



PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE E CAUSAS DAS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Anáísa Rosa Pereira Santos; Lorena Bárbara Dias e Stéphanne Rosa Pereira
Universidade UNA de Catalão – Campus Santa Cruz
anaisarosaps@hotmail.com; engcivillorenab@gmail.com; stephannerosap@gmail.com

Professor orientador: Ruvier Rodrigues Pereira

Coordenação de curso de Engenharia Civil

RESUMO

O termo patologia vem da medicina e origina-se do grego *pathos* = doença, e *logia* = estudo, e que na construção civil é o estudo de ocorrências de problemas e falhas de um edifício, sendo necessário um diagnóstico para poder tratar essas anomalias identificadas. As patologias das estruturas de concreto armado estão cada vez mais presentes e visíveis nas edificações através da ocorrência e da combinação de diversos fatores, sendo eles, o princípio de toda construção: a confecção do projeto estrutural, a escassez de mão de obra, a má qualidade dos materiais, e até mesmo a falta de manutenção preventiva ao longo dos anos devido ao envelhecimento natural. Diante desse contexto, são apresentados nessa tese os tipos mais comuns de patologias da estrutura, como as trincas e fissuras, porosidade do concreto, carbonatação, deformações estruturais, reação álcali-agregado, corrosão da armadura, e as formas de recuperação e tratamento para essas patologias.

Palavras-Chave: Patologia, Estrutura, Concreto Armado, Construção Civil.

ABSTRACT

The term pathology comes from medicine and originates from the Greek *pathos* = disease, and *logia* = study, and which in civil construction is the study of occurrences of problems and failures in a building, requiring a diagnosis to be able to treat these identified anomalies. The pathologies of reinforced concrete structures are increasingly present and visible in buildings through the occurrence and combination of several factors, being them, the principle of all construction: the making of the structural project, the shortage of manpower, the bad quality of materials, and even the lack of preventive maintenance over the years due to natural aging. Given this context, this thesis presents the most common types of structural pathologies, such as cracks and fissures, concrete porosity, carbonation, structural deformations, alkali-aggregate reaction, corrosion of the reinforcement, and forms of recovery and treatment for these pathologies.

Keywords: Pathology, Structure, Reinforced Concrete, Civil Construction.

1. INTRODUÇÃO

A patologia é a “Ciência” que investiga, por métodos, os defeitos dos materiais, dos componentes, dos elementos ou da edificação de maneira geral, diagnosticando suas causas e estabelecendo seus mecanismos de evolução, formas de manifestação, medidas de prevenção e recuperação (HELENE, 1988).

O comportamento de uma estrutura de concreto armado pode alterar ao longo do tempo por diversos fatores, alguns ocasionados por falhas no projeto, outros pela maneira em que foi executado ou ainda efeitos que ocorrem após anos causando a degradação da estrutura.

As manifestações patológicas precisam ser cuidadosamente analisadas para que o tratamento ideal possa ser selecionado e colocado em prática, este diagnóstico exato, indica em qual etapa do processo construtivo desencadeou o problema, podendo constar possíveis correções para o problema, assim também como medidas de profilaxia que servem tanto para evitar o aparecimento quanto a sua propagação.

De acordo com Polito (2006), ao se analisar uma estrutura de concreto "doente" é preciso saber o porquê do surgimento e do desenvolvimento da doença, afim de esclarecer as causas, antes da prescrição e consequente aplicação do remédio necessário. Portanto, o conhecimento das origens da deterioração é indispensável.

O processo construtivo de um edifício envolve as fases de projeto e execução. A falha em uma ou mais dessas etapas pode causar defeitos e comprometer a segurança, durabilidade e desempenho futuro da edificação.

Os principais erros cometidos na fase de projeto, responsáveis por falhas de desempenho da edificação são: falta de detalhes, erros de dimensionamento, desconsideração do efeito térmico, previsão incorreta dos carregamentos, especificação errada do traço do concreto, especificação inadequada da classe de agressividade ambiental. (OLIVARI 2003, P. 6)

A prevenção das manifestações patológicas é feita logo após a constatação de deficiência do revestimento das armaduras, a aplicação de revestimentos especiais que compensem a ausência do revestimento recomendado por norma pode prevenir as manifestações patológicas (FÓRUM DA CONSTRUÇÃO, 2017).

A estanqueidade é sempre um dos objetivos do proprietário, do construtor e do empreiteiro especializado, mas para que este objetivo seja alcançado é necessário um rígido controle de execução e que o proprietário e o construtor estejam conscientes da importância desta fase da obra [...] (CUNHA; NEUMANN, 1979, p. 12).

A maioria das patologias que podem afetar uma edificação na fase pós-ocupacional causam sintomas visíveis e pelas suas características permitem que possa ser determinado o agente causador (OLIVARI, 2003, p. 8).

Considerando os danos causados pela ocorrência dessas patologias, é imprescindível que as mesmas sejam evitadas. Garantindo assim, uma maior vida útil às estruturas e suas fundações. Este trabalho tem como objetivo abordar e averiguar desde as mais comuns até as mais complexas patologias observadas em estruturas de concreto armado, apontando suas respectivas causas, determinando medidas corretivas mais adequadas para a recuperação das edificações que poderão ser agravadas com tais problemas.

2. METODOLOGIA

Esse TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) tem por finalidade esclarecer e apresentar diversas pesquisas relacionadas a esse tema. O tipo de pesquisa escolhido nesse caso foi o tipo bibliográfica, que tem por objetivo aprofundar o conhecimento científico do tema patologias na construção civil e investigar assuntos já existentes relacionados, aprofundando alguns pontos específicos às patologias que ocorrem no concreto.

Utilizamos como objetivo da pesquisa o tipo descritivo que foi baseado em assuntos teóricos, onde utilizamos livros, artigos e trabalhos acadêmicos que já abordavam esse assunto escolhido.

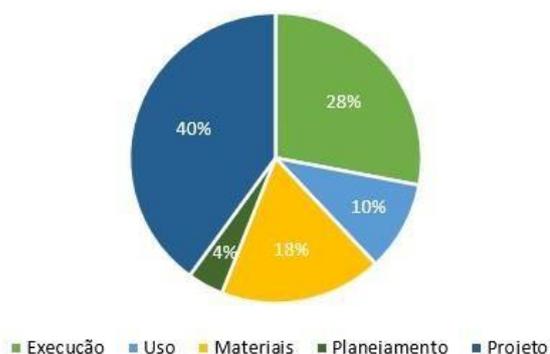
A abordagem escolhida para analisar as informações que coletamos foi a pesquisa qualitativa, onde recolhemos dados que segundo nossa visão seriam relevantes para o estudo do tema. Já o método utilizado foi o fenomenológico, que é o método que apresenta os dados e busca esclarecê-los exatamente da forma como eles são, tendo como foco principal as patologias mais recorrentes nas estruturas de concreto.

