

1. INTRODUÇÃO

Desde muitos anos o concreto armado vem sendo utilizado na construção civil com grandes avanços científicos e tecnológicos.

Pode-se ver com clareza no meio técnico que as estruturas de concreto armado nunca serão eternas, pois com o passar do tempo elas irão se deteriorar e, se não forem bem projetadas, executadas com critério e submetidas a manutenções preventivas, não atingirão a sua vida útil.

São vários aspectos que geram a má qualidade em uma estrutura de concreto e, conseqüentemente, a sua deteriorização de modo prematuro, levando a altos custos de recuperação e de esforços para mantê-la em condições de uso.

Dentre eles podemos apontar:

A – Projetos de engenharia mal elaborados e detalhados;

B – Construções a serem executadas com planejamento e controle insuficientes;

C – Equipe técnica sem qualificação adequada;

D – Prazo de execução excessivamente curtos.

As estruturas de concreto existentes estão envelhecendo, tendo em vista que muitas estão até com dezenas de anos. Caracterizam – se desta forma grandes problemas de deteriorização exigindo técnicas de trabalhos de recuperação e de reforços estruturais, sendo que em alguns casos não há como recuperá-las e sim demoli – las.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Origem do Concreto Armado

Segundo Souza Júnior (2004), os assírios e babilônios, pioneiros da construção, usaram argila como aglomerante, mas a sua fraca resistência não permitiu um maior desenvolvimento das construções. Os egípcios conseguiram uma ligação mais rígida com argamassa de cal e gesso, como atestam suas pirâmides e seus templos. Os romanos criaram um aglomerante de grande durabilidade adicionando ao calcário determinada cinza vulcânica do Vesúvio, chamada “pozolana”.

Os primeiros materiais a serem empregados nas construções antigas foram a pedra natural e a madeira, por estarem disponíveis na natureza. O ferro, o aço e o concreto só foram empregados nas construções séculos mais tarde (BASTOS, 2006).

Segundo Botelho (2010) a pedra era muito usada para edificar moradias, construir fortificações, para vencer vãos de rios, templos para adoração aos seus deuses. A pedra era ótimo material de construção. Porém, quando usada para vencer vãos de médio porte como pontes, a pedra se rompia devido a baixa resistência à tração.

Os romanos são os que mais se destacaram na aplicação dos concretos e argamassas, que lhes possibilitou criar espaços amplos em forma de arco, abóbadas e cúpulas, de grandes dimensões (BASTOS, 2006).

Em 1849, surge na França, o concreto armado. A primeira obra em que foi usado o concreto armado foi um pequeno barco criado por Lambot. Na construção do pequeno barco foram usados, argamassa e fios de aços de pequeno diâmetro.

Em 1855, na exposição mundial de Paris, Lambot expõe seu pequeno barco e solicita a patente (Figura 1). Lambot é considerado por muitos como o pai do concreto armado, porém, seus experimentos não tiveram muita repercussão, segundo BASTOS (2006), serviu de inspiração para Joseph Monier difundir sua utilização.

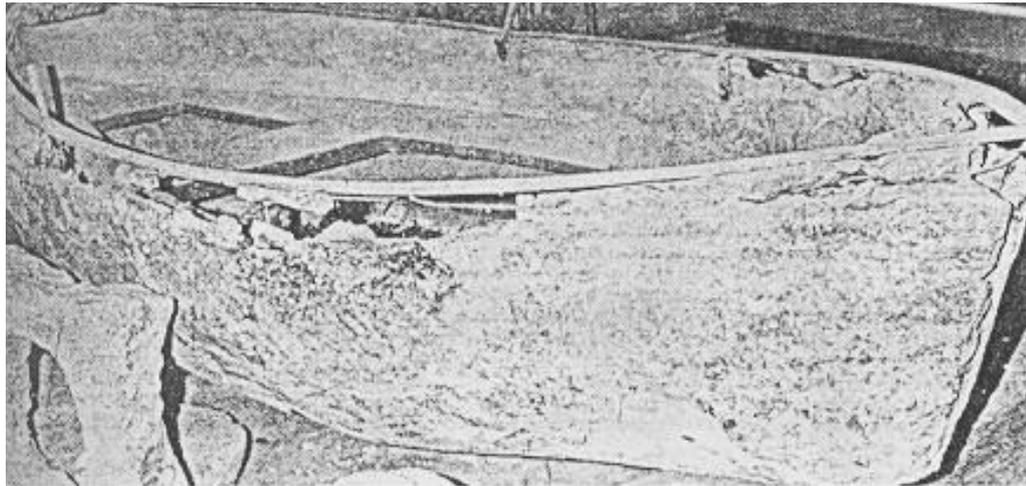


Fig. 1 – Remanescente de uma das canoas de Lambot.

