

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**LORRAN AUGUSTO PATRIARCA
WESLEY DE OLIVEIRA CASTRO**

**ESTUDO DO GANHO DE RESISTÊNCIA DA APLICAÇÃO DE
MANTA DE FIBRA DE VIDRO EM PILARES DE CONCRETO
SIMPLES**

**ANÁPOLIS / GO
2018**

**LORRAN AUGUSTO PATRIARCA
WESLEY DE OLIVEIRA CASTRO**

**ESTUDO DO GANHO DE RESISTÊNCIA DA APLICAÇÃO DE
MANTA DE FIBRA DE VIDRO EM PILARES DE CONCRETO
SIMPLES**

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

**ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA GODOI
QUARESMA**

**ANÁPOLIS / GO
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

PATRIARCA, LORRAN AUGUSTO/ CASTRO, WESLEY DE OLIVEIRA

Estudo do Ganho de Resistência da Aplicação de Manta de Fibra de Vidro em Pilares de Concreto Simples

53p (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto armado

2. Reforço estrutural

3. Fibra de vidro

4. Reforço de pilares

I. ENC/UNI

II. Bacharel (10º)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PATRIARCA, Lorrان Augusto; CASTRO, Wesley. Estudo do Ganho de Resistência da Aplicação de Manta de Fibra de Vidro em Pilares de Concreto Simples. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 56p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lorrان Augusto Patriarca

Wesley de Oliveira Castro

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo do Ganho de Resistência da Aplicação de Manta de Fibra de Vidro em Pilares de Concreto Simples

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

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.



Lorrان Augusto Patriarca

E-mail: lorrانpatriarca-engcivil@outlook.com



Wesley de Oliveira Castro

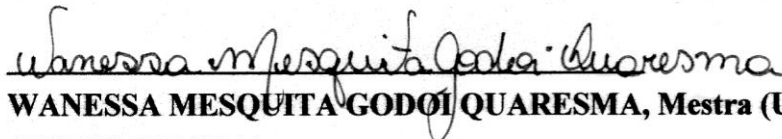
E-mail: wesley.oliveira.junior.eng.civil@gmail.com

**LORRAN AUGUSTO PATRIARCA
WESLEY DE OLIVEIRA CASTRO**

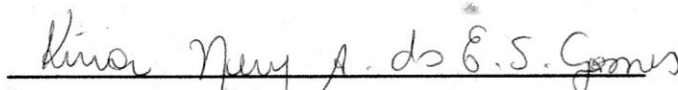
**ESTUDO DO GANHO DE RESISTÊNCIA DA APLICAÇÃO DE
MANTA DE FIBRA DE VIDRO EM PILARES DE CONCRETO
SIMPLES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

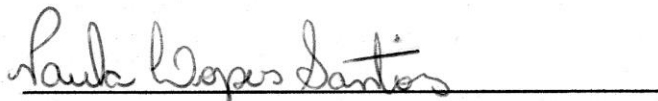
APROVADO POR:



**WANESSA MESQUITA GODOÍ QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**



**KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**PAULA LOPES SANTOS, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 28 de novembro de 2018.

RESUMO

O concreto armado é um dos procedimentos de maior importância na construção civil. No entanto, os elementos estruturais podem apresentar patologias com o decorrer do tempo ou em consequência de alguma falha em qualquer fase da sua vida útil. Por isso é importante a tecnologia de reparação e reforço de estruturas, quando estas apresentam patologias que ameaçam a sua segurança. Sendo assim, o desenvolvimento de técnicas de reforço estrutural vem ganhando notação do mercado. Dentre os materiais utilizados, a manta de fibra de vidro se mostra como opção devido à suas vantagens econômicas. Portanto, este estudo tem por objetivo analisar as principais características estruturais da aplicação dos compósitos de fibra de vidro como reforço de pilares de concreto. Sendo assim, fez-se uma revisão da literatura disponível acerca do assunto e explanou-se sobre as vantagens e desvantagens deste método em relação aos convencionais. Em seguida, fez-se um processo experimental, no qual foram moldados corpos de provas cilíndricos e alguns deles foram reforçados com o material. Em seguida, rompeu-se todos eles. Assim, foi possível analisar o aumento de carga resistente à compressão do corpo de concreto reforçado em relação ao não reforçado. Com os resultados obtidos analisou-se as vantagens e desvantagens observadas com este experimento. Concluiu-se que o compósito demonstrou ser viável para reforço estrutural, entretanto, exige-se uma maior atenção a sua aplicação, pois pode ocasionar o desprendimento do reforço.

PALAVRAS-CHAVE:

Concreto armado. Reforço estrutural. Fibra de vidro. Reforço de pilares.

ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the most important procedures in civil construction. However, the structural elements can present pathologies that besides being the fruit of the time, can be the consequence of some fault, at any stage of its useful life. Therefore, it is important the technology of repair and reinforcement of structures, when these present pathologies that threaten their safety. Thus, the development of structural reinforcement techniques has been gaining market ratings. Among the materials used, the fiberglass blanket is shown as an option due to its economic advantages. Therefore, this study aims to analyze the main structural characteristics of the application of fiberglass composites as reinforcement of concrete pillars. Thus, a review of the available literature on the subject was made and the advantages and disadvantages of this method over conventional ones were explained. Then, an experimental procedure was carried out, in which cylindrical test bodies were molded and some of them reinforced with the material. Then it broke them all. Thus, it was possible to analyze the compressive strength increase of the reinforced concrete body in relation to the non-reinforced concrete. With the results obtained the advantages and disadvantages observed with this experiment were analyzed. It was concluded that the composite showed to be viable for structural reinforcement, however, it is necessary to pay more attention to its application, since it can cause the reinforcement to detach.

KEY WORDS:

Reinforced concrete. Structural reinforcement. Fiberglass. Reinforcement of pillars.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fissuras de pega ou falsa pega.....	22
Figura 2 – Fissuras de concretagem simultânea.....	23
Figura 3 – Fissuras de junta de concretagem.....	23
Figura 4 – Fissuras de má distribuição de estribos.....	24
Figura 5 – Fissuras devidas à esforços.....	24
Figura 6 – Fissuras devidas à corrosão de armadura.....	25
Figura 7 – Fissuras devidas à recalques diferenciais.....	25
Figura 8 - Abatimento do concreto medido pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado.....	33
Figura 9 – Corpos de provas cilíndricos nivelados.....	36
Figura 10 - Aplicação no corpo de prova cilíndrico.....	36
Figura 21 - Finalização do corpo de prova cilíndrico.....	37
Figura 12 - Gráfico comparativo da carga de ruptura nos corpos cilíndricos.....	41

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Massa específica dos agregados	31
Tabela 2 – Massa unitária dos agregados	31
Tabela 3 – Resistência à compressão dos corpos cilíndricos	40

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Cimento Portland
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 METODOLOGIA	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2 REVISÃO TEÓRICA.....	15
2.1 PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO	15
2.1.1 Patologias geradas na concepção do projeto.....	16
2.1.2 Patologias geradas na execução da estrutura	17
2.1.3 Patologias geradas na utilização da estrutura	18
2.1.4 Patologias relacionadas ao custo da construção	18
2.2 PATOLOGIAS EM PILARES DE CONCRETO	21
2.3 TERAPIA PARA PATOLOGIAS NO CONCRETO.....	26
2.3.1 Fibra de vidro.....	26
2.3.1.1 Material compósito	26
2.3.1.2 Características da fibra de vidro	27
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	29
3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	30
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	30
3.2.1 Massa específica dos agregados.....	30
3.2.2 Massa unitária dos agregados	31
3.2.3 Determinação da composição granulométrica.....	32
3.2.4 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	32
3.3 ESCRITA DO TRAÇO.....	34
3.4 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	34
3.5 REFORÇO COM MANTA DE FIBRA DE VIDRO	36
3.6 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA	37
3.6.1 Ensaio de resistência à compressão axial em concreto	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1 PRÉ EXPERIMENTAL.....	39

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	39
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	44
APÊNDICE A – Cálculo do traço do concreto pelo método da ABCP	47
APÊNDICE B – Cálculo detalhado do traço do concreto de 20 MPa pelo método da ABCP	50
ANEXO A – Ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos	52
ANEXO B – Ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos reforçados	53

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios o homem vem buscando materiais que atendam às suas necessidades, principalmente de abrigo e proteção e por isso começaram a buscar por materiais que fossem duráveis, resistentes e maleáveis. Inicialmente, eram usados a pedra e o barro como materiais construtivos, porém a pedra era pesada e o barro pouco resistente. Deste modo, ao longo do tempo, o homem foi aperfeiçoando suas técnicas, descobrindo e criando outros materiais com melhores qualidades construtivas, até chegar ao concreto com as características e componentes atuais.

Hoje, o concreto é dito como o material mais utilizado no mundo na construção civil pelo homem, ficando atrás, apenas, da água. Podemos encontrá-lo em diversos lugares do nosso dia-a-dia, como em pontes, casas, edifícios, rodovias, etc.

De acordo com Souza e Ripper (1998), com o avanço da tecnologia na construção civil, foram feitas muitas afinações nas metodologias de cálculo estrutural, entretanto as técnicas construtivas nem sempre acompanham esse avanço. Os cálculos por terem um coeficiente de segurança menor que os antigos, exige-se uma maior precisão nas considerações de projeto, na execução da estrutura e nas recomendações de manutenção, pois pequenas variações podem causar as preocupantes patologias.

Além dos problemas patológicos que surgem devido a erros, há também aqueles que surgem ao longo do tempo, pois, como sabe-se, existe uma vida útil para cada estrutura. Por isso deve-se levar em consideração todas essas falhas, a utilização e a ação do tempo, pois elas podem atentar contra a segurança das edificações, sendo necessários diagnósticos precisos, e quando necessário, intervenções para evitar a ruína da estrutura.

Assim, o reforço de estruturas de concreto armado tem sido cada vez mais estudado e aprimorado para trazer outras opções de recuperação da estrutura e que não seja necessária a demolição da edificação.

Para se escolher o tipo de reforço estrutural, deve-se levar em consideração o custo de aplicação, o desempenho, a durabilidade, a facilidade e rapidez na instalação do reforço.

Como exemplo de reforços estruturais, podemos citar o aumento de seção transversal e a protensão externa. O primeiro é uma técnica muito antiga, porém se apresenta como solução quando ao alto risco de corrosão das armaduras devido ao pequeno cobrimento nominal e, apresenta como consequência, a deterioração do concreto de reforço e também o aumento do peso próprio da estrutura. O segundo apresenta certa desvantagem quanto a

vulnerabilidade à ação do fogo, da corrosão eletroquímica e atos de vandalismo por ser localizado no exterior dos elementos estruturais (SOUZA E RIPPER, 1998).

As chapas de aço são apresentadas como uma das melhores técnicas de reforço de elementos deteriorados, porém, como coladas na superfície do concreto através de adesivos epóxi, a mesma não demonstra muita durabilidade, já que a chapa de aço está sujeita a corrosão ao longo do tempo.