3. PATOLOGIAS NO CONCRETO: CAUSAS, MEDIDAS DE PREVENÇÃO E ALGUNS REPAROS

O conhecimento das causas da deterioração do concreto é indispensável para que se possa proceder aos reparos exigidos e também para se garantir que, depois de reparada, a estrutura não volte a se deteriorar (SOUZA e RIPPER, 1998).

Figura 1 – Gráfico comparativo de origens patológicas em Estruturas de Concreto Armado.

Causas do problemas patológicos em Estruturas de Concreto.



Fonte: Adaptado de MITZSUZAKI, (2019).

As falhas de execução das estruturas podem ser de todo tipo, podendo estar vinculadas à confecção, instalação e remoção das fôrmas e cimbramentos; corte, dobra e montagem das armaduras e dosagem, mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto, todas elas relacionadas, principalmente, ao emprego de mão-de-obra desqualificada ou falta de supervisão técnica. (ARANHA & DAL MOLIN 1994:24)

Outro grave fator, o qual pode acarretar diversas consequências, é o proprietário realizar modificações no projeto em autoria própria, ou seja, sem consultar um profissional, o que gera graves consequências para estabilidade da obra. De modo geral, os responsáveis pela mudança não conhecem os riscos do seu ato, e nem ao menos fazem qualquer consulta técnica a respeito. Assim nos mostra (ISAIA, 2010).

Dentre as inúmeras patologias recorrentes nas estruturas de concreto, podemos destacar:

- Fissuras e Trincas
- Porosidade do concreto
- Carbonatação
- Deformações estruturais
- Retração
- Corrosão da Armadura
- Falhas de concretagem
- Reação álcali agregado

De acordo com Emmons (1994) os procedimentos de avaliação de uma estrutura devem seguir os seguintes passos:

- Inspeção visual pela estrutura.
- Revisão dos dados de engenharia.
- Avaliação das condições da estrutura.
- Mapeamento das deficiências.
- Monitoramento.
- Pesquisa conjunta.
- Ensaio e testes.
- Análise estrutural.
- Avaliação final.
- Relatório das condições da estrutura.

3.1. FISSURAS E TRINCAS

Dentre os problemas mais comuns nas estruturas, as fissuras e trincas são causa de falhas no desempenho da construção, comprometendo a estética, o conforto e a segurança dos usuários.

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 concreto, a fissura é originada quando as tensões solicitantes são maiores do que a capacidade de resistência do material. A fissura surge como forma de aliviar essas tensões. (HOLANDA JR. 2008, P. 96),

As trincas são um dos inúmeros problemas patológicos e merecem uma atenção particular, pois podem indicar um eventual problema estrutural ou estado de risco, constrangimento psicológico dos usuários dos serviços de água e esgoto, ainda comprometimento da estanqueidade da edificação (SOUZA, 2008).

Os principais tipos de trincas encontrados na patologia são: Por tensões devida variação térmica, deformação excessiva do concreto armado, recalques diferenciais, retração hidráulica, ninhos e falhas de concretagem, recobrimento das armaduras e chumbamento de peças (SOUZA, 2008).

Segundo Thomaz (1989) e Duarte (1998), as fissuras em paredes de alvenaria podem ser classificadas, dentre outros critérios, de acordo com sua espessura e atividade.

Figura 2 – Quadro 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, p. 10).

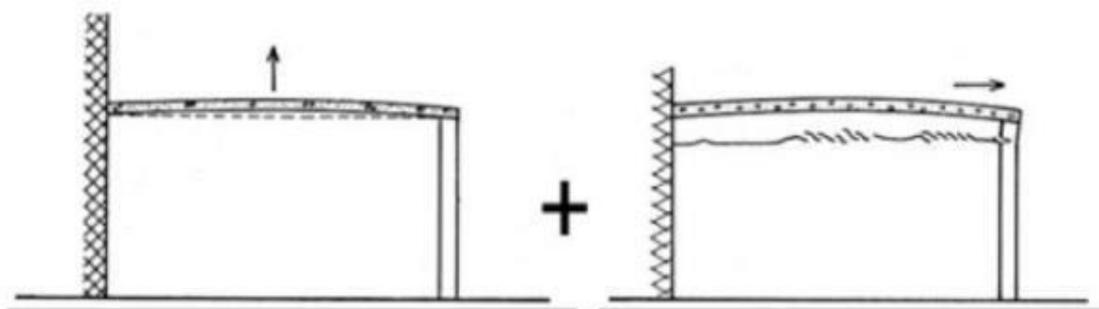
Segundo Thomaz (1989) os mecanismos mais comuns de formação de fissuras em paredes de alvenaria estrutural são: recalque de fundação, sobrecarga de carregamento de compressão, variação térmica, retração, movimentação higroscópica e reações químicas.

3.2. TENSÕES DEVIDO A VARIAÇÃO TÉRMICA

A variação térmica ou dilatação térmica é o aumento das dimensões de um corpo a partir do aumento da temperatura. Devido a isso uma estrutura de concreto também sofre alterações físicas ao longo de sua vida útil em função da variação de temperatura, e normalmente geram fissuração, posto que se criam tensões superiores à capacidade resistente ou de deformação. Os casos mais comuns de fissuração por variação térmica são em lajes de cobertura por estarem mais expostas aos gradientes térmicos naturais.

Casotti (2007), ressalta que a principal fonte de calor, na maioria das edificações, é o sol, logo, alguns fatores irão influenciar diretamente nos casos de movimentação, como: a intensidade da radiação solar, a capacidade do material de absorver o calor, a transferência de calor com outros componentes do edifício e propriedades térmicas do próprio material.

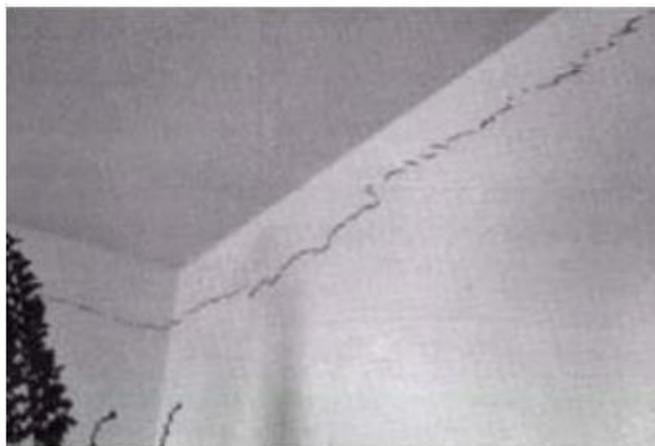
Figura 3 – Fissura ocasionada por Movimentação Térmica da Laje de Cobertura.



