

Daniel Machado do Nascimento

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Norte Shopping)

Laryssa Fernanda Figueira Marques da Cruz

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Norte Shopping)

Kissila Botelho Goliath

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Norte Shopping)

RESUMO

Neste trabalho contém revisão bibliográfica sobre temas que permeiam o reforço e reabilitação estrutural, com finalidade de criar o cenário ideal para que o estudo de caso e suas particularidades sejam assimiladas. O relato do estudo de caso, é sobre o processo de intervenção estrutural, utilizando elementos estruturais de concreto armado e perfil metálico, a fim de solucionar a deformação da laje de uma construção com cerca de 40 anos. Foi acompanhado desde o processo de investigação dos elementos da estrutura existente, pois ela não possuía um projeto com o detalhamento de sua estrutura, até a observação dos resultados obtidos pós finalização da execução da intervenção. Entretanto, muitas reviravoltas ocorreram, devido a sucessão de erros, causada pela falta das informações necessárias, derivado de uma investigação rasa sobre os elementos e as características da construção. Após a observação dos resultados pós implementação do reforço, os autores levantaram hipóteses sobre as ações, ou a falta delas, que colaboraram para alguns resultados indesejáveis que comprometeram a eficiência do reforço estrutural aplicado.

Palavras-chave: Reforço estrutural misto; Reabilitação estrutural; Deformação da laje.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado da construção civil, se evidenciou a necessidade de inovações no ramo da engenharia. Todavia, com o decorrer do tempo, o desenvolvimento tecnológico progrediu, gerando um maior conhecimento sobre as estruturas e sobre os materiais estruturais, embora ainda existam algumas limitações quanto a conhecimentos científicos e tecnológicos. Além disso, alguns fatores como falhas involuntárias e casos de imperícia propiciam a resultados insatisfatórios para essas estruturas, e podem gerar uma deterioração estrutural (SOUZA E RIPPER, 1998).

O concreto é um dos materiais mais difundidos no ramo da construção civil, assim como o aço, pois ora eles se completam, e ora competem entre si, visto que estruturas com mesmo tipo e função podem ser executadas por ambos. A união desses elementos possibilita uma boa resistência a tração e a compressão, devido à falta de resistência a

tração do concreto ser oferecida pelo aço, tornando-os juntos um material bem resistente aos esforços solicitantes que acometem as estruturas (NEVILLE, 2016).

Os sistemas estruturais mistos por sua vez, caracterizam-se como um componente de aço associado ao concreto trabalhando em conjunto através de uma interação mecânica. Por apresentar características como: redução das dimensões dos elementos, economia de materiais, boa resistência, maior área livre por pavimentos, entre outros, a utilização desses elementos mistos cresceu consideravelmente das últimas décadas. (SERAFIM, 2013).

Como já se sabe, até mesmo em estruturas projetadas e construídas adequadamente e utilizadas de forma correta, podem apresentar manifestações patológicas. Além do mais, há muitas situações em que a estrutura apenas requer um reforço para aumentar sua capacidade portante, e ser capaz de receber novos acréscimos de cargas sobre ela. Com isso, os envolvidos em obras de construção civil, dever estar conscientes de que os materiais não são perenes, eles envelhecem, requerem manutenção, tratamento e é possível reabilitá-los. Dessa forma, ao avaliar que uma estrutura de concreto armado está “doente” e apresentando patologias, torna-se essencial efetuar vistorias cuidadosas, a fim de determinar as reais condições que a estrutura se encontra, avaliar as anomalias presentes nela, e planejar as medidas a serem tomadas para recuperação ou reforço desta estrutura (SOUZA E RIPPER, 1998).

Atualmente a recuperação de edificações está em processo de desenvolvimento. A fim de recuperar espaços inutilizados ou evitar degradações de obras, usam-se todas as possíveis técnicas, a fim de solucionar o problema. Desta forma, o emprego do aço se destacou excepcionalmente quanto a sua flexibilidade operativa, uma vez que, ele atende a demandas como pequenas intervenções realizadas em um elemento, ou até mesmo a completa reestruturação de um edifício (TEOBALDO, 2004).

O salão de eventos de uma igreja no Cachambi, Rio de Janeiro, local do estudo de caso desse trabalho, apresentou uma deformação expressiva em sua laje. Conforme o avanço da deformação, sendo percebida a olho nu, o aparecimento e agravamento de patologias se fizeram presentes e resultaram na interdição do salão.

Para reabilitar a estrutura, se fez necessário uma intervenção estrutural, a fim de solucionar as causas que propiciaram a decorrência das patologias.

Ao apresentar resultados diferentes no decorrer da sua vida útil, não significa que a estrutura esteja “condenada”, apenas representa que a estrutura requer reparos técnicos imediatos para reabilitá-las (SOUZA E RIPPER, 1998)

O trabalho se fundamentará na análise bibliográfica de livros, teses e trabalhos acadêmicos que tratem sobre concreto armado, reforço estrutural e sobre o uso de estrutura metálica para o reforço de elementos estruturais.

Acompanhamento de intervenção estrutural e estudo do caso observado, testando as hipóteses e relatando as informações obtidas.

O objetivo geral do artigo é relatar a concepção e a execução de um caso real de reforço estrutural, com finalidade de reabilitar uma construção antiga.

Os objetivos específicos são:

- a. Relatar as ações tomadas durante as etapas, desde a investigação da edificação, até a conclusão do reforço estrutural.
- b. Comparar os resultados obtidos com os esperados, e gerar hipótese que expliquem os resultados não planejados.
- c. Evidenciar os pontos críticos do projeto e execução, que geram aprendizado para a vida profissional do engenheiro civil.

REFERENCIAL TEÓRICO

As causas que uma estrutura de concreto armado ou um de seus elementos estruturais requer um reforço são amplas, dentre essas causas, podemos citar: correção de falhas no projeto ou de execução, desgaste ou deterioração, aumento da capacidade portante, alteração da concepção estrutural (como corte de uma viga por exemplo), entre outros (SOUZA E RIPPER, 1998).

Concreto armado na construção civil

O uso da pedra como material de construção sempre se fez presente desde as primeiras civilizações, por ser durável e ter boa resistência aos esforços de compressão, quando usada como pilares por exemplo. Todavia, a pedra ao ser usada em vãos de médio porte (como pontes), apresentava na parte inferior forças de tração causando um rompimento dessa pedra (BOTELHO e MARCHETTI, 2008).

A necessidade de obter um material que resistisse a todos os esforços que uma estrutura solicita, sempre foi uma questão primordial no ramo da construção civil. Clímaco, (2016, p.15) afirma que “Um grande avanço ocorreu com o desenvolvimento dos chamados materiais aglomerantes, que endurecem em contato com a água, e tornaram possível a fabricação de uma pedra artificial, denominada concreto ou betão.

O uso de um tipo de concreto já era utilizado desde os romanos, tendo como aglomerantes a cal e a pozolana. Leonardo da Vinci atribuiu as primeiras regras de dosagem do concreto, porém seu uso cresceu verdadeiramente a partir do processo de fabricação do cimento Portland, realizado por Joseph Apsdin, em 1824 na Inglaterra. A partir daí seu uso se popularizou, e passou a ser utilizado em todo o mundo (CLÍMACO, 2016).

O concreto armado é um dos materiais estruturais mais utilizados na construção civil, a nível mundial. No Brasil, chega a responder por até 72% das obras, segundo estimativa de Santiago (2018), com base no consumo de materiais registrado pelo IBGE na Pesquisa Anual da Indústria da Construção Civil, entre os anos de 2007 e 2014 (IBGE, 2015) (SANTIAGO, 2018 *apud* BECK, 2019).

O concreto ampliou seu emprego significativamente nas construções com o decorrer do tempo. Contudo, a busca para achar uma solução referente a sua resistência limitada a tração, sempre se fez presente. Foi então que surgiu o concreto armado, resultante da junção da pedra artificial associada a um elemento que resistisse satisfatoriamente a tração, designado como armadura. A armadura é constituída por barras com seção circular de aço, comumente conhecidos como vergalhões (CLÍMACO, 2016).

Característica do concreto armado

Parizotto (2017) Alega que um dos materiais mais disseminados na construção civil é o concreto, pois apresenta como característica, uma elevada resistência a compressão.

O uso do concreto armado em obras de construção civil é bastante amplo, e se destaca por se tratar de um material que une as diversas qualidades do concreto, somadas com a do aço. Para Clímaco (2016) algumas dessas características que se destacam são: a boa resistência à compressão do concreto, alta resistência à tração do aço, aderência entre aço e concreto satisfatória, e o concreto fornece proteção contra a corrosão do aço.

A NBR 6118:2014 (item 3.1.3) diz que elementos de concreto armado são “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos

quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

A armadura do concreto armado é denominada como armadura passiva, pois sua função consiste em fornecer resistência as tensões sofridas por ações atuantes da peça, sem inserir nenhum esforço extra a esta peça. Com isso se conclui que a armadura em estruturas de concreto armado só trabalha quando é solicitada (CLÍMACO, 2016).

O concreto e o aço são materiais estruturais frequentemente utilizados em construções, pois muitas vezes eles se completam e trabalham conjuntamente. Contudo, as condições para um aço de qualidade são precisamente controladas em laboratórios e expressas em um certificado, tornando mais fácil o uso dele para o engenheiro, pois ele precisa apenas especificar um aço que atenda as normas necessárias. Já na situação do concreto é um pouco diferente, pois embora a qualidade do cimento também seja garantida pelo fabricante, no geral não é a qualidade do cimento o causador de falhas nas estruturas, e sim a mão de obra de produção e lançamento do concreto que são realizadas no canteiro de obras (NEVILLE, 2016).

O concreto possui uma grande durabilidade por conta de suas propriedades físico-químicas, porém é um material essencialmente poroso, fator esse que deve ser combatido a fim de garantir sua durabilidade. Com isso, as estruturas de concreto armado estão susceptíveis a algumas agressões, como de sulfatos no concreto e de cloretos nos aços, fatores esses que devem estar sendo cuidadosamente considerados desde a fase de projeto (FUSCO, 2017).