1.1 JUSTIFICATIVA

As pesquisas sobre materiais compósitos reforçados com fibras de vidro são poucas abordadas de forma práticas, e existe uma carência de bibliografias que apliquem sobre o assunto.

Os principais resultados obtidos pela aplicação da fibra de vidro são controle da retração, fissuração e exsudação do concreto. Nossos estudos visam avaliar as características mecânicas e a resistência residual do concreto reforçado com fibras de vidro, visando sua aplicação em pilares.

Acredita-se que devido ao baixo peso específico, excelente resistência a fatores ambientais e facilidade no transporte, a fibra de vidro possa ser uma boa ferramenta na construção civil. Justificando assim, a necessidade em desenvolver estudos que apresentem o comportamento físico e mecânico desse material. Além de que, a fibra de vidro se mostra mais econômica e de melhor acesso. Sendo assim, é interessante avaliar sua capacidade mecânica, pois esta pode se tornar uma opção viável para reforço de estrutura.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Objetiva-se estudar propriedades mecânicas do concreto reforçado com manta de fibra de vidro para fins de reforço estrutural. Com ênfase na aplicação e resultados experimentais em peças submetidas a compressão axial.

1.2.2 Objetivos específicos

- Abordar de maneira clara a importância do reforço estrutural, descrevendo as principais técnicas utilizadas e ressaltando as estudadas neste trabalho, possibilitando ao leitor uma visão mais ampla do tema dentro da engenharia civil e da sociedade;
- Montar um plano experimental com corpos de prova de concreto simples na forma cilíndrica, com diferentes camadas de reforço com manta de fibra de vidro, submetidos à compressão;
- Analisar e comparar os resultados obtidos associando a utilização da técnica em estruturas na macroescala com o reforço de fibra de vidro.

1.3 METODOLOGIA

Visando atingir os objetivos propostos foi desenvolvido um programa experimental que contribuísse para o entendimento da técnica de reforço com manta de fibra de vidro. Desta forma, os ensaios com os corpos de prova foram feitos de acordo com as normas NBR 5739 (ABNT, 2007), específicos para o ensaio de compressão. Foram estudadas algumas propriedades e comportamentos dos elementos de concretos simples com e sem reforço, para os quais foram utilizadas diferentes camadas de fibra vidro. Vide melhor no capítulo 3.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução, onde foi feita uma contextualização sobre o tema tratado, expõe-se os objetivos gerais e seus desdobramentos específicos, justificativa, bem como uma apresentação da metodologia a ser empregada e a estruturação do texto.

O capítulo 2 apresenta as considerações iniciais base do referencial teórico desta pesquisa, explana-se um pouco sobre patologias, terapias e as principais características do material e do tipo reforço analisado neste estudo.

O capítulo 3 mostra o programa experimental e apresenta-se os materiais utilizados, os traços e porcentagens de agregados usados e os métodos de análises adotados para realização dos ensaios.

No capítulo 4 é feita uma análise dos resultados alcançados nos ensaios.

E, por fim, o capítulo 5 tem por finalidade concluir o que foi observado nos estudos e experimentos feitos sobre o reforço estrutural com compósitos de fibra de vidro.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO

Apesar de ser um dos materiais mais resistentes e úteis na indústria da construção, o concreto não é infalível. Há diversas condições que podem afetar a sua qualidade, que, assim como na medicina, apresentam sintomas e tratamentos específicos. Assim como um médico deve compreender quais são os sintomas, as conseqüências e os tratamentos das principais doenças que acometem seus pacientes, um engenheiro também precisa estar atento às principais ocorrências que comprometem as suas edificações. De acordo com Falcão Bauer (2000),

São apresentadas referências históricas sobre Patologia, as principais causas e suas deteriorações, desagregação e fissuras das estruturas. As estruturas de concreto armado, desde a fase de projeto e mesmo durante a vida útil, estão sujeitas a uma série de fatores que poderão comprometer sua durabilidade e até sua estabilidade.

Entende-se por patologia do concreto armado a ciência que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos problemas patológicos vistos nas estruturas confeccionadas com o material. Lembrando que para um dano qualquer, existe a possibilidade de vários aspectos serem responsáveis. Estes danos podem vir apenas a causar incômodos para aqueles que irão utilizar a obra segundo fim para que a mesma fora realizada, tais como pequenas infiltrações até grandes problemas que podem levar a estrutura ao colapso.

Habitualmente em casos de acidentes catastróficos, como por exemplo, prédios que vão a ruína, não seguem apenas uma origem atuando sozinha, mas sim diversas que juntamente acabam levando a estrutura ao colapso. Não é difícil encontrar estruturas nas quais foram realizados erros em qualquer uma das etapas e mesmo assim não apresentam grandes irregularidades. Pelo contrário, pode-se deparar estruturas que apresentem grandes danos que limitam a longevidade e resistência mecânica, mas que sua razão vem de erros ou falhas menores, mas quando atuam de maneira simultânea, superpõem seus efeitos e acarretam graves conseqüências (CANOVAS, 1988).

2.1.1 Patologias geradas na concepção do projeto

Ocorrências patológicas em estruturas de concreto armado que portem sua causa na concepção do projeto são aquelas que decorrem de um planejamento mau realizado do mesmo ou falhas técnicas, sejam por desconhecimento ou negligência.

Podem se originar de um mau lançamento da estrutura, falha em execução de anteprojeto ou até mesmo na elaboração do projeto de execução. Pode ser referido como exemplo, fissuras em uma viga devido ao erro de cálculo da flecha, ou fissuras de compostos estruturais devido a não ser considerado ou negligenciado o Estado Limite Último.

Como disse Falcão Bauer (2000), o processo de qualidade e cuidados na fase de projeto, na escolha dos materiais empregados durante a execução, de sua proteção e manutenção, influência diretamente na probabilidade da estrutura apresentar deterioração, sendo proporcional, quanto maiores forem os cuidados com a qualidade em cada uma das fases citadas, ou seja, projeto, execução e manutenção, menor será a incidência de patologias.

Segundo Canovas (1988), no que se refere a concepção de projetos de estruturas de concreto devemos considerar quatro fatores essenciais nos quais é necessário estar atento e cumprir todos os requisitos fundamentais para que o sucesso seja obtido:

- Devem ser cumpridas as condições de equilíbrio básicas da Estática;
- A conformidade das deformações das próprias peças estruturais e suas uniões;
- Representação em escala suficientemente clara, com as disposições e dimensões de cada componente estrutural, especialmente as medidas que se referem as armaduras;
- A vantagem de gerar normas detalhadas, nas quais estejam presentes todas as características e detalhes dos materiais a serem empregados na estrutura, forma de controle e armazenamento, penalizações, entre outros. Esse documento, ao qual, habitualmente não se dá importância, é absolutamente essencial e de grande importância para se alcançar uma construção sem defeitos e de qualidade: e, em caso de litígio, é um documento de grande valor.

Geralmente as falhas geradas nesta etapa, terão como consequência problemas patológicos com soluções mais difíceis e com alto custo de reparo, do que problemas patológicos gerados nas etapas subsequentes.

Segundo Souza e Ripper (1998), normalmente os empecilhos e o fator custo para curar uma estrutura com danos originários de erros da concepção do projeto, são proporcionais à antiguidade da falha, ou seja, erros no princípio da concepção e levados no decorrer das outras etapas, tendem a gerar um maior prejuízo. Uma falha no estudo

preliminar, por exemplo, remete a uma solução mais trabalhosa e complexa do que uma falha que venha acontecer na fase do anteprojeto.

Apesar de erros em projetos, tais como hidrossanitários com alguma tubulação projetada através de elementos estruturais, e assim podendo ocasionar algum dano, devemos nos atentar principalmente ao projeto estrutural como sendo o de maior relevância e sendo aquele que em caso de negligência nos causará mais problemas. Por esse motivo o responsável técnico deverá estar atento e ciente de sua responsabilidade.

Erros em projetos estruturais não são raros de ocorrer, sendo muito difícil que exista algum escritório que tenha calculado diversos projetos estruturais sem que haja ocorrido um erro qualquer. O que ocorre é que geralmente na maioria dos casos os mesmos são corrigidos a tempo, ou não são graves o bastante para serem notados.

2.1.2 Patologias geradas na execução da estrutura

Após o término da concepção do projeto inicia-se à etapa da execução da estrutura. Nesta fase, antes de qualquer processo de construção, deve existir o planejamento do canteiro da obra para a sequência da mesma, assim como a programação de todas as atividades e também o cronograma como tempo limite de cada parte a ser realizada.

Os responsáveis técnicos da obra em conjunto com os mestres de obras, devem estar totalmente atentos ao projeto e a todas as informações que o mesmo oferece, tais como escalas, dimensões e posições dos elementos estruturais e demais medidas para que a execução ocorra da melhor forma possível, evitando que futuramente apareçam manifestações patológicas.

Nas estruturas, vários problemas patológicos podem surgir. Uma fiscalização deficiente e um fraco comando de equipes, normalmente relacionados a uma baixa capacitação dos profissionais envolvidos, podem, com facilidade, levar a graves erros em determinadas atividades, como a implantação da obra, escoramento, fôrmas, posicionamento e quantidade de armaduras e a qualidade do concreto como Takata (2009) afirma.

Outro fator que deve ser considerado nesta etapa é a qualidade da mão de obra do quadro de funcionários. É comum ocorrerem erros que originam patologias quando se usa mão de obra desqualificada ou até mesmo mão de obra qualificada, que não esteja adaptada para uma nova tecnologia, ou ainda usá-la fora de sua área de especialização.

A partir do momento em que é iniciada a construção, a mesma já está suscetível à ocorrência de falhas das mais diversas naturezas, associadas a causas variadas como escassez

de mão de obra qualificada, controle de qualidade praticamente inexistente, execução da obra com baixa qualidade, péssimas condições de trabalhos para os funcionários, materiais com qualidade inferior, irresponsabilidade técnica dos responsáveis e até mesmo sabotagem. Podem-se citar como exemplos de patologias originadas por falhas na execução de estruturas de concreto armado, trincas em vigas devidas a ausência de barras de aço, trincas de elementos estruturais devido ao mau escoramento das formas, falhas no concreto devido à deficiente vibração do concreto.

2.1.3 Patologias geradas na utilização da estrutura

Concretizadas as etapas de concepção e execução da estrutura, ainda que com o sucesso esperado e sem ou reduzidas margens de chances de ocorrências de danos patológicos, poderão ainda acontecer patologias a partir de errôneo manuseio.

Após a liberação da obra ao usuário, este poderá causar danos na estrutura, seja por desleixo ou desconhecimento. A utilização da estrutura deve ser analisada de maneira análoga a qualquer equipamento mecânico ou elétrico, ou seja, deve ser usado respeitando o projeto e realizando as manutenções devidas indicadas pelos responsáveis técnicos. Segundo Santos (2014), um planejamento de manutenção periódica, principalmente nas partes mais utilizadas ou mais suscetíveis à desgastes, a fim de evitar problemas patológicos sérios e até a própria ruína da estrutura.