Fonte: SILVA, (1998).

Essa fissuração desenvolve nas paredes no sentido horizontal e paralelo ao comprimento da laje.

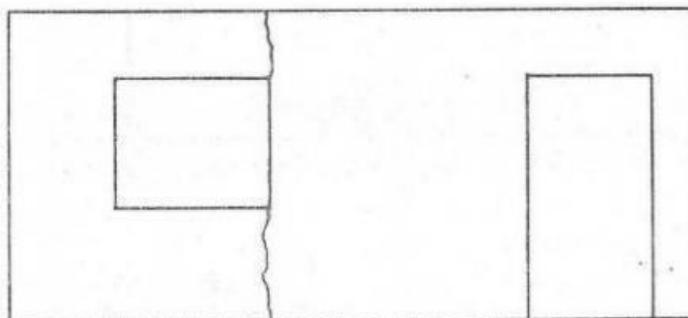
Figura 4 – Fissuração ocasionada por Movimentação Térmica da Laje de Cobertura.



Fonte: Thomaz E., (1989).

Além disso essa manifestação patológica pode se apresentar de outras formas dependendo da dimensão da laje, como nas paredes em sentido vertical em regiões enfraquecidas, como aberturas de parede (janelas, portas etc.).

Figura 5 – Fissura ocasionada por Movimentação Térmica em seção enfraquecida pelo vão da janela.



Fonte: Thomaz E., (1989).

Para evitar essa movimentação térmica das lajes o indicado seria a utilização de um isolante térmico, como por exemplo a mistura de argila expandida, e nas paredes a utilização de juntas elásticas de movimentação, como silicone ou isopor. E para a reparação das fissuras é necessário a aplicação de argamassa polimérica.

Caso a fissura não apresente movimentação considerável, sua recuperação pode ser feita também utilizando o próprio sistema de pintura da parede. Podendo ser recuperada aplicando por exemplo um selante flexível, como poliuretano ou silicone, em um sulco aberto na região da trinca em formato de V, de mesma largura e profundidade.

Outro reparo que pode ser mencionado seria a substituição dos elementos degradados e fechamento das juntas que nada mais é que o desmonte e reconstrução dos elementos da alvenaria, substituindo a argamassa danificada das juntas por outra com melhores propriedades mecânicas. Essa técnica é indicada quando o elemento está suscetível a elevadas tensões de compressão, carregamentos diferenciais ou ações térmicas, com a finalidade de controlar o fendilhamento (SAMPAIO, 2010, p.32).

3.3. POROSIDADE DO CONCRETO

Quanto maior for a porosidade do concreto, maior a chance de entrar umidade no material.

Petrucci (1998) destaca as principais causas da porosidade do concreto: é sempre necessário utilizar uma quantidade de água superior à que se precisa para hidratar o aglomerante, e essa água, ao evaporar, deixa vazios; com a combinação química, diminuem os valores absolutos de cimento e água que entram em reação; inevitavelmente, durante a mistura do concreto, incorpora-se ar à massa.

A permeabilidade do concreto é proporcional ao fator a/c e inversamente proporcional aos finos presentes na mistura, como o cimento. O processo de cura também é fator determinante para a permeabilidade, tendo em vista que uma má cura pode deixar microfissuras devido à baixa hidratação, conseqüentemente, maior número de vazios (OLIVEIRA, 2012).

Agregados podem ser menos permeáveis do que a pasta de cimento, porém, quando adicionados ao sistema, ao contrário do que se espera, a permeabilidade aumenta, devido ao tamanho das partículas. Quanto maior for a dimensão do agregado, maior será o coeficiente de permeabilidade. Esse fator é explicado devido a maior granulometria dos agregados proporcionar um maior número de vazios nas microfissuras da zona de transição (MEDEIROS et al, 2011).

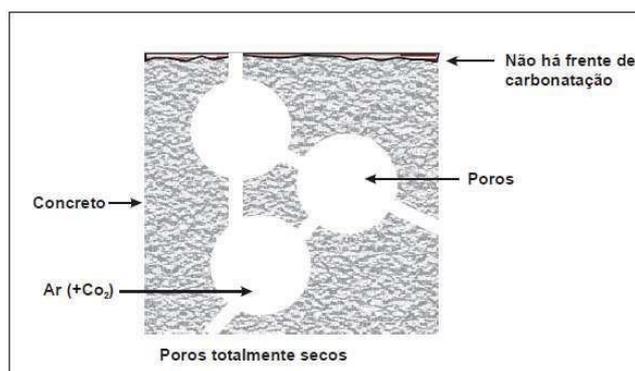
Figura 6 - Porosidade em uma parede de concreto.



Fonte: Block, (2020).

Uma parede de concreto poroso pode afetar diretamente na resistência da sua estrutura devido aos espaços vazios dentro dele, e para que o concreto tenha uma boa durabilidade, o ideal é que ele tenha poucos poros, pois eles são a porta principal para os agentes degradantes do concreto.

Figura 7 – Representação do interior de uma parede de concreto poroso.



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

Existem vários ensaios para a determinação da permeabilidade do concreto que são feitos em corpos-de-prova nos laboratórios, através desses ensaios é possível saber se o concreto é poroso ou não, são eles:

- Determinação da penetração de água sob pressão (NBR 10787);
- Determinação da absorção de água por capilaridade (NBR 9779);
- Determinação do coeficiente de permeabilidade à água (NBR 10786);
- Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica (NBR 9778).

Caso os corpos-de-prova de concreto apresente resultados de alta permeabilidade (muito poroso) deve ser feita uma análise no elemento estrutural que recebeu essa concretagem. Com o avanço da tecnologia existe os ensaios-não-destrutivos para a análise da estrutura, sendo um deles o Ensaio de Ultrassom no Concreto, conforme a norma NBR 8802 – Concreto Endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica, que pode ser feito tanto em corpos-de-prova, quanto no seu elemento já concretado. Esse ensaio é feito através de um aparelho em que sua finalidade é mostrar a homogeneidade ou não do concreto, detectar a presença de fissuras, vazios e outras imperfeições no interior do seu elemento concretado. O aparelho de ultrassom é emitido pulso de ondas que se propaga através do concreto, onde através dessa propagação de ondas os circuitos de temporização permitem medir o tempo de trânsito do pulso, e através desse tempo sabe-se identificar se o concreto é de boa ou péssima qualidade.

