

Cracks and fissures in reinforced concrete: causes, consequences, forms of mitigation and repairs.

Silva, A. Y. O. ¹; Godoy, G. H. A. M. ²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Resende, P. S. O. ³

Professor Me., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹andersonylgner@hotmail.com; ² Gustavo-henrique10@hotmail.com. ³pauloresende@pucgoias.edu.br

RESUMO: O presente estudo tem por objetivo descrever uma das principais manifestações patológicas apresentadas nas estruturas de concreto armado, as fissuras, com ênfase aos seus mecanismos de formação, visto que a compreensão desse fenômeno é de total importância para a orientação de decisões à recuperação de componentes fissurados ou à adoção de medidas preventivas, incluindo a elaboração de projetos com as especificações, controle tecnológico dos materiais e de serviço. Essas anomalias são resultadas de tensões nos componentes da estrutura de concreto, que podem afetar sua estética a funcionalidade a durabilidade e a vida útil da edificação. Podendo também, ser causadas por meio de recalques diferenciais, sobrecargas, movimentações térmicas e higroscópicas. Assim evidenciou-se a manifestação no concreto em um contexto geral, utilizando-se de tabelas exemplificativas das causas das fissuras e suas consequências no concreto armado. Evidenciando as formas de identificação e reparo que podem ser promovidos a partir das anomalias apresentadas, buscando solucioná-las ou mitigá-las em tempo hábil com os prognósticos indicados.

Palavras-chaves: Fissura, Manifestações patológicas, reparo estrutural, vida útil das estruturas, falhas estruturais.

ABSTRACT: The present study aims to describe one of the main pathological manifestations presented in reinforced concrete structures, the cracks, with emphasis on their formation mechanisms, since the understanding of this phenomenon is of total importance for the orientation of decisions regarding the recovery of cracked components or the adoption of preventive measures, including the elaboration of projects with specifications, technological control of materials and service. These anomalies are the result of tensions in the components of the concrete structure, which can affect its aesthetics, functionality, durability and useful life of the building. They can also be caused by differential settlements, overloads, thermal and hygroscopic movements. Thus, the manifestation in concrete was evidenced in a general context, using illustrative tables of the causes of cracks and their consequences in reinforced concrete. Evidencing the forms of identification and repair that can be promoted from the presented anomalies, seeking to solve or mitigate them in a timely manner with the indicated prognoses.

Keywords: Cracks, Pathological manifestations, Structural repair, Service life of structures, Structural failures.

Área de Concentração: 02 – Construção Civil.

1 INTRODUÇÃO

As causas das manifestações patológicas podem começar a surgir, de forma congênita, na concepção do projeto arquitetônico da construção, diretamente ligado ao projetista na conscientização do que pode ser feito em prol da minimização dos problemas, pelo simples reconhecimento no qual as movimentações dos materiais e componentes da edificação são inevitáveis.

Das inúmeras problematizações das manifestações patológicas que podem afetar os edifícios, sejam eles residenciais, comerciais ou institucionais, o maior problema são as fissuras, devido a três fundamentações críticas: eventual perigo para a estrutura, perda de desempenho devido ao comprometimento da obra em serviço e o fator psicológico causado aos usuários pela fissuração do edifício.

Com o surgimento de fissuras, existe a preocupação de que o componente estrutural possa falhar em cumprir seus critérios de desempenho, ou que sua vida útil seja

reduzida. As manifestações patológicas podem causar insegurança, incômodo visual e insuficiência estrutural e assim, isso poderia levar a problemas de infiltração e comprometer a estética da edificação. Além de, problemas estruturais que, como resultado da entrada da umidade, também afetar a viabilidade a longo prazo de outros sistemas de construção.

Neste trabalho, dar-se-á ênfase na discussão dos mecanismos de formação das fissuras, cuja compreensão é de total importância para orientação de decisões à recuperação de componentes fissurados ou à adoção de medidas preventivas, incluindo a elaboração de projetos com as especificações, controle dos materiais e de serviços.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Formação de fissuras

De acordo com Weimer (2018), o concreto armado sofre com ações de numerosos agentes causadores de danos, o que dificulta a classificação das fissuras. Tais agentes atuam no concreto, nas armaduras ou em ambos. No entanto é possível evitar o aparecimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, levando em conta algumas situações, tais como, atenção na concepção do projeto a boa execução, a utilização de materiais adequados e uma estratégia de manutenção (WEIMER, 2018).

Em concordância com Sitter (1984), prevenir as solicitações vigentes nas estruturas na fase da concepção do projeto, é a forma mais eficiente de evitar a degradação precoce da edificação, garantindo assim, o seu desempenho. Ademais, demanda-se menos recursos a serem utilizados, quando o problema é sanado logo na fase inicial da edificação. A lei de Sitter, demonstra a evolução dos custos das intervenções mediante as etapas da obra conforme mostrado na figura 1.

Figura 1 – Evolução dos Custos – Lei de Sitter.



Fonte: Sitter (1984).

Segundo Lopes (2019), as fissuras podem ser descritas como estruturais, quando permitem a entrada de

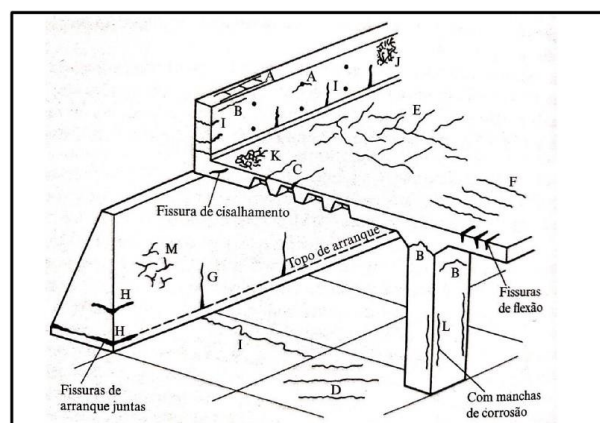
agentes agressivos na estrutura, com a condição mais dominante a atrair a atenção dos proprietários dos imóveis.

Essas anomalias resultam de atuações de tensões nos componentes de sua estrutura, que podem afetar em sua estética, funcionalidade e durabilidade. Também, podem ser causadas por meios de recalques diferenciais, sobrecargas, movimentações térmicas e higroscópicas, entre outros (Santos, Silva & Nascimento, 2017).

Segundo Gonçalves (2015), as fissuras podem ser classificadas como ativas ou passivas. As ativas são aquelas que mudam suas características com o passar dos dias, alterando o seu tamanho e gerando assim mais problemas para a estrutura. As fissuras passivas não apresentam nenhum tipo de alteração em seus aspectos permanecendo estática ao longo do tempo.

O surgimento nas estruturas de concreto armado, segundo Souza e Ripper (2009), é devido à má execução, erros de projeto e mau uso da edificação. Na figura 2 nota-se as possíveis fissuras em uma estrutura de concreto.

Figura 2 – Fissuras generalizadas em estrutura de concreto armado.



Fonte: Neville (2013).

Segundo Alexandre (2008), as anomalias na fase construtiva são geradas pela falta de controle de qualidade da obra e de profissionais qualificados para o serviço. Já as fissuras decorrentes do mau uso da edificação são geradas por existência de sobrecargas na estrutura e falhas nos processos de controle tecnológico do concreto em seu período inicial.

Segundo Souza e Ripper (2009), as causas da deterioração estrutural podem ser divididas em duas categorias: intrínsecas e extrínsecas. As causas intrínsecas são aquelas relacionadas às estruturas em si, ou aquelas que têm sua origem nos materiais e elementos estruturais utilizados na execução e uso das obras, bem como erros humanos, questões específicas de materiais e por situações externas. Já as causas extrínsecas são aquelas que são independentes do

próprio corpo estrutural, tais como a composição interna do concreto, ou erros no processo de execução, e podem assim ser vistas como fatores que atacam a estrutura "de fora para dentro", durante as etapas de concepção ou ao longo de sua vida útil.

Neste contexto, é importante levar em consideração as definições de vida útil e durabilidade da construção. Considera-se que a vida útil é o período enquanto a estrutura é capacitada de desempenhar suas funções para as quais foram projetadas (Da Silva, 2002). De acordo com Brandão (1999), a vida útil da construção é dependente igualmente de seus elementos estruturais de concreto armado e os que a compõem, sobretudo, sem nenhuma função estrutural.

Em consonância com Souza (2009), a ligação entre vida útil e durabilidade é inevitável, sendo a durabilidade definida como o parâmetro que liga a aplicação de ambas as características a uma estrutura específica e define a vida útil dessa estrutura.

2.2 Retração

A retração plástica ocorre geralmente em lajes, no período fresco do concreto, com a temperatura e a evaporação da água. A alta temperatura ambiente e baixa umidade relativa do ar causam perda rápida da água, este fenômeno ocorre pelo movimento dos agregados, que descem para o fundo da forma e a água sobe, esse processo se chama exsudação, é o fenômeno migratório da água na composição superficial do concreto como é mostrado no Quadro 1. (GRANATO, 2002).

Quadro 1 – Quadro de manifestação patológica representando a retração.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: RETRAÇÃO	
CAUSA	ORIGEM
Perda de água de amassamento por evaporação; Mudança de temperatura no resfriamento; Fenômenos químicos ligados a hidratação do cimento; Mudança de volume no estado plástico.	Projeto X
	Execução X
	Materiais X
	Uso
	
MECANISMO	
Processo de exsudação do concreto	

Fonte: Adaptado de: Marcelli (2007) e Rodrigues (2021).

De maneira distinta da retração plástica, a retração hidráulica acontece no período de endurecimento do concreto, pois é nesse estágio em que ocorre a perda de

água de forma mais lenta. Essa evaporação de água gera tensões internas, provocando uma retração no concreto oriunda do uso excessivo de água na relação água/cimento do traço.

2.3 Corrosão de armadura

De acordo com Weimer (2018) a corrosão é um processo que resulta na deterioração do aço em estruturas de concreto armado. Esse fenômeno é provocado por reações químicas e eletroquímicas que levam à oxidação. Um sinal de que está a ocorrer corrosão é quando o aço começa a deteriorar-se. As armaduras têm um invólucro protetor, uma camada passiva que quando perdida em virtude de alguma manifestação patológica, a armadura tende a deteriorar-se.

Os primeiros sinais incluem manchas leves causadas por produtos corrosivos, em seguida aparecem fissuras, a área que cobre a armadura começa a desprender, e há uma perda notável de aderência. Essa coleção de fatores compromete o apelo estético do edifício, bem como a sua segurança ao longo dos anos (RIBEIRO, 2018).

De acordo Ribeiro (2018), é pouco provável que surja um problema relacionado com a corrosão num curto período ou mesmo durante a construção da estrutura. Em vez disso, estas questões surgem tipicamente após a estrutura ter atingido o objetivo pretendido, o que pode demorar mais de 10 anos.

Uma boa cobertura das armaduras, com um concreto de alta qualidade, sem segregação, e um teor de argamassa apropriado e homogêneo, garante a proteção do aço contra agressores externos através da impermeabilidade. Esses agentes podem ser encontrados na atmosfera, água e depósitos orgânicos, entre outros, variando sua intensidade de acordo com a classe ambiental e o nível de agressividade.

Na Tabela 1 é contemplado a classificação ambiental de agressividade no concreto armado que demonstra as diretrizes em conformidade com o local para dimensionamento das estruturas e possível prevenção contra as manifestações patológicas.

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental.

Classificação de Agressividade	Agressividade	Classificação Ambiental	Risco de Deterioração
I	Fraca	Rural submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
IV	Muito Forte	Industrial Respingo de Maré	Elevado

Fonte: ABNT NBR 6.118/2014.

A oxidação das armaduras acontece por causa de agentes agressivos que mudam as características do concreto nos arredores da barra, despassivando a armadura, gerando então uma célula de oxidação, responsável pela propagação da corrosão (FIGUEIREDO, 2013).

A corrosão das armaduras é um processo que geralmente acontece quando há presença de oxigênio e umidade na estrutura, pois ocorre uma reação eletroquímica, gerando a expansão do aço e consequentemente do concreto, ocasionando tensões internas e fissuras na estrutura. Sendo assim, o Quadro 2 nos indica alguns tipos de corrosão no concreto armado.

Quadro 2 – Quadro de manifestação patológica representando a corrosão.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: CORROSÃO		
CAUSA		ORIGEM
Fissuras do concreto; Agentes agressivos (CO ₂ , Cl ⁻ , Sulfatos); Carbonatação.		
	Execução X	
	Materiais X	
	Uso	
MECANISMO		
Corrosão de armaduras; Reação expansiva do ferro com O ₂ e o H ₂ O		

Fonte: Adaptado de Marcelli (2007) e Bolina (2019).

Como forma de proteção das armaduras, cabe ao concreto realizar este papel. Deve ser garantido as espessuras mínimas de cobrimento para que as armaduras não sofram com ações da natureza. Para isso, a Norma ABNT NBR 6.118 estabelece espessuras mínimas que devem ser respeitadas pelo projetista e pelo executor, as quais ressaltam-se na figura 3:

Figura 3 – Cobrimento mínimo de acordo com a classe de agressividade ambiental.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: NBR 6118/2014.

2.4 Efeito da temperatura

Grande parte das manifestações patológicas, são provenientes da variação de temperatura. Com a mudança de temperatura ocorre alteração no comprimento em seus elementos podendo ser de dilatação ou contração, causando tensões provenientes desta movimentação, podendo assim, ocasionar fissuras no elemento estrutural conforme mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Quadro de manifestação patológica representando os efeitos de temperatura.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: EFEITO TEMPERATURA		
CAUSA		ORIGEM
A radiação solar; capacidade de absorver calor; Transferências de calor, são os fatores causadores de fissuras no concreto armado.		
	Execução X	
	Materiais X	
	Uso	
MECANISMO		
Transferência de calor, junto da absorção, propiciam a dissipação de calor.		

Fonte: Adaptado de Thomaz (1989).

Um ponto importante que deve ser observado é o coeficiente de dilatação térmica de cada material. A interação de materiais diversos com diferentes coeficientes de dilatação, gera uma tensão entre eles, já que se deformam com amplitudes variadas. (MARCELLI, 2007).

De acordo com a Norma ABNT NBR 12817/2012, o calor específico é definido como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma unidade de massa de um material em um grau. O calor específico tem pouca ou nenhuma influência da mineralogia do material inerte que compõe o concreto, mas ele experimenta um aumento significativo quando o teor de umidade do concreto é relativamente maior.

Além disso, o calor específico aumenta conforme a temperatura aumenta e a massa específica do objeto diminui (NEVILLE, 2016). Segundo Mehta e Monteiro (2014), os valores típicos de caloríficas específicas para este objeto estão entre 840 e 1170 J/kg °C.

Conforme preconiza a NBR 12820 (ABNT, 2012), a condutividade térmica fornece o valor de um fluxo de calor transmitido através de uma área unitária de um material sob um gradiente unitário de temperatura. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), a termicidade do

concreto varia dependendo das características mineralógicas do agregado, assim como a quantidade de umidade, massa e temperatura do concreto.

Como não é possível evitar a deformação dos materiais pela temperatura, uma solução seria a criação de juntas de dilatação que permitam a livre movimentação das peças. (MARCELLI, 2007).

2.5 Sobrecargas

Para garantir a segurança da estrutura, os engenheiros realizam diversos cálculos para estimar todas as cargas que ela deverá suportar quando estiver em uso. Quanto mais precisas forem essas estimativas, melhor será o dimensionamento da estrutura.

Um cálculo de sobrecarga correto é essencial para garantir a segurança da estrutura, tornando-a menos suscetível a falhas e desastres. Além disso, um correto dimensionamento permite economia de recursos, já que reduz o desperdício.

Uma vez realizadas as estimativas de carga, considerando as cargas permanentes e acidentais, o engenheiro deverá compará-las com as cargas mínimas determinadas pela norma NBR 6120 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações), de forma a garantir o padrão de segurança normatizado.

O Quadro 4 apresenta a fissuração causada pelo carregamento da estrutura em serviço, no qual os carregamentos ultrapassam ao que foi estipulado em projeto, causando as manifestações patológicas mostradas no quadro em questão.

Quadro 4 – Quadro de manifestação patológica representando sobrecargas.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: SOBRECARGAS			
CAUSA		ORIGEM	
<p>Cargas não estipiladas em projeto; Erros de execução (armaduras inconfirme ou mal executadas); Seção insuficiente de pilares e vigas.</p>		Projeto	X
		Execução	X
		Materiais	
	Uso	X	
<p>1: Flexão 2: Compressão 3: Cisalhamento</p>			
MECANISMO			
<p>Deformações não previstas na estrutura provocando assim, fissuras</p>			

Fonte: Adaptado de Cánovas (1988) e Marcelli (2007).

2.5.1 Flexão

De acordo com Marcelli (2007), flexão é uma situação que pode surgir quando não é calculada corretamente a carga que é aplicada na estrutura, devido à implementação dos materiais empregados ou as condições de uso quando se aplicar uma carga maior que a estipulada no projeto.

As flechas e fissuras podem ser vistas em qualquer uma das situações, mas no caso das vigas, aparecerão numa configuração semelhante como mostrada no Quadro 4 representado anteriormente.

Para tomar as medidas necessárias, deve ser feita uma avaliação criteriosa das condições em que o elemento é encontrado. Primeiramente, é possível ponderar a diminuição da sobrecarga do elemento, mas quando tal não é viável, pode utilizar-se de técnicas de reforço estrutural (MARCELLI, 2007).

2.5.2 Compressão

Conforme Cánovas (1988), as fissuras de compressão correm paralelamente à direção dos esforços solicitantes. Devido à heterogeneidade do concreto, o espaço entre elas é altamente variável, e seu traçado é irregular, como resultado, é possível que as fissuras deixem de ser paralelas e comecem a cortar em ângulos agudos como é mostrado no Quadro 4 anteriormente representado.

Urge destacar que a ocorrência de fissuras de compressão nos pilares é extremamente perigosa e deve ser acompanhada de perto, pois é um sintoma de um possível colapso da região prejudicada. As fissuras começam a aparecer com esforços menores do que os necessários para a ruptura e continuam a aumentar com o tempo (CÁNOVAS, 1988).

2.5.3 Cisalhamento

As fissuras pelo esforço de cisalhamento são causadas pela ausência de armaduras (estribos), que deveriam suportar os esforços cortantes da estrutura, com a falta dos estribos são geradas fissuras inclinadas em um ângulo de 40° a 60° próximas aos cantos como é mostrado no Quadro 4 anteriormente representado. Ocorre normalmente nos pontos de cortante máxima, e é característico de seção insuficiente, sobrecarga, falta de armadura ou armadura colocada incorretamente.

2.6 Punção

Para Cordovil (1997), a punção é o efeito da ruptura transversal causada pelo cisalhamento nas proximidades de regiões relativamente pequenas sujeitas a carregamentos localizados. Ilustra-se o fenômeno descrito no Quadro 5.

As fissuras aparecem quando há uma sobrecarga, concreto com baixa resistência, laje fina, armadura inadequada ou mal posicionada e erros na execução ou no projeto.

Quadro 5 – Quadro de manifestação patológica representando punções.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: PUNÇÃO		
CAUSA		ORIGEM
<p>A punção é causada pela atuação de forças concentradas nas lajes, em áreas reduzidas, o que pode ocasionar sua perfuração.</p>		
		Execução
		Materiais
		Uso
MECANISMO		
Cisalhamento das lajes por forças concentradas.		


Fonte: Adaptado de Alves (2017) e Marcelli (2007).

Em conformidade com Marcelli (2007) esse fenômeno acontece em elementos finos, que recebem um esforço em um local específico, como na ocorrência de lajes que se sustentam nos pilares, e pilares que apoiam em lajes.

2.7 Reação álcali-agregado

O processo químico álcali-agregado é uma reação em que certos agregados possuem minerais reativos, que reagem com hidróxidos alcalinos, produzindo um gel expansível, como é mostrado no Quadro 6. Estas reações poderão se processar durante muitos anos, o que torna difícil, caro ou até mesmo impossível sua recuperação (MARQUES FILHO, 2005).

Quadro 6 – Quadro de manifestação patológica representando uma reação álcali-agregado.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: REAÇÃO ÁLALI-AGREGADO		
CAUSA		ORIGEM
<p>Agregados com minerais reativos com os hidróxidos alcalinos, produzindo assim um gel expansível.</p>		
		Execução
		Materiais X
		Uso
MECANISMO		
Gel expansível provocando reações internas não previstas.		

Fonte: Adaptado de Bolina (2019).

Podem ocorrer três tipos de reação: álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato. A melhor forma de combater essas reações é evitar sua ocorrência realizando ensaios de laboratório para verificação de possíveis reações (MARQUES FILHO, 2005).

3 METODOLOGIA

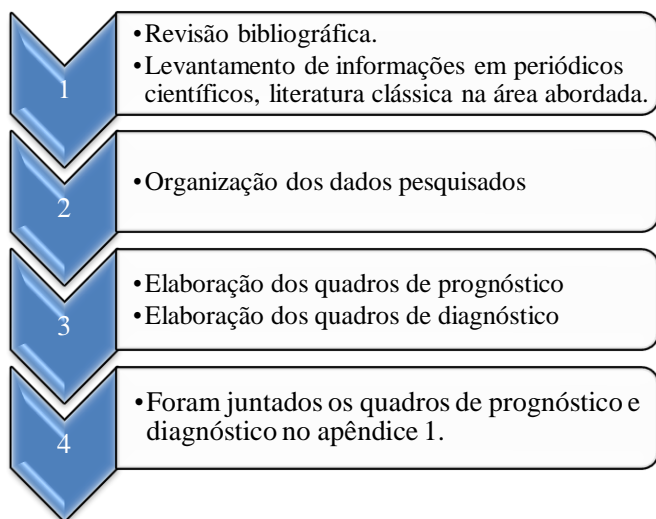
Para elaboração da pesquisa optou-se por uma fundamentação teórica, através de uma revisão ampla do estado da arte sobre o tema e posteriormente uma organização dos dados coletados na literatura clássica, além de periódicos científicos e plataformas especializadas de onde observou-se uma carência de material científico completo sobre o tema que apresentasse de forma objetiva causas, consequências, formas de mitigação e reparos das fissuras estruturais em obras de concreto armado. A partir desta constatação optou-se por sistematizar em quadros específicos conforme apresentado em apêndice para sintetizar as informações sobre o tema apresentado.

Para mapear essa produção, o estudo partiu de um criterioso levantamento bibliográfico da literatura científica a partir da compilação de trabalhos publicados em revistas, livros especializados e em bases de dados da rede, livros e artigos científicos já elaborados. Um amplo estudo e uma revisão sistemática.

O estudo e descritivo-exploratório orienta o estabelecimento das relações entre as variáveis a serem estudadas, permite aprofundar as buscas e alcançar os objetivos da pesquisa.

Com a finalidade de auxiliar o profissional de engenharia na elaboração de laudos de vistoria de inspeção predial. Através de uma visão sistematizada e objetiva as formas de diagnosticar e tratar as patologias das estruturas advindas das fissuras no concreto armado. Basicamente a metodologia utilizada encontra-se detalhada em etapas no fluxograma da figura 4.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: Do autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a conclusão dos quadros apresentando de maneira ilustrativa suas causas, origem e mecanismo das fissuras. Posteriormente foi feita a complementação dos quadros com as suas consequências, formas de mitigação e reparos de maneira em que os quadros se complementem e auxiliem de maneira sucinta a compreensão das fissuras nas estruturas de concreto armado.

4.1 Retração

O Quadro 7 demonstra as formas de mitigação e reparos da retração.

Quadro 7 – Quadro de prognóstico e terapia em retrações no concreto armado.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: RETRAÇÃO		
MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS
<p>Reduzir a relação água/cimento do traço; Utilizar armaduras para combater os esforços de retração; Fazer uma cura apropriada.</p>	<p>Viga Lajes</p>	<p>Acréscimo de porosidade; propiciam a entrada de agentes agressivos; Corrosão de armaduras; Falhas estruturais.</p>
REPAROS		
<p>Remover minuciosamente a parte comprometida do concreto, higienizando bem a área afetada; Aplicação de selante;</p>		

Fonte: Adaptado de Marcelli (2007) e Rodrigues (2021).

A retração é uma anomalia em que ocorrem o acréscimo de porosidade propiciando assim a entrada de agentes agressivos nas estruturas podendo levar a sua deterioração, sua mitigação deve ser feita no traço reduzindo a relação água/cimento, com a utilização de armaduras de pele para o combate aos esforços de retração e com uma cura apropriada do concreto, para seus reparos deve se remover cuidadosamente a parte comprometida fazendo assim, a sua higienização e por fim, a aplicação de selantes nas fissuras.

4.2 Corrosão de armaduras

O prognóstico para corrosões em armaduras em estruturas de concretos armados encontra-se abaixo no Quadro 8.

Quadro 8 – Prognóstico em corrosões nas armaduras.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: CORROSÃO		
MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS
<p>Uso de tintas e vernizes; Aplicação de Hidrofugantes de superfície; Uso de bloqueadores de poros.</p>		<p>Produtos de corrosão; Redução de seção das armaduras; Deslocamento do cobrimento; Fissuração do concreto.</p>
REPAROS		
<p>Remoção do concreto carbonatado; Tratamento da barra de aço por lixamento da superfície; Refazer o cobrimento da armadura conforme a NBR 6118; Em casos mais extremos fazer a remoção e substituição da armadura.</p>		

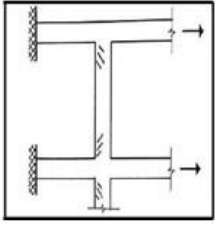
Fonte: Adaptado de Marcelli (2007) e Bolina (2019).

A corrosão de armaduras, podem provocar deslocamento do cobrimento e assim levar a falhas estruturais, para a sua mitigação podem se utilizar da aplicação de tintas e vernizes, hidrofugantes de superfície e bloqueadores de poros, seus reparos podem ser feitos, tratando a barra oxidada por lixamento de superfície em casos mais simples, e nos casos em que a corrosão já comprometeu as armaduras deve ser feita a remoção e a substituição da barra de aço e ser refeito o cobrimento da barra conforme especificado na norma NBR 6118/2014.

4.3 Efeito da temperatura

O tratamento para as consequências do efeito da temperatura no concreto encontra-se abaixo descrita no Quadro 9.

Quadro 9 – Quadro de prognóstico e terapia em patologias por efeitos de temperatura.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: EFEITO TEMPERATURA		
MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS
Controlar a temperatura no lançamento do concreto, para diminuir as tensões ocasionadas pela temperatura, e substituir a água por gelo na dosagem do concreto.		Ocorre a restrição de movimentos; Carbonatação; Deterioração do concreto armado podendo assim, levar a falha parcial ou total da estrutura.
REPAROS		
Isolar termicamente a peça fissurada, uso de selantes/resinas nas juntas de dilatação.		

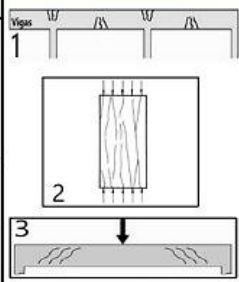
Fonte: Adaptado de Thomaz (1989).

O efeito de temperatura tem como consequência a restrição dos movimentos da estrutura, a sua mitigação é feita controlando a temperatura no lançamento do concreto, para diminuir as tensões ocasionadas pela temperatura e na substituição da água por gelo na dosagem do concreto, o seu reparo é feito isolando termicamente e com a aplicação de selantes ou resinas nas juntas de dilatação.

4.4 Sobrecargas (flexão, cisalhamento e compressão)

As manifestações patológicas oriundas de sobrecargas devem seguir as orientações ilustradas no Quadro 10.

Quadro 10 – Quadro de prognóstico e terapia em patologias por sobrecargas.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: SOBRECARGAS		
MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS
A mitigação desse tipo de fissura pode ser dada pelo dimensionamento da estrutura que considere todas as forças sob o elemento.		Deformação irreversível da estrutura; Possibilidade de colapso do elemento estrutural; Fissuração do concreto.
REPAROS		
Isolar o carregamento não previstos; Aumentar a seção da estrutura; Uso de chapa colada no reforço; Em casos extremos, demolir e/ou reconstruir.		

Fonte: Adaptado de Cánovas (1988) e Marcelli (2007).

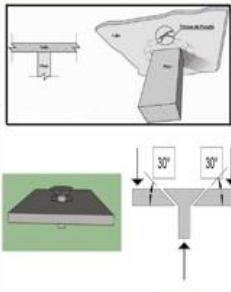
As sobrecargas têm por suas consequências deformações irreversíveis nas estruturas, ocasionando assim fissuras no concreto podendo levar a sua falha

estrutural, A sua mitigação pode ser feita por um dimensionamento que contemple todos os esforços sob os elementos estruturais, seus reparos podem ser realizados isolando o carregamento não previsto, aumentando seção da estrutura, utilizando chapa colada no reforço e em casos extremos deve-se demolir e reconstruir.

4.5 Punção

A punção deve ser tratada observando as orientações, conforme Quadro 11.

Quadro 11 – Quadro de prognóstico e terapia em patologias por efeitos de temperatura.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: PUNÇÃO		
MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS
Aumentar a dimensão dos pilares; Aumentar a espessura da laje próximo aos pilares; Utilizar armaduras de combate a punção.		Fissuras próximas as lajes, em muitos casos ocorrem o desabamento da laje por perfuração dos pilares.
REPAROS		
O reparo de punção pode ser feito com o aumento de seção do pilar (com a utilização de capiteis); pode ser feita a introdução posterior das armaduras de cisalhamento da laje.		


Fonte: Adaptado de Marcelli (2007) e Alves (2017).

As consequências da punção são fissuras próximas as lajes e em muitos casos essa manifestação patológica pode ocasionar o desabamento da laje por perfuração, para a sua mitigação deve aumentar a dimensão dos pilares e aumentar a espessura das lajes próximo aos pilares e a utilização de armaduras para combater a punção, os reparos da punção podem ser feitos aumentando a seção do pilar com a utilização de capiteis.

4.6 Reação álcali-agregado

Em fissuras decorrentes de reações álcali-agregado deve-se promover as orientações a seguir no quadro 12.

Quadro 12 – Quadro de prognóstico e terapia em patologias da reação álcali-agregado.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO		
MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS
Evitar o uso de agregados reativos; Limitar o teor de álcalis examinando a água do amassamento, as adições minerais e até os agregados, pois estes são fontes de álcalis.		Deslocamentos da estrutura; Aumento da permeabilidade; Diminuição da resistência química ou mecânica; Manifestações de fissuras.
REPAROS		
O reparo de pequenas estruturas de concreto atingidas por RAA, poderão ser tratadas com injeção de epóxi, e argamassa para evitar a entrada de agentes agressivos.		

Fonte: Adaptado de Bolina (2019).

As consequências da reação álcali-agregado são os deslocamentos da estrutura, aumento da permeabilidade, a diminuição da resistência química ou mecânica e a manifestação de fissuras, a sua mitigação é realizada evitando o uso de agregados reativos, limitando o teor de álcalis examinando a água de amassamento, as adições minerais e até os agregados pois estes são fontes de álcalis. Os reparos de pequenas estruturas atingidas pela reação álcali-agregado poderão ser tratados com injeção epóxi, e argamassa para combater a entrada de agentes agressivos na estrutura.

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal do presente estudo foi examinar as fissuras existentes nas estruturas de concreto armado. Através da revisão da literatura os objetivos propostos foram alcançados com a elaboração de um quadro síntese de diagnóstico e prognóstico do tratamento destas anomalias.

Ao decorrer do trabalho foi delineado que as ocorrências de manifestações patológicas são comuns no concreto armado, na etapa de concepção de projetos, na ausência de controle em obra, uso de materiais inapropriados ou mal especificados, acúmulos de cargas em pilares e vigas e no uso indevido da estrutura. Tal manifestação enseja em desconforto no resultado da obra e redução da durabilidade na estrutura. As fissuras também são a porta de entrada para outras anomalias, tal como a corrosão de armaduras.

O surgimento de manifestações patológicas no concreto armado quando não prevenidas, são inevitáveis. Desse modo, deve-se analisar os limites da formação de fissuras, com levantamentos de suas causas e buscando usar a técnica mais adequada para o tratamento. A

maioria das fissuras podem ser tratadas, conservando a integridade da estrutura como um todo e evitando novas manifestações garantindo a vida útil de projeto o que impacta diretamente na redução dos custos com manutenção e operação das edificações.

Tendo em vista a carência de trabalhos acadêmicos que apresentam as causas, consequências as formas de mitigação e reparos das manifestações patológicas no concreto armado de uma forma condensada. Esta problematização nos levou a apresentar as informações nas tabelas de prognósticos e reparos para que futuros profissionais utilizem os quadros para a obtenção das informações de maneira sintetizada em inspeções prediais.

Como sugestão de futuros trabalhos, sugerimos um aprofundamento e melhoria das informações apresentadas neste estudo haja vista a complexidade do tema e a ampla possibilidade de atualizações e melhorias que são a base do conhecimento científico. Entendemos ser essa pesquisa uma pequena contribuição ao tema.

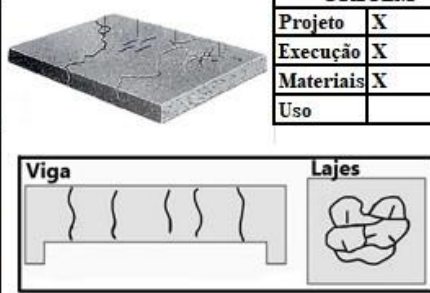
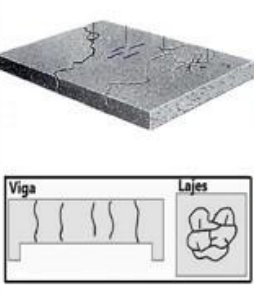


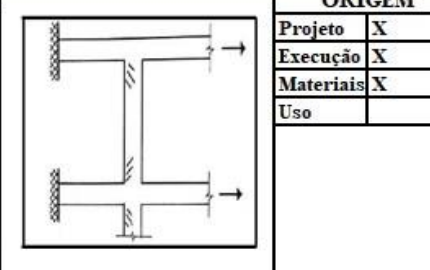
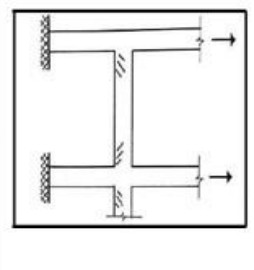
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

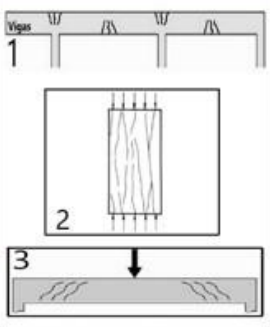
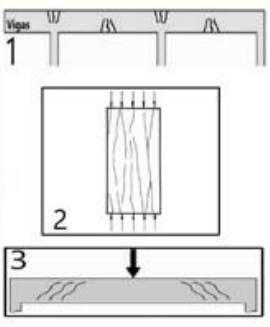
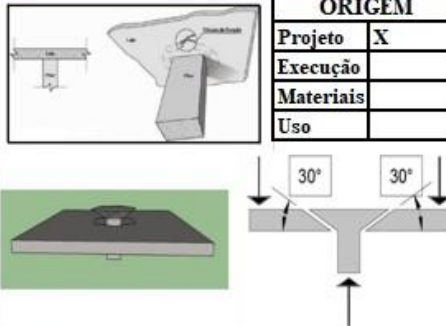
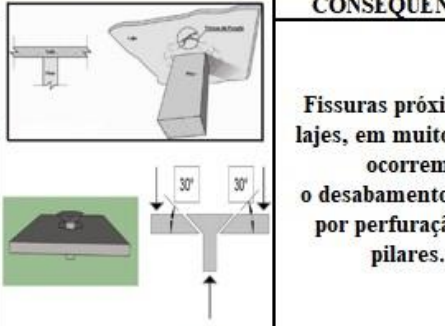


- ALEXANDRE, I. F. **Manifestações Patológicas em Empreendimentos Habitacionais de Baixa Renda Executados em Alvenaria Estrutural: Uma Análise da Relação de Causa e Efeito.** Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- ALVES, V.S.S et al. **Avaliação do efeito de punção em lajes lisas de concreto com fibras com a variação do índice de retangularidade.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12820: Concreto endurecido - Determinação da condutividade térmica - Método de ensaio.** Rio De Janeiro: ABNT, 2012. 10 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12817: Concreto endurecido - Determinação do calor específico - Método de ensaio.** Rio De Janeiro: ABNT, 2012. 11 p.
- BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Patologia de estruturas.** Oficina de Textos, 2019.
- BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto.** Cadernos de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado.** 1ª Ed. Pini. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo, 1988.
- DA SILVA, T. J. **Como estimar a vida útil de estruturas projetadas com critérios que visam a durabilidade.** WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos, 2002.

- CORDOVIL, F. A. B.; FUSCO, Péricles Brasiliense. **Normas sobre punção excêntrica em lajes de concreto**. Engenharia & Arquitetura, 1997.
- FIGUEIREDO, E. P. MEIRA, G. **O que é Corrosão de Armaduras nas Estruturas de Concreto? Boletín Técnico nº 6**. 2013.
- GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.
- GRANATO, J. E. **Apostila: Patologia das construções**. São Paulo, 2002: Disponível:
<<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf>> Acesso em: 30 abr. 2022.
- LOPES, L.S. **Patologia da construção em concreto armado e as resoluções dos problemas de manutenção**. Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente, 2019.
- MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**- São Paulo: Pini, 2007.
- MARQUES FILHO, J. **Fissuração**. Curitiba, 2005. Disponível em:
<http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/5/5b/TC034_fissura%C3%A7%C3%A3o.pdf.htm>. Acesso em 30 abr. 2022.
- MEHTA P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto—Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2014.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª.ed. São Paulo: Bookman (Grupo A), 2016.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 250 p.
- RIBEIRO, D. V.; RIBEIRO, D. **Corrosão e degradação em estruturas de concreto. Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção**. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2018.
- RODRIGUES, M. R. P. **Curso de patologia**. Notas de aula, UNIRP, 2021.
- SANTOS, C. R. B.; SILVA, D. L.; NASCIMENTO, I. M. S. (2017). **Incidência de manifestações patológicas em edificações residenciais na região metropolitana do Recife**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, 2(3).
- SITTER, W. R. **Costs for service life optimization: the law of fives**. In: **Durability of Concrete Structures**. Workshop Report. p. 131-134, 1984.
- SOUZA, V. C. M. D.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 2009.
- THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini/USP/IPT, 1989.
- WEIMER, B. F.; THOMAS, M.; DRESCH, F. **Patologia das estruturas**. Portos Alegre, Rio Grande do Sul. Grupo A, 2018. Disponível:<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595023970/>>.

7 APÊNDICE 1

Quadros para causas, consequências, mitigação e reparo das estruturas de concreto armado.

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: RETRAÇÃO			MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: RETRAÇÃO			
CAUSA		ORIGEM	MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS	
Perda de água de amassamento por evaporação; Mudança de temperatura no resfriamento; Fenômenos químicos ligados a hidratação do cimento; Mudança de volume no estado plástico.		Projeto	X		Reduzir a relação água/cimento do traço; Utilizar armaduras para combater os esforços de retração; Fazer uma cura apropriada.	Acréscimo de porosidade; propiciam a entrada de agentes agressivos; Corrosão de armaduras; Falhas estruturais.
		Execução	X			
		Materiais	X			
	Uso					
MECANISMO			REPAROS			
Processo de exudação do concreto			Remover minuciosamente a parte comprometida do concreto, higienizando bem a área afetada; Aplicação de selante;			
MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: CORROSÃO			MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: CORROSÃO			
CAUSA		ORIGEM	MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS	
Fissuras do concreto; Agentes agressivos (CO ₂ , Cl ⁻ , Sulfatos); Carbonatação.		Projeto			Uso de tintas e vernizes; Aplicação de Hidrofugantes de superfície; Uso de bloqueadores de poros.	Produtos de corrosão; Redução de seção das armaduras; Deslocamento do cobrimento; Fissuração do concreto.
		Execução	X			
		Materiais	X			
	Uso					
MECANISMO			REPAROS			
Corrosão de armaduras; Reação expansiva do ferro com O ₂ e o H ₂ O			Remoção do concreto carbonatado; Tratamento da barra de aço por lixamento da superfície; Refazer o cobrimento da armadura conforme a NBR 6118; Em casos mais extremos fazer a remoção e substituição da armadura.			
MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: EFEITO TEMPERATURA			MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: EFEITO TEMPERATURA			
CAUSA		ORIGEM	MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS	
A radiação solar; capacidade de absorver calor; Transferências de calor, são os fatores causadores de fissuras no concreto armado.		Projeto	X		Controlar a temperatura no lançamento do concreto, para diminuir as tensões ocasionadas pela temperatura, e substituir a água por gelo na dosagem do concreto.	Ocorre a restrição de movimentos; Carbonatação; Deterioração do concreto armado podendo assim, levar a falha parcial ou total da estrutura.
		Execução	X			
		Materiais	X			
	Uso					
MECANISMO			REPAROS			
Transferência de calor, junto da absorção, propiciam a dissipação de calor.			Isolar termicamente a peça fissurada, uso de selantes/resinas nas juntas de dilatação.			

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: SOBRECARGAS				MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: SOBRECARGAS			
CAUSA		ORIGEM		MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS	
		Projeto	X			<p>A mitigação desse tipo de fissura pode se dar pelo dimensionamento da estrutura que considere todas os esforços sob o elemento.</p>	<p>Deformação irreversível da estrutura; Possibilidade de colapso do elemento estrutural; Fissuração do concreto.</p>
Execução	X						
Materiais							
Uso	X	1: Flexão					
		2: Compressão					
		3: Cisalhamento					
MECANISMO				REPAROS			
Deformações não previstas na estrutura provocando assim, fissuras				Isolar o carregamento não previstos; Aumentar a seção da estrutura; Uso de chapa colada no reforço; Em casos extremos, demolir e/ou reconstruir.			
MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: PUNÇÃO				MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: PUNÇÃO			
CAUSA		ORIGEM		MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS	
		Projeto	X			<p>Aumentar a dimensão dos pilares; Aumentar a espessura da laje próximo aos pilares; Utilizar armaduras de combate a punção.</p>	<p>Fissuras próximas as lajes, em muitos casos ocorrem o desabamento da laje por perfuração dos pilares.</p>
Execução							
Materiais							
Uso							
MECANISMO				REPAROS			
Cisalhamento das lajes por forças concentradas.				O reparo de punção pode ser feito com o aumento de seção do pilar (com a utilização de capiteis); pode ser feita a introdução posterior das armaduras de cisalhamento da laje.			
MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO				MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA: REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO			
CAUSA		ORIGEM		MITIGAÇÃO		CONSEQUÊNCIAS	
		Projeto				<p>Evitar o uso de agregados reativos; Limitar o teor de álcalis examinando a água do amassamento, as adições minerais e até os agregados, pois estes são fontes de álcalis.</p>	<p>Deslocamentos da estrutura; Aumento da permeabilidade; Diminuição da resistência química ou mecânica; Manifestações de fissuras.</p>
Execução							
Materiais	X						
Uso							
MECANISMO				REPAROS			
Gel expansível provocando reações internas não previstas.				O reparo de pequenas estruturas de concreto atingidas por RAA, poderão ser tratadas com injeção de epóxi, e argamassa para evitar a entrada de agentes agressivos.			

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Anderson Ylgner Oliveira Silva do Curso de Engenharia Civil, matrícula 20171002502130, telefone: 62985257644 e-mail andersonylgner@hotmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado fissuras no concreto armado causas, consequências, formas de mitigação e reparos, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 19 de setembro de
2022.

Assinatura do autor: Anderson Ylgner

Nome completo do autor: Anderson Ylgner Oliveira Silva

Assinatura do professor-orientador: [Assinatura]

Nome completo do professor-orientador: Paulo Sergio de O. Resende

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Gustavo Henrique Albernaz Maia de Godoy do Curso de Engenharia civil, matrícula 2017.1.0025.0042-0, telefone:6298215-0862

e-mail: gustavohenriquealbernaz45@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado fissuras no concreto armado causas, consequências formas de mitigação e reparos , gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 19 de setembro de 2022.

Assinatura do autor: Gustavo Henrique A.

Nome completo do autor: Gustavo Henrique Albernaz Maia de Godoy

Assinatura do professor-orientador: Rui Sérgio de Oliveira Resende

Nome completo do professor-orientador: Rui Sérgio de Oliveira Resende