Em especial, quando se trata de concreto, deve-se dar atenção para produtos que venham causar corrosão do mesmo e das armaduras de aço, assim como para os valores de sobrecargas permitidos nos elementos estruturais. Alguns exemplos de patologias que ocorrem nesta fase são trincas devido à remoção de alguma estrutura importante para abertura dos vãos, seja para janelas, portas ou qualquer outro fim.

2.1.4 Patologias relacionadas ao custo da construção

É notório que, em uma obra de construção civil, quanto antes for identificado um problema, melhor. Como numa fase de projeto, por exemplo, com o intuito de se evitar patologias de arranjo estrutural. O custo envolvido numa recuperação da estrutura logo após ao término da construção é muito superior se comparado à alguma intervenção a nível de projeto ou execução inicial. Diante do gasto total para a construção de um empreendimento, os custos de projeto variam de 3% a 10% desse valor (DAL MOLIN, 1988).

Em consequência da sua importância, um grande avanço no alcance da evolução da qualidade da construção pode ser alcançado partindo-se de uma melhor qualidade dos projetistas. É na etapa de projeto que são tomadas as decisões de grande repercussão nos gastos, velocidade e qualidade dos empreendimentos.

A manutenção e as reformas têm se transformado em questões expandidas e preocupantes em vários países, principalmente quando se fala em termos de custos. Visto que esses serviços requerem gastos de bilhões motivando grande impacto econômico, e chegando, até mesmo, a representar 50% dos gastos realizados em empreendimentos em algumas situações.

Couto e Couto (2007) situa a causa de decisão entre ações de manutenção preventiva e ações corretivas como sendo o aspecto financeiro. No entanto, a prática tem provado que os custos de prevenção não são tão expressivos em relação aos custos de intervenção. De qualquer forma, o que realmente se busca é garantir um comportamento satisfatório de uma edificação durante um período de vida útil programado.

Os encarregados pela execução de um projeto de construção devem observar as decisões que serão tomadas durante as etapas construtivas, como a aquisição de materiais, ou nas maneiras que se executa. É possível citar como exemplo de tomada de decisão, a economia no momento de sondagem do terreno. Verifica-se na história da construção civil que uma sondagem realizada de modos menos detalhados, pode ser decisiva se tratando do atendimento da qualidade na execução do projeto. Acidentes durante a construção do empreendimento podem acarretar desde problemas mais simples como atraso da obra, a problemas mais graves como mortes e danos materiais. Todas essas questões levam a custos maiores aos que estavam orçados anteriormente, desta forma, uma economia que não será relevante no futuro.

Sobre as recuperações patológicas deve-se afirmar que as correções são mais fáceis de executar, mais duradouras e com custos mais baixos, quanto mais rapidamente proceder a execução das mesmas. Daiha (2004) ressalta que os custos de intervenção na estrutura, para atingir certo nível de durabilidade e proteção, crescem exponencialmente quanto mais tarde for essa intervenção e que a progressão desse custo pode ser associada ao de uma progressão geométrica de razão 5, conhecida por “Lei dos 5”.

De acordo com Helene (1992), pode-se definir em cada uma, como que a obra seria afetada no custo caso a intervenção fosse realizada nesta determinada fase:

a) Fase de projeto: toda medida tomada em nível de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, como, por exemplo, aumentar o cobrimento

da armadura, reduzir a relação água / cimento do concreto ou aumentar o fck, detalhar certas adições, ou tratamentos protetores de superfície, e várias outras implicam um custo que pode ser relacionado ao número 1(um);

b) Fase de execução: toda medida extra-projeto, tomada durante a fase de execução propriamente dita, implica um custo cinco vezes superior ao custo que acarretaria tomar uma medida equivalente na fase de projeto, para obter-se o mesmo nível final de durabilidade ou vida útil da estrutura. Um exemplo típico é a decisão em obra de reduzir a relação água / cimento para aumentar a durabilidade;

c) Fase de manutenção preventiva: as operações isoladas de manutenção do tipo; pinturas frequentes, limpezas de fachada sem beirais e sem proteções, impermeabilizações de coberturas e reservatórios mal projetados, e outras, necessárias a assegurar as boas condições da estrutura durante o período da sua vida útil, podem custar até 25 vezes mais que medidas corretas tomadas na fase de projeto estrutural ou arquitetônico. Por outro lado, podem ser cinco vezes mais econômicas que aguardar a estrutura apresentar problemas patológicos evidentes que requeiram uma manutenção corretiva;

d) Fase de manutenção corretiva: corresponde aos trabalhos de diagnóstico, reparo, reforço e proteção das estruturas que já perderam sua vida útil de projeto e apresentam manifestações patológicas evidentes. A estas atividades pode-se associar um custo 125 vezes superior ao custo das medidas que poderiam e deveriam ter sido tomadas na fase de projeto e que implicariam um mesmo nível de durabilidade que se estime dessa obra após essa intervenção corretiva.

A demora em começar a manutenção de uma obra torna os reparos mais difíceis e faz com que os gastos sejam aumentados. Por exemplo, a verificação do fck do concreto utilizado na obra através do rompimento de corpos-de-prova é obtida de forma tardia (28 dias), pois o concreto já foi lançado na estrutura, e se não estiver de acordo com o fck de projeto, a solução é reforço ou reconstrução.

Esta intervenção é trabalhosa e ocasiona aumento de custos, pois além dos gastos para o reforço ou reconstrução, causa atraso no cronograma de execução da obra. E, se caso este problema não for resolvido, além de diminuir de forma significativa o tempo de vida útil da obra, o custo de futuras manutenções será ainda maior.

Desta forma, percebe-se que há necessidade de encontrar um método simples e rápido e que seja desempenhado no canteiro de obras de forma a prever com maior precisão a resistência mecânica do concreto. Isso antes do seu lançamento, a fim de descartá-lo, encaminhar para outra aplicação ou efetuar correções no traço, caso não atenda as condições

mínimas especificadas em projeto, e assim, garantir a economia e a durabilidade das estruturas, sem dispensar o uso do controle tecnológico existente.

2.2 PATOLOGIAS EM PILARES DE CONCRETO

Os pilares de sustentação são tão antigos como a própria história da humanidade, sendo um exemplo disso os pilares de rocha da antiga civilização grega. Desde então os transtornos patológicos acompanham estes componentes tão relevantes no conjunto da estrutura, sendo que seu colapso tem conseqüências muito graves.

Apesar de o estudo experimental considerado neste trabalho conceitue somente o reforço de pilares, resolveu-se citar a seguir as patologias de maior frequência nos pilares, em geral.

CANOVAS (1988) cita que as mais freqüentes patologias são:

- Corrosão do concreto pelas ações químicas das águas, que podem ser agrupadas em:
 - Carbonatação, com dissolução e precipitação de carbonato de cálcio;
 - Ação dos sais de amônia sobre a cal hidratada;
 - Ação dos cloretos e sulfatos de magnésio sobre a cal hidratada;
 - Ação dos sulfatos sobre o aluminato tricálcico hidratado para formação de etringita.
- Corrosão das armaduras que apresenta os inconvenientes de produzir desagregações no concreto e diminuir a seção resistente das barras, podendo tratar-se de corrosão química ou eletroquímica;
 - Falta de qualidade dos materiais empregados na execução;
 - Efeitos das condições climáticas, como por exemplo, ação do frio e do calor;
 - Ação do fogo, sismos e acidentes (choques).

Além disso, deve destacar a possibilidade de mudança do uso da estrutura, que possa exigir uma interposição de reforço.

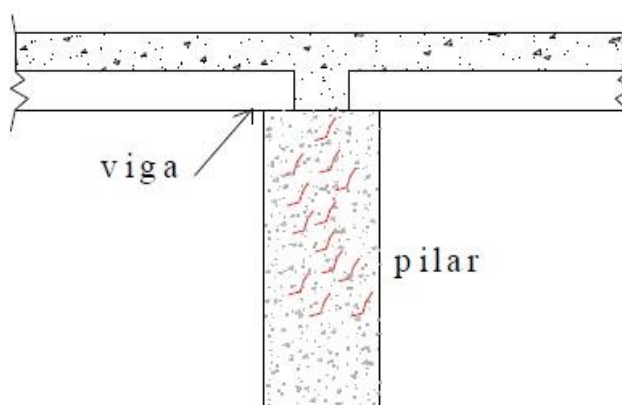
Vários destes fenômenos podem ser constatados através da fissuração dos componentes, pois como nas doenças que revelam um conjunto de sintomas, as fissuras são,

de modo geral, os primeiros sintomas das ocorrências de patologias. Falcão Bauer (2000) diz que, o aspecto geral das linhas de fissuração, com sua orientação, número, frequência, ordem de aparecimento, entre outros, nos permitirá obter um quadro clínico que nos permitirá avaliar as causas que produziram tal sintoma.

Helene (1992) traz uma relação de indicações sobre os fenômenos que causam as fissuras, dentre as quais destacam-se:

- *Fissuras de pega ou falsa pega (ilustradas na Figura 1):* são ocasionadas por cimento com excesso de amídrita (gesso anidro), atraso no lançamento do concreto ou calor excessivo e umidade relativa baixa.

Figura 1 – Fissuras de pega ou falsa pega.



Fonte: Modificada de HELENE, 1992.

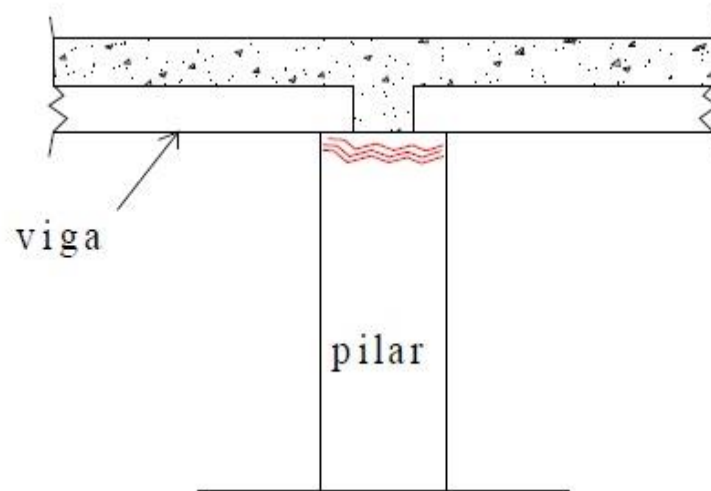
- *Fissuras de retração hidráulica:* são ocasionadas pelo desaparecimento rápido da água da mistura do concreto que, em decorrência, produz a contração do elemento estrutural, o qual, se obstruído de se deformar, sofrerá um esforço de tração que provavelmente provocará fissuras ou trincas.