Figura 8 – Classificação relacionando a velocidade à quantidade do concreto.

Velocidade da Onda Ultra-sônica (m/s)	Qualidade do Concreto
$V > 4500$	EXCELENTE
$3500 < V < 4500$	ÓTIMO
$3000 < V < 3500$	BOM
$2000 < V < 3000$	REGULAR
$V < 2000$	RUIM

Fonte: Whitehurst (1966) e Rincon et al (1998).

Para o tratamento dessa patologia, primeiro deve-se verificar se há comprometimento da armadura, pois um concreto muito poroso tem uma maior facilidade para a entrada de agentes degradantes e com isso podem afetar diretamente as ferragens. Se não há comprometimento da armadura, é necessário saber a resistência do concreto e identificar se o elemento estrutural é capaz de aguentar a força aplicada nele. Se a carga aplicada nesse elemento estrutural for muito baixa, não há necessidade de reparo, pois o mesmo suporta essa carga, caso a carga aplicada é maior que o elemento consegue suportar deverá ser feito um reforço estrutural, e caso a carga aplicada seja muito alta e o elemento não suporta, o indicado é que seja feita a demolição do mesmo e fazer a reconstrução.

3.4. CARBONATAÇÃO

A Carbonatação é um fenômeno físico-químico que ocorre lentamente na pasta do cimento e degrada o concreto, acarretando manifestações patológicas como oxidação da armadura e eflorescência.

A Carbonatação do concreto é a reação da água em compostos hidratados com cimento (CASCUDO, 1997).

Isso ocorre devido a entrada do dióxido de carbono (CO₂) e água nos poros do concreto. O CO₂ reage com os constituintes alcalinos, como por exemplo o Ca (OH)₂. Com isso, há uma redução da reserva alcalina do concreto, na qual leva o pH de 13 para um valor em torno de 9. Com essa redução do pH, o concreto deixa de ser uma proteção contra a corrosão.

É um efeito desencadeado pelo ácido carbônico (H₂CO₃). Sendo a reação responsável pelo surgimento do ácido carbônico diretamente ligada a concentração de gás carbônico (CO₂) na atmosfera e a umidade na estrutura (H₂O), o CO₂ reage com o H₂O resultando no H₂CO₃, é por este fato que se admite de maneira geral que o agente principal da Carbonatação seja o gás carbônico quando há umidade.

Helene (1997) afirma que a espessura de carbonatação desenvolve-se de forma progressiva, do exterior para o interior da estrutura, a este avanço dá-se o nome de frente de carbonatação, sendo o mesmo responsável pela criação de duas zonas com níveis de pH bastante distintas, uma já carbonatada com pH próximo de 8 e outra, não carbonatada, com pH entre 12,6 a 13,5.

Figura 9 – Carbonatação do concreto.



Fonte: Tecnosil, (2018).

Figura 10 – Mecanismo de carbonatação.



Fonte: Spot, (2021).

As eflorescências são um resultado de um processo de degradação por meio de um fluxo de umidade do concreto que é responsável por carrear ou lixiviar os Carbonatos de Cálcio para a superfície.

Figura 11 – Eflorescência.



Fonte: Spot, (2021).

Um dos ensaios para detecção de carbonatação no concreto é o ensaio colorimétrico de potencial alcalino que é realizado através da aspersão de indicadores de pH na estrutura ou em amostras extraídas da estrutura analisada. Esses indicadores de pH são substâncias químicas que em contato com a solução alcalina do concreto, adquire colorações diferenciadas. Para o ensaio deve-se aspergir na superfície dos corpos de prova a solução. Após alguns minutos, ela irá reagir com o concreto onde é possível constatar visualmente que as regiões mais alcalinas do concreto se apresentam com cor alterada, enquanto as áreas menos alcalinas e, portanto, carbonatadas, não apresentam alteração na cor.

Figura 12 – Ensaio de fenolftaleína para detecção de carbonatação do concreto.



Fonte: Spot, (2021).

Para a reparação da estrutura danificada por carbonatação deve ser feita a limpeza da área com martelo, apicoando toda a região que está deteriorada, caso a armadura esteja corroída deve ser feito o reparo da mesma conforme descrito no tópico 3.7. Após ser retirado toda área deteriorada é necessário realizar a reparação estrutural fazendo o uso de graute ou argamassa específica. Já no tratamento de eflorescência em casos mais simples pode ser removido limpando com ácido acético, e impermeabilizar a região fazendo o uso de argamassa, em casos mais graves pode ser necessário recompor a estrutura.

3.5. DEFORMAÇÕES ESTRUTURAIS

Ocorrem, pois, vigas e lajes deformam-se naturalmente sob ação do peso próprio, das demais cargas permanentes e acidentais e mesmo sob efeito da retração e da deformação lenta do concreto.

Deformação excessiva do concreto armado, a ação de cargas permanentes ou acidentais causam deformação as estruturas de concreto armado. O cálculo estrutural admite flechas que não comprometem a estabilidade ou o efeito estético, mas tensões podem ser geradas, e comprometem as alvenarias e outros componentes apoiados ou vinculados à estrutura, acarretando a formação de fissuras ou trincas (FÓRUM DA CONSTRUÇÃO, 2017)

As placas submetidas a carregamentos compressivos também estão sujeitas ao fenômeno de flambagem, conhecer suas cargas críticas e cargas de ruptura se faz necessário para o correto e seguro funcionamento da estrutura de modo que a mesma consiga responder aos esforços solicitantes de forma satisfatória. O estudo deste fenômeno pode ser feito por meio de equações de equilíbrio ou pelo método da energia. (TIMOSHENKO, 1940)

Figura 13 - Pilar submetido a um esforço de compressão axial; Flambagem.



Fonte: Engenheiro Douglas Rosato, (2019).

A resistência característica do concreto à compressão é um dos dados utilizados no cálculo estrutural, o valor desta resistência é um dado importante e será necessário em diversas etapas da obra pois caso ocorram falhas elas irão representar prejuízos financeiros consideráveis e muitas vezes até inviabilizar um projeto. A união do concreto com a armadura de aço cria um componente resistente às tensões de compressão e tração devido às características dos dois materiais.

Figura 14 - Pilar submetido a um esforço de compressão; Compressão.



Fonte: Engenheiro Douglas Rosato, (2019).

Os ensaios de resistência à compressão podem ser realizados através da retirada de corpos de prova e sua posterior ruptura em prensas.

Figura 15 – Ensaio de compressão axial.



Fonte: Aguiar, (2014).