Aço na construção civil

O primeiro material siderúrgico utilizado na construção foi o ferro fundido. No Brasil, foi inaugurada em 1857 a ponte sobre o rio Paraíba do sul (Figura 1.a e 1.b), no estado Rio de Janeiro. Composta com vãos de 30 metros vencidos por arcos atirantados de ferro fundido, e tirante em ferro forjado (PFIEL, 2008).

Figura 1 - Ponte sobre o rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro. (a) Vista geral. – (b) Detalhe do meio do vão dos arcos atirantados.



(a)



(b)

Fonte: PFIEL, 2008.

Naturalmente, no decorrer dos anos os procedimentos e modelos usados no dimensionamento de estruturas metálicas e mistas evoluiu significativamente, decorrente do aumento de conhecimento sobre o comportamento estrutural e propiciado pelas técnicas e experimentos realizados (VELLASCO *et al.*, 2014).

Até meados do século XX usou-se de maneira significativa o aço-carbono, que possuía resistência a ruptura de 370 Mpa. Por volta de 1950, os aços de maior resistência passaram a ser utilizados em escala crescente. Entre as décadas de 1960/70 propagou-se o uso de aços de baixa liga, com tratamento térmico ou não. Então, algumas estruturas de grande porte passaram a aderir aços de múltiplas categorias, inserindo materiais mais resistentes em pontos de maiores tensões (PFIEL, 2008).

Características e conceitos sobre o aço estrutural

Após estudo e conhecimento mais afundo dos aços, foi possível determinar diversas características que o englobam para torná-lo um aço estrutural. Pinheiro (2005) citou algumas das vantagens e desvantagens do aço, conforme representados no quadro 2.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do aço estrutural.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AÇO ESTRUTURAL	
VANTAGENS:	DESVANTAGENS
Fabricação das estruturas com precisão milimétrica, possibilitando um alto controle de qualidade do produto acabado;	Limitação de execução em fábrica, em função do transporte até o local de sua montagem final;
Garantia das dimensões e propriedades dos materiais;	Necessidade de tratamento superficial das peças contra oxidação, devido ao contato com o ar atmosférico;
Material resistente a vibração e a choques;	Necessidade de mão-de-obra e equipamentos especializados para sua fabricação e montagem;
Possibilidade de execução de obras mais rápidas e limpas;	Limitação de fornecimento de perfis estruturais.
Em caso de necessidade, possibilita a desmontagem das estruturas e sua posterior montagem em outro local;	
Alta resistência estrutural, possibilitando a execução de estruturas leves para vencer grandes vãos;	
Possibilidade de reaproveitamento dos materiais em estoque, ou mesmo, sobras de obra.	

Fonte: Pinheiro, 2005.

Parizotto (2017, p. 124) cita que “as propriedades mecânicas dos aços são: a resistência mecânica, a elasticidade, a dureza e a ductilidade, e dependem da sua composição química, do tratamento químico e do processamento”.

Designa ductilidade um material capaz de se deformar sob a ação de cargas, como por exemplo os aços, que ao se submeter a tensões locais grandiosas, sofrem deformações plásticas provocando uma redistribuição das tensões. Além disso, através da ductilidade é possível que por meio de mecanismo de ruptura, conjuntamente com o aparecimento de

deformações, gere meios de avisar que a estrutura está sob ação de cargas excessivas (PFEIL, 2008).

Para Pinheiro e Crivelaro (2016), o conceito de elasticidade de um material é baseado na capacidade dele se deformar e retornar a sua forma original, quando cessados os efeitos da solicitação causadora da deformação.

De acordo com Pfeil (2008) a dureza é caracterizada quando um material é resistente ao risco ou abrasão, no geral, é possível medir a dureza através da resistência que a face do material oferece a penetração de uma peça com dureza superior.

Segundo Pinheiro e Crivelaro (2016) o conceito de resistência se baseia na capacidade do material distribuir as forças internamente, da posição de onde são aplicadas as cargas para os apoios, classificada pela maior tensão que o material pode suportar.

Propriedades mecânicas do aço

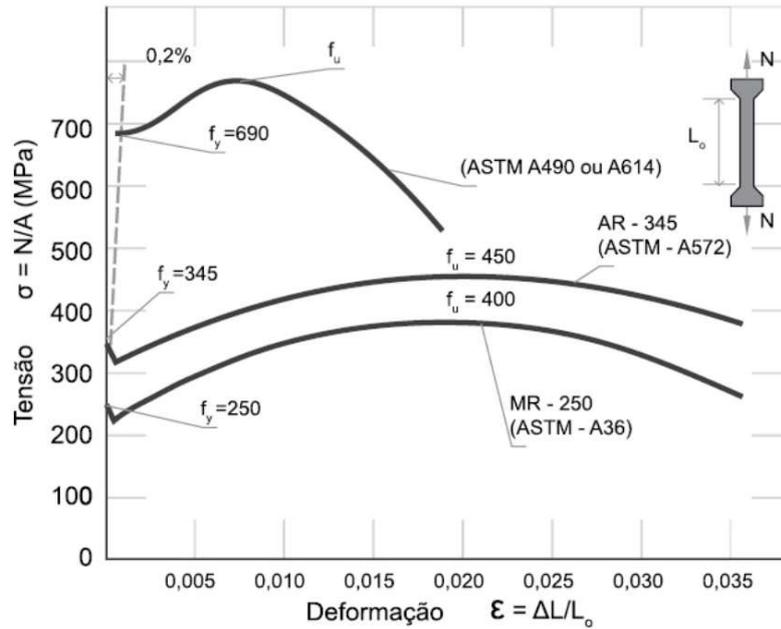
Para que elementos estruturais de aço trabalhem de forma eficiente como vigas, colunas ou tirantes, é de total importância o conhecimento do projetista a respeito dos parâmetros comportamentais dos materiais disponíveis no mercado. Algumas usinas e fábricas de estruturas metálicas (como a GERDAU, CSN e outros), publicam catálogos especificando a descrição completa de cada aço, perfis, chapas, entre outros. (ANDRADE e VELLASCO, 2016).

Para obter propriedades mecânicas mais específicas dos aços, alguns ensaios são realizados como o de tração por exemplo, que mede a resistência mecânica de um material, aplicando uma força axial de tração em barras e em fios de aço para expandir seu comprimento, e com isso obter algumas de suas características como: a resistência característica ao escoamento, o limite de resistência e o alongamento (PARIZOTTO, 2017).

O ensaio de tração simples é um meio para medir as propriedades mecânicas dos aços. Nele, as hastes metálicas ficam presas nas máquinas de ensaio, e são sujeitas a esforços de tração com valores crescentes, possibilitando medir a cada período de carga, o alongamento Δl de um trecho de comprimento inicial l_0 . Ao ser tracionada, a seção transversal dessa barra diminui. Com isso, para se obter a tensão real em cada período de carga, divide-se a força pela área medida no período. Para facilitar o trabalho, conceitua-se uma tensão convencional, como sendo o resultado da divisão da força, pela área inicial (sem carga) A_0 (PFEIL, 2008).

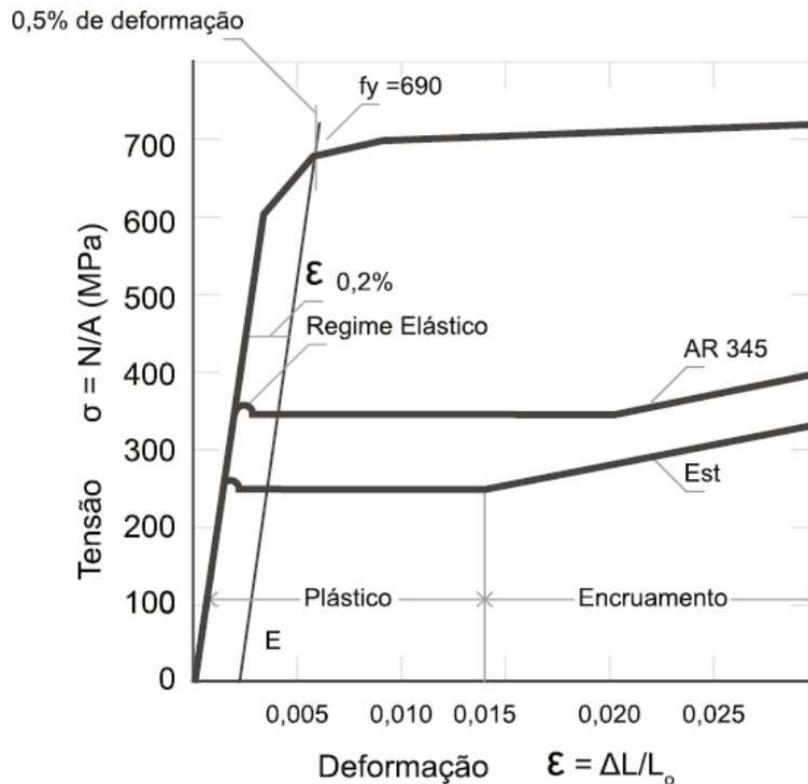
Nas figuras 2 e 3 são demonstradas a curva de tensão-deformação de aços estruturais até a ruptura. No início das curvas é possível analisar que o aço até certo limite obedece a lei de Hooke ($\sigma = E \cdot \varepsilon$), sendo o módulo de elasticidade constante para todos os tipos de aço ($E = 200000$ MPA), (ANDRADE e VELLASCO, 2016).

Figura 2 - Diagrama Tensão/Deformação [SALM80].



Fonte: Andrade e Vellasco, 2016.

Figura 3 - Diagrama Parcial de σ - ϵ .



Fonte: Andrade e Vellasco, 2016.

Quando as tensões não ultrapassam o limite de proporcionalidade (situada abaixo do limite de escoamento), pode-se validar a lei de Hooke. O limite de escoamento por sua vez, irá demonstrar que o material está no final do seu comportamento elástico. Em alguns aços com baixo teor de carbono (MR-250 e AR-345), o limite de escoamento é determinado com a primeira tensão no material, onde ocorre um acréscimo na deformação sem aumentar a tensão (ANDRADE e VELLASCO, 2016).

