

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANDRESSA SILVA DOS SANTOS

WELINGTON DE OLIVEIRA MORAIS

**COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO
REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO SUBMETIDO AO
AUMENTO DE TEMPERATURA**

ANÁPOLIS / GO

2019

**ANDRESSA SILVA DOS SANTOS
WELINGTON DE OLIVERIA MORAIS**

**COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO
REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO SUBMETIDO AO
AUMENTO DE TEMPERATURA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA G. QUARESMA

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, ANDRESSA SILVA/ MORAIS, WELINGTON DE OLIVEIRA

COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO SUBMETIDO A VARIAÇÃO E AUMENTO DE TEMPERATURA

61P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica
Curso de Engenharia Civil.

1. Reforço estrutural	2. Patologia em Concreto Armado
3. Temperatura	4. Comportamento Mecânico
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, Andressa Silva; MORAIS, Welington de Oliveira. Comparativo do comportamento do concreto reforçado com fibra de vidro submetido a variação e aumento de temperatura. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Andressa Silva dos Santos

Welington de Oliveira Moraes

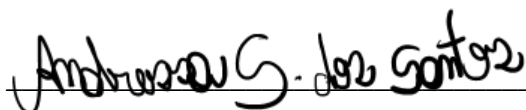
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Comparativo do comportamento do concreto reforçado com fibra de vidro submetido a variação e aumento de temperatura

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Andressa Silva dos Santos

E-mail: andressaluciana@hotmail.com



Welington de Oliveira Moraes

E-mail: Welington.m.orais@outlook.com

AGRADECIMENTOS

Gratidão é a palavra que melhor me define atualmente, para chegar até aqui foram inúmeros obstáculos, mas com a ajuda e conforto de muitos tudo tem se tornado mais fácil.

Agradeço primeiramente a Deus, pois em todo tempo de dificuldade é o meu refúgio e com toda certeza Ele e a minha fé me mantiveram a todo vapor e determinada a lutar por este grande sonho.

Aos meus pais Luciana e Juarez, que são os responsáveis por tudo que sou e tudo que tenho hoje, e por serem os principais motivadores para a realização desse curso, à eles o meu imenso amor e eterna gratidão.

À toda a minha família por todo apoio, acolhimento e incentivo durante esses cinco anos

Aos meus amigos pelos momentos de levezas e diversão diante toda aflição ao longo dos dias durante o curso

Ao meu parceiro deste trabalho e também de vida, Welington de Oliveira Moraes, por toda a ajuda com a realização desta etapa, por estar sempre ao meu lado me trazendo momentos de felicidades, aconchego e calma.

À minha orientadora querida, Wanessa Mesquita Godoi Quaresma, pela ajuda e contribuição para o nascimento desse tcc e por toda dedicação com o que faz, pessoa maravilhosa que além de professora e orientadora se tornou uma amiga a qual eu admiro muito.

À todos que de certa forma contribuíram de algum modo para a minha formação, por momentos importantes que com certeza me tornaram a pessoa a qual sou hoje.

Andressa Silva dos Santos

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer meus pais que me incentivaram a seguir com meu sonho de ser engenheiro, por mais que o caminho fosse difícil, minha orientadora, que desde que a procurei para começar a escrever este trabalho me deu total apoio e atenção para que essa etapa importante fosse concluída com sucesso, e também minha parceira de trabalho que além de me ajudar a escrever me ajudou a escolher o tema e me forçou a escrever.

Wellington de Oliveira Morais

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Museu Coliseu, em Roma, Itália.....	14
Figura 2- Cúpula de Panteão em Roma, Itália.....	14
Figura 3 (a) Estrutura de concreto armado do Cristo Redentor; (b) Estátua com 8 m de altura	15
Figura 4- Primeiro prédio de concreto armado em São Paulo.....	15
Figura 5 Vibrador de imersão elétrico	18
Figura 6 - Comportamento da fissuração em corpos de provas em restrição e com restrição .	22
Figura 7 - Gráfico de densidade de probabilidade da resistência à compressão de dois concretos.....	23
Figura 8 - Estágios principais de um incêndio real	24
Figura 9 - (a) Fissura superficial em peça de concreto; (b) Fissura profunda em peça de concreto	27
Figura 10 - Exemplo de Bolhas de ar em peças de concreto.....	28
Figura 11 - (a) Junta de concretagem; (b) Funcionário tratando a patologia	28
Figura 12 - Degradação em um muro de concreto	29
Figura 13 - Sistema Típico de Injeção de Fissuras.....	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais patologias superficiais e técnicas de recuperação recomendadas30

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Parâmetros de aplicação de vibradores de imersão	19
---	----

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
°C	Grau Celsius
Cm	Centímetro
Cps	Centipoise
M	Metro
Mm	Milímetro
MPa	Mega pascal
NBR	Norma Brasileira
Temp.	Temperatura
Vpm.	Vibrações por minuto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA.....	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos.....	11
1.3 METODOLOGIA	11
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2 CONCRETO	13
2.1 BREVE HISTÓRICO	13
2.2 APLICAÇÃO DO CONCRETO	16
2.2.1 O concreto na obra	16
2.2.1.1 Critérios de dosagem.....	16
2.2.1.2 Montagem das fôrmas	17
2.2.1.3 Lançamento	17
2.2.1.4 Adensamento.....	18
2.2.1.5 Cura.....	19
2.2.1.6 Retirada das fôrmas.....	19
2.3 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO.....	20
2.3.1 Disponibilidade	20
2.3.2 Adaptabilidade.....	20
2.3.3 Praticidade de execução	20
2.3.4 Preço	21
2.3.5 Sustentabilidade.....	21
2.3.6 Durabilidade	21
2.4 COMPRESSÃO AXIAL.....	21
2.5 CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO	23
2.6 COMBUSTIBILIDADE	24
3 REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	26
3.1 PATOLOGIA.....	26
3.1.1 Fissuras.....	27
3.1.2 Bolhas de ar.....	27
3.1.3 Juntas de concretagem.....	28

3.1.4	Defeitos dimensionais.....	28
3.1.5	Desgaste do Concreto	29
3.2	TIPOS DE REFORÇOS ESTRUTURAIIS	29
3.2.1	Tratamentos de Fissuras.....	30
3.2.2	Resinas Epoxídicas	31
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Na sociedade antiga era comum o homem utilizar como materiais de construção a pedra, a madeira e o barro. Com o passar do tempo foram aumentando as exigências do ser humano, ampliando a demanda de materiais de maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência. Assim surgiu o concreto, trabalhável como barro, assim possibilitando a sua moldagem em formas diferentes e resistente como pedra (VERÇOSA, 2003¹ apud FRANCZAK & PREVEDELLO, 2012).