O cisalhamento é um fenômeno de deformação ao qual um corpo está sujeito quando as forças que sobre ele agem provocam um deslocamento em planos diferentes, mantendo o volume constante.

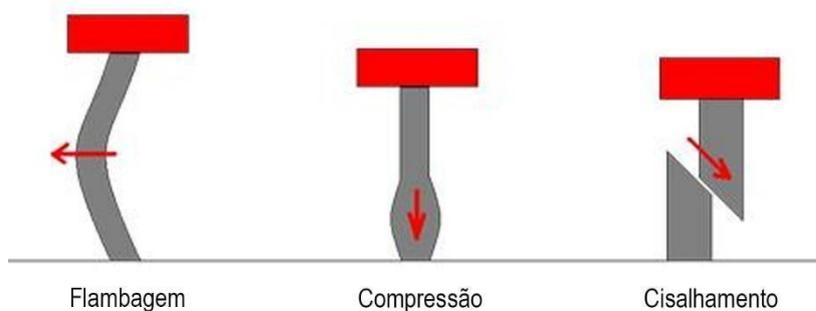
Figura 16 - Pilar submetido a forças aplicadas em sentidos iguais ou opostos, mas com intensidade diferente; Cisalhamento.



Fonte: Engenheiro Douglas Rosado, (2019).

Essa forma de ruptura por cisalhamento é denominada punção e ocorre em elementos que foram submetidos a uma reação concentrada que acontece transversalmente de forma muito brusca e pode levar a estrutura à ruína através de um colapso.

Figura 17 – Representação de rupturas em pilares.



Fonte: Adaptado de Teach Engineering, (2022).

Cada caso de deformação deve ser avaliado para definir se a estrutura irá passar por recuperação, reforço ou ambos os métodos, nesses casos o processo vai desde aumentar as seções resistentes de lajes, pilares e vigas, até a aplicação de um reforço externo através de colagem de chapas de aço ou protensão, ou até mesmo fazer o uso de fibras de carbono. Portanto, deve-se ficar atento as manifestações patológicas mais simples, como fissuras ou trincas, pois através delas que a estrutura manifesta problemas mais graves, e com isso o problema deve ser corrigido para não acarretar patologias maiores, como o colapso da estrutura.

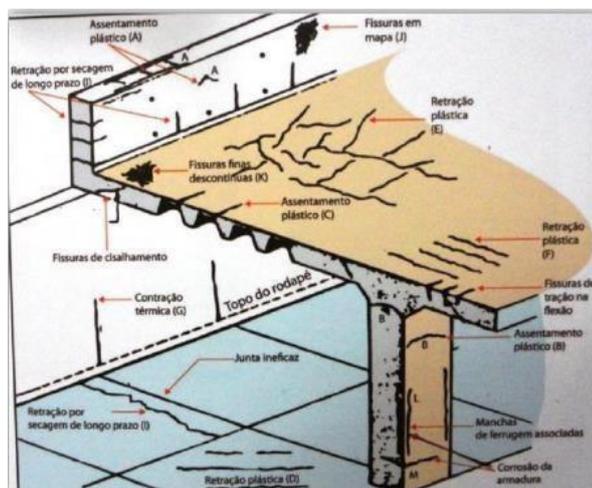
3.6. RETRAÇÃO

A retração de modo geral é uma redução de volume pela perda de umidade do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado já endurecido, gerando manifestações patológicas na estrutura. Por isso deve ser feita a técnica de cura do concreto para diminuir os efeitos de evaporação prematura da água na estrutura.

O concreto está sujeito tanto a condições de secagem ambiental como a carregamentos constantes, as quais refletem em variações dimensionais, que estão ligadas a remoção da água absorvida na pasta de cimento. Este fenômeno pode ocorrer imediatamente no ato da concretagem (METHA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com Ribas (2002), as fissuras de retração ocorrem durante a execução da obra e se manifestam nas estruturas de concreto e nas argamassas utilizadas para assentamento, influenciando diretamente o conjunto da alvenaria, podendo desenvolver tensões que causam o surgimento de fissuras na alvenaria e, conseqüentemente, são transferidas ao revestimento argamassado em fachada.

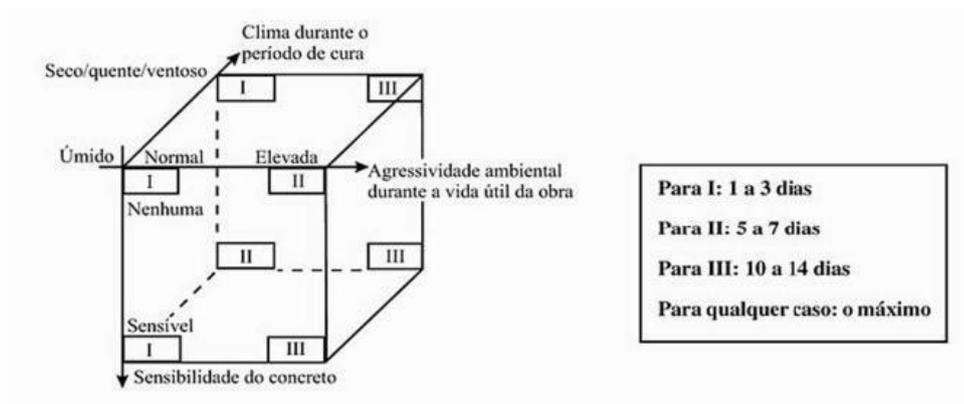
Figura 18 – Representação de fissurações típicas de retração em uma estrutura de concreto.



Fonte: METHA; MONTEIRO (2008).

A cura do concreto é um procedimento que visa retardar a evaporação da água utilizada para aprontar a mistura e garantir que o cimento esteja totalmente hidratado. É realizada durante os estágios iniciais de endurecimento, essa atividade pode ocorrer de diferentes maneiras, dependendo da situação.

Figura 19 – Tempos de cura recomendado.



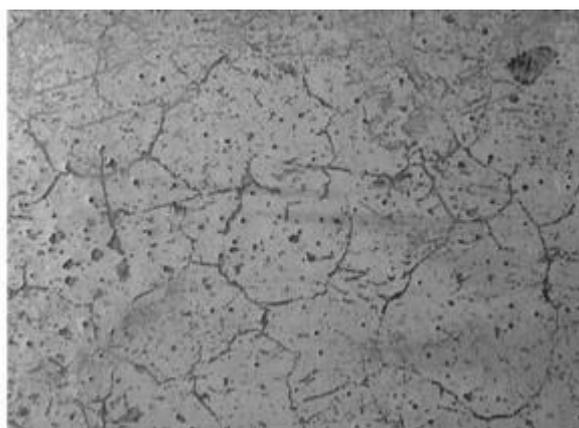
Fonte: SOUZA e RIPPER, (1998).