Um material que excede o regime elástico apresenta uma propriedade chamada escoamento ou cedência, ocasionado pelo aumento de deformação com tensão constante. A tensão que provoca o escoamento é chamada de limite de escoamento (f_y) do material. (PFEIL, 2008).

Patologias estruturais

Para Weimer, Thomas e Dresch (2018) a deterioração de uma estrutura provém das transformações dos materiais de construção ao longo do tempo, e que prejudicam o desempenho dessa estrutura. É necessário entender o processo de deterioração para que seja possível realizar corretamente a manutenção da estrutura, e conseqüentemente evitar que ocorra novamente esses problemas.

Conceito

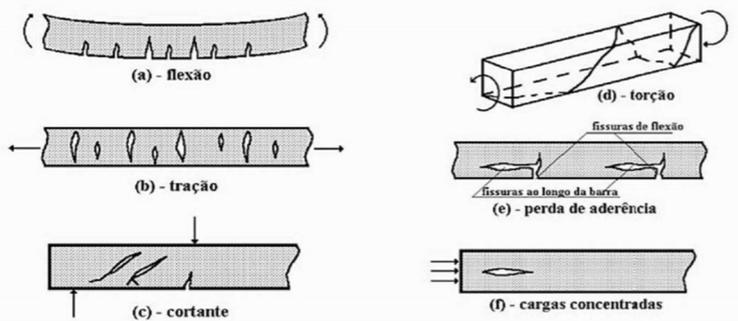
A patologia das estruturas é um campo da engenharia que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, e fatores da ocorrência de falhas e degradação das estruturas. Contudo, o estudo da patologia em estruturas é muito importante não somente para identificar anomalias acometidas a essa edificação, mas também para realizar uma boa concepção do projeto em si (SOUZA E RIPPER, 1998).

Para Weimer, Thomas e Dresch (2018) há uma variedade de agentes capazes de causar falhas ou destruir o concreto armado, dificultando bastante sua classificação. O surgimento de manifestações patológicas nas estruturas é provocado por esses agentes que deterioram o concreto armado, e o qual muitos deles poderiam ser evitados se fossem realizados um bom projeto, uma cuidadosa execução e uma manutenção adequada. Algumas manifestações patológicas que mais se evidenciam, e podem surgir nessa estrutura são:

- Fissuras e trincas no concreto;
- Corrosão de armaduras;
- Desagregação e disgregação (desplacamento) do concreto;
- Desgaste do concreto (abrasão, erosão e cavitação);
- Eflorescência e manchas no concreto.

Algumas falhas que podem acontecer nos projetos estruturais e influenciar diretamente a formação de fissuras em estruturas por exemplo, estão relacionados ao tipo de esforço a que foram sujeitas as peças estruturais, como exemplifica a figura 4 (SOUZA E RIPPER, 1998).

Figura 4 - Algumas configurações genéricas de fissuras em função do tipo de solitação predominante.



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Weimer, Thomas e Dresch (2018, p. 43) diz que “o concreto, por ser um material frágil, apresenta baixa resistência à tração e, naturalmente, apresentará fissuras mesmo em situações em que não existem falhas estruturais”.

Um exemplo de patologia bem conhecido que acomete as estruturas de concreto armado, é a corrosão. Para Molina (2021, p. 72) a corrosão é “a deterioração de metal ou concreto devido a uma reação química ou eletroquímica, como resultado da exposição a atmosféricas, químicas, etc”. A figura 5 mostra um estado avançado de corrosão de armaduras em uma viga.

Figura 5 - Estado avançado de corrosão das armaduras da face inferior de uma viga.



Fonte: Bolina, Tutikian e Helene, 2019.

Reforço estrutural misto (aço e concreto)

Segundo Souza e Ripper (1998), para realizar um serviço de reforço em uma edificação é necessário sempre realizar previamente trabalhos de cálculo estrutural. Através dos cálculos será possível estabelecer elementos básicos, como os representados no quadro 3:

Quadro 3 – Análise prévias para realizar o reforço estrutural.

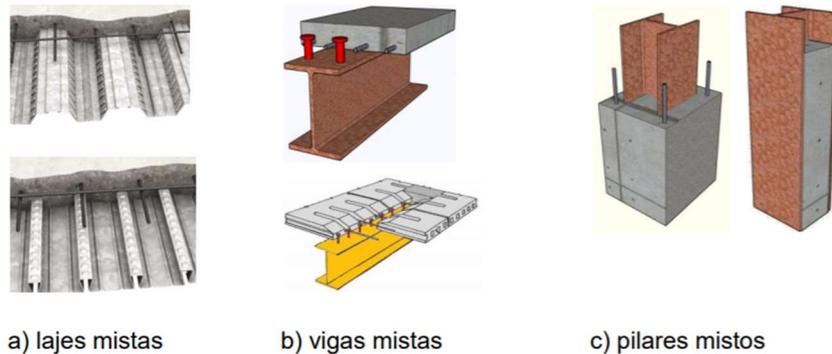
ANÁLISES PRÉVIAS PARA REALIZAR O REFORÇO ESTRUTURAL
Definição precisa das peças da estrutura em que será necessário proceder-se ao reforço - e a extensão desta intervenção - e daquelas em que será suficiente apenas a recuperação, entendendo-se como tal a reconstituição das características geométricas, de resistência e desempenho originais;
Determinação da capacidade resistente residual da estrutura, ou da peça estrutural e, conseqüentemente, definição do tipo, intensidade e extensão do reforço necessário;
Indicação da necessidade ou não da adoção de procedimentos de escoramento durante os trabalhos;
Avaliação do grau de segurança em que se encontra a estrutura, antes, durante e depois da execução do reforço;
Escolha da técnica executiva a utilizar;
Determinação das tarefas necessárias e das quantidades reais de trabalho a realizar, isto é, definição do custo real da empreitada, em conjunto com os elementos da inspeção técnica realizada.

Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Souza e Ripper (1998, p.208) diz que “o reforço realizado pela adição de perfis metálicos deve ter sido, em termos históricos, o primogênito dos sistemas de reforço”.

Sistemas estruturais mistos, consistem em componentes de aço associados ao concreto (moldado no local ou pré-moldado). Nesta associação de elementos de aço com concreto, o aço é usado por meio de perfis que trabalham conjuntamente com o concreto simples ou armado, e da origem aos seguintes elementos estruturais: pilar misto, viga mista e laje mista, conforme figura 6 (SERAFIM, 2013).

Figura 6 - elementos estruturais mistos. (a) lajes mistas; (b) vigas mistas; (c) pilares mistos.

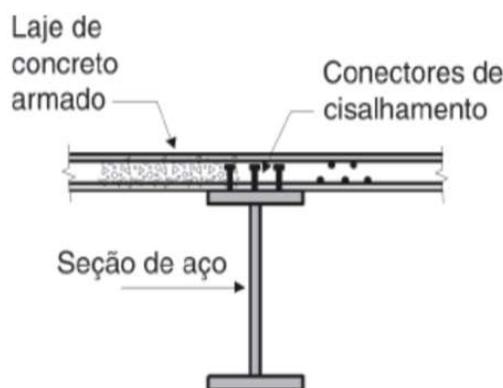


Fonte: Toledo, 2009 *apud* Serafim, 2013.

Reforço estrutural com viga mista

Uma viga formada pela junção de uma laje de concreto com um perfil metálico, a qual ambos os elementos estejam associados por conectores mecânicos, pode ser definida como viga mista aço-concreto. Conforme ilustrado na figura 7 (PFEIL, 2008).

Figura 7 - Estruturas mistas aço-concreto, viga mista típica e seus elementos.



Fonte: PFEIL, 2008.

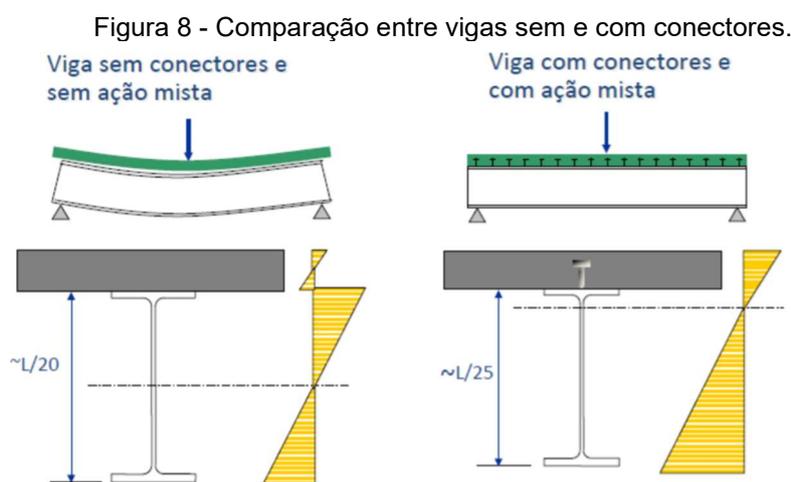
Para assegurar o funcionamento da viga mista é necessário o uso dos conectores de cisalhamento. Com a ausência dos conectores, não haverá ligação entre a laje de concreto e o perfil de aço, ou seja, ao ser aplicado um carregamento nessa estrutura, a laje e o perfil metálico fletem independentemente, ocasionando um deslizamento relativo na superfície de contato entre eles (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016).