Constituído por cimento, água, agregados e ar, o concreto, também podem possuir tipos de aditivos que tem como objetivo a melhoria e mudança de algumas de suas propriedades básicas. O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo devido ao seu baixo custo e fácil trabalhabilidade, por isso pode ser encontrado em casas, edifícios, rodovias, pontes, túneis, dentre outras edificações.

Toda e qualquer tipo de estrutura de concreto está sujeita a alguma patologia caso não seja bem executada, pela falta de manutenção ou por não ser utilizada de forma coerente para qual foi projetada. Sendo assim, a estrutura quando é modificada de sua função inicial há um risco de sobre carregamento e colapso

Quando a estrutura atinge o seu limite e ocorre o rompimento, uma das alternativas possíveis para evitar a demolição é a recuperação desta estrutura (PEREIRA; GODINHO, 2016). Existem diversas opções de reforços estruturais, como por exemplo reforço com fibras, seja de carbono ou de vidro, aumento de seção e chapas de perfis metálicos.

Devido ao conhecimento humano, a engenharia civil tem se mostrado bastante evoluída, e cada dia mais é possível observar o crescimento de técnicas de reforços estruturais, para isso é necessário analisar detalhadamente a estrutura e o tipo de patologia para em seguida avaliar o tipo de recuperação necessária.

1.1 JUSTIFICATIVA

O concreto ao longo da sua vida útil, por erro de projeto, erro de execução ou até mesmo por fluência, apresenta casos de patologias, para tratar estas podemos utilizar técnicas de Reforço Estrutural, as mais usuais são aumento de seção, fibra de vidro, fibra de carbono, chapas metálicas dentre outras. Assim, visto vasta quantidade de possibilidade de reforço para

¹ VERÇOSA, E. J. Materiais de construção, Rio de Janeiro: 2003.

combater as possíveis patologias este trabalho visa comparar resultados para ensaios de compressão e combustibilidade, problema pouco aprofundado em pesquisas acadêmicas, assim justifica-se este estudo.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos gerais e específicos serão apresentados abaixo.

1.2.1 Objetivo geral

Comparar o comportamento mecânico do concreto submetido a compressão axial antes e após o reforço com fibra de vidro, e a submissão de aumento de temperatura.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Realizar um estudo teórico sobre o tema compressão axial, reforço estrutural em peças de concreto simples e combustibilidade;
- b) Montar um plano experimental para compressão axial e submeter à 5 tratamentos (T1 – Controle; T2 – Reforço a Temperatura ambiente; T3 – Reforço à Temp. 1; T4 - Reforço à Temp. 2; T5 - Reforço à Temp. 3);
- c) Comparar os resultados dos testes;
- d) Analisar os resultados e concluir o trabalho.

1.3 METODOLOGIA

O plano experimental idealizado (ainda está em processo de formulação) é composto por cinco tratamentos:

- I – Corpos de prova controle;
- II – Com fibra de vidro a temperatura ambiente;
- III – Com reforço submetido a uma Temperatura 1;
- IV – Com Reforço submetido a uma Temperatura 2;
- V – Com Reforço submetido a uma Temperatura 3.

Ambos os corpos de provas de todos os tratamentos serão submetidos ao ensaio de compressão axial, posteriormente será analisado os resultados obtidos do comparativo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo é apresentada uma sucinta introdução sobre o tema abordado de um modo geral, mostra os objetivos gerais e específicos, a justificativa pela qual o tema foi escolhido, a metodologia a ser utilizada e toda a estrutura do trabalho a seguir.

O segundo capítulo contém um referencial teórico sobre o concreto, onde está descrito um breve histórico, a sua aplicação, características e o comportamento diante o esforço mecânico de compressão axial e sobre o seu desempenho diante a elevadas temperaturas.

No terceiro capítulo se encontra a razão pela qual é necessária a utilização de reforços estruturais, demonstrando tipos de patologias em estruturas de concreto e seus respectivos tratamentos, também é abordado com maior profundidade a reabilitação de uma estrutura com a utilização da fibra de vidro.

O quarto capítulo descreve toda a metodologia experimental, onde será explicado todo o procedimento, expondo os materiais técnicas utilizados.

No quinto capítulo será possível validar todos os resultados obtidos através do experimento, através de equações e observações feitas durante o procedimento

E por fim no sexto capítulo estará disposto as considerações finais, onde será feita uma avaliação dos fatos relacionado a toda a pesquisa realizada.

2 CONCRETO

O capítulo em questão apresenta todo o contexto teórico sobre o concreto, à partir de um breve histórico onde é mostrado o começo da utilização desse material construtivo; a aplicação, que mostra a forma do emprego do concreto e enumera os passos de uma construção; as características do concreto que são consideradas como vantagens para a escolha do material em uma obra; o comportamento do concreto com a compressão axial e por fim o seu desempenho relacionado a combustibilidade. O capítulo é de suma importância para o entendimento das propriedades de uma estrutura de concreto.

O concreto é um material utilizado em grandes e pequenas obras, ele é composto de cimento, água e agregados miúdos ou graúdos como a areia e a brita. É possível também a utilização de componentes chamados “aditivos”, que tem por sua vez o objetivo de melhorar algumas propriedades do concreto.

Toda a mistura deve ser feita através de um traço bem preciso, só assim é possível garantir a resistência e integridade do concreto que são características fundamentais para a melhor durabilidade da estrutura.

