado e de Rejeitos de Construção Civil. 2017. 103 f. Dissertação (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS)- UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, [S.l.], 2017.

VILLANUEVA, M. A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação. UFRJ: Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013451.pdf>>. Acesso em: 12 de nov. de 2021

WEG, Bioconcreto: o que é e como ele é capaz de se regenerar Disponível em: < <https://www.weg.net/tomadas/blog/arquitetura/bioconcreto-o-que-e-e-como-ele-e-capaz-de-se-regenerar/>>