As vigas mistas podem ser construídas com escoramento ou sem. Se as vigas possuírem escoramento, a seção de aço na fase de endurecimento do concreto não é solicitada. Somente após atingir a resistência necessária do concreto e ser retirado o

escoramento, as solicitações recorrentes do peso próprio e outras cargas passam a atuar sobre a seção mista (PFEIL, 2008)

Escolher o tipo de conector de cisalhamento e seu dimensionamento correto é de suma importância, uma vez que, são eles que irão indicar o grau de interação entre os materiais (aço e concreto), e como os esforços serão transmitidos de um elemento para o outro (CAVALCANTE, 2010)

Pfeil (2008) explica que os dispositivos mecânicos conhecidos como conectores de cisalhamento têm o intuito de garantir que a seção de aço e a laje de concreto trabalhem conjuntamente. Ainda em PFEIL (2008, p. 265), ele diz que “o conector absorve os esforços cisalhantes horizontais que se desenvolvem na direção longitudinal na interface da laje com a mesa superior da seção de aço e ainda impede a separação física desses componentes”. A figura 8 faz uma comparação de vigas com e sem conectores de cisalhamento

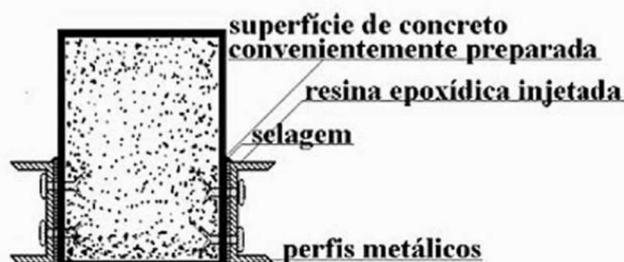


Fonte: Souza, 2014 *apud* Ghedini, 2017.

Para situações emergenciais de reforço estrutural, um dos métodos mais utilizados, como já citado, são com perfil metálico, principalmente por essa técnica se destacar positivamente em questão de não geração de grandes alterações geométricas originais da peça. Esses perfis são inseridos através de chumbamento com buchas expansivas e preenchidas com resinas por injeção (REIS, 2001 *apud* WEIMER, THOMAS e DRESCH 2018).

O uso de chumbamento com perfis metálicos e com a ajuda de resinas injetadas (representado na figura 9), é uma das alternativas bem eficazes para reforço de estruturas, no que se refere a acrescentar capacidade resistente e rapidez na execução. O processo para preparação da superfície de concreto armado para colocação dos perfis metálicos, é semelhante ao processo de colagem de chapas metálicas. O que se diferencia nos processos é que nos perfis são utilizados chumbadores, e que somente após o aperto deles, será inserida a resina para enchimento dos vazios entre a superfície de concreto e aço (SOUZA E RIPPER, 1998).

Figura 9 - Reforço por chumbamento de perfis metálicos.



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Contudo, embora o uso de estruturas mistas seja bem grande em países mais desenvolvidos, no Brasil este método tem sido bem menos explorado por diversas questões. Como exemplo podemos citar: o pouco conhecimento de alternativas em elementos mistos, o custo dos componentes metálicos, e até mesmo o conservadorismo dos agentes responsáveis pelas construções civis, entre outros fatores (SERAFIM, 2013).

METODOLOGIA

Para realização deste trabalho uma série de atividades foram adotadas, que transitaram pela visita ao local, levantamento das informações com os usuários da construção, análise histórica e contextual, investigação das estruturas, observação do projeto e execução e comparação entre o pretendido em projeto e o obtido pós execução, apontado as possíveis falhas que colaboraram nos resultados.

DESENVOLVIMENTO

Concepção e propósito da construção

A igreja adventista do sétimo dia, adquiriu um terreno para que pudessem se reunir e fosse construído um templo religioso. Todavia, no início eles não possuíam o montante necessário para a construção de um templo de alvenaria, e se reuniam em uma tenda, semelhante as utilizadas em circos.

Com o passar do tempo a lona já não atendia mais as necessidades da congregação, por isso, intensificaram seus esforços para a construção de um templo de alvenaria. Foi organizado um mutirão, onde cada um ajudava como podia para concretizar o objetivo. Além da mão de obra dos próprios fiéis que se ofereceram, houve a contratação de alguns pedreiros. Sobre a qualificação técnica dos profissionais, os perguntados não souberam informar, apenas disseram que eles foram contratados por indicação.

Sobre a existência de projetos para a construção do templo, ninguém possui certeza, mas a grande maioria compartilha a opinião de que não houve nenhum projeto formal, apenas um planejamento baseado na soma das experiências empíricas, em construção, dos envolvidos.

Mudança de finalidade

Após alguns anos depois da construção do primeiro templo, houve a construção de um novo templo, que possuía uma arquitetura diferenciada e comportava mais pessoas. Fazendo com que a primeira edificação, antigo templo, se tornasse um salão de eventos e atividades.

Patologias e situação estrutural

O início das manifestações patológicas, se deu por uma pequena deformação na laje. Era tão sutil que aqueles que utilizavam o salão, não percebiam e não sabem datar com precisão o momento em que a laje começou a deformar.

Com o passar do tempo a gravidade foi aumentando e surgindo novas manifestações, como manchas de infiltrações, pequenas fissuras e bolor. Na figura 10 demonstra a infiltração e bolor manifestados no salão, em estado mais avançado.

Figura 1 - Infiltração e bolor.



Fonte: Autores, 2021.

No momento em que as infiltrações pioraram, houve uma investigação para descobrir o motivo, quando foi observado que havia uma deformação da laje, e que provavelmente as infiltrações eram em decorrência disso. Na figura 11, as setas azuis indicam rachaduras, e a seta vermelha indica uma área que tentaram reparar superficialmente com aplicação de massa corrida.

Figura 2 - Rachaduras na laje do salão.



Fonte: Autores, 2021.

Deformação da laje

Após alguns meses, as patologias agravaram consideravelmente, a deformação que era percebida por poucos, se tornou nítida mesmo a olho nu.

Junto com a deformação, as patologias pioraram significativamente, culminando na interdição de uso do salão, e se fazendo necessário uma intervenção em caráter de urgência. A figura 12 ilustra bem a situação do salão, um pouco antes de ser interditado.

Figura 3 - Salão antes do reforço.



Fonte: Autores, 2021.

Investigação da estrutura existente

Arquiteta e engenheiro civil foram até o local, avaliaram a situação, e confirmaram a necessidade de uma intervenção para possibilitar a retomada da utilização do salão. Importante frisar que já havia décadas que não se fazia nenhuma manutenção preventiva, apenas pequenas manutenções corretivas de umidade nas paredes e infiltração na laje.

Após a visita de avaliação, o engenheiro civil retornou ao local para obter mais informações sobre a edificação, uma vez que ela não possuía o registro dos projetos utilizados em sua construção.

Muitas questões fundamentais eram completamente desconhecidas. Para os membros da denominação local, o salão não possuía vigas e nem pilares, por não serem aparentes, e várias outras informações relacionadas aos elementos estruturais eram completamente desconhecidas, fazendo assim, necessário investigar sobre os elementos e suas características, a fim de encontrar as respostas necessárias para possibilitar o projeto do reforço estrutural e de correção das patologias.

Importante esclarecer que os métodos citados nesse trabalho, foram os métodos adotados pelo engenheiro e encarregado da execução, para investigação da estrutura. Esses métodos foram baseados na experiência do engenheiro civil responsável e encarregado pela execução. Por isso, não apontam resultados precisos, mas estimativas. Com base nesses resultados estimados e arbitrados pelo engenheiro responsável, o projeto foi desenvolvido.

Investigação de pilares

Foi retirado o embolso da parede externa do salão, a fim de descobrir se havia pilares, e caso houvesse, descobrir as características e condição atual.

Segundo o engenheiro responsável, a aparência dos pilares não era homogênea, a cor não estava na tonalidade típica de cinza, e o material se desprendia com relativa facilidade, já em outras partes, havia bastante brita e a tonalidade era predominantemente cinza, como pode ser visto na figura 13.

Figura 13 - Investigação de pilares.



Fonte: Autores, 2021.

Por fim, o engenheiro responsável, optou por desconsiderar a função estrutural dos pilares já existentes, uma vez que possuíam diversas incógnitas e o contratante não tinha condições de arcar com ensaios para precisar o real estado do pilar e de suas resistências. Sendo assim, no dimensionamento do reforço estrutural, para efeito de projeto, todo o carregamento da laje, vigas invertidas, cobertura e acidental, seriam descarregados sobre a nova estrutura.

Investigação de vigas

Aparentemente, não havia vigas suportando a laje do salão. Com a presença das várias infiltrações, um reparo no telhado da cobertura do salão, foi realizado com urgência.

Durante a manutenção do telhado, descobriu-se elementos de concreto armado na parte superior da laje, não eram visíveis porque estavam cobertos pelas telhas. Não houve confirmação sobre esses elementos e sua função, e também não houve foto para comprovar e representá-las. Segundo Antônio, responsável pelo patrimônio da igreja local que estava no dia e acompanhou a inspeção, e disse que possuíam 6 vigas invertidas no sentido longitudinal (paralelo ao maior vão) que tinha aproximadamente 80 cm de altura, e aproximadamente 30 cm de largura, além de existirem vigas na transversal, semelhantes às citadas anteriormente, o espaço entre elas era de aproximadamente 1,5 a 2 metros, segundo a percepção visual do Antônio. Logo, informações insuficientes para realização de um projeto que ao menos represente esse caso, pois os valores estão baseados na interpretação e estimativas. Ninguém foi até o local para medi-las e averiguar sua situação.

Outro ponto fundamental, é que no dia anterior em que o Antônio subiu no telhado, havia chovido muito, e ao ser retirada as telhas para fazer o reparo, ele descreveu que as vigas formavam uma “piscininha”, por causa do acúmulo de água que havia entre elas, graças a telha rachada que estava sobre o local.

Investigação da fundação

Após as informações relacionadas a pilares e vigas, houve uma investigação em relação a fundação, através de pequenas escavações no interior do salão, junto aos locais que receberiam os novos pilares.

Em todas as escavações, foram encontradas a viga baldrame, não impermeabilizadas, com forma não tão uniforme, mas aparentemente, era robusta, bem sólida e conservada.

Além da viga baldrame, havia sapatas na fundação do salão, que foram feitas bem próximas da superfície. O solo possuía uma tonalidade marrom intenso, semelhante ao pó do cacau torrado, e estava compactado.

Tendo essas informações, o engenheiro civil responsável, partiu para o desenvolvimento do projeto. Boa parte do projeto, segundo ele, foi baseado em sua experiência profissional e nas informações coletadas. Ele mesmo disse que, provavelmente, haveria elementos superdimensionados, mas que não seria um grande problema, uma vez que o excesso estaria a favor da segurança e o impacto financeiro não seria tão grande por se tratar de uma obra relativamente pequena.