O concreto é como se fosse uma pedra artificial que se molda através da invenção do homem. Quando está em estado fresco é um composto plástico que possibilita a modelagem em formas e tamanhos variados, logo depois de endurecido possui a resistência parecida com as das rochas naturais (PEDROSO, 2009).

2.1 BREVE HISTÓRICO

O concreto é um material de construção civil utilizado há muito tempo. “Demorou mais de vinte séculos, desde a sua descoberta, no princípio como mero aglomerante, para se tornar o maior produto fabricado pelo homem atualmente” Segundo Isaia (2011).

A Grécia e a Roma em suas civilizações antigas já utilizavam o concreto em suas obras. Os romanos se sobressaíram na invenção de espaços amplos, que possuíam diâmetro e altura que até então ainda não haviam sido construídas, as abóbadas e cúpulas são exemplos destes espaços. O primeiro material artificial produzido em grande escala foi o concreto romano (*opus caementicium ou concretus*) (YEGUL, 2011).

O concreto romano apresentava uma boa resistência a compressão, apesar do conhecimento ser meramente intuitivo, os levaram a construir grandes obras e deixaram a

engenharia e a arquitetura como um legado para toda humanidade. Obras que nos dias de hoje podem ser vistas em ótimo estado, devido a integridade do concreto (Figuras 1 e 2.).

Figura 1- Museu Coliseu, em Roma, Itália



Fonte: LORENZI, 2018.

Figura 2- Cúpula de Panteão em Roma, Itália



Fonte: SARRALDE, 2014.

O cimento Portland, principal componente do concreto, foi descoberto por Joseph Aspdin, em 1824. A partir de um aglomerante pela queima do calcário e argila moídos, calcinados a alta temperatura para descarbonização dos carbonatos, o material em pó se chamou cimento. Atualmente feito pela queima da mistura de uma rocha calcária e argila moídas resultando em uma substância chamada clínquer (PEDROSO, 2009).

O concreto no Brasil chegou através de Gustav Wayss que o disseminou pelo mundo. Sendo feito então o primeiro prédio de concreto armado em São Paulo, 1907 (Figura 4). No Brasil existem diversas obras marcantes que são patrimônios do país e destaques no cenário mundial como é mostrado na figura 3 (VASCONCELOS², 1985 apud BASTOS, 2006).

² VASCONCELOS, A.C. **O concreto no Brasil** – Recordes, Realizações, História. São Paulo, Ed. Pini, 2ª ed., v.1, 1985, 277p.

Figura 3 (a) Estrutura de concreto armado do Cristo Redentor; (b) Estátua com 8 m de altura



Fonte: VASCONCELOS, 1985.

Figura 4- Primeiro prédio de concreto armado em São Paulo



Fonte: VASCONCELOS, 1985.

Pode-se dizer que o uso do aço no concreto aumenta a capacidade de resistência a esforços de tração e compressão, assim é possível construir estruturas com vão e alturas maiores.

Após a segunda guerra mundial, com vários países devastados, o uso do concreto foi essencial para reconstruir todos os lugares. Esse material conquistou grande espaço em todo o mundo, hoje é um dos mais utilizados nas construções (ISAIA, 2011).

2.2 APLICAÇÃO DO CONCRETO

Existem vários tipos de concreto e várias maneiras de se usá-los. Cada tipo atende a uma exigência dentro de uma construção civil. Pode ser encontrado como efeito estrutural em fundações, lajes, vigas e pilares.

2.2.1 O concreto na obra

Quando se fala de concreto convencional, logo é possível associá-lo ao dia-a-dia de uma obra, ele necessita de bastante mão de obra, porém é de fácil manuseio. Ele pode ser executado no local da construção ou em empresas de concretagem e assim serão transportados por um caminhão betoneira.

A NBR 12655 (ABNT, 2015) estipula todo o procedimento da produção e controle do concreto principalmente em canteiros de obras. Mostra vários critérios para o recebimento, estocagem e preparação, com cálculos específicos para dosagem, plano de concretagem e o procedimento na ordem exata para o preparo e acabamento do concreto.

Na obra o concreto é produzido através da betoneira, onde é colocado primeiramente a maior parte da água e o agregado graúdo, em seguida são colocados o cimento e o agregado miúdo e o restante da água, assim será misturado e incorporado melhor (RECENA; PEREIRA, 2011).

2.2.1.1 Critérios de dosagem

Na dosagem deve ser levado em consideração a forma como os materiais são colocados, em massa, massa combinada com volume ou somente em volume.

Existem três condições segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), onde na condição A todos os componentes do concreto são medidos em massa, a água é medida pela massa ou volume e corrigida com o teor de umidade da areia. Essa condição é aplicável a todas as classes de concreto.

Na condição B o cimento é medido em massa, a água é medida em volume e os agregados são medidos em massa combinada com volume. Essa condição é aplicável para as classes de concreto C10 a C20.

Na condição C o cimento é medido em massa, os agregados medidos em volume e água é medida em volume sendo que ela pode ser corrigida através do teor de umidade dos agregados, em especial a areia. Essa condição é aplicável as classes de concreto C10 a C15.

A resistência média de dosagem é obtida através da seguinte equação

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65s \quad (1)$$

Onde:

f_{cmj} É a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em mega pascal (MPa);

f_{ckj} É a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em mega pascal (MPa);

sd é o desvio-padrão da dosagem, expresso em mega pascal (MPa).

A precisão na proporção dos materiais é de suma importância para menor variação quanto a resistência à compressão. O concreto preparado de maneira convencional deve ser empregado no cálculo da resistência média de dosagem, os desvios padrão de 5,5 MPa ou 7,0 MPa, para as condições B e C.

2.2.1.2 Montagem das fôrmas

De acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2014) as fôrmas devem ajustar-se ao formato e tamanho das peças da estrutura, devem ser suficientemente impermeáveis para não ocorrer a perda da pasta de cimento. As fôrmas devem ser molhadas até a saturação para evitar a perda de água do concreto, é necessário fazer furos para o escoamento da água em excesso

Os pinos de ancoragem devem ser fixados de modo que segurem a concretagem, não pode alterar as características estruturais da peça. A superfície das fôrmas devem ser livres de incrustações de materiais estranhos e deve evitar a ocorrência de manchas na estrutura.