Fonte: Luis Fernando **Kaefer (1998, p.22)**

Segundo Souza Júnior (2004), Monier que era horticultor e paisagista, baseou-se na idéia de Lambot, e passou a construir, em 1861, vasos de flores com argamassa de cimento, areia e armadura de arame. Em 1902, a empresa Wayss e Freitag, representada pelo alemão Morsch compra os direitos da patente de Monier. Uma primeira teoria sobre o concreto armado publicada. Morsch apresenta vários resultados de numerosas experiências, tornando-se um dos pesquisadores mais importante do concreto armado.

2.1.1 Concreto armado: Definição e Componentes

De acordo com Souza Júnior (2004), concreto armado é um material de construção resultante da união do concreto simples e de barras de aço, envolvidas pelo concreto, com perfeita aderência entre os dois materiais, de tal maneira que resistam ambos solidariamente aos esforços a que forem submetidos.

2.1.2 Componentes do Concreto Armado

2.1.1.1 Cimento

O cimento é composto de clínquer e de adições, encontrado na forma de pó. O clínquer é o principal componente presente em todos os tipos de cimento e tem como matérias primas básicas o calcário e a argila. O clínquer, em contato com a

água, tem a função de endurecimento, pois é considerado ligante hidráulico (BASTOS, 2006).

2.1.1.2 Agregados

O concreto é composto por em média, 70% de agregados, que têm baixo custo se relacionado com o cimento e adições. Os agregados são classificados em miúdo, com diâmetro máximo de 4,8mm, como as areias, e graúdo, com diâmetro superior a 4,8mm, como as pedras (BASTOS, 2006). Pode-se observar nas Figuras 2 e 3 a areia e a brita.



Fig. 2 – Areia, Fonte:(BASTOS, 2006)



Fig.3 – Brita, Fonte: (BASTOS, 2006)

2.1.1.3 Aço

O aço utilizado no concreto armado é uma liga de ferro com outros componentes como o carbono, por exemplo. O carbono confere à liga maior resistência quando suas proporções são aumentadas (**ALMEIDA, 2002**). Como mencionado, a aderência que o aço possui, melhora as qualidades mecânicas do concreto armado através de suas nervuras que podem ser anulares ou em forma de foice, como pode ser observado na figura 4.

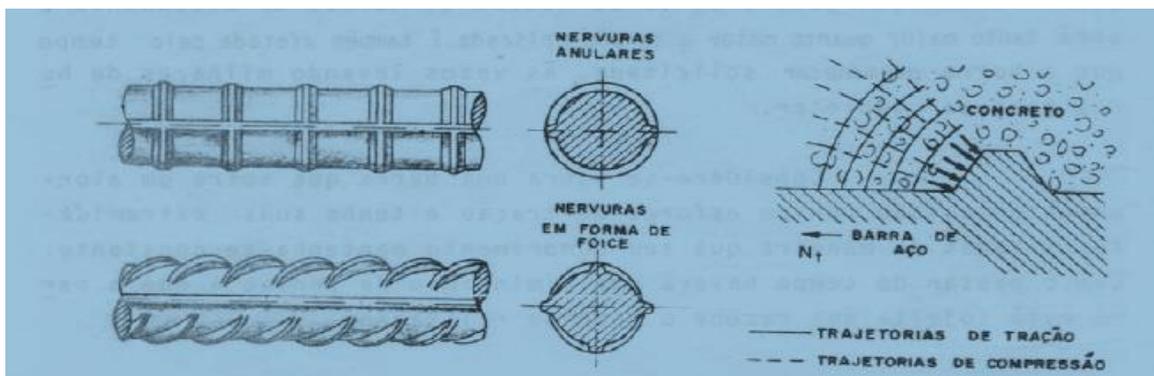


Fig. 4 - Tipos de nervuras do aço

Fonte: ALMEIDA (2002)

2.2 Vantagens e Desvantagens do Concreto Armado

Segundo Bastos (2006), o concreto armado é um material que vem sendo largamente usado em todos os países do mundo, em todos os tipos de construção, em função de várias características positivas, como por exemplo:

- Economia: especialmente no Brasil, os seus componentes são facilmente encontrados e relativamente de baixo custo;
- Conservação: em geral, o concreto apresenta boa durabilidade, desde que tenha a dosagem correta e seja bem misturado, lançado e adensado. É também muito importante que os cobrimentos mínimos das armaduras sejam rigorosamente obedecidos;
- Adaptabilidade: favorece à arquitetura pela sua fácil modelagem;
- Rapidez de construção: a execução e o recobrimento são relativamente rápidos;
- Segurança contra o fogo: desde que a armadura seja protegida por um cobrimento mínimo adequado de concreto;
- Impermeabilidade: desde que dosado e executado de forma correta;