3.6.1. RETRAÇÃO PLÁSTICA

Ocorre na fase plástica quando o concreto ainda se encontra fresco, no qual a secagem rápida do concreto provoca uma retração quando a taxa de perda de água da superfície, pela evaporação, excede a taxa de água disponível de exsudação, apresentando baixíssima resistência à tração e o aparecimento de fissuras, ou seja, é a redução do volume do concreto quando ele perde água.

Isso acontece comumente em lugares com climas mais quentes ou com muito vento. Ocorrendo em lajes e superfícies extensas, tendo como padrão fissuras próximas aos cantos ou então com um aspecto de mapa. Não causa danos graves, porém a aparência é muito comprometida e pode causar alguns problemas com infiltrações.

Figura 20 – Retração Plástica



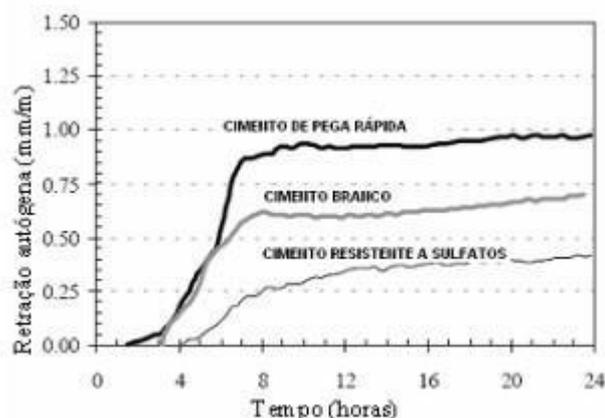
Fonte: Mehta e Monteiro, (2008).

3.6.2. RETRAÇÃO QUÍMICA/AUTÓGENA

Ocorre em concretos convencionais de alto desempenho devido a sua baixa relação água/cimento, no qual diminui a reserva de água para as reações de hidratação do cimento.

Retração autógena ocorre quando há redução da umidade relativa no interior dos poros que acontece devido a evolução da hidratação do cimento. Esse tipo de retração ocorre mais em concretos de alto desempenho porque tu tens poros menores devido à baixa relação de água/cimento.

Figura 21 – Retração autógena do concreto em função do tempo e tipo de cimento.



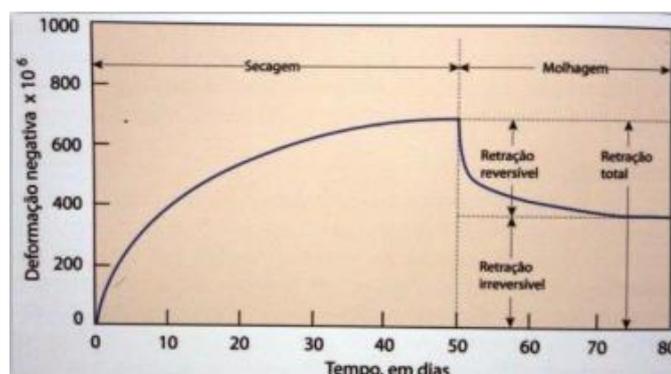
Fonte: Francisco Gabriel e Alexon Braga, (2005).

3.6.3. RETRAÇÃO HIDRÁULICA OU POR SECAGEM

Ocorre no estado endurecido em que o concreto perde água para o ambiente. Apesar de não ser uma retração significativa devido a água perdida não estar presa a estrutura dos produtos hidratados, mas quando a maior parte dessa água livre é perdida, tem-se uma perda adicional de água e resulta em retração considerável, causando fissuras em sua estrutura.

O excesso de água, usado para fazer concreto ou argamassa, fica livre na massa vaporizando mais tarde. Essa evaporação cria forças capilares equivalentes e compressão de massa isotrópica, causando uma redução em seu volume. A diferença entre esses dois tipos de retração é que a última ocorre no concreto já em seu estado endurecido.

Figura 22 – Características da retração hidráulica.



Fonte: MEHTA; MONTEIRO, (2008).

3.6.4. RETRAÇÃO TÉRMICA

Conhecida como retração exotérmica (liberação de calor), ocorre durante o processo de endurecimento do concreto, inicialmente há um aumento de volume para depois diminuir durante

o resfriamento, dispõe de três características que levam o concreto a retrair: geometria da estrutura, traço do concreto e condições climáticas.

(MEHTA e MONTEIRO,2008)

Além das mudanças dimensionais induzidas pela temperatura, as tensões dependentes da temperatura surgem quando há alguma limitação no movimento de um elemento de concreto. Uma vez que há liberdade de movimento, não há tensões. Temperaturas relativas mais baixas podem fazer com que as peças encolham, criando tensão que pode romper se sua deformação for limitada. As fissuras de retração térmica parecem muito semelhantes às fissuras de retração hidráulica, são perpendiculares ao eixo maior do elemento, têm largura constante e produzem uma seção transversal do elemento, ou seja, são essencialmente elementos estruturantes de fissuras de tração incidentes na seção transversal.

Figura 23 – Parede de concreto com anomalias devido a retração.



Fonte: Tecnosil, (2017).

O tratamento dessas patologias é fazendo o preenchimento das fissuras e trincas que possuem na estrutura através de argamassa estrutural polimérica ou resina epóxi injetável. Outros elementos que são capazes de reduzir a retração do concreto são: A utilização da sílica na composição do concreto, cimentos expansivos dos tipos K, M e S que irão provocar a expansão da pasta, aditivos expansivos que darão flexibilidade nas composições e redução de custo, aditivos redutores de retração que farão com que ocorra a diminuição da tensão capilar no interior do concreto, utilização de fibras de natureza metálica ou polimérica na mistura etc.

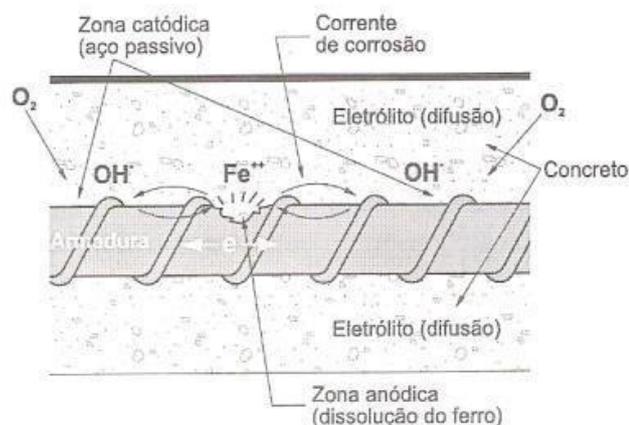
3.7. CORROSÃO DA ARMADURA

O processo de corrosão da armadura inicia no processo de carbonatação, onde o concreto é deteriorado, e no ingresso de íons cloretos no concreto, gerando uma redução na vida útil das estruturas. Apesar da aplicação do cobrimento do concreto, que tem sua finalidade de proteger fisicamente a armadura, essa proteção depende das características e propriedades intrínsecas do concreto.