Qualquer componente embutido na fôrma deve preservar as características e resistir qualquer tipo de contaminação que comprometa a integridade do material ou do concreto.

2.2.1.3 Lançamento

O lançamento deve ser feito na mesma proporção da produção para que não haja estoque do concreto juntamente ao local de lançamento. A colocação do concreto deve ser o mais próximo possível das fôrmas. O mesmo deve ser conduzido de maneira que não ocorra o

choque do concreto com as fôrmas, para que a argamassa não se separe dos grãos e fique retida na superfície. (RECENA; PEREIRA, 2011).

Segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004) a altura do lançamento não deve ultrapassar a 2 m de altura. O emprego do funil é o mais recomendando para o lançamento do concreto em qualquer altura, assim evita a separação do grão e argamassa.

Peças horizontais devem respeitar uma camada com a altura de no máximo 50 cm, para evitar maiores imperfeições. Em peças verticais deve se ter um cuidado ainda maior quanto ao choque, para não haver falhas de concretagem na base de pilares (RECENA; PEREIRA, 2011).

2.2.1.4 Adensamento

Logo após o lançamento, o concreto deve ser vibrado, o adensamento é necessário para garantir a diminuição da quantidade e tamanho de vazios devido ao ar presente na massa, ele deve ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os espaços nas fôrmas.

O processo deve ser muito bem realizado para que não haja a separação dos materiais e formação de ninhos. Um adensamento bem feito está relacionado a uma boa resistência mecânica e a durabilidade do concreto.

A NBR 14931 (ABNT, 2004) especifica o uso de vibradores de imersão, devem ser mantidos na posição vertical, sempre vibrar de maneira metódica e contínua, não devem entrar em contato com a parede da fôrma evitando assim a formação de bolhas de ar.

Os vibradores reduzem o atrito interno da mistura, o concreto se fluidifica e preenche espaços limitados nas fôrmas. A intensidade de vibração é inversamente proporcional à plasticidade (RECENA; PEREIRA, 2011). O vibrador de imersão é composto pela fonte de energia, agulha vibrante e a mangueira (Figura 5)

Figura 5 Vibrador de imersão elétrico



Fonte: MATTOS, 1997.

As características do vibrador dependem sempre das características do concreto, devido ao seu aspecto e dimensão do agregado graúdo. A Tabela 1 especifica os parâmetros de aplicação dos vibradores de imersão sugerida pelo ACI 309R (2005)

Tabela 1 - Parâmetros de aplicação de vibradores de imersão

Aplicação	Diâmetro da agulha (mm)	Frequência (vpm)	Amplitude (mm)	Raio de ação (mm)
Concreto plástico e concreto fluido em peças delgadas e locais confinadas, e uso em corpos-de-prova no laboratório	20 - 40	9000 - 15000	0,4 - 0,8	80 - 150
Concreto plástico em paredes delgadas, pilares, vigas, estacas pré moldadas, lajes e em juntas de construção	30 - 60	8500 - 12500	0,5 - 1,0	130 - 250
Concreto medianamente plástico, com abatimento <80 mm, em paredes, pilares, vigas, estacas protendidas e lajes espessas	50 - 90	8000 - 12000	0,6 - 1,3	180 - 360
Concreto massa e concreto estrutural com abatimento ≤ 50 mm	80 - 150	7000 - 10500	0,8 - 1,5	300 - 510
Concreto massa em barragens de gravidade, cais, paredes maciças, etc.	130 - 150	5500-8500	1,0 - 2,0	400 - 610

Fonte: Adaptado do ACI 309, 2005.

2.2.1.5 Cura

A cura do concreto garante a continuação das reações de hidratação do cimento e diminui os efeitos da retração, certificando o aumento da resistência ao longo do tempo para evitar o aparecimento de fissuras principalmente (RECENA; PEREIRA, 2011).

A superfície do concreto deve ser protegida de agentes prejudiciais, ações nocivas do sol, chuvas fortes, mudanças de temperatura, agentes químicos, choques de vibrações podem ser desastrosos para a cura do concreto, causando fissuras e até mesmo comprometendo a aderência da massa as armaduras (CAEMA, 2002).

A cura deve ser feita de acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004), ela especifica a necessidade do maior prazo possível para a cura e o concreto deve atingir 15 MPa, o tempo e a qualidade da cura irá refletir na resistência mecânica e durabilidade da estrutura.

2.2.1.6 Retirada das fôrmas

Segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004) as fôrmas não devem ser removidas até que o concreto tenha adquirido uma boa resistência para aguentar a carga colocada nesse estágio e resistir os danos para superfície durante a retirada. A remoção das fôrmas deve ser feita sem

choques, o responsável por essa execução deve ter conhecimento da resistência a compressão e ao módulo de elasticidade para serem obedecidos

As fôrmas devem ser retiradas apenas depois que o concreto estiver endurecido por completo para resistir as ações que atuarão nele e não possuir deformações desnecessárias. Deve haver um grande cuidado para retirada, evitando rachaduras, quebras nos cantos da superfície ou qualquer dano ao concreto (CAEMA, 2002).

2.3 CARATERÍSTICAS DO CONCRETO

Diversos são os motivos pelo o qual o concreto é o material estrutural mais utilizado. Algumas características são atrativas para o seu uso, viabilizando a sua escolha nas obras

2.3.1 Disponibilidade

Do que se diz respeito às matérias-primas que produz o concreto, pode-se dizer que todas são de grande abundância no planeta. Ele é composto por 5 (cinco) elementos químicos que juntos totalizam cerca de 89% da crosta terrestre, além de possuírem um custo financeiro baixo. Mais de 90% da massa do cimento Portland e dos agregados dispõem desses cinco elementos (ISAIA, 2011).