Por outro lado, o concreto armado também apresenta desvantagens, sendo as principais (BASTOS, 2006):

- Peso próprio elevado, relativamente à resistência: peso específico (m³)
 $\gamma_{\text{conc}} = 25 \text{ kN/m}^3 = 2,5 \text{ tf/m}^3$;
- Reformas e adaptações são de difícil execução;
- Fissuração (existe, ocorre e deve ser controlada);
- Transmite calor e som.

2.3 Principais Mecanismos de Degradação das Estruturas de Concreto

2.3.1 Corrosão das Armaduras

É o mais frequente e o principal mecanismo de degradação das estruturas de concreto armado, que inclui altos custos para correção. Os mecanismos principais de correção estão relacionados a carbonatação e à ação aos ions (OLIVEIRA, 1991).

2.3.2 Fissuras

Segundo OLIVEIRA (1991), as fissuras no concreto ocorrem por diversos fatores, tanto no seu estado fresco quanto após o endurecido. Os principais motivos são:

- Deformações térmicas;
- Deficiências ou mal posicionamento de armaduras, sobretudo, para combater a flexão;
- Remoção prematura das fôrmas;
- Assentamento plástico do concreto ao redor das armaduras;
- Concentração de tensões em cantos e bordas não reforçados;
- Restrição ou obstrução da movimentação de juntas;
- Falha do concreto à compressão, puncionamento ou cisalhamento;

- Retração por secagem química, devido às reações de hidratação ou ainda devido à carbonatação.

2.3.3 Mecanismo de Deterioração do Concreto

Segundo OLIVEIRA (1991), os mecanismos que levam a deterioração do concreto podem ocorrer por ataques químicos ao cimento anidro, aos agregados ou à matriz composta pelo cimento hidratado. Os agentes de deterioração do concreto estão relacionados a seguir:

- Ataque químico.
- Reação álcali-agregado.
- Ataque de sulfatos.
- Ações de gelo e degelo.
- Cavitação e abrasão.
- Lixiviação
- Retenção de fuligem e fungos.

2.4 CORROSÃO EM ARMADURA DE CONCRETO ARMADO

Para que haja presença de corrosão nas armaduras do concreto armado é preciso que exista a corrosão, ou a penetração por percolação de agentes agressores na estrutura. Na maioria das vezes, esses agentes agridem o concreto e chegam às armaduras. Esse tipo de patologia pode ser encontrado principalmente em construções situadas próximas ao mar, locais onde há presença de sais suspensos, lugares úmidos e/ou contaminados (CÁNOVAS, 1988).

De acordo com Cánovas (1988), o processo de corrosão acontece de duas formas distintas: química e eletroquimicamente. Na corrosão química não há geração de corrente elétrica causada pela oxi-redução e acontece geralmente, em toda a extensão da estrutura. Já a corrosão eletroquímica acontece em presença de correntes elétricas e em pontos isolados, apesar de se generalizar com o tempo.

A oxidação é caracterizada pelo ganho de oxigênio por uma substância. Já a oxirredução acontece inversamente, onde há perda de oxigênio.

Considera-se o concreto como material poroso, devido à impossibilidade de preenchimento total dos seus poros. O uso excessivo de água na hidratação do cimento faz com que esses poros existam em maior quantidade. A quantidade de vazios, responsáveis pela passagem dessa corrente elétrica, aumenta de acordo com a evaporação da água utilizada em excesso (CÁNOVAS, 1988).

Segundo Cánovas (1988), esses vazios, contidos no interior do concreto, através de uma rede, se conectam com o exterior abrindo passagem para a água, gases e substâncias agressivas. A quantidade desses poros vazios é decisiva para que haja a degradação do concreto, pois sua resistência diminui consideravelmente quando esse processo ocorre.

A principal causa da deterioração, na maioria dos casos, costuma ser a corrosão eletroquímica. O concreto possui um pH de 12 a 13 produzido por componentes de sua composição hidróxido de cálcio, sulfatos, entre outros. Quando esse pH é diminuído para até 9, a camada passivadora ou passividade é eliminada em alguns pontos ou em toda extensão da armadura. A perda da passividade está condicionada a causas que facilitem a passagem de corrente elétrica (CÁNOVAS, 1988).

A evolução do concreto desde a antiguidade foi de uma grande importância para engenharia, magníficas obras foram e estão sendo executadas em diversos campos, muitas sobre ambientes extremamente agressivos, graças aos avanços tecnológico e científico.