Investigação de laje

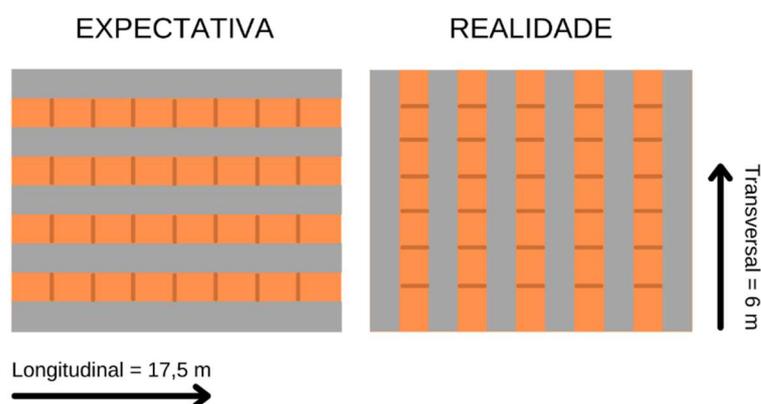
Apesar deste tópico estar presente nesse momento, essa investigação não ocorreu precocemente, na realidade, só ocorreu durante a execução do projeto, depois de algumas etapas.

O que ocorreu é que as etapas de investigação anteriores foram feitas com intervalo pequeno de dias, e o engenheiro esteve presente três vezes nesse período, guiando a investigação. Após obter os dados que julgava necessário, partiu para a elaboração do projeto, ao terminar passou as instruções para o encarregado da execução, e após isso ficou aproximadamente um tempo ausente, acompanhando remotamente o andamento do serviço.

Após a conclusão da fundação, e os primeiros pilares terem sido desformados, ele retornou para ver presencialmente o andamento da execução, e foi nesse momento que de fato ocorreu a investigação da laje, antes havia apenas suposições. Uma de suas considerações de projeto, consistia que a laje era do tipo pré-fabricada nervurada unidirecional, até esse momento a consideração estava correta, mas houve uma divergência na parte da direção em que as vigotas estavam dispostas. Em projeto, ele considerou que elas estavam no sentido paralelo ao maior vão da construção, mas após investigação, constatou-se que as vigotas estavam dispostas de forma paralelas ao eixo de menor vão.

Essa descoberta modificou o projeto original, adicionando uma nova viga que seria soldada nas demais, localizada no centro e perpendicular as vigas já projetadas. Essa viga seria uma W150. A diferença é que o projeto havia enfatizado o reforço para suportar as solicitações das vigotas dispostas no eixo longitudinal, paralelas ao eixo do maior vão, e na realidade, descobriu-se que as vigotas estavam no sentido transversal, estavam paralelas ao eixo de menor vão, conforme figura 14.

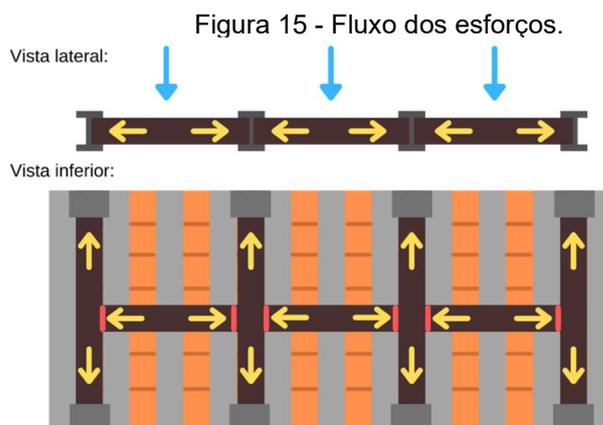
Figura 14 - Direção das vigotas.



Fonte: Autores,2021.

Na prática, ao pular uma etapa no processo de investigação, o projeto foi feito com uma consideração errônea. Segundo o engenheiro, ele já iria colocar uma viga no eixo

longitudinal soldada nas vigas transversais, para conferir maior rigidez ao sistema, o que mudou na situação pós investigação foi a descoberta que as maiores solicitações serão absorvidas pela viga que havia sido idealizada para ser apenas um apoio suplementar e para conferir maior rigidez ao sistema. E as vigas que foram dimensionadas com o intuito de suportarem as maiores solicitações, terão sua utilidade reduzidas a ser o apoio da viga principal, recebendo as solicitações de forma indireta, ao invés de direta. Ilustrando didaticamente na figura 15, as setas azuis são as cargas solicitantes da laje distribuídas diretamente sob a viga principal, e as setas amarelas representam a distribuição dos esforços na estrutura, já as linhas vermelhas, simbolizam os pontos de solda que conectam as vigas.



Fonte: Autores, 2021.

Relato sobre o projeto do reforço estrutural executado

Ratificando o que havia sido dito, muito do embasamento para o projeto foi fundamentado na experiência profissional do engenheiro responsável, e nos indícios obtidos nas investigações. Importante dizer também que, alguns valores de variáveis desconhecidas foram arbitrados.

Antes de prosseguir é importante ter em mente que esse estudo não tem como objetivo prioritário o dimensionamento do reforço, por esse motivo ele será relatado e abordado, mas não será aprofundado. A proposta primária do trabalho é observar o projeto e execução, correlacionando ambos com os resultados obtidos, dessa forma ser capaz de evidenciar possíveis falhas durante o processo, tendo como argumento tanto o referencial teórico, como os resultados obtidos, a fim de salientar a importância de práticas indicadas por normas e pelo material científico-acadêmico, e sugerir ações para evitar e/ou corrigir resultados indesejados.

Todo material contido nessa seção, foram baseados no projeto feito pelo engenheiro responsável pela obra, que aprovou o desenvolvimento do estudo de caso sobre o reforço estrutural executado no salão.

Considerações adotadas em projeto

O engenheiro responsável pelo projeto, utilizou como base para arbitrar valores os Art. 7º e 1º da Resolução nº 218/73, do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA), no Art 1º diz que “Atividade 06 - Vistoria, perícia, avaliação, arbitramento, laudo e parecer técnico”.

Carregamentos

Para efeito de cálculo, a laje pré-fabricada, foi considerada como laje maciça. Com o objetivo de facilitar o cálculo e obter um valor de carregamento superior ao real, a fim de favorecer a segurança e permitir a desconsideração do carregamento de alguns materiais.

O peso próprio das telhas de fibrocimento que cobrem a laje, foram desconsiderados.

A carga accidental foi considerada como 10% do valor obtido do peso próprio da laje, considerando que ela fosse maciça.

As vigas utilizadas, foram vigas metálicas W200 com peso próprio de 15 kg/m, tendo 6 metros de comprimento.

Os pilares são de concreto armado, com seção de 30x30 cm e altura de 3,73 metros, com a massa específica de 2500 kg/m³.

Objetivo do projeto

Reabilitação do salão, para o retorno de sua utilização. Reabilitação ocorrerá por meio de reforço com estrutural de elementos mistos, visando corrigir a deformação excessiva da laje e as patologias decorrentes do problema estrutural.

Descritivo do projeto

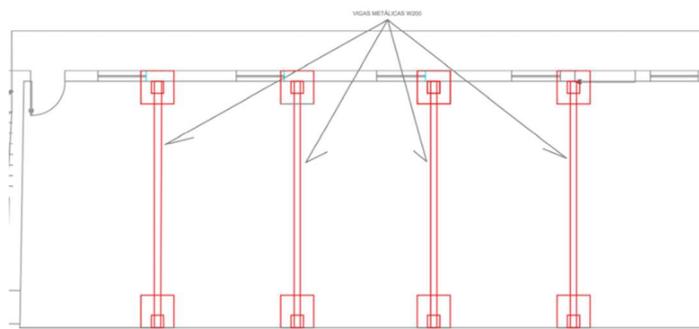
O projeto que foi disponibilizado aos contratantes deste trabalho, ao encarregado da execução e aos membros da denominação, foi apenas uma planta baixa com vistas que demonstram os elementos implementados na edificação, mas não é rico em informações.

Não foi apresentado memorial de cálculo, mas ao conversar com o engenheiro responsável, ele disse que havia feito o dimensionamento utilizando 3 meios para gerá-lo: Planilhas automatizadas no *software* Excel, gráficos e reações observadas no *software* Ftool e a modelagem e detalhamento gerada no *software* CypeCAD.

Viga projetada

A viga escolhida para compor o reforço estrutural, foi um perfil I metálico w200, com 15kg a cada metro, no comprimento total de 6 metros. A laje irá apoiar-se sobre 4 vigas. A imagem 16 consegue representar como as vigas serão distribuídas.

Figura 16 - Vigas perfil metálico.



Fonte: Karoliny de A. Passos, 2021.

Apesar de não haver a distância entre as vigas apontada em projeto, conferindo no local, foi constatado que a distância entre eixos das vigas se aproxima de 3,5 metros, tendo uma margem de erro, para mais ou para menos de 12 cm, uma vez que as distâncias não são todas iguais.