2.3.2 Adaptabilidade

Um grande atrativo do concreto como material estrutural é a sua plasticidade como característica em estado fresco, pois possibilita a moldagem de formas inusitadas e dimensões variadas, isso tudo depende da vontade e criatividade dos projetistas. A geometria se adapta aos esforços solicitantes e assim as construções de concreto além de efeito estrutural podem possuir a estética junto a ela (ISAIA, 2011).

2.3.3 Praticidade de execução

A mão-de-obra escolhida para executar as estruturas de concreto não tem a necessidade de uma grande qualificação, apesar de ser importante a habilidade e responsabilidade para o trabalho selecionado. Os equipamentos podem ser simples ou sofisticados, vai depender do

tamanho da obra, para escolher o tipo de equipamento e a quantidade de mão-de-obra (ISAIA, 2011).

2.3.4 Preço

A produção do concreto equivale ao dobro da produção mundial dos materiais de construção, o seu consumo gira em torno de 3 (três) toneladas por ano. O baixo preço da matéria-prima e da produção é um grande chamativo, a relação do custo e benefício é o grande causador de tanta utilização. O fato econômico é motivo decisivo ligado com o técnico para que seja empregado em larga escala (ISAIA, 2011).

2.3.5 Sustentabilidade

O concreto proporciona a adição de resíduos industriais, agregados reciclados e outros produtos que são transformados, isso contribui de forma positiva para a sustentabilidade na construção civil. Pode-se dizer que o concreto é o material construtivo que mais colabora com o desenvolvimento sustentável (ISAIA, 2011).

2.3.6 Durabilidade

A estrutura de concreto quando é projetada de forma coerente, dosada e bem executada adquire uma durabilidade coerente a agentes agressivos internos ou externos e possui uma boa resistência ao fogo. Mas é claro que isso depende de uma série de fatores, desde a fase de projeto até a execução de fato da estrutura, tudo deve acontecer corretamente nos mínimos detalhes e ainda sim, o meio ambiente pode ser um fator decisivo quanto a durabilidade da construção (ISAIA, 2011).

2.4 COMPRESSÃO AXIAL

Toda estrutura deve conseguir combater alguns esforços como tração, compressão e flexão. Sendo que o concreto é muito mais resistente à compressão. Para determinar essa resistência são feitos ensaios normatizados como a NBR 5739 (ABNT, 2018). Os ensaios são feitos geralmente com corpos de prova cilíndricos de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura e os agregados de diâmetro máximo menor ou igual a 38 mm. Após os corpos prontos são rompidos

com 28 dias para verificar a sua máxima capacidade de resistir a esse esforço. Sendo calculada por meio da expressão

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 S \quad (2)$$

Onde:

f_{cm} É a resistência média à compressão e S é calculada por meio da equação de desvio padrão

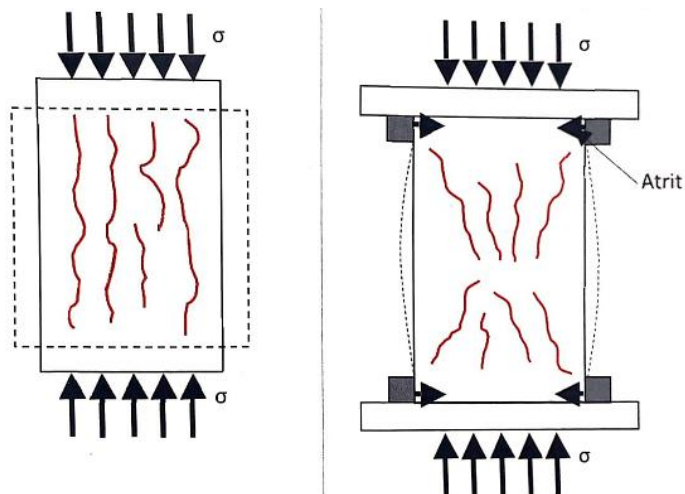
$$S = \sqrt{\frac{\sum(f_{ci} - f_{cm})^2}{(n - 1)}} \quad (3)$$

Sendo:

f_{ci} O valor encontrado das resistências em “n” corpos de prova (ARAUJO, 2014).

Entretanto corpos de prova irmãos podem ter pequenas variações na sua resistência final mesmo tendo sido feitas com o mesmo concreto, essa variação é explicada pela relação de atrito entre o corpo de prova e os pratos da máquina podendo modificar o estado de tensão das faces como mostrado na Figura 6 (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

Figura 6 - Comportamento da fissuração em corpos de provas em restrição e com restrição



Fonte: JACINTHO & GIOGO, 2005.

2.5 CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO

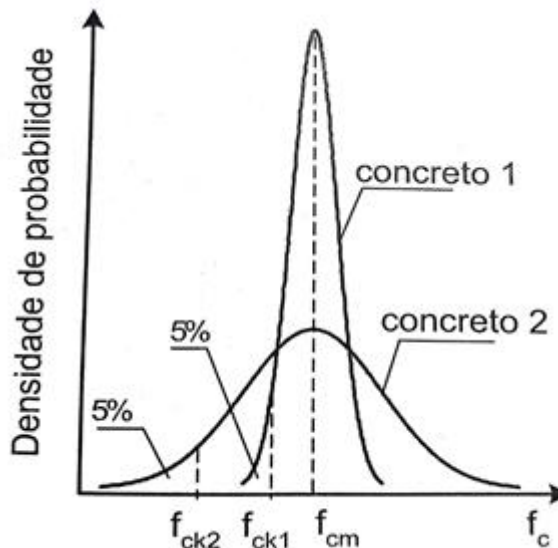
O concreto é classificado por meio da sua resistência à compressão e é dividido em basicamente 2 grupos, grupo I e grupo II. Os concretos mais comuns são os com a letra “C” seguido pelo valor da sua resistência em 28 dias de idade expressa em MPa (mega pascal).

Essa propriedade mecânica do concreto depende de fatores como os descritos abaixo, os quais influenciam diretamente na resistência:

1. Relação Água – Cimento variando;
2. Tipo de cimento usado;
3. Condição de cura;
4. Velocidade de aplicação de carga;
5. Duração do Carregamento;
6. Idade do concreto;
7. Variação na taxa de absorção dos agregados;

Neste ponto de vista o que determina a qualidade do concreto é dado por meio da sua resistência característica, visto que somente a resistência média não mostra com precisão a variação dessa propriedade como mostra na Figura 7.