"Quando o cobrimento é muito fino em relação à agressividade de um ambiente, defeitos na estrutura ocorrem em poucos anos, levando ao deslocamento do concreto, à fissuração intensa e, finalmente, ao desaparecimento das armaduras, à ruptura, deformação e até queda da estrutura", alerta o engenheiro diretor técnico da Ventuscore e especialista em estruturas de concreto, Egydio Hervé Neto (Artigo por NAKAMURA, 2011).

Estudos realizados em vigas submetidas à flexão mostraram que a resistência começa a ser afetada quando a corrosão atinge 1,5% da área de aço. Com uma corrosão de 4,5% da área de aço a resistência final da viga foi reduzida em aproximadamente 12,0%. (EMMONS 1994).

Figura 24 – Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado.



Fonte: CUNHA e HELENE, (2001).

A pilha eletroquímica é um processo que se caracteriza pela formação de célula de concentração, no qual uma parcela da barra se torna anódica (região corroída) e a outra catódica (região não corroída), os produtos oriundos da corrosão criam expansões nas armaduras causando danos no concreto e uma redução na ligação armadura/concreto pela perda de confinamento.

Figura 25 – Corrosão da armadura em uma viga.



Fonte: ASOPE Engenharia, (2018).

O processo de corrosão pode ser desencadeado por agentes agressivos, como íons cloreto, sulfetos, dióxido de carbono, nitritos, amônio, óxidos de enxofre, gás sulfídrico fuligem, entre outros, nos quais esses componentes são absorvidos pelo concreto.

Através de aparelhagem própria, pode ser realizado o ensaio de medição da camada de cobertura de concreto. Usualmente ele é feito através do campo magnético onde coloca-se o aparelho na superfície da estrutura a ser analisada, e são feitos movimentos até que apareça no visor do aparelho a espessura de cobertura das barras de aço.

Após ser feita toda retirada da área deteriorada do concreto, deve ser retirado o concreto ao redor da armadura deixando 2cm livres em seu contorno. Caso a armadura esteja muito deteriorada pela corrosão deverá ser feita a troca, senão deve ser feita a limpeza da armadura utilizando uma escova de aço e em seguida aplicar o inibidor de corrosão na armadura. Depois basta fazer a reparação estrutural.

3.8. FALHAS DE CONCRETAGEM

As falhas de concretagem estão ligadas diretamente com as falhas no transporte, no lançamento e no adensamento do concreto, no qual podem provocar segregação entre os agregados graúdos e a argamassa, resultando em formação de cavidade do concreto e formação de ninhos de concretagem, ou popularmente chamados de “bicheira”. Essas falhas podem resultar em corrosão da armadura e em último caso o colapso da estrutura.

Há casos em que a falha é resultado de problemas no detalhamento da armadura ou na montagem das fôrmas. Um ninho de concretagem costuma aparecer, por exemplo, em locais onde o espaçamento da armadura é insuficiente e utilizam-se agregados graúdos. “Da mesma forma, quando as fôrmas não são estanques, a nata de cimento tende a escorrer pelas frestas, gerando acúmulo de brita na parte superior, ocasionando falhas no concreto”, comenta o engenheiro Egydio Hervé Neto, consultor em tecnologia de concreto.

Uma das principais características do concreto é sua trabalhabilidade, que deve ser apropriada às dimensões das peças a serem concretadas e à forma de vibração a ser aplicada. Quando a trabalhabilidade não está adequada, o concreto não consegue preencher todos os espaços das peças e aí surgem os vazios. (ARCINDO VAQUERO Y MAYOR).

Figura 26 – Pilar de concreto armado com falhas de concretagem; bicheira.



Fonte: Construção Civil, (2016).

O reparo dessa patologia quando não há exposição da armadura deve ser feito o reforço estrutural com o preenchimento de argamassa de alta resistência, que seja impermeável, auto adensável e isenta de retração. Antes da aplicação do produto deve ser feita a limpeza da área para que tenha uma melhor aderência, e após a aplicação deve ser feito o processo de cura. Caso a armadura esteja exposta e comprometida, deve ser feito primeiro o tratamento das ferragens e em seguida o preenchimento com argamassa. Em casos mais graves de bicheira em que a estrutura fica comprometida, a única solução viável é fazer a demolição e reconstrução da mesma.

3.9. REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

É um processo químico que envolve uma interação expansiva dos agregados e a água, quanto mais umidade presente, maior a expansão e maior tensão no elemento de concreto, resultando em fissuras sem direção definida, comumente chamadas por “couro de jacaré”.

A reação álcali-agregado deve-se à liberação de sílica ativada de certos minerais usados como agregados durante a hidratação com íons alcalinos (Na^+ e K^+) presentes no cimento (quando a porcentagem é superior a 0,6%), ou também penetra no concreto através de cloretos contendo esses mesmos íons. A reação entre o silicato e os íons alcalinos produz cristais que se expandem entre os poros do concreto. Essa reação se desenvolve lentamente e pode até levar anos para aparecer, sendo o sintoma mais perceptível a rachadura desordenada das superfícies expostas.

Figura 27 – Reação Álcali-agregado em uma sapata de concreto.



Fonte: Canteiro de Engenharia, (2017).

Figura 28 – Tabela de classificação das estruturas frente às consequências da RAA.

Classificação da estrutura	Consequências da RAS	Exemplos
Classe A	Consequências pequenas ou insignificantes do ponto de vista econômico, ambiental e de segurança.	Estruturas temporárias (menor que 5 anos de vida útil), elementos não expostos à umidade, elementos não estruturais no interior de edifícios, canteiros de obras.
Classe B	Consequências moderadas do ponto de vista econômico, ambiental e de segurança apenas se ocorrer deterioração generalizada.	Calçadas, calhas, telhas, muros, etc.
Classe C	Consequências significativas do ponto de vista econômico, ambiental e de segurança mesmo se ocorrer pequena deterioração.	Pavimentos de concreto, elementos de fundação, tubos, postes, alvenarias de vedação, tubulões, barreiras de segurança, elementos pré-fabricados com altos custos de reposição, estradas de baixo volume de tráfego, dormentes etc.
Classe D	Consequências sérias e de gravidade do ponto de vista econômico, ambiental e de segurança mesmo se ocorrer pequena deterioração.	Grandes pontes, estádios, hidrelétricas, estruturas de obras de arte, barragens, instalações nucleares, torres eólicas, instalações de tratamento de água, instalações de tratamento de resíduos, túneis, elementos estruturais de difícil inspeção ou reparo.