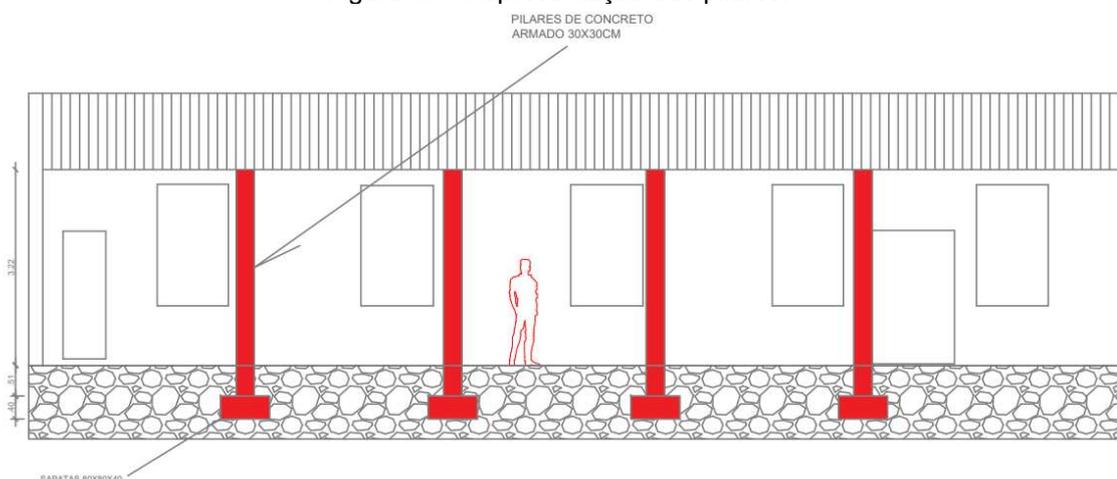
A escolha do perfil metálico, segundo o projetista foi para diminuir o peso próprio da estrutura e ocupar uma área menor, influenciando o menos possível na área útil do salão

Pilar projetado

Os pilares de concreto armado foram escolhidos para suportar o carregamento das vigas e laje, não foi relatado o motivo, mas tem-se a suposição de ter sido uma escolha influenciada pelo fator financeiro.

No total, serão 8 pilares, com seção igual a 30x30 cm, e altura de 3,73 metros, desde o contato com a fundação até seu topo. Na imagem 17, ilustra o descritivo do pilar.

Figura 17 - Representação dos pilares.



Fonte: Karoliny de A. Passos, 2021.

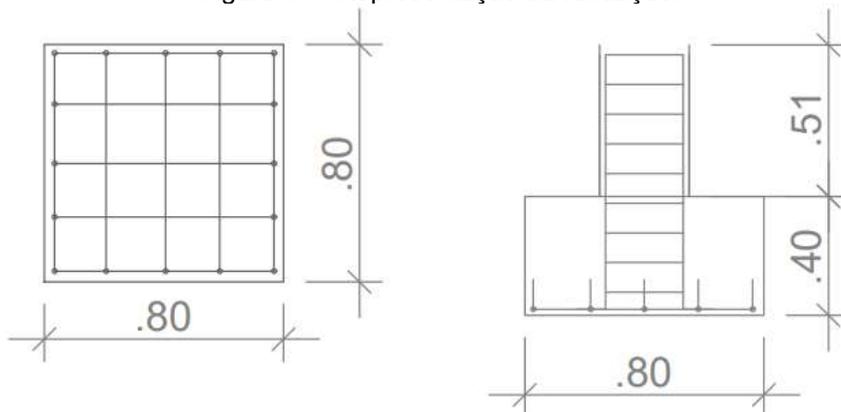
Os valores de cota provavelmente não sejam bem visíveis, mas lá diz que a altura aparente do pilar é de 3,22 metros e 51 cm ficam enterrados, sendo concretado no mesmo momentos que as sapatas.

Fundação projetada

A fundação escolhida para esse reforço, foi uma fundação rasa, onde a distância entre sua base e o nível do solo é de 91 cm. Não houve análise fina do solo e suas características mecânicas, mas por existir fundações rasas no mesmo terreno, e o solo ser aparentemente, bem compactado, o engenheiro arbitrou que essa fundação atenderia as solicitações do projeto.

A figura 18 apresenta o descritivo das sapatas, todas tendo dimensões iguais.

Figura 18 - Representação da fundação.



Fonte: Karoliny de A. Passos, 2021.

Possuindo apenas uma pequena diferença no local de apoio dos pilares, no lado do salão onde ficam as portas e janelas, o pilar será apoiado no centro da peça, já no lado oposto, a sapata ficará um pouco mais localizada para dentro do salão, para não interferir na edificação vizinha, e o pilar será apoiada mais na extremidade da peça, como pode ser visto na figura 16, que demonstra a vista superior do reforço estrutural proposto.

De acordo com o responsável pela execução, os vergalhões utilizados para a montagem da armadura na sapata possuem bitola de 8 mm.

Planejamento de execução

O planejamento da execução ficou apenas no trato verbal, entre o engenheiro responsável e a mão de obra contratada, não houve um documento descritivo do planejamento, nem cronograma. Provavelmente o acordado foi que ao longo da obra, o engenheiro visitaria o local, analisaria o progresso e daria recomendações.

Hipótese autoral sobre a investigação e o dimensionamento

Nessa seção do trabalho, será proposto pelos autores, um processo de dimensionamento alternativo, do que foi relatado no item ao visto no estudo de caso que está sendo feito. Com a finalidade de obter um paralelo entre ambos e ressaltar pontos divergentes e seus possíveis resultados. Assunto relacionado com a obtenção de informações da estrutura também será abordado aqui.

Não será um dimensionamento em si, pela falta de dados. Caso os valores fossem arbitrados pelos autores, provavelmente não seriam os mesmos arbitrados pelo engenheiro, logo fugiria da proposta de realizarmos um comparativo no final, pois se os valores e considerações estivessem divergentes, estariam sendo feito um estudo de cenário de um outro cenário, sem condições de comparação de resultados, pois ambos não

teriam sido baseados nos mesmos fundamentos. Logo, os autores optaram por basear a comparação em conceitos, uma vez que os conceitos se aplicam a ambos os casos.

Proposta dos autores para investigação de situação estrutural

Analisando as circunstâncias de viabilidade financeira do contratante e do grau de complexidade da intervenção estrutural, os autores também não solicitariam a realização de ensaios a compressão, a flexão e a cisalhamento, pois o reforço estrutural não visa receber novos carregamentos e nem ajustar a estrutura para desempenhar outra função, mas sim corrigir a deformação e conferir aumento de resistência a flexão e compressão para a laje. Logo, a carga que será solicitada do reforço estrutural, não é a carga de toda a estrutura preexistente, mas apenas a parcela que a mesma não está resistindo sem se deformar. Entretanto, por saber dos eventos de empoçamento que ocorriam na laje, os autores iriam dimensionar o reforço estrutural para suportar a laje e o peso próprio das vigas investidas, a fim de favorecer a segurança e prevenir qualquer sinistro.

A investigação ocorreria no local, com objetivo de fazer um levantamento de informações mais simples, mas que impactam na confecção do projeto, e consequentemente na execução. A primeira etapa seria o levantamento e registro de todas as dimensões dos elementos estruturais, dessa forma o mínimo para o projeto seria obtido. Com todas as dimensões, é possível obter facilmente a área da seção analisada e o volume do elemento analisado.

A etapa seguinte seria o levantamento e registro das características dos elementos estruturais, por exemplo: O tipo de laje e suas características, estado de conservação de vigas e pilares, tipo de fundação, presença de patologias que ameacem as estruturas. Caso um pilar, ou outra estrutura demonstrasse elevado grau de deterioração, investigações mais minuciosas como ensaios de compressão e/ou flexão seriam feitas, a armadura do elemento seria examinada para saber se houve perda de seção, e com isso conseguir determinar o que seria considerado nos cálculos, o que está cumprindo sua função e o que não está. Também seria indicado nessa fase, uma pesquisa sobre a existência de oxidação nas armaduras dos elementos que tiveram maior exposição ao ambiente agressivo, por exemplo a laje e vigas. Com essas informações, seria possível obter a massa específica, o carregamento local ou distribuído. A partir do momento que se tem as informações sobre os carregamentos e se sabe do estado de deterioração dos elementos, o reforço já poderia ser dimensionado.

Os autores concordam que ensaios a compressão, a flexão e a cisalhamento, seriam bons, pois trariam informações pertinentes para realizar um dimensionamento de uma estrutura suplementar, que apenas auxilie a resistência que a estrutura preexistente já não consegue. Mas considerando o custo e tempo que seriam empregados nesse processo, e considerando também que há detalhes sobre a estrutura que são desconhecidos, os autores não se sentiriam confortáveis dimensionando de forma próxima do limite, pois qualquer evento inesperado poderia comprometer a estrutura como um todo. Então, foi considerado gastar a mais com o material extra, para dimensionar o reforço estrutural mais forte que o necessário, considerando para efeito de cálculo que as vigas invertidas não apresentam resistência alguma, apenas a somam a carga do peso próprio no carregamento que a nova estrutura terá de resistir. Não gastaria com o os ensaios para obtenção de informações refinadas, devido ao baixo grau de complexidade da intervenção, e empregaria o valor no extra de materiais, no final o resultado do custo seria semelhante, mas teria uma estrutura nova mais resistente, a favor da segurança.

Proposta dos autores para o dimensionamento

Os autores optariam pelo método de reforço com estrutura metálica, tanto pilar quanto viga, e a escolha seria pela praticidade, velocidade de execução, pequena área de ocupação pelo reforço, execução limpa e possibilidade de reuso do material.

Após as informações obtidas na investigação, os objetivos definidos e a escolha do método, o dimensionamento começaria, e contaria com o auxílio do *software* Metálicas 3D, Ftool e recomendações da norma NBR 8800 de 2008. Gerando um memorial de cálculo com o método.

Após dimensionamento e memorial de cálculo, seria feito um descritivo do projeto, contendo todas as informações coletadas e os detalhes dos projetos, a fim de simplificar a implementação e a manutenção posterior a ele. Dentro desse descritivo, seria colocado uma seção com foco na parte executiva, minimizando a chance de falhas de execução, por possuir uma referência apresentada em projeto.

Relato sobre a execução

As primeiras atividades de fato, ocorreu antes de haver qualquer projeto, na verdade, foram essas atividades que possibilitaram a elaboração de um projeto, através das informações obtidas.

Nesta seção, será relatado os acontecimentos e passos sequenciais observados.

Confecção da fundação

Entre as primeiras atividades, pode se destacar a escavação nas 8 regiões que iriam receber as sapatas. Como a parede do salão possui 25 cm de espessura, foi definido embutir parte do pilar na parede para não perder muita área útil no interior do salão, por isso parte da parede foi quebrada nessa fase, no formato do pilar, com o auxílio de marteletes.

Após a quebra e escavação, as armaduras da fundação formam montadas e colocadas no local de destino. Foram montadas as formas das sapatas e colocado as armaduras no local, após isso, foi feita a mistura do concreto no local, seguindo as proporções de 3:3:1, 3 partes de areia, 3 partes de brita e 1 parte de cimento. Não foram feitos corpos de prova.