- *Fissuras de movimentação térmica:* são ocasionadas por retração térmica devida a gradientes de temperatura diários ou sazonais.

- *Fissuras devidas a erros de projeto ou execução:* podem ser ocasionadas por:

- Movimentação de fôrmas mal fixadas;
- Concretagem simultânea de pilares, vigas e lajes, como ilustradas pela Figura 2;

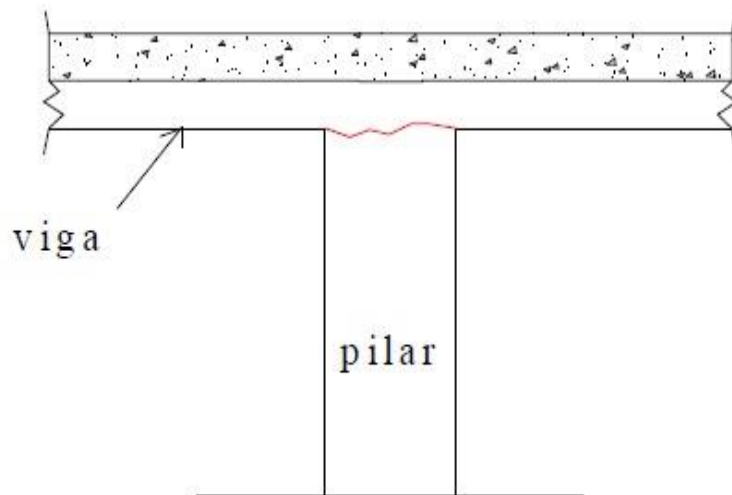
Figura 2 – Fissuras de concretagem simultânea.



Fonte: Modificada de HELENE, 1992.

- Topo do pilar com excesso de nata de cimento (exsudação) ou sujeira, conhecida como fissuras de junta de concretagem (ilustrado na Figura 3);

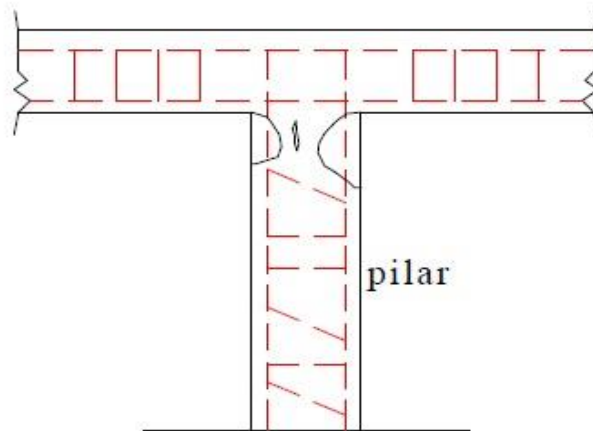
Figura 3 – Fissuras de junta de concretagem.



Fonte: Modificada de HELENE, 1992.

- Má distribuição, insuficiência, ou deslocamento de estribos durante o assentamento, mostrada na Figura 4.

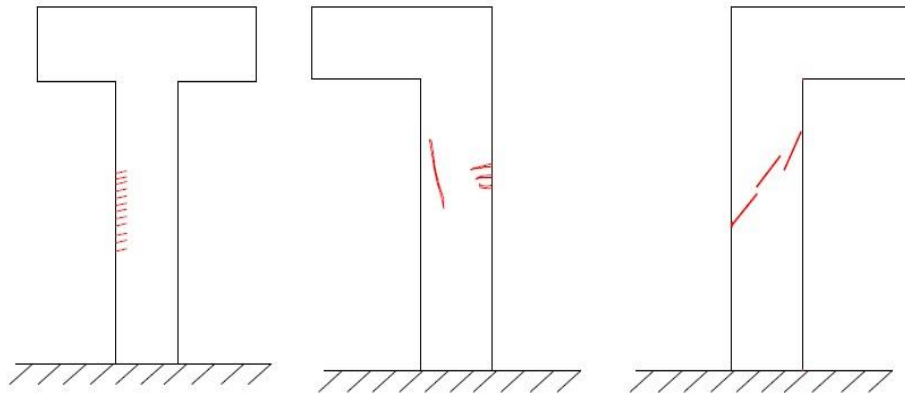
Figura 4 – Fissuras de má distribuição de estribos.



Fonte: Modificada de HELENE, 1992.

- *Fissuras devidas a ações mecânicas ou à esforços (ilustradas na Figura 5):* são ocasionadas por ações mecânicas que acarretam fissuras de tração, compressão, flexão, torção e ações combinadas.

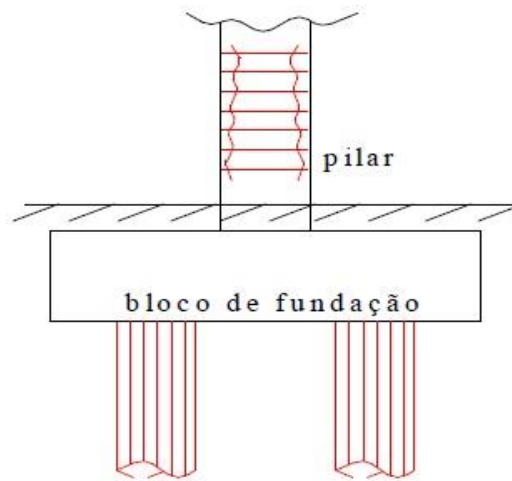
Figura 5 – Fissuras devidas à esforços.



Fonte: Modificada de VANDERLEI, 1996.

- *Fissuras devidas à corrosão de armaduras (ilustradas na Figura 6):* são ocasionadas por concreto de grande taxa de permeabilidade e/ou alta porosidade, cobrimento insuficiente das armaduras ou má execução.

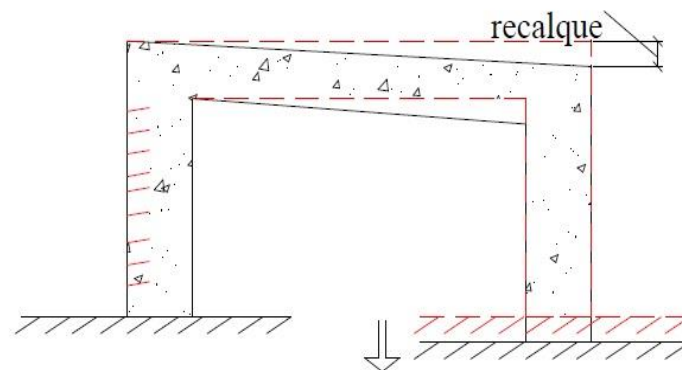
Figura 6 – Fissuras devidas à corrosão de armadura.



Fonte: Modificada de HELENE, 1992.

- *Fissuras devidas ao ataque físico e químico:* são ocasionadas pelas circunstâncias do meio ambiente, tendo como exemplo o congelamento e degelo, ataque de sulfatos, reação álcali-agregado, entre outros, que acarretam efeitos expansivos ou retrativos dentro da massa de concreto.
- *Fissuras devidas a ações excepcionais:* são ocasionadas por sismos e incêndios.
- *Fissuras devidas a ações acidentais ou à recalques diferenciais (ilustradas na Figura 7):* são ocasionadas por explosões, impactos, operações construtivas, recalques diferenciais anormais e super carregamentos.

Figura 7 – Fissuras devidas à recalques diferenciais .



Fonte: Modificada de VANDERLEI, 1996.

2.3 TERAPIA PARA PATOLOGIAS NO CONCRETO

Para um melhor entendimento deste tópico será essencial a definição de reabilitação, reparo e reforço. Para esta compreensão, diz Canovas (1988),

Por reparação entende-se devolver a um elemento ou estrutura danificada ou enfraquecida a capacidade resistente do projeto original, enquanto o reforço tem como missão aumentar a capacidade resistente do projeto original de um elemento ou estrutura como consequência de modificação no seu destino.

A escolha da terapia a se utilizar no componente estrutural dependerá de vários fatores a serem analisados. Normalmente, quando é necessária a reabilitação de um ou mais componentes estruturais, algumas etapas devem ser seguidas.

Segundo Souza e Ripper (1998), a primeira etapa constitui o levantamento de dados que deverá ser feito por um profissional especialista e experiente na área de patologias das estruturas. Esta etapa consiste em reunir todas as informações a respeito da estrutura como: agentes agressores, detalhamento das patologias existentes, ensaios para a verificação do real estado da estrutura, etc.

A segunda etapa consiste na análise dos dados reunidos para apontar o comportamento estrutural e as causas das patologias. Na última etapa, consideram-se fatores econômicos, técnicos, de segurança e conforto para a escolha da terapia a ser empregada nos componentes danificados. Caso exista algum fator que impeça a reabilitação da estrutura, o profissional responsável poderá indicar a demolição da mesma.

2.3.1 Fibra de vidro

2.3.1.1 Material compósito

O material compósito, também conhecido apenas como compósito, não possui uma definição universalmente aceita. No presente estudo, este pode ser apresentado como o produto da combinação de dois ou mais materiais, com diferentes propriedades químicas e físicas, que têm como objetivo conjugação destas para o alcance de novas propriedades que melhor atendam o objetivo imposto.

Ele normalmente é a combinação de dois componentes: a matriz, que é contínua, e o reforço, que na maioria das vezes é denominado de elemento disperso. Unidos, eles formam um novo material, com um desempenho melhor que os elementos separados, com propriedades mecânicas maiores (BEBER, 2003; VENTURA, 2009).

As propriedades dos materiais compósitos são mais dependentes do elemento de reforço e sua quantidade e sua geometria tem grande influência no produto final. De acordo com ele, o material pode ser classificado em particulares (reforço com partículas), fibrosos (reforço com fibras) e compósitos estruturais. As partículas têm suas dimensões simétricas em todas as direções, já as fibras são compridas, ou seja, a relação diâmetro comprimento é grande (BEBER, 2003).

Um exemplo de material reforçado com partículas é o concreto, onde os agregados trazem mais resistência para a matriz (argamassa). Outro que vale mencionar é o concreto armado, que une a resistência a compressão do concreto e a resistência a tração da armadura.

O material reforçado por fibras, do ponto de vista tecnológico é o mais importante, pois as fibras, na maioria das vezes, apresentam melhores propriedades de resistência e rigidez, o que é interessante no ponto de vista estrutural, por isso muito usados em aeronaves, equipamentos de recreação e aplicações industriais. O método mais eficiente encontrado consiste em combinar um material fibroso de alta resistência à tração e alto módulo de elasticidade com um material de baixo módulo e baixa resistência. De acordo com Ino *et al.*, (2010),

Uma grande variedade de fibras pode ser utilizada para reforçar matrizes frágeis. A escolha depende das características que se desejam fornecer ao compósito. Apesar de cada fibra ter propriedades específicas, elas podem ser enquadradas em dois grandes grupos: naturais e sintéticas.

Logo, a fibra de vidro passou a ser usada como material compósito de reabilitação ou restauração de elementos estruturais de concreto armado enfraquecidos ou fragilizados com o tempo e de reforço para elementos estruturais em boas condições.