Figura 7 - Gráfico de densidade de probabilidade da resistência à compressão de dois concretos



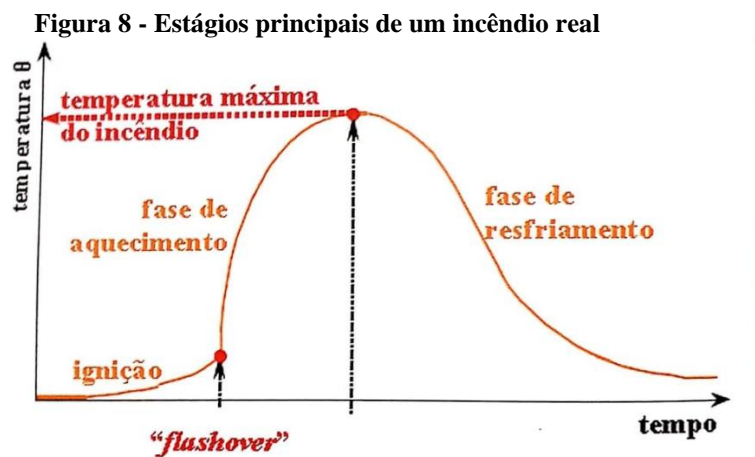
Fonte: ARAÚJO, 2014.

Nota-se que o concreto 1 tem uma dispersão menor entorno do valor médio da resistência, interferindo diretamente no valor da resistência característica logo $f_{ck1} > f_{ck2}$ mesmo tendo a mesma resistência média.

A resistência está diretamente ligada ao estado de tensões. Para 2 tensões iguais de compressão iguais a sua resistência à compressão é elevada em cerca de 16% (SILVA FILHO; HELENE, 2011).

2.6 COMBUSTIBILIDADE

No meio técnico é mais que certo que o fogo faz com que o concreto tenha suas propriedades modificadas. Tendo isso em vista alguns estudos mostram que o concreto perde cerca de 25% da sua resistência a compressão isso a uma temperatura de 300°C e cerca de 75% quando elevado a ordem de 600°C. Em geral a curva que representa a variação de temperatura em um incêndio é caracterizada por uma parte ascendente e uma descendente e 3 etapas: Ignição, *flashover*³, resfriamento como mostra na Figura 8 (BRITZ; COSTA, 2011).



Fonte: COSTA & SILVA, 2003

- Ignição: Estágio de início do incêndio, com crescimento gradual de temperatura, sem risco para a vida humana ou dano ao patrimônio por colapso estrutural esse estágio também é chamado de pré-*flashover* e termina no começo do *Flashover*;

³ *Flashover* pode-se dizer que é a ocorrência de fenômenos conhecidos, tais como uma ignição súbita generalizada, fazendo com que todo o material combustível se encontra em combustão superando temperaturas de até 1000°C.

- *Flashover*: Caracterizado por um crescimento drástico na temperatura, onde todo o material combustível no compartimento entra em combustão, os gases quentes são superiores a 300°C até atingir o pico da curva, onde em geral as temperaturas estão em cerca de 1000°C
- Resfriamento: Onde a uma queda gradativa na temperatura dos gases após todo o material combustível acabar, onde começa a perder calor (BRITTEZ; COSTA, 2011).

3 REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2007) a durabilidade de uma estrutura consiste na sua eficácia da aguentar influências ambientais esperadas e determinadas em conjunto com o autor do projeto estrutural e o contratante no início de elaboração do projeto.

A questão da durabilidade das estruturas de concreto foi avançada graças ao maior entendimento das técnicas de transporte líquidos e de gases agressivos nos meios porosos, como o concreto, o que ocasionou a associação do tempo aos modelos matemáticos expressando em quantidade esses mecanismos (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

Ainda que as estruturas de concreto sejam vistas como duráveis desde que seja tratada e receba manutenção, elas ainda sim podem apresentar patologias que afetam toda a edificação. Para evitar consequências drásticas, a partir do conhecimento dos mecanismos que provocam tais patologias faz-se necessário algumas intervenções, podendo ser chamada de reforço estrutural (REIS, 1998).

A reabilitação de estruturas de concreto inclui a execução de uma série de métodos necessários à restituição dos requisitos de segurança estrutural e durabilidade esperados para essas estruturas. O reforço objetiva adaptar a novos requisitos funcionais, como modificação de carga de uma construção (TIMERMAN, 2011).

Entende-se que reforçar uma estrutura é o ato de fazer uma correção do problema ali localizado com o aumento da resistência dos elementos estruturais e ampliar a capacidade portanto da estrutura, levando-a realizar novamente as funcionalidades originais para qual foi projetada.

3.1 PATOLOGIA

Para reforçar uma estrutura é preciso que ela esteja em estado patológico. Tal estado pode ser desde uma simples mancha até uma grande fissura, cada patologia tem suas particularidades e suas formas de se “tratar”.

No meio de todos os tipos de patologias que existem, sejam mecânicas, químicas, dentre outras, temos como exemplo: manchas, corrosões, eflorescência, fissuras, retrações, bolhas de ar, segregação de concreto, lixiviação, desgastes, e defeitos dimensionais, e muitas outras mais, entretanto este trabalho visa em sua maioria estudar as “doenças” de caráter mecânico.

3.1.1 Fissuras

Essa patologia pode ou não ter uma influência na durabilidade das edificações, devido ao fato de ela permitir a entrada de agentes patológicos agressivo. Para a aparência a abertura aceitável depende da distância em que serão observadas pelo seu usuário e seu uso, além disso poeira, fuligem ou surgimento de eflorescência pode fazer com que as fissuras fiquem visíveis, sendo que a menor abertura que o olho humano consegue ver tem cerca de 0,13 mm, Figura 9 mostra dois tipos de fissuras (TIMERMAN, 2011).