Confecção dos pilares

A armadura do pilar foi montada no local. A caixaria foi montada ao redor da armadura. Após 3 dias de concretar a fundação, foram concretar dos pilares.

O processo de concretagem não foi acompanhado, entretanto, sabe-se que não foram feitos corpos de provas, o traço de concreto utilizado é semelhante ao utilizado para concretagem das sapatas, segundo o encarregado pela execução. A concretagem dos pilares durou pouco mais de 7 dias, devido a um pequeno problema logístico.

Concretaram 2 pilares por vez, após passar 3 dias era realizada a desforma, e a forma era reaproveitada na concretagem dos próximos pilares. Após a retirada da forma dos dois primeiros pilares, foi feita a investigação na laje relatada anteriormente no item 4.2.2.4 desse trabalho. O engenheiro fez alterações no projeto para assegurar a efetividade do reforço estrutural.

Foram concretados os outros pilares, seguindo a descrição do projeto, entretanto, algumas informações não estavam detalhadas no projeto que foi apresentado, como o detalhamento e o cobrimento da armadura. Ao perguntar para o responsável pela

execução, ele disse que a cobertura foi estabelecida como 2 cm, a armadura do pilar é formada por 4 barras de aço de 8 mm, distribuídos nos cantos do pilar, já os estribos, são feitos com vergalhão com bitola de 4,2 mm e tem 25 cm de espaçamento entre si, segundo o responsável pela execução.

Instalação das vigas

Após a desforma dos últimos pilares, as vigas de perfil metálico iriam ser colocadas sobre os pilares, mas quando os colaboradores tentaram pô-la, não conseguiram, e viram que havia uma diferença expressiva entre o espaço que havia no centro, com o espaço que havia nas extremidades. Nas extremidades, sobrava espaço para a viga, mas no centro do vão transversal ela não passava. Para solucionar isso, o responsável pela execução, não estando supervisionado, decidiu criar “valetas” na laje, de modo que a viga pudesse ser encaixada.

Após criarem profundidades na laje, por volta de 2 a 3 cm, para encaixar as vigas, elas foram colocadas no local e apoiadas nos pilares. Quando todas já estavam apoiadas, o soldador começou realizar a soldagem entre a viga que passaria no centro do salão, paralela ao maior vão, com as que estavam apoiadas nos pilares e perpendiculares ao eixo de maior vão.

Em uma visita, Aparecida Guimarães, tesoureira da igreja local, que estava tratando a parte financeira com os contratados, tirou algumas fotos do andamento, uma delas retrata a execução dessa etapa. Na imagem 19, vemos a última etapa da soldagem sendo realizada.

Figura 19 - Montagem das vigas.



Fonte: Autores, 2021.

Algumas semanas depois dessa foto, os responsáveis pela execução da obra concretaram a viga nessa mesma posição para conectar a viga ao pilar, e embolsaram todas as partes da laje que haviam sido danificadas. Após isso, começaram serviços relacionados ao acabamento, mas a entrega do trabalho se deu antes do término total da execução da obra. A imagem 26 demonstra a última etapa fotografada, antes da entrega do trabalho.

Observações sobre projeto, execução e resultados

Nesta seção do trabalho serão levantados alguns tópicos que foram abordados anteriormente, mas com outro foco, pois até aqui o objetivo esteve em relatar os fatos ocorridos, agora o tomará um caminho direcionado para a observação e comparação dos fatos, segundo a visão dos autores, com fundamentos nas normas regulamentadoras e no conhecimento teórico abordado no capítulo 2 deste trabalho.

Comparação entre objetivo desejado e objetivo obtido

O objetivo era trazer segurança, conforto e eficiência para os usuários.

No aspecto da segurança, o reforço trará uma sensação positiva para o usuário final, já a efetividade do reforço estrutural, foi seriamente comprometido por uma série de falhas durante os processos, desde a concepção do projeto, até a finalização da execução. Para precisar a função estrutural presente do reforço, os autores não se consideraram qualificados para tal e indicam a contratação de um perito. Entretanto, existem indícios de que esse reforço estrutural não irá impedir um aumento da deformação da laje, pois não há nenhum elemento que crie vínculo entre a laje com a nova estrutura, no momento, são dois elementos estruturais (laje e vigas) que estão apenas em contato entre si, não estão solidarizadas. E mesmo o contato que há entre os dois elementos, não possui uniformidade ao longo do comprimento da viga, o maior contato entre laje e viga se dá no centro, local de maior deformação da laje, e conforme vai caminhando para as extremidades, os elementos perdem completamente o contato, como pode ser visto na imagem 20.

Figura 4 - Distância entre vigas e laje.



Fonte: Autores, 2021.

Se fosse traçado um gráfico dos esforços distribuídos ao longo da viga, seria semelhante a uma carga distribuída triangular, onde o centro receberia as maiores solicitações. No fim, a visão dos autores sobre o reforço feito, é de algo paliativo, que irá apresentar uma aparência para quem utilizar o ambiente e até mesmo, alguma resistência ao processo de deformação da laje, mas que será necessária uma outra intervenção posteriormente, tanto para corrigir as patologias existentes, como o reforço estrutural executado. Tendo em vista as considerações, o quesito de segurança não foi totalmente atendido.

No aspecto de conforto, não foi atendido, pois não houve correção da deformação, as rachaduras foram apenas tapadas com emboço e massa corrida, para resolver a infiltração, foi aplicada manta acrílica flexível vulcanizada a frio (Tecryl-D3). As patologias foram tratadas de forma superficial, mas a causa continua presente.

No aspecto de eficiência, não foi atendido, pois além de não ter solucionado os problemas citados anteriormente, os pilares de concreto, tomaram área útil da construção.

Pontos críticos

Os pontos que mais influenciaram para o projeto ter esse resultado, estão relacionados ao projeto e a execução.

Projeto incompleto com considerações falhas

O projeto começou a ser desenvolvido, antes mesmo de haver obtido as informações fundamentais para seu desenvolvimento. Resultando na necessidade por adequação, conforme foi obtendo novas informações sobre a estrutura.

Além disso, o projeto também não contemplou as especificidades do caso, a maioria do projeto foi baseado em suposições.

O projeto apresentou de forma superficial os elementos constituintes, não apresentou o detalhamento.

Parte da execução falha, se deve a falha de direcionamento dado pelo projeto. Em alguns momentos percebia-se que os trabalhadores desorientados, gerando seu próprio direcionamento, baseado nos próprios conhecimentos e não no aconselhamento técnico contido no projeto.

Mão de obra não qualificada

Apesar de apresentarem boa vontade e esforço, a mão de obra não possuía experiência com o reforço estrutural proposto, resultando em ações inadequadas e resultados não satisfatórios.

O principal erro da mão de obra, foi o de não buscar aconselhamento. Uma vez que não se domina o serviço, a atitude esperada pelo encarregado, era buscar auxílio e aconselhamento com o responsável técnico da obra, e não tentar fazer do próprio jeito.

Pouca fiscalização

Fiscalização é fundamental, principalmente quando tem que responder pela responsabilidade técnica da intervenção. Essa necessidade se torna um pouco mais urgente quando a equipe de execução não é conhecida e a mão de obra não possui experiência na realização de um serviço onde erros podem comprometer sua efetividade.

Uma boa fiscalização, pode evitar erros, evitando que ele se propague e vire resultados indesejáveis e/ou alguma situação mais complexa.

Ausência de escoramento e macaqueamento para correção da deflexão

O escoramento era o básico para a realização desse serviço, garantindo segurança para os trabalhadores e possibilitando um macaqueamento mais seguro.

O erro crítico do projeto foi não prever o macaqueamento da laje para zerar a deformação, e o erro crítico da execução, foi não ter macaqueado a laje para que as vigas pudessem ser encaixadas, ao invés disso, preferiram danificar a laje até a viga encaixar. O resultado pode ser visto nas imagens 21 e 22.

Figura 5 - Distância final entre as extremidades da viga e a laje.



Fonte: Autores, 2021.

Figura 6 - Vigas sem contato com a laje.



Fonte: Autores, 2021.

Ausência de solidariedade entre as estruturas novas e já existentes

Na figura 23, pode ser vista que a nova estrutura não está nem em contato com a laje, que dirá solidarizar resistência com ela. Além das falhas da ligação soldada.

Não ter o cobrimento mínimo das armaduras do pilar

No momento em que os profissionais encarregados da execução montaram as formas e as armaduras, não colocaram espaçadores para garantir o cobrimento mínimo da armadura de aço. De acordo com a NBR 6118 de 2014, consultando a tabela 6.1, considerando as observações “a” e “b”, tem-se que o cobrimento mínimo para esses pilares é de 25 mm, por ser um pilar em ambiente urbano, mas estar localizado no interior seco da construção, como consta na tabela, demonstrada na figura 21.

Figura 23 - Classes de agressividade ambiental.

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
II	Moderada	Submersa	Pequeno
III	Forte	Urbana ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b} Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Associação Brasileira de normas técnicas – ABNT NBR 6118, 2014.

Falha no processo de investigação da estrutura existente

Esse erro certamente prejudicou tanto na concepção do projeto, quanto na execução, pois a ausência de conhecimento sobre o real estado da estrutura existente, impossibilitou um reforço estrutural ideal para a real necessidade da edificação em questão. Antes de propor uma solução, é preciso conhecer bem o problema.

Na forma em que foi feita, foi um projeto baseado em muitas suposições, mas em poucas evidências.

Proposta de solução sugerida pelos autores

As ações que deveriam ser tomadas para possível correção da intervenção estrutural:

O primeiro passo para a correção da implementação do reforço estrutural, seria o escoramento de toda a estrutura, ação fundamental para esse caso, pois atuaria tanto na prevenção contra reações indesejadas da estrutura quando submetida aos esforços do macaqueamento, com finalidade de corrigir a deformação, como também, proporcionaria segurança aos trabalhadores no local, uma vez que se estão realizando um reforço estrutural na edificação, é porque ela apresenta alguma fragilidade e/ou perda de eficiência estrutural, criando um cenário de possível risco aos que estiverem trabalhando/transitando no local. Segurança deve ser uma das prioridades na execução desse serviço.