2.3.1.2 Características da fibra de vidro

A fibra de vidro é comercializada desde 1969, desde então começou a ficar cada vez mais conhecida no mercado, ganhando a cada dia mais espaço no meio da construção civil e a confiança de muitos. Suas vendas já são realizadas em mais de 100 países. Segundo Ino *et al.*, (2010),

As fibras de vidro são normalmente produzidas a partir da sílica (SiO_2), com a adição de óxidos de cálcio (CaO), boro (B_2O_3), sódio (Na_2O) e/ou alumínio (Al_2O_3). O vidro é um material amorfo e, em teoria, fluido, mas que se comporta praticamente como um material rígido, devido à altíssima viscosidade.

Atualmente podem ser encontrados no mercado concretos compostos por misturas de fibra de vidro, cimento e aditivos, porém suas características e aplicações não são tão divulgadas entre os consumidores, provocando assim o menor consumo de um produto capaz de aprimorar construções em determinados casos.

A fibra de vidro é utilizada por muitos setores, por apresentar características bastante favoráveis para as mais diversas aplicações. Dentre suas características podemos citar sua alta resistência, pois o conjunto dos seus filamentos de vidro pode chegar a ser mais resistente do que o aço e ainda bem mais leve e um bom resistente químico quando aplicado com a resina apropriada. Além da sua resistência e leveza ela possui baixa condutividade térmica e um bom isolante térmico, e por não ser poroso ele se torna um material higiênico, e não apodrece já que os filamentos de vidro não apodrecem, nem são afetados pela ação de insetos e roedores. Uma característica interessante é que a fibra é incombustível e quando exposto ao calor não emite fumaça nem produtos químicos. Devido à característica do filamento de vidro ser insensível a variações de temperatura ele tem baixo coeficiente de expansão linear

Outras vantagens do uso da fibra de vidro podem ser mencionadas como: o fato de ser um produto não corrosível, não aflora na superfície, ser seguro e ter facilidade para ser manuseada, não diminui sua eficácia até mesmo quando usada em baixa quantidade, não altera o slump do concreto, entre outros.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O experimento realizado para estudo deste trabalho foi conduzido no período de abril, maio e junho do ano de 2018 no laboratório de construção civil do Centro Tecnológico da UniEvangélica no município de Anápolis – GO. O local encontra-se, aproximadamente, a 1017 m de altitude, apresentando um clima com estação seca, no inverno apresenta menos pluviosidade que no verão. A temperatura média no ano varia entre 18°C e 23° C e a precipitação média anual é de 1465,5 mm, o mês mais seco é junho e tem 7 mm de precipitação, a maioria da precipitação cai em janeiro, com uma média de 16 mm. Dados esses relevantes para a caracterização do ambiente em que o experimento foi realizado.

O plano experimental foi montado levando em consideração a hipótese de que o reforço será destinado a pilares de concreto simples onde o esforço preponderante é o da compressão. Os testes realizados e comparados são os de compressão axial, simulando assim o aumento de resistência de elementos estruturais que receberam o reforço com a manta de fibra de vidro.

A montagem do plano experimental simulou o realizado em obra, com 8 corpos de prova cilíndricos, sendo 2 destes rompidos aos 7 dias para verificar a resistência e o traço aos 28 dias 2 corpos de provas também foram rompidos com os mesmos objetivos, neste mesmo dia foram reforçados 2 corpos de prova com uma camada de manta e 2 reforçados com duas camadas de manta.

A dosagem do concreto é de fundamental importância para se alcançar a resistência desejada e a consistência ideal. No cálculo do traço relativo deste experimento buscou-se uma resistência de 20 Mpa, foi utilizado o método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) é um método experimental, ou seja, fornece uma primeira aproximação, devendo ser executado, inicialmente, em laboratório para garantir as propriedades dos materiais utilizados no traço definitivo, o procedimento detalhado se encontra no Apêndice A.

Para realizar os cálculos por este método é necessário conhecer as propriedades dos materiais que serão utilizados e o cálculo é feito para 1 m³ de concreto. O concreto simples é composto basicamente por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água.

Seguindo o método ABCP, após serem calculados e encontrados os valores da massa específica, massa unitária e módulo de finura da areia e da brita 0, a massa específica do cimento e da água e tendo em mãos o f_{ck} e abatimento desejados pode-se calcular o traço desse concreto e executar o mesmo, procedimento detalhado do cálculo disponível no Apêndice B.

O cálculo do traço visando uma resistência do concreto de 20 Mpa, se torna um ponto de partida para a avaliação dos corpos de prova que receberam o reforço estrutural com manta de fibra de vidro, avaliando se existirá ou não um ganho de resistência a compressão axial, com a aderência da manta de fibra de vidro, tanto para os corpos de prova que receberam uma camada de manta de fibra de vidro como para os corpos de prova com duas camadas de manta de fibra de vidro.

3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Foi utilizado em todos os procedimentos os seguintes instrumentos:

- Balanças;
- Balde;
- Bandejas metálica retangular;
- Betoneira;
- Câmara úmida;
- Carro de mão;
- Concha;
- Corpo de prova cilíndrico 100x200 mm;
- Escova;
- Estufa;
- Haste reta de aço, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento;
- Molde tronco de cone com diâmetro inferior 200 mm e superior de 100 mm;
- Pá;
- Placa de base com dimensão de 500 mm;
- Pincel;
- Prensa de compressão axial da Contenco;
- Recipiente cilíndrico metálico com alças;

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 Massa específica dos agregados

Não foi preciso fazer o processo da determinação da massa específica dos materiais usados no experimento, areia e brita 0, pois ela já havia sido feita previamente pela técnica do laboratório. O processo foi realizado segundo as normas NBR NM 52 (ABNT, 2009) e a NBR NM 53 (ABNT, 2009) e os valores obtidos após o procedimento são os apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Massa específica dos agregados.

Material	Massa específica (Kg/m³)
Areia	2580
Brita 0	2700

Fonte: Próprios Autores, 2018.

3.2.2 Massa unitária dos agregados

Para a massa unitária foi realizado a caracterização da areia e da brita 0 de acordo com a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Como o agregado possui dimensão máxima característica inferior a 37,5 mm foi empregado o “método A” da NBR NM 45 (ABNT, 2006). Nesse método, o recipiente cilíndrico utilizado possui as medidas de 27 centímetros de altura, 22 centímetros de diâmetro e volume de 0,01 metros cúbicos. A seguir, encheu-se o referido recipiente com o material até um terço de sua capacidade e o adensou com 25 golpes da haste de adensamento reta de aço, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento, distribuídos uniformemente em toda a superfície do material.

Encheu-se novamente o recipiente até dois terços de sua capacidade e foi aplicado mais 25 golpes e, por fim, completou-se o recipiente e aplicou-se mais 25 golpes. A camada superficial do agregado foi nivelada com uma espátula de forma a rasá-la com a borda superior do recipiente. Tarou-se a balança com a massa do recipiente antes de pesá-la.

O mesmo processo descrito para a areia foi realizado com a brita 0 para determinação de sua massa unitária. Os valores encontrados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Massa unitária dos agregados.

Material	Massa Unitária (Kg/m³)
Areia	1525
Brita 0	1480

Fonte: Próprios Autores, 2018.

A massa unitária foi calculada segundo a norma da NBR NM 45 (ABNT, 2006) e esta é obtida pela Equação (1) a seguir:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

Onde,

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

m_r é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V é o volume do recipiente, em metros cúbicos.

A diferença da massa do recipiente com agregado e a massa do recipiente vazio foi dado pela tara da balança.

E já se sabia que o volume do recipiente usado era de 0,010 m³.

3.2.3 Determinação da composição granulométrica

Seguindo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), o ensaio de granulometria da areia foi realizado previamente pela técnica do laboratório e, assim ela forneceu o módulo de finura de 1,8.

Para a brita 0, o processo de determinação da composição granulométrica também já havia sido feito pela técnica do laboratório, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e, por isso não foi preciso repetir o processo. O diâmetro máximo da brita foi de 9,5mm.

3.2.4 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

Com o concreto produzido, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Foi utilizado um molde de tronco cônico oco com as seguintes dimensões: diâmetro da base inferior de 200 mm, diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm. Uma haste de compactação de seção circular, reta, feita de aço com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas. Para apoio do molde uma placa metálica, plana, quadrada com lados de dimensão não inferior a 500 mm e espessura igual ou superior a 3 mm.

Primeiro molhou-se o molde, a placa base e a haste. Durante o preenchimento do molde com o concreto o operador se posicionou com os pés sobre as aletas do molde de forma a mantê-lo estável. O molde foi enchido em três camadas, cada uma com um terço da altura do molde e cada camada foi compactada com 25 golpes da haste de socamento, distribuídos uniformemente sobre cada camada. A compactação das camadas ocorreu de forma que “os golpes apenas penetrem na camada anterior”.

Na camada superior colocou um excesso de concreto sobre a superfície do molde e após efetuar os golpes rasou-se a superfície do concreto com a haste de compactação. O molde foi retirado cuidadosamente, levantando-o na direção vertical em 10 segundos com movimento constante para cima. Logo após a retirada do molde, mediu-se o abatimento do concreto através da diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado, como ilustrado na Figura 08.

Figura 8 - Abatimento do concreto medido pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Para o cálculo do traço definiu-se o abatimento de 80 ± 10 mm, sendo o abatimento obtido de 70mm, atendendo a trabalhabilidade esperada.

3.3 ESCRITA DO TRAÇO

Com os dados da caracterização dos agregados em mãos, o traço foi calculado conforme as normas da ABCP (Apêndice A) e o detalhamento das contas se encontra no Apêndice B para uma resistência de 20 MPa. Pelo método da ABCP, considerando os fatores de cada concreto e um desvio padrão de 5,5 MPa foi obtido um fck de 34,1 MPa (tensão média de dosagem aos 28 dias). Foi estipulado um abatimento de 80 ± 10 mm.

Durante a confecção dos corpos de prova foi necessário acrescentar água além da calculada no traço inicial, pois a consistência ideal não fora alcançada, e a mesma ocasionaria problemas na moldagem dos corpos de prova.

Após a correção da quantidade de água no traço, utilizou-se o cimento CP II Z 32 (Ciplan), que foi fornecido pela instituição onde o experimento foi realizado. Os cálculos foram realizados, visando uma resistência média 20 MPa, sendo o traço final de 1 : 1,66 : 2,2 : 0,53 Kg (Cimento:Areia:Brita:Água).

Os corpos de provas foram confeccionados no Centro Tecnológico da Unievangélica, no dia 03 de maio de 2018. O primeiro traço foi produzido no carro de mão, devido à pouca quantidade e consistência irregular, o traço foi corrigido com adição de água buscando uma consistência ideal e, desta vez, o concreto foi confeccionado na betoneira. Em ambos, colocou-se primeiro o agregado graúdo e metade da água calculada no traço base e depois o agregado miúdo, após misturar os agregados colocou-se o cimento e o restante da água.