Figura 9 - (a) Fissura superficial em peça de concreto; (b) Fissura profunda em peça de concreto



Fonte: NAKAMURA, 2007.

3.1.2 Bolhas de ar

Podem ocorrer se parte da água de exsudação ou se grandes bolhas de ar ficarem presas logo abaixo da superfície do concreto por uma camada de nata de concreto muito fina sendo que se forma durante o acabamento, isso pode deixar uma pequena fenda na superfície da estrutura. As bolhas podem ter entre 10 mm e 100 mm de diâmetro e de 2 mm a 10 mm de profundidade (TIMERMAN, 2011).

Figura 10 - Exemplo de Bolhas de ar em peças de concreto



Fonte: TECNOMOR, 2019.

3.1.3 Juntas de concretagem

Essa patologia depende de uma falha na hora da concretagem como falta de concreto, mal clima, dentre outras. Quando essas falhas estão previstas são chamadas de “Juntas Construtivas”, quando não são previstas são chamadas de “Juntas Frias” e para unir as “partes” destas juntas pode levar um tempo de 3 a 4 horas ou até mesmo dias. Caso seja incompatível a localização do plano de conte nas juntas no sistema estrutural ou aconteça uma falha no adensamento ou na ligação do concreto velho como o novo, pode ocorrer fissuras na estrutura ou no local onde a ligação está localizada pode ficar sem pasta de cimento ao longo da junta, a Figura 11 mostra a patologia e um funcionário tratando a mesma (TIMERMAN, 2011).

Figura 11 - (a) Junta de concretagem; (b) Funcionário tratando a patologia



Fonte: TREINTOEC, 2018.

3.1.4 Defeitos dimensionais

Devido ao das fôrmas ou escoramento se movimentar por problemas relacionado ao mal dimensionamento dessas estruturas provisórias ou falta de fiscalização na montagem e/ou na execução. Dando problemas de incompatibilidade de tamanho das peças estruturais, isso se

dá também devido ao fato do reaproveitamento de formas sem o bom senso, tais defeitos na peça fazem com que ela não tenha o mesmo desempenho que ela teria caso essa patologia tivesse sido evitada (TIMERMAN, 2011).

3.1.5 Desgaste do Concreto

Origina-se na abrasão realizada por partículas sólidas pequenas, como poeiras, que vem por meio das chuvas ou vento, pessoas andando, tráfego de veículos, impactos de marés, impactos constantes, ou mesmo agentes químicos. Esses desgastes podem ser somente superficiais, mas com o passar do tempo se não for tratada pode se tornar um desgaste profundo danificando a estrutura podendo chegar ao colapso da mesma Figura 12 mostra a degradação em um muro de concreto (TIMERMAN, 2011).

Figura 12 - Degradação em um muro de concreto



Fonte: MATTA, 2014.

3.2 TIPOS DE REFORÇOS ESTRUTURAIS

Antes mesmo de reforçarmos a peça que tem alguma patologia, é necessário identificar a origem da patologia, principalmente se a patologia for para o meio de agentes químicos, para depois então iniciar a parte de recuperar. Geralmente apenas recuperar o concreto e o aço não são suficientes para recuperar a estrutura, logo precisa-se partir para novos métodos para conseguir recuperar aquilo que está danificado. Cada tipo de patologia precisa de um tipo específico de tratamento, no Quadro 1 mostra-se algumas patologias e suas técnicas de recuperação (TIMERMAN, 2011).

Quadro 1 - Principais patologias superficiais e técnicas de recuperação recomendadas

Patologia	Técnica de recuperação
Manchas removíveis	Lavagem da superfície
Manchas permanentes	Tratamento com ácido; estucamento; ácidos abrasivos
Microfissuras	Polimento; estucamento
Fissuras ativas	Calafetação; injeção com selantes
Fissuras passivas	Calafetação; injeção com materiais rígidos; estucamento
Desplacamentos ou segregações profundas e desagregações	Recomposição do cobrimento com argamassa; graute ou concreto de cimento Portland
Desplacamentos ou segregações rasas	Tratamento com ácidos; recomposição com argamassa; polimento

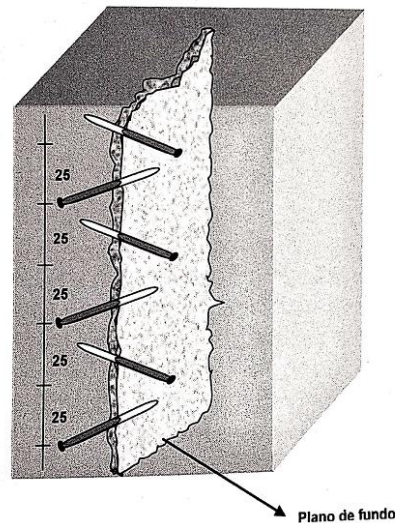
Fonte: CELEDÓN, 1999.

3.2.1 Tratamentos de Fissuras

Toda e qualquer fissura deve ser reparada, preenchendo com material elástico e não resistente possivelmente e cobrindo seus vãos externos. Tal obstrução deve conviver com a “doença”, sendo macia, no entanto, evitando a degradação do concreto, em Fissuras Ativas. Já em Fissuras Passivas, deve-se garantir que a peça volte a ter seu funcionamento original, para isso deve se escolher o melhor e mais adequado material para tal reparo, sendo assim há que lacrar a fenda com a injeção de material resistente e aderente (SOUZA, 1998).

Aberturas maiores que 0,1 mm podem ser injetadas sob baixa pressão, entende-se que essa pressão seja menor que 1 Mpa, exceto as fissuras superiores a 3,0 mm e não muito profunda podendo ser feita por gravidade. Essa injeção deve fazer com que o espaço formado entre as bordas de uma fenda seja perfeitamente preenchido, seja injetada ou não para restabelecer o monolitismo das Fissuras passivas (Figura 8) (SOUZA, 1998).

Figura 13 - Sistema Típico de Injeção de Fissuras



Fonte: TIMERMAN, 2011.