2.5 Erros na Construção Civil

2.5.1 Patologias geradas na etapa de projetos

Segundo Souza (1998), várias são as falhas possíveis de ocorrer durante a etapa de concepção da estrutura. Elas podem se originar durante o estudo preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto de execução, também chamado de projeto final de engenharia.

Falhas geradas durante a realização do projeto final de engenharia são as responsáveis pela implantação de problemas patológicos sérios e podem ser diversos (Souza 1998):

- Elementos de projeto inadequados (má definição das ações atuantes ou da combinação mais desfavoráveis das mesmas, escolha infeliz do modelo analítico, deficiência no cálculo da estrutura ou na avaliação da resistência do solo, etc.);
- Falta de compatibilização entre a estrutura e a arquitetura, bem como com os demais projetos civis;
- Especificação inadequada de materiais;
- Detalhamento insuficiente ou errado;
- Detalhes construtivos inexecutáveis;
- Falta de padronização das representações (convenções);
- Erros de dimensionamentos.

2.5.2 Patologias geradas na etapa de execução da estrutura

Segundo Souza (1998), quando se trata de uma obra de edificação habitacional, alguns erros são grosseiros e saltam à vista. Casos como falta de prumo, de esquadro e de alinhamento de elementos estruturais e alvenarias, desnivelamento de pisos, falta de caimento correto em pisos molhados, ou execução de argamassas de assentamento de pisos cerâmicos demasiado espessos, e flechas excessivas em lajes, são exemplos de erros facilmente constatáveis. Outros erros, no entanto, são de difícil verificação e só poderão ser adequadamente observados

após algum tempo de uso, como é o caso de deficiências nas instalações elétricas e hidráulicas.

No caso das estruturas, vários problemas patológicos podem surgir devido a uma fiscalização deficiente e um fraco comando de equipes, normalmente relacionados a uma baixa capacitação profissional do engenheiro e do mestre de obras, podendo, 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, desde a sua fabricação até sua cura.

3. ESTUDO DE CASO – Autorizado pelo proprietário Sr. Farage.

3.1. Localização da Edificação

A Edificação localiza-se na rua Marechal Floriano Peixoto, Centro – Coronel Fabriciano-MG.

3.2. Projetos Arquitetônico e Estrutural da Edificação

3.2.1 Projeto Arquitetônico das Plantas:

Planta Baixa Subsolo:

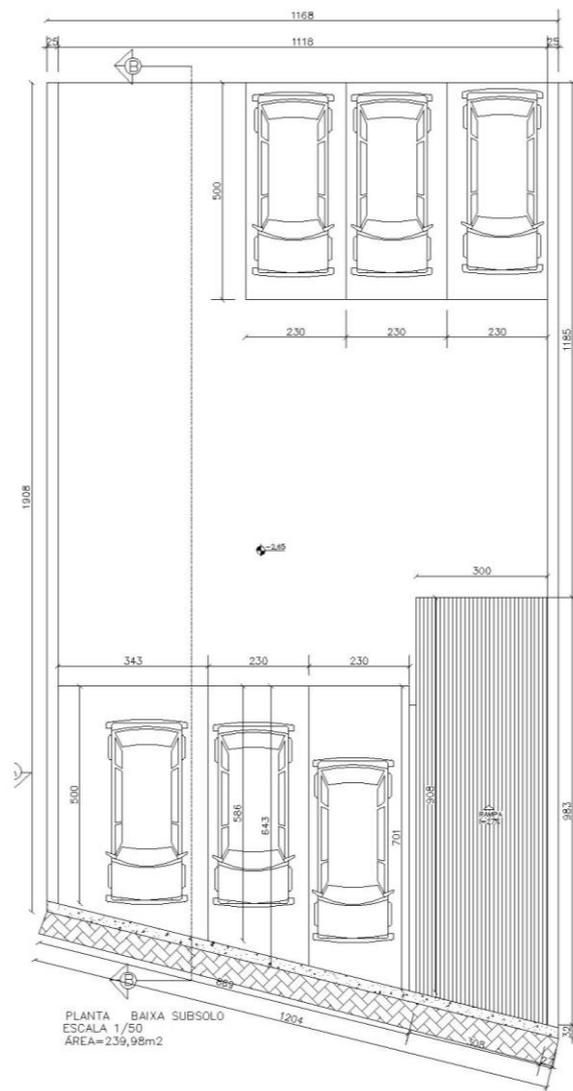
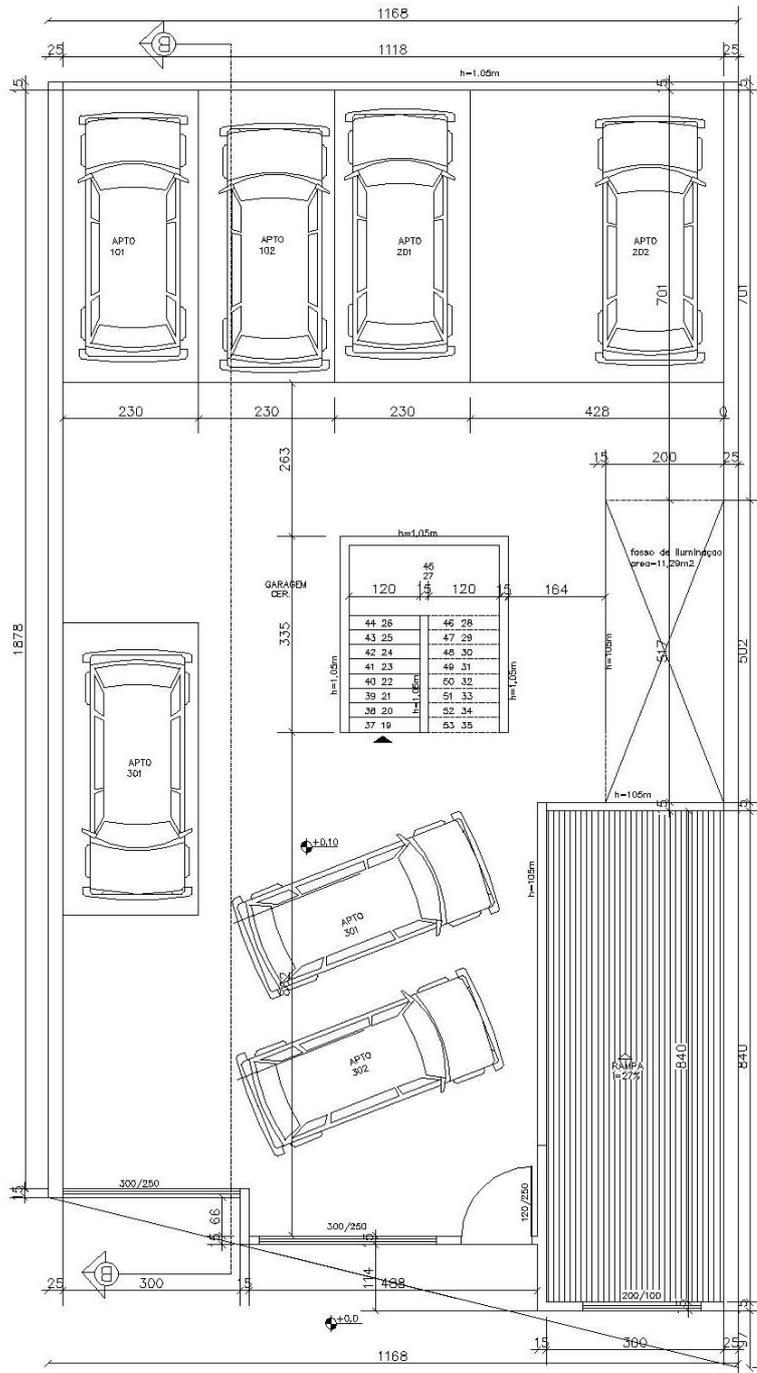


Fig. 5 – Planta Baixa do Subsolo

Fonte: Sr. Farage

Planta Baixa Térreo:

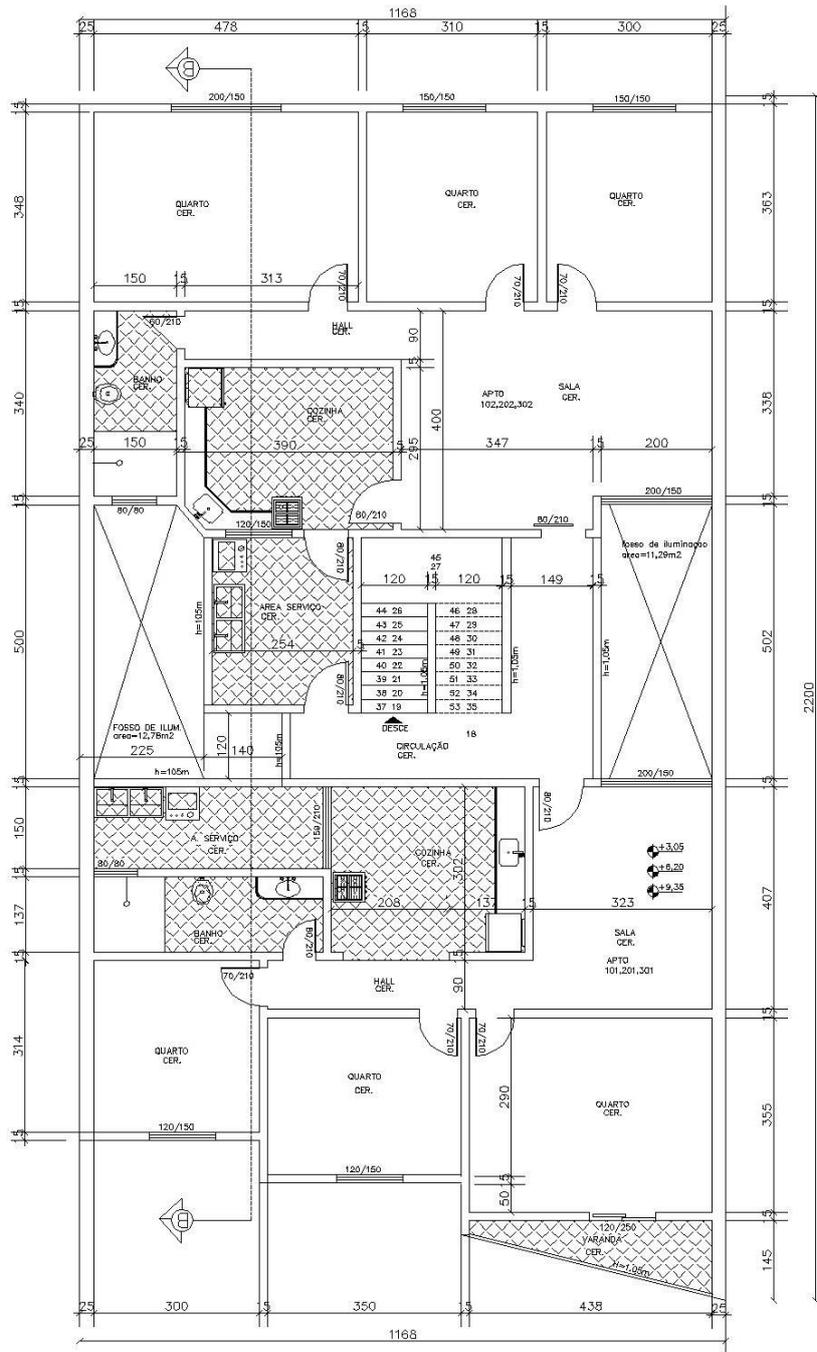


PLANTA BAIXA TERREO
 ESCALA 1/50
 ÁREA=223,68m2

Fig. 6 – Planta Baixa Térreo

Fonte: Sr. Farage

Planta Baixa Tipo:

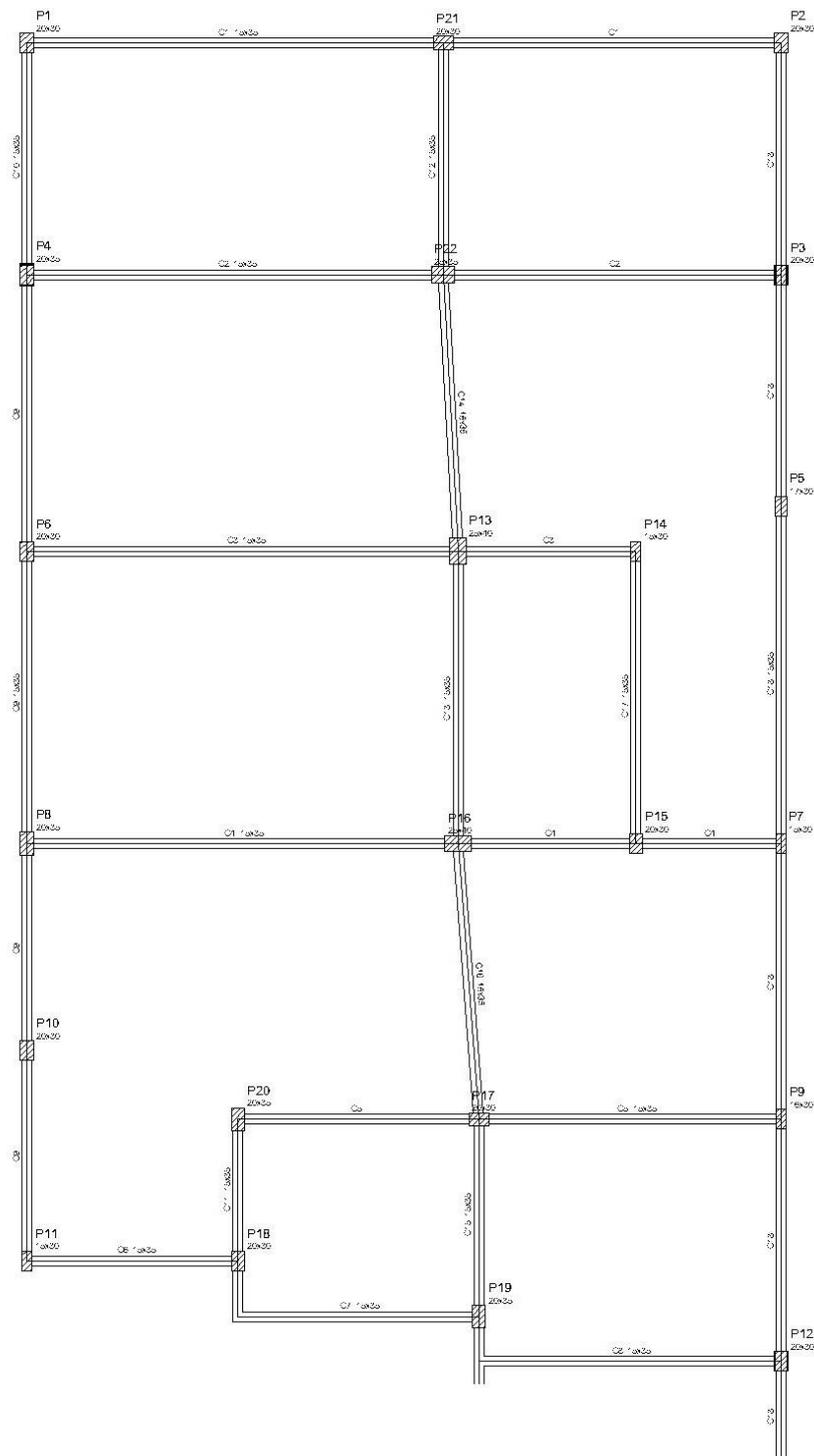


PLANTA BAIXA PAVTIPO 1°,2° e 3°
 ESCALA 1/50
 ÁREA=210,90x3=632,70m²

Fig. 7 - Planta Baixa Tipo

Fonte: Sr. Farage

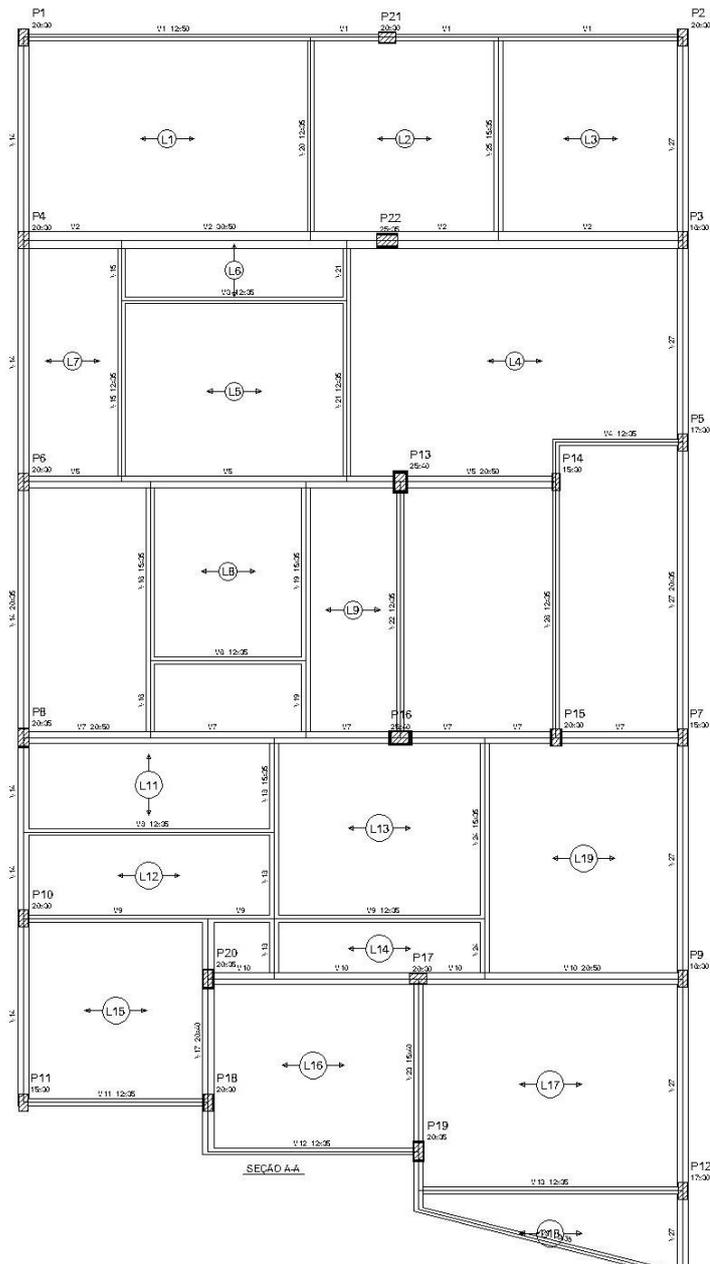
3.2.2 Projeto Estrutural dos Pavimentos: Planta Baldrame:



Fôrma do Pavimento Baldrame
Escala 1:50

Fig. 8 – Projeto Estrutural – Fôrma do Pavimento Baldrame

Fonte: Sr. Farage



Fôrma do Pavimento Térreo

Escala 1:50

viga de laje treliçada
malha sobre a laje D=5/6 c/25
enchimento 7cm fck 200kgf/cm²

Fig. 9 – Projeto Estrutural – Fôrma do Pavimento Térreo

Fonte: Sr. Farage

3.3 Problemas Encontrados pela Falta de Compatibilização do Projeto na Execução

a) Pilares locados na rampa de acesso da garagem do subsolo:

Houve falha na elaboração do projeto, sendo apresentados dois pilares na rampa de acesso da garagem, em local onde não foram observadas a largura mínima padronizada para a entrada de veículos. Na execução foram, entretanto, retirados os dois pilares sem a devida revisão do projeto estrutural.

b) Pilares não representados no projeto:

Na sequência de execução, ainda foi acrescentado no pavimento térreo, um pilar, na mesma viga onde foi retirado um dos pilares, com conseqüente sobrecarga na viga.

c) Sobrecarga Exagerada na Laje

Após os incidentes ocorridos, foram executadas todas as lajes e paredes da edificação. Por necessidades financeiras, ocorreu uma paralisação da execução nesta fase, sendo feita estocagem de materiais de consumo sobre a laje (50 sacos de cimento), e também colocação de resíduos (entulhos) da própria edificação. Dessa forma, tais procedimentos culminaram em uma maior sobrecarga sobre a laje do térreo.

3.4 Consequências Ocorridas pela Prática dos Erros Cometidos:

Devido a sobrecarga imposta sobre a laje do subsolo da edificação, teve-se como conseqüências a degradação do concreto em duas vigas, tais como:

- Formação de Fissuras de efeito cortante (figuras 10 e 11);

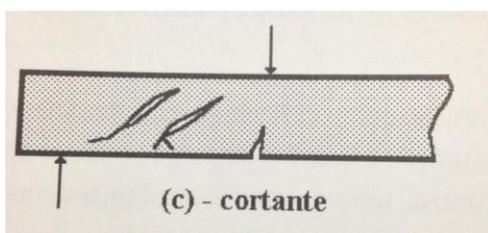


Fig. 10 – Figura Ilustrativa Fissura cortante



Fig. 11 – Fissura Cortante na Viga

- Ruptura da viga em questão (20 x 50 cm) – (fig.13 do capítulo 3.1.5)
- Consequente efeito de fissuras devido a flexão em outra viga paralela à viga em questão, conforme figura 12.

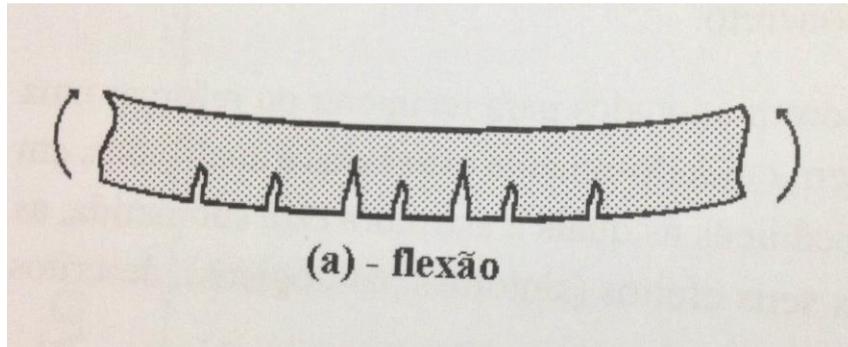


Fig. 12 – Figura Ilustrativa Fissura devida Flexão

3.5 Técnicas Utilizadas para