3.4 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

Quanto ao procedimento para moldagem, cura e ensaios para determinação da resistência à compressão em concreto, segue-se as orientações da NBR 5738 (ABNT, 2015)

De acordo com a mesma NBR, os moldes devem ser cilíndricos e ter altura igual ao dobro do diâmetro, serem de aço ou material não absorvente ou reagente ao cimento Portland, de forma que sejam resistentes, mantendo sua forma original e uniformidade, durante a operação de moldagem, devem ser abertos na face superior, o fundo e a lateral devem ser estanques quando fechados e de fácil desmoldagem.

Para a não danificação do corpo de prova suas superfícies internas devem ser lisas e sem qualquer defeito. No caso deste experimento utilizou-se moldes cilíndricos de 100 mm de diâmetro 200 mm de altura.

A porção de concreto utilizada na preparação dos corpos de prova deve ser confeccionada em concordância com a NBR NM 33 (ABNT, 1998).

Antes de receber o concreto, com o auxílio de um pincel os moldes foram untados com uma fina camada de óleo mineral ou correspondente lubrificante não reagente ao cimento Portland. Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015, p.3):

A superfície de apoio dos moldes deve ser rígida, horizontal, livre de vibrações e outras perturbações que possam modificar a forma e as propriedades do concreto dos corpos de prova durante sua moldagem e início de pega.

Na busca por uma maior uniformidade, o concreto foi misturado novamente antes de ser adicinado aos moldes.

O concreto deve ser introduzido em camadas e, a quantidade de camadas e o número de golpes devem ser determinados de acordo com o tipo do corpo de prova e o tipo de adensamento.

No caso deste experimento, por se tratar de corpos de prova são 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura e adensamento manual, são necessárias duas camadas, sendo cada uma delas adensadas a partir da aplicação de 12 golpes com haste metálica. Os golpes devem ser distribuídos uniformemente na seção transversal do corpo de prova, na primeira camada deve-se tomar o cuidado de não golpear a base do molde. Já nas demais camadas o adensamento deve ocorrer em toda sua espessura e a haste deve penetrar aproximadamente 2 cm da camada anterior.

Há a necessidade de se bater levemente na face externa do molde para que os vazios ocasionados pelo adensamento sejam fechados. A última camada deve ser moldada com uma quantidade de concreto de forma que exceda o volume do molde, para que seja possível realizar o rasamento, sem adicionar material após o adensamento.

O nivelamento (ou rasamento), conforme mostra a Figura 09, foi efetuado com o auxílio de uma colher de pedreiro. Os corpos de prova permaneceram durante 24 horas sobre superfície horizontal rígida, sem qualquer perturbação e cobertos com material não reativo e não absorvente para que não ocorra perda de água do concreto.

Após esse período, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e submetidos à cura úmida até o momento do ensaio, em câmara úmida na mesma faixa de temperatura e umidade relativa do ar superior a 95%. Na câmara úmida os corpos de prova ficaram protegidos de gotejamentos e não foram expostos à ação da água em movimento.

Figura 9 – Corpos de provas cilíndricos nivelados.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

3.5 REFORÇO COM MANTA DE FIBRA DE VIDRO

Primeiro retirou-se os corpos de prova da câmara úmida no dia 31 de maio, com 28 dias de idade do concreto, para que estes secassem na estufa durante 05 dias, já que a aplicação da fibra deve acontecer com a superfície do concreto limpa e seca.

No dia 05 de junho reforçou-se os corpos de prova. Antes de tudo, foi preparada a mistura da resina epóxi com o endurecedor.

Logo após a mistura dos dois componentes esta foi aplicada direto no concreto, ou seja, por via seca, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Aplicação no corpo de prova cilíndrico.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

A manta foi aderida logo em seguida, sendo fixada na superfície do concreto com uma camada primaria de resina-endurecedor, e por fim aplicou-se a última camada da mistura (Figura 11). Nos corpos de prova com duas camadas de manta, repetiu-se o processo, fixando a manta e passando a camada de resina-endurecedor para finalizar.

Figura 11 - Finalização do corpo de prova cilíndrico.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Esperou-se 4 dias para realizar os ensaios de resistência dos corpos de prova, já que o recomendado pelo fabricante do produto é uma cura mínima de 4 dias para que o reforço esteja pronto para ser submetido à esforços mecânicos.

3.6 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA

3.6.1 Ensaio de resistência à compressão axial em concreto

A NBR 5739 (ABNT, 2018) mostra em seu conteúdo, os procedimentos que devem ser adotados nesse tipo de ensaio, regulamentando e detalhando como deve ser realizado o ensaio de resistência em corpos de prova cilíndricos de concreto submetidos a compressão axial.

A precisão, a facilidade de execução, simplicidade e o baixo custo do ensaio, aliada ao seu alto grau de importância no que se diz respeito a segurança em estruturas faz com que a resistência axial seja a propriedade mais avaliada para a verificação da qualidade e da resistência de um concreto e no estudo do material utilizado como reforço, haja visto que o concreto possui como principal característica a excelente resistência a compressão.

A realização do ensaio é importante para manter uma padronização e qualidade do concreto, para verificação da resistência real do traço e do reforço, a que os corpos de prova foram submetidos durante o experimento, e após o rompimento dos mesmos, verificar se houve um aumento significativo da resistência quanto a compressão axial nos corpos de prova que receberam o reforço com a manta de fibra de vidro .

Os corpos de prova foram mantidos na câmara úmida, até atingirem a idade correta para a realização do ensaio em laboratório . O ensaio é realizado imediatamente após a sua remoção do local de cura. Foram rompidos nas idades 7, 28 e 35 dias, este último devido a aplicação do reforço com a manta de fibra de vidro, onde os corpos de prova foram reforçados com uma e com duas camadas do material em estudo. As faces dos pratos de carga foram limpas e secas antes do corpo de prova ser colocado no centro do prato inferior. A carga do ensaio foi aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento 0,3MPa/s a 0,6MPa/s. A resistência à compressão, todos os dados e gráficos são dados pelo programa do computador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentro do exposto no procedimento experimental e em conjunto com os objetivos propostos foram obtidos os seguintes resultados e discussões:

4.1 PRÉ EXPERIMENTAL

Por ser um material novo dentro da construção civil, a manta de fibra de vidro foi adquirida por uma empresa especializada em reservatórios não trabalhando com os reforços de estruturas de concreto propriamente. Ressaltando ser uma das propostas do trabalho, visto que o material similar usado no mercado (manta de carbono) é de difícil aquisição e alto custo. Assim, a manta de fibra de vidro veio em um kit, composto pela manta com 1,20 x 0,30 metros, a resina epóxi e seu endurecedor.

Foi preciso contatar a empresa sobre algumas dúvidas na utilização. O funcionário esclareceu que para aplicação da manta era dispensado o uso de primer se a superfície onde fosse utilizá-la estivesse lisa. Na sequência, a aplicação era feita com uma camada prévia da mistura da resina com o endurecedor e, em seguida, colocava-se a manta de fibra de vidro e, por último, outra camada da mistura resina-endurecedor para melhor fixação.

Assim, aplicou-se como foi especificado e aconteceram algumas complicações devido a falta de informações como, o endurecimento prematuro da resina devido à mistura de duas remessas, uma feita anteriormente e outra feita por cima desta. Devido a inexperiência perdeu-se todos os materiais usados para a aplicação da mistura de resina e endurecedor, como os pincéis e recipientes de plástico.

Logo, devido ao curto prazo de endurecimento e ao excessivo cuidado no manuseio da mistura de resina epóxi e endurecedor, pode-se concluir que a mão-de-obra para este tipo de serviço deve ser especializada.

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial, com os corpos de prova simples com idade de 28 dias e com os corpos com idade de 35 dias. Pode-se visualizar o aumento da resistência nas duas situações de reforço do concreto, considerando os corpos de provas que obtiveram maiores resistências a compressão, sendo que houve um aumento de mais de 15,44% com uma única volta e de mais de 18,30% com

duas voltas de manta. A aderência concreto-manta não resistiu ao ensaio, sendo a manta de fibra de vidro rompida antes do concreto, mesmo assim, houve o aumento da resistência do concreto. Deve-se lembrar que por falta de instruções do fabricante sobre o seu produto pode ter ocorrido falhas na aplicação do reforço ou aplicação incorreta da quantidade da mistura resina-endurecedor.

Portanto, pode-se dizer que a manta é viável para reforço, principalmente de pilares que suportam a compressão.

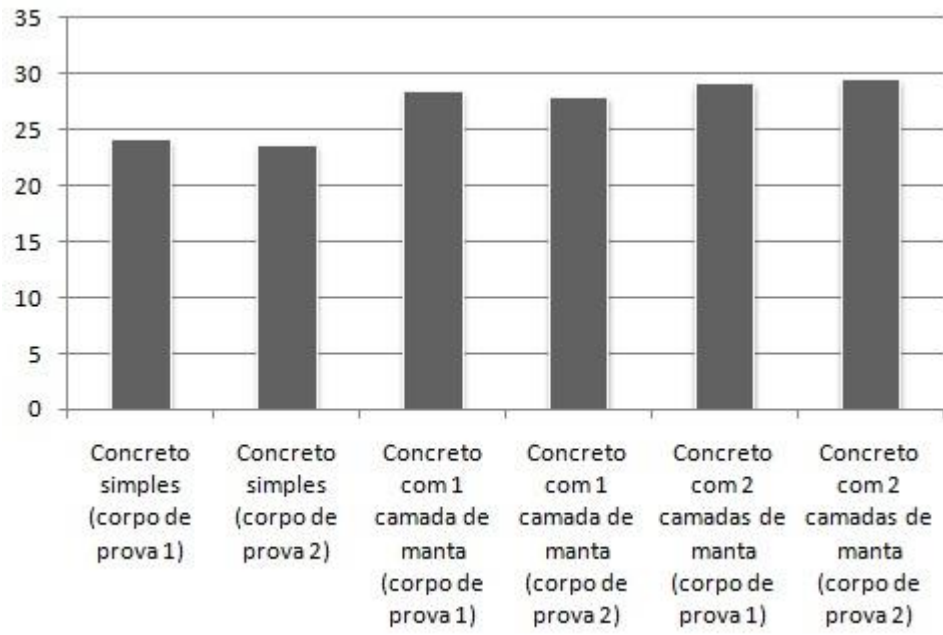
Tabela 3 – Resistência à compressão dos corpos cilíndricos.