O segundo passo, seria a correção da deformação da laje, através do macaqueamento da estrutura deformada, até que sua flecha estivesse zerada. Importante alertar que o macaqueamento não poderia ocorrer de forma abrupta, mas realizando deslocamentos pequenos e sucessivos, respeitando um período de tempo, em que a estrutura deveria ser avaliada, caso houvesse alguma manifestação patológica estrutural, o procedimento deveria parar imediatamente e haver uma reavaliação no cenário.

O terceiro passo, conta com a suspensão da viga, após a laje já ter sido suspensa e a deformação corrigida, a fim de que a viga esteja em pleno contato com a laje, pois a área de contato entre a estrutura existente e os elementos de reforço estrutural, está diretamente ligada a efetividade do reforço.

O quarto passo, seria a solidarização das estruturas, para que ambas estejam interligadas e trabalhem em conjunto para suportar as solicitações. Caso contrário, sem essa união entre elementos, o resultado são duas estruturas independentes que suportam e propagam os esforços solicitados, tendo suas deformações de acordo com a característica do material que compõe o elemento, mas sem haver um trabalho em conjunto entre os elementos estruturais. Pinos de cisalhamento são uma opção para solidarizar as vigas na laje, apesar de ser laje nervurada pré-fabricada e não uma laje maciça de concreto armado, os pinos poderiam ser conectados nos locais onde houvesse contato entre o concreto da vigota da laje com a viga de perfil metálico, para de fato, haver solidarização entre esses elementos.

Não menos importante, o quinto passo, consiste em ligar a viga no pilar utilizando graute, a fim de conectá-las, solidarizando viga e pilar. Essa ligação ocorreria depois que a viga já estivesse conectada com a laje, e a laje já estivesse sem a deformação inicial, motivadora da implementação da intervenção de reforço estrutural.

Esses cinco passos, visam modificar os resultados obtidos, para alcançar o resultado desejado.

CONCLUSÃO

Este trabalho realizou uma revisão bibliográfica contendo temas relacionados a estruturas de concreto armado e aço, patologia, reforço e reabilitação estrutural.

Foi realizado também, um estudo de caso sobre implementação de um reforço estrutural, com elementos mistos de concreto armado e perfil metálico, a fim de reabilitar uma estrutura antiga, e poder desempenhar novamente sua função, um salão de eventos e atividades sociais. A intenção inicial do trabalho era propor um dimensionamento para solução da deformação excessiva da laje, entretanto, o objetivo mudou por não haver informações o suficiente para realizar um dimensionamento.

A partir do momento que uma equipe foi contratada para executar o reforço, e o projeto foi feito por um engenheiro, o novo objetivo passou a ser relatar o projeto, a execução e os resultados. Mediante esses três relatos, haveria uma relação entre causa e efeito, caso houvesse algum resultado indesejado, de forma nenhuma para criticar o trabalho de algum profissional, mas com o objetivo de gerar aprendizado e lições preciosas para a vivência profissional.

O projeto, a execução e os resultados foram abordados no desenvolvimento desse trabalho, e as lições aprendidas foram:

Informações confiáveis sobre a real situação da estrutura são indispensáveis, pois elas fundamentarão todo o projeto e impactarão significativamente a execução de uma intervenção estrutural.

O projeto deve ser baseado em informações e não em especulações. O risco de realizar um projeto que não é efetivo, aumenta a medida em que as informações fogem da realidade e partem para o campo imaginário.

O projeto deve detalhar o objetivo e as atividades pretendidas para alcançá-lo. Dessa forma, erros de interpretação e falta de direcionamento na parte executiva serão evitados.

O projeto deverá conter os elementos críticos evidenciados, aqueles que precisam ser bem executados, para alcançar os objetivos propostos.

A equipe de execução, preferivelmente, deve ter experiência no serviço que será executado, assim a chance de erro é consideravelmente reduzida.

A equipe de execução deve ser supervisionada sempre que um serviço importante for executado, a fim de minimizar a chance de erros.

Saber o que não fazer, é tão importante quanto saber o que fazer.

Sugestão de temas para trabalhos futuros, com relação ao conteúdo visto nesse estudo:

- Análise de estruturas - ensaios de compressão, flexão e cisalhamento;
- Processo de recuperação estrutural de vigas invertidas;
- Suspensão de elementos estruturais por meio de macaco hidráulico – principais cuidados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADORNO, F.V. DIAS, F.O. SILVEIRA, J.C.O. 2015. **Recuperação e reforço de vigas de concreto armado**. 70p. Monografia (graduação). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2015.
- ANDRADE, Sebastião. VELLASCO, Pedro. **Comportamento e projeto de estruturas de aço**. 1ª. ed. - Rio de Janeiro: Puc Rio, 2016.
- ANDRINI, Douglas *et al.* **Teoria das estruturas**. Porto Alegre: SAGAH, 2018
- ANDRINI, Douglas Edmundo. **Resistencia dos materiais aplicada**. Porto Alegre: SAGAH, 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: **Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão da manutenção**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificações**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037. **Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações –Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931. **Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1. **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-2. **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15696. **Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009.

BASTOS, P. **Flexão Composta E Pilares De Concreto Armado**. 184 f. Apostila do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Bauru/SP, Versão de Setembro de 2020. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pag_concreto2.htm>. Acesso em: 15 Abril. 2021.

BASTOS, P. **Fundamentos do Concreto Armado**. 89 f. Apostila do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Bauru/SP, Abril de 2019. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pag_concreto1.htm>. Acesso em: 15 Abril. 2021.

BECK, André T. **Confiabilidade e Segurança das Estruturas**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

BOLINA, Fabricio L.; TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo R. L. **Patologia de Estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BOTELHO, Manuel Henrique Campos, MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado Eu Te Amo: volume 1**. 5ª. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

BRONZE, R. A. **Estudo comparativo: Uso do sistema de fibras de carbono e sistema convencional para reforço de estruturas de concreto**. 93 f. Monografia (Graduação de Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro 2016. Disponível em: <<http://repositório.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017651.pdf>>. Acesso em: 15 de Março. 2021.

CAVALCANTE, O. R. O. **Estudo de conectores de cisalhamento do tipo 'V' em viga mista**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD – 006/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF, p. 192. 2010.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier; Brasília, DF: Ed. UnB, 2016.

FAKURY, Ricardo h.; SILVA, Ana Lydia R. Castro; CALDAS, Rodrigo B. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

FUSCO, Péricles Brasiliense. MINORU, Onishi. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. São Paulo: Cengage, 2017.

GARRISON, Philip. **Fundamentos de estruturas**. 3ª. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

GHEDINI, L. B. **Desenvolvimento de aplicativo em vba para dimensionamento e verificação de vigas mistas de aço e concreto de alma cheia**. 97 f. Monografia. Universidade de Brasília. Brasília/DF, 2017. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/20479/1/2017_LucasBorchardtGhedini_tcc.pdf>. Acesso em: 09 de Abril de 2021.

KUSZKOWSKI, H. **Tomada de decisão entre sistemas de reforço de estruturas em concreto armado: uma aplicação do método analytic hierarchy process (ahp)**. 2017. 113 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

LEET, Kenneth M; UANG, Chia-Ming; GILBERT, Anne M. **Fundamentos da análise estrutural**. 3ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2009.

MARIANO, J. R. **Recuperação estrutural com ênfase no método da protensão externa**. 50 f. Monografia apresentada no Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, Agosto de 2015.

MOLINA, Anderson Rincon. **Patologia da construção: conceitos básicos**. Publicação independente na plataforma do *Kindle*, 2021.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PARIZOTTO, Liana. **Concreto armado**. Porto Alegre: SAGAH, 2017.

PASSOS, Karoliny A. **Projeto de reforço estrutural para igreja do cachambi**. Rio de Janeiro, 2021.

PFEIL, Walter. PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8ª.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2ª. Ed. São Paulo: Blucher, 2005.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. CRIVELARO, Marcos. **Materiais de construção**. 2ª. ed. São Paulo: Érica, 2016.

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Fundamentos de resistência dos materiais**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

ROLIM, ANTONIO C. **Estruturas de Concreto Armado para Edificações: com roteiros práticos para o dimensionamento dos elementos estruturais**. 1ª. ed. São Paulo: Acrolim; 2020.

SALGADO, Júlio César Pereira. **Estruturas na construção civil**. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2014.

SALGADO, Júlio César Pereira. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 4ª. ed. São Paulo: Érica, 2018.

SERAFIM, Jorge Augusto. **Pilares mistos de aço e concreto parcialmente revestidos: comportamento isolado, aplicação em galpões industriais e comparativos com pilares de sistemas estruturais usuais**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 118. 2013.

SILVER, Pete. MCLEAN, Will. EVANS, Peter. **Sistemas estruturais**. São Paulo: Blucher, 2013.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira. RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SOUZA, D. A. D. **Estruturas Mistas de Aço e Concreto**. Gerdau aços Brasil. 56º Congresso Brasileiro do Concreto, Natal, outubro 2014. <http://www.ibracon.org.br/eventos/56cbc/Djaniro_Alvaro.pdf>. Acesso em: 15 de Abril. 2021.

TEOBALDO, I. N. C. **Estudo do aço como objeto de reforço estrutural em edificações antigas**. 148 f. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, Abril de 2004. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/179M.PDF>>. Acesso em: 17 de Março. 2021.

VELLASCO *et al.* **Modelagem de Estruturas de Aço e Mistas**. 1ª. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

WEIMER, Bianca Funk; THOMAS, Mauricio; DRESCH, Fernanda. **Patologia das estruturas**. Porto Alegre: Sagah, 2018.

ZUCCHI, F. L. **Técnicas para o reforço de elementos estruturais**. 50 f. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Maria. Rio grande do Sul, 2015. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_FERNANDO%20LUIZ%20ZUCCHI.pdf>. Acesso em: 15 de Março. 2021.