Fonte: NBR – 15577-1: Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto.

Alguns ensaios para verificação da reação álcali-agregado são:

- **Análise petrográfica:** Consiste em observações macroscópicas e microscópicas através de luz refletida, luz transmitida e microscopia eletrônica que determinam nos concretos a ocorrência de características provenientes da reação álcali-agregado, tais como gel nos poros e presença de microfissuras.
- **Microscopia eletrônica de varredura:** é um método que possibilita classificar os diversos tipos de géis formados pela RAA. Esse método possibilita a identificação precisa da morfologia dos produtos de RAA, no qual pode-se verificar a deterioração da estrutura devido à concentração dos produtos e classificar-se os vários tipos de géis formados.

O ideal para prevenir essa patologia é fazer os ensaios periodicamente conforme descrito na norma NBR – 15577 – 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto, esses ensaios devem ser feitos conforme a norma NBR- 15577 – 4: Agregados – Reatividade álcali-agregado – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, portanto é de suma importância prevenir, mas caso isso não seja feito a patologia irá se manifestar, e a melhor solução a ser realizada nesse caso seria a investigação e monitoramento, no qual existe uma metodologia, que seria retirar as amostras e enviar para o laboratório e fazer análises físico-químicas. Além disso podem ser feitas algumas ações de impermeabilizações que consiga evitar que a umidade atinja a estrutura, mitigando assim o máximo possível os efeitos da reação álcali-agregado.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um levantamento específico sobre as patologias em estruturas de concreto armado, realizado através de diversas pesquisas em outros trabalhos de conclusão de curso, livros e artigos relacionados ao tema. O conhecimento dos diversos tipos de patologia, suas causas, ensaios para diagnósticos e ações corretivas são de suma importância para a compreensão no momento de elaboração de um possível reparo.

Desta forma, este trabalho demonstrou as patologias mais comuns desde fissuras até mesmo as mais complexas como corrosões de armaduras e deformações estruturais. Propondo algumas técnicas corretivas mais adequadas a serem executadas, com a finalidade de reestabelecer a funcionalidade e segurança das edificações.

“O primeiro procedimento a ser realizado para que o tratamento das patologias seja eficiente é uma análise detalhada das falhas apresentadas. Esta análise deve ser efetuada através de vistoria e perícia técnica na edificação a ser tratada, onde são identificadas as causas dos problemas patológicos.” (VALENTE, 2008:24)

As avaliações das estruturas de concreto armado podem ser realizadas de forma reativa que é a avaliação após o surgimento das manifestações patológicas ou proativa, que é quando se realiza avaliações em determinados períodos com o objetivo de verificar o desempenho da estrutura antes que os problemas surjam.

Verificar as condições das estruturas é fundamental para a manutenção do desempenho do concreto armado diminuindo assim consideravelmente os custos das medidas de recuperação e o risco de acidentes. Os ensaios aliados às inspeções possibilitam ao engenheiro obter a caracterização da estrutura de concreto e determinar a necessidade de reparos.

Portanto, o objetivo deste trabalho em obter informações e explaná-las acerca do tema de Patologia das Construções nas Estruturas de Concreto Armado foi atingido. Apresentando um resumo conciso sobre o tema disposto, trazendo informações para futuras pesquisas, podendo assim contribuir para uma infinidade de projetos e trabalhos relacionados ao tema de patologias.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização dessa graduação.

Aos nossos pais e irmãos, que sempre estiveram ao nosso lado, pelo amor incondicional e apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que nos dedicamos a este curso.

Aos amigos, que nos incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam nossa ausência enquanto realizávamos este trabalho.

Ao professor Ruvier Rodrigues Pereira, por ter sido nosso orientador, esclarecido todas as dúvidas e pelo desempenho da função com tanta dedicação e amizade.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que nos permitiram apresentar um melhor desempenho nesse processo de formação profissional ao longo de todo o curso.

E a todas as pessoas com quem convivemos ao longo desses anos, que nos incentivaram de alguma forma e que certamente tiveram impacto em nossa formação acadêmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FRANÇA JÚNIOR, D. O. **Modelagem Analítica-Numérica-Experimental de Problemas de Interação Solo-Fluido-Estrutura em Barragens sob Ação de Sismo**. 2019. 52 f. Seminário (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6118 - **Projeto de estruturas de concreto** — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 250-p.

MILITITSKY, JARBAS – **Patologia das fundações** / Jarbas Milititsky, Nilo Cesar Consoli, Fernando Schnaid – 2 ed. Rev e ampl – São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 9575:2010- Quarta edição 19/02/2013- **Edificações Habitacionais**, Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais, 2013.

PONTES RORIZ BIANCA - **Patologias de infiltrações em unidades habitacionais: estudo de caso em residências no município de Anápolis, Goiás** – Unievangélica, 2018.

PRISCILA BARBOSA RESENDE 1 RONIE JUNIOR FERREIRA MARTINS 2 MILENA SOUSA FREITAS 3- **Fissuras causadas por movimentações térmicas no concreto**- XII Encontro de iniciação científica – UNIFIMES- Mineiros, Goiás, 2018.

SILVA, Natalia Machado Moura. **Patologias das fundações: estudo de recalque**. 2019. 14 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Aldete Maria Alves, Iturama, 2019.

FRANCO, Vanessa Naiara Censi; NIEDERMEYER, Francieli Maiara. **Manifestações Patológicas Geradas por Recalque de Fundações**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 07. Ano 02, Vol. 01. Pp 194-214, outubro de 2017.

VIEIRA, Thamirys Luyze. **Fissuras em concreto: estudos de caso em Florianópolis**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, 2017.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

MORAES, Ana Carolina Lamego; **Recorrência de patologias em processos de ataque via cloreto em concreto armado**. UFMG, Belo Horizonte, 2012.

ROCHA, Bruno dos Santos - **"Manifestações patológicas e avaliação de estruturas de concreto armado"** – UFMG, Belo Horizonte, 2015.

MILAGRES, Eduardo Araújo - **Retração e secagem do concreto: estudo da retração do concreto e o aparecimento de patologias** – UFMG, Belo Horizonte, 2019.