Arranjo dos corpos de prova cilíndricos	Resistência à compressão
Concreto simples (Corpo de prova 1)	24,1 (MPa)
Concreto simples (Corpo de prova 2)	23,7 (MPa)
Concreto com 1 camada de manta (Corpo de prova 1)	28,5 (MPa)
Concreto com 1 camada de manta (Corpo de prova 2)	28,0 (MPa)
Concreto com 2 camadas de manta (Corpo de prova 1)	29,1 (MPa)
Concreto com 2 camadas de manta (Corpo de Prova 2)	29,5 (MPa)

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Vale a pena destacar o ganho de resistência proporcional ao número de camadas aplicadas, podendo assim fazer um reforço melhor de acordo com a demanda da estrutura. Porém, deve-se observar também que existe uma limitação da quantidade de camadas de reforço que proporciona um aumento considerável da resistência, pois quanto maior a espessura do reforço maior a possibilidade de ocorrer o descolamento.

A Figura 12 mostra o gráfico comparativo do aumento de resistência à compressão nos corpos de prova cilíndricos.

Figura 12 – Gráfico comparativo da carga de ruptura nos corpos cilíndricos

Fonte: Próprios Autores, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento teve como objeto de estudo as propriedades mecânicas da manta de fibra de vidro e a sua aplicação como reforço estrutural de pilares de concreto simples, através de um levantamento bibliográfico e uma avaliação, por meio de ensaios padronizados, ao comportamento dos corpos de prova reforçados com uma e duas camadas de manta de fibra de vidro, submetidas a compressão axial, visando avaliar se ocorreu aumento da resistência nos corpos de prova e se o mesmo fora significativo e viável, como reforço estrutural em pilares.

O reforço demonstrou ser uma técnica promissora, já que atualmente este método é pouco utilizado e difundido na construção civil.

Apesar de ser um material com estudos recentes, com pouco material bibliográfico disponível e nenhuma norma que regulamente sua utilização na construção civil, existe a necessidade de mais estudos sobre a manta de fibra de vidro como reforço estrutural e suas propriedades, buscando novas técnicas e aplicações junto a engenharia civil.

O material utilizado foi de fácil acesso, porém não se encontrava com manual de instruções com poucas informações sobre a aplicação da resina epóxi, do endurecedor (que possui certos componentes químicos perigosos), onde se contou apenas com informações coletadas com funcionários da empresa revendedora.

Ainda que sua execução seja simples, constatou-se que é preciso uma mão-de-obra especializada para a aplicação de tal reforço, sendo necessário que este seja dimensionado corretamente para a estrutura que irá recebê-lo, com ênfase na resina que se mostra fator de grande importância na resistência da peça.

Apesar da carência de pesquisas, observa-se bons resultados na aplicação para o reforço estrutural, mostrando um ganho de resistência. Um fator observado é que o aumento das voltas não apresentou um grande ganho de resistência, sendo assim inviável o uso de duas voltas no reforço do pilar.

Conclui-se que o compósito de fibra de vidro demonstrou ser viável para o reforço estrutural. Entretanto, exige-se uma maior atenção a sua aplicação, pois pode ocasionar o desprendimento do reforço.

Assim, sugere-se para trabalhos futuros o estudo da aderência na aplicação, o estudo da viabilidade econômica do reforço estrutural com compósitos de fibra de vidro comparado com outros métodos mais tradicionais associado à necessidade do aumento de resistência da

estrutura, o estudo da resina utilizada com a manta e o número exato de materiais a ser utilizado para atender com economia a patologia.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de concreto fresco: NBR NM 33**. 1998

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios: NBR NM 45**. 2006.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente: NBR NM 52**. 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água: NBR NM 53**. 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NBR NM 67**. 1998.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248**. 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – corpo de prova: NBR 5738**. 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: NBR 5739**. 2018.

BEBER, Andriei José. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. 2003. 317 p. Tese (Doutor em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2974>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. Aspectos gerais. In: CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988. cap. 1, p. 1-17.

COUTO, J. Pedro.; COUTO, Amanda Bastos. **Importância da revisão dos projectos na redução dos custos de manutenção das construções**. In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO. Coimbra, Portugal. Universidade de Coimbra, 2007.

DAIHA, K. C. **Estudos da agressividade ambiental nas estruturas de concreto armado**. 2004. Monografia (Graduação). Curso de Engenharia Civil. Universidade Salvador – UNIFACS.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coutinho. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. 1988. Tese de M. Sc. – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Falcão Bauer, L.A. **Materiais de construção 1**. Minas Gerais: LTC, 2000. 405 - 407 p.

HELENE, Paulo R.L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992. 119 p.

Ino, *et al.* **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010. 1694p.

SANTOS, Camila Freitas. **Patologias de estruturas de concreto armado**. 2014. 20p. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em:

<http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_CAMILA%20FREITAS%20DOS%20SANTOS.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2018.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

TAKATA, Leandro Teixeira. **Aspectos executivos e a qualidade de estruturas em concreto armado**. 2009. 84p. Dissertação, Mestrado – Universidade Federal de São Carlos. Disponível em:

<<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4655?show=full>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

VANDERLEI, Elio. **Reparo em pilares de concreto armado com remoldagem da seção transversal**. 1996. 167p. Dissertação, Mestrado - Universidade de Brasília. Disponível em: <<http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M96-7A-Elio-Vanderlei.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

VENTURA, Ana Mafalda F.M. **Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas Metálicas**. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?pid=S087083122009000200003&script=sci_arttext&tlng=es>. Acesso em: 03 abr. 2018.

APÊNDICE A – Cálculo do traço do concreto pelo método da ABCP

O primeiro passo é o cálculo da resistência média aos 28 dias – F_{cj} – a partir do desvio padrão.

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (1)$$

Em que:

F_{cj} = resistência média do concreto à compressão a j dias de idade, em MPa;

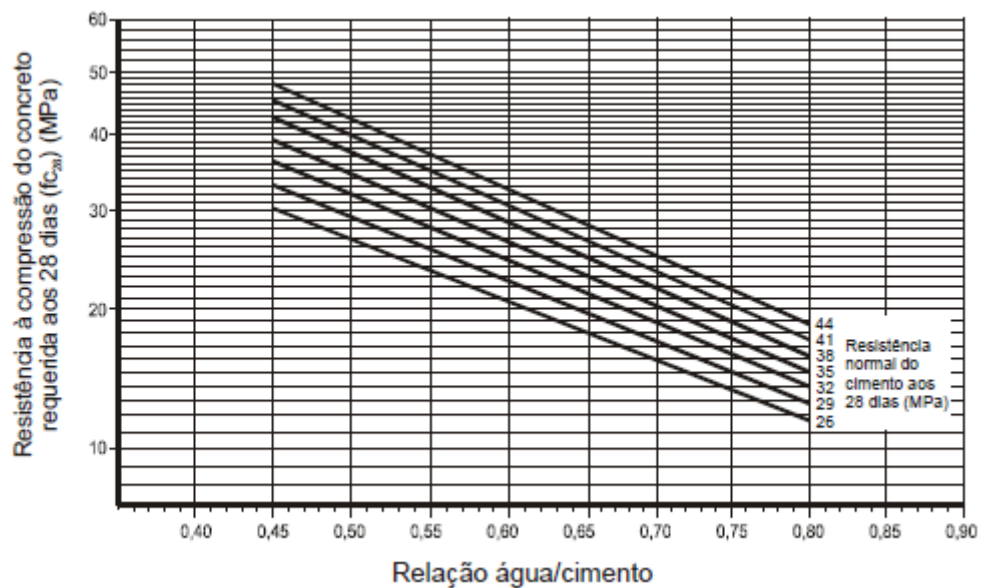
F_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

S_d = desvio-padrão da dosagem em função do grau de controle na produção do concreto, em MPa;

- $S_d = 4,0$ MPa, controle rigoroso.
- $S_d = 5,5$ MPa, controle razoável.
- $S_d = 7,0$ MPa, controle regular.

No segundo passo fixa-se a relação água/cimento (a/c). O seu valor é estimado com base na curva de Abrams na qual, utiliza-se o tipo de cimento e a resistência do concreto aos 28 dias.

Figura 1 - Gráfico para determinação da relação água cimento (a/c) em função da resistência do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.



Fonte: Assunção, 2002.

Considerando a dificuldade de expressar o consumo de água na mistura por meio de uma lei matemática, Rodrigues, 1990 apresenta como estimativa inicial do consumo de água por metro cúbico de concreto, os valores constantes na Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto em função do diâmetro máximo característico do agregado e do abatimento da mistura.

Abatimento do tronco de cone	Dimensão máxima característica do agregado				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60 mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80 mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100 mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

Fonte: Assunção, 2002.

O terceiro passo é a estimativa do consumo de cimento. O fator água/cimento nada mais é do que uma fração, que divide o peso da água pelo peso do cimento, conforme abaixo:

$$A/C = \frac{C_a}{C_c} \quad (2)$$

No quarto passo é feito a estimativa de consumo de agregados.

A Tabela 2, cujos valores foram determinados experimentalmente pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), apresenta os volumes compactados a seco de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função do diâmetro máximo característico do agregado graúdo ($\phi_{\text{máx.}}$) e do módulo de finura (MF) do agregado miúdo.

Tabela 2 - Volume compactado seco (V_{pc}) do agregado graúdo por metro cubico de concreto.

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo ($\phi_{\text{máx.}}$)				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705

3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Assunção, 2002.

Através da equação 3 obtém-se o consumo de agregado graúdo.

$$MU = \frac{P(kg)}{V(m^3)} \quad (3)$$

O quinto passo é a estimativa do consumo de agregado miúdo, para 1,0 metro cúbico de concreto. O volume do agregado é dado pela equação abaixo:

$$V_m = 1 - \left(\frac{P_c}{\gamma_c} + \frac{P_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{P_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{P(kg)}{V(m^3)} \quad (5)$$

A escrita do traço é feita na sequência:

Cimento:Areia:Brita:Água (Kg)

APÊNDICE B – Cálculo detalhado do traço do concreto de 25 MPa pelo método da ABCP

Para a resistência de 20 MPa o traço foi calculado da seguinte maneira:

Concreto:

- $F_{ck} = 20 \text{ MPa}$
- Abatimento $80 \pm 10 \text{ mm}$

Cimento:

- CP II Z 32 (Ciplan)
- $\gamma = 2,93 \text{ g/cm}^3$ (NM 23:2001)

Agregado miúdo – Areia 0% umidade:

- Módulo de finura = 1,8
- $\gamma = 2,58 \text{ g/cm}^3$
- $MU = 1,525 \text{ g/cm}^3$

Agregado graúdo – Brita 0:

- Diâmetro máximo: 9,5mm
- $\gamma = 2,7 \text{ g/cm}^3$
- $MU = 1,48 \text{ g/cm}^3$

Água:

- $\gamma = 1,0 \text{ g/cm}^3$

- Primeiro passo:

Pela Equação 1 do Apêndice A, calcula-se o F_{cj} :

$$F_{cj} = 20 + 1,65 * 5,5 = 29,1 \text{ Mpa}$$

- Segundo passo:

Pela Figura 1 do Apêndice A obtém-se a relação água/cimento:

$$a/c = 0,53$$

O consumo de água é dado pelo Tabela 1, do Apêndice A:

$$\text{Consumo de água} = 230 \text{ l/m}^3$$

- Terceiro passo:

Através da Equação 2 do Apêndice A obtém-se o consumo de cimento:

$$C_c = \frac{230}{0,53}$$

$$C_c = 433,96 \text{ Kg}$$

- Quarto passo:

O volume do agregado (V_{pc}) é dado pela Tabela 2 e o seu consumo (P) é calculado pela Equação 3, ambos disponíveis no Apêndice A:

$$V_{pc} = 0,645 \text{ m}^3$$

$$MU = \frac{P(kg)}{V(m^3)}$$

$$1480 = \frac{P(kg)}{0,645}$$

$$P = 954,6 \text{ kg}$$

- Quinto passo:

O volume do agregado miúdo é dado pela Equação 4 e seu consumo pela Equação 5, ambas do Apêndice A.

$$V_m = 1 - \left(\frac{433,96}{3100} + \frac{954,6}{2700} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,28 \text{ m}^3$$

$$2580 = \frac{P(kg)}{0,28}$$

$$P = 722,4 \text{ kg}$$

A escrita do traço é feita na sequência:

Cimento:Areia:Brita:Água (Kg)

433,96 : 722,4 : 954,6 : 230 (Kg)

1 : 1,66 : 2,2 : 0,53 (Kg)

ANEXO A – Ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Concreto
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente:
 Responsável:
 Data de Moldagem: 03/05/2018

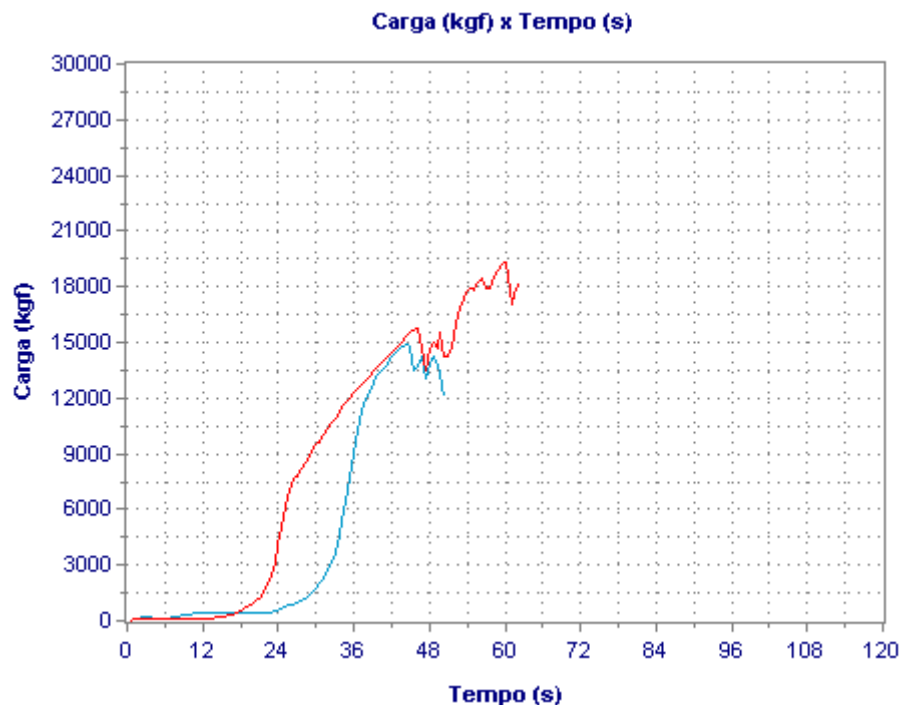
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	07	18,6 (MPa)	14.900 (kgf)	
02	07	18,1 (MPa)	14.499 (kgf)	
03	28	24,1 (MPa)	19.330 (kgf)	
04	28	23,7 (MPa)	19.009 (kgf)	

Gráfico dos Ensaios



ANEXO B – Ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos reforçados

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Concreto 1ª
Camada
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente:
Responsável:
Data de Moldagem: 03/05/2018

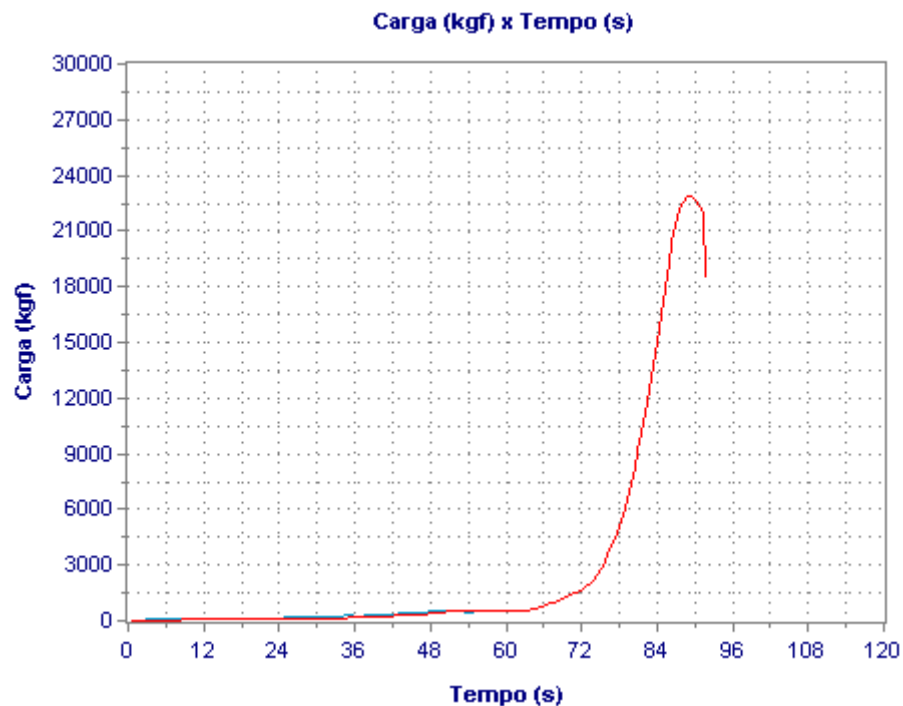
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	35	28,5 (MPa)	22.850 (kgf)	

Gráfico dos Ensaios



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Concreto 1ª
Camada
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente:
Responsável:
Data de Moldagem: 03/05/2018

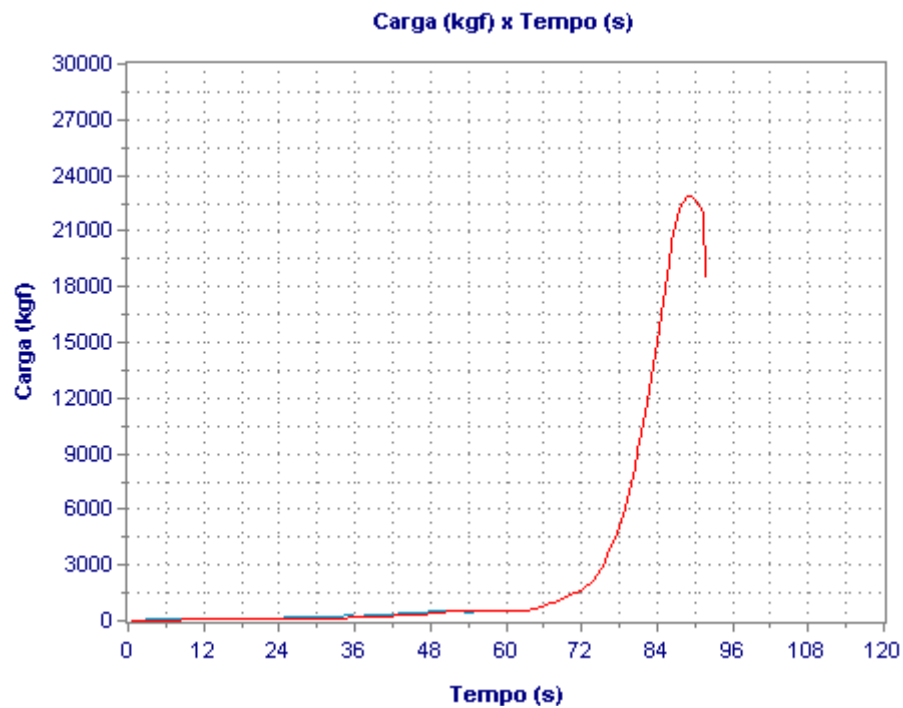
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	35	28,0 (MPa)	22.449 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Concreto 2ª
Camada
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente:
Responsável:
Data de Moldagem: 03/05/2018

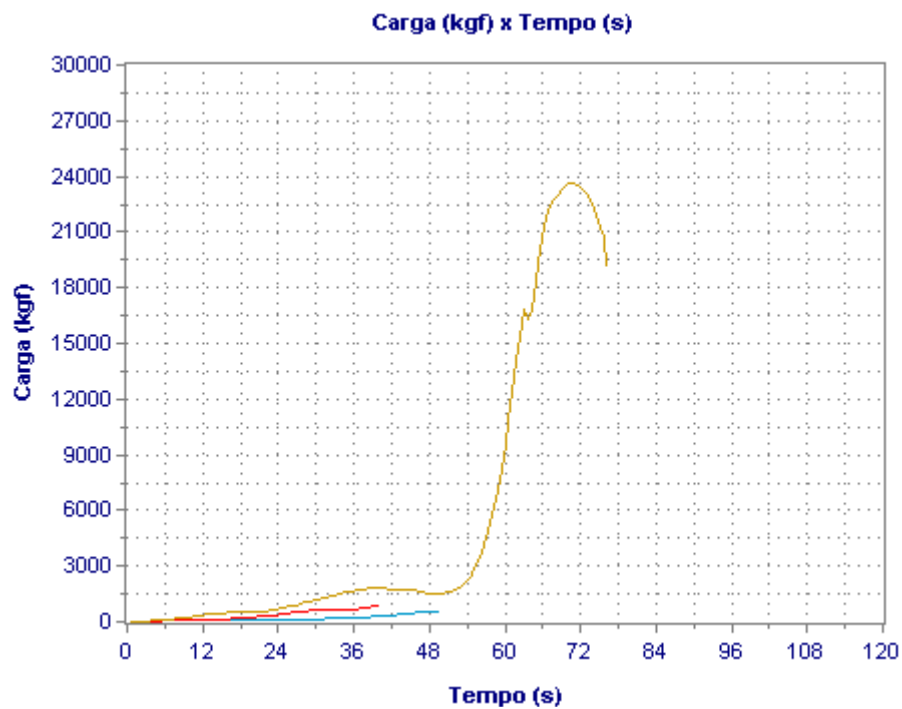
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	35	29,5 (MPa)	23.620 (kgf)	

Gráfico dos Ensaios



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Concreto 2ª
Camada
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente:
Responsável:
Data de Moldagem: 03/05/2018

Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	35	29,1 (MPa)	23.299 (kgf)	

Gráfico dos Ensaios