3.2.2 Resinas Epoxídicas

Esse tipo de resina é mais utilizado por serem produtos não retráteis, baixo nível de viscosidade, elevadas capacidades de aderir e resistir, além de terem um ótimo comportamento em presença de agentes agressivos, um endurecimento rápido e mantêm suas características básicas mesmo sendo submetidas a carregamentos. Podendo encontrar em 2 componentes líquidos onde um é o endurecedor e a outra é a resina em si, sendo misturados por um misturador pneumático de baixa rotação ou misturadores elétricos por um tempo de 2 a 3 minutos. Recomenda-se essas viscosidades para essas resinas (PIMENTEL & TEIXEIRA PER SOUZA, 1978⁴ apud TIMERMAN, 2011):

Abertura de fissuras inferiores a 0,2 mm: resinas epóxi líquidas, bastante fluidas, com fissuras, com viscosidade em torno de 100 cps⁵

- a 20°C;
- Aberturas entre 0,2 e 0,6 mm: resinas epóxi líquidas com viscosidade máxima de 500 cps a 20°C;
- Aberturas entre 0,3 e 3 mm: resinas epóxi líquidas com viscosidade máxima de 1500 cps a 20°C;

⁴ PIMENTEL, C. C. D., TEIXEIRA L., Patologia do concreto e recuperação de estruturas – injeções de resina em estruturas de concreto. Ibracon, 1978.

⁵ Cps unidade de medida para viscosidade.

- Aberturas superiores 3 mm: resinas epóxi líquidas puras ou com cargas.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de estruturas de concreto – Procedimento: NBR14931**. 2004.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento: NBR12655**. 2015
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento: NBR6118**. 2007.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: NBR5739**. 2018.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for consolidation of concrete. ACI 309R-05**. Farmington Hills: ACI, 2005.
- ANDRADE, Jairo José de Oliveira; TUTIKIAN, Bernardo F. Resistência mecânica do concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, Rio Grande do Sul, v. 1, n. 17, p.615-649, 2011.
- ARAUJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. 4. ed. Cidade Nova: Dunas, 2014.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. 2006. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.
- BRITEZ, Carlos Amado; COSTA, Carla Neves. Ações do Fogo nas Estruturas de Concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, p.1029-1068, 2011.
- CAEMA (Maranhão). **Concreto Convencional**. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/2057234.PDF>. Acesso em: 09 fev. 2002.
- CELEDÓN, M. L. H.; VELÁSQUES, C. A. **Concreto Arquitectónico: como realizar um buen acabado**. 1. ed. Santa Fé de Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto (ASOCRETO), 1999.
- COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Dimensionamento de estruturas de concreto em situação de incêndio: métodos tubulares apresentados em normas internacionais. *In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO*, 5,2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 2003. 1 CD-ROM
- FRANCZAK, Cibele Cristine Mello; PREVEDELLO, Felipe Zahdi Raffo. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS TIPOS DE ADITIVOS PARA UM MESMO TRAÇO EM CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL**. 2012. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012

ISAIA, Geraldo Cechella. A evolução do Concreto Estrutural. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 1, p.1-52, 2011.

LORENZI, Gabriel. **Museu Coliseu, em Roma, Itália**. Disponível em: <<https://www.google.com/amp/s/dicasdaitalia.com.br/2019/10/ingressos-para-visita-guiada-pelo-coliseu-forum-e-palatino-em-roma.html/amp>>. Acesso em: 20 set. 2019.

MATTA, Luciano da. **Engenheiro vê risco de queda em rampa de hotel em Salvador**. Disponível em: <<https://atarde.uol.com.br/bahia/salvador/noticias/1561002-engenheiro-ve-risco-de-queda-em-rampa-de-hotel-em-salvador>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

MATTOS, A. D. Boas Vibrações para a sua obra. **Téchne**, São Paulo, n. 29, p. 44-46, jul.-ago. 1997.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, Rio Grande do Sul, v. 1, n. 774, p.773-808, 2011.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens da evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto e Construções**, São Paulo, p.14-19, 01 mar. 2009. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

PEREIRA, Raí Scheffer; GODINHO, Daiane dos Santos da Silva. **RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COLAPSADAS UTILIZANDO REFORÇO DE FIBRA DE CARBONO**. 2016. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016

RECENA, Fernando A. P.; PEREIRA, Fernanda Macedo. Produção e Controle de Concreto em Obras. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, Rio Grande do Sul, v. 1, n. 538, p.537-584, 2011.

REIS, Andréa Prado Abreu. **REFORÇO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE BARRAS DE AÇO ADICIONAIS OU CHAPAS DE AÇO E ARGAMASSA DE ALTO DESEMPENHO**. 1998. 239 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

SARRALDE, José Luís. **Cúpula de Panteão em Roma, Itália**. Disponível em: <<https://guias-viajar.com/italia/roma/cupula-panteon-agripa-templo-romano/>>. Acesso em: 21 set. 2019.

SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da; HELENE, Paulo. Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, p.1129-1174, 2011. (SILVA FILHO; HELENE, 2011)

SOUZA, V V.M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1. ed. São Paulo: PINI, 1998

TECNOMOR. **O que causa as bolhas no concreto e como evitá-las**. Disponível em: <<https://tecnomor.com.br/blog/o-que-causa-bolhas-no-concreto/>>. Acesso em: 26 out. 2019.

TIMERMAN, Júlio. Reabilitação e Reforço de Estruturas de concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, p.1175-1209, 2011.

TREINOTEC. **Injeção de poliuretano em juntas de concretagem e fissuras em Estação de tratamento de Esgoto (ETE) em Conselheiro Lafaiete/MG**. Disponível em: <<https://treinotecengenharia.com.br/injecao-de-poliuretano-em-juntas-de-concretagem-e-fissuras-em-estacao-de-tratamento-de-esgoto-ete-em-conselheiro-lafaiete-mg/#>>. Acesso em: 27 set. 2010.

YEGUL,F. **Roman Building Technology and Architecture**. Disponível em <https://archserve.id.ucsb.edu/courses/arhistory/152k/concrete.html> Acesso em 08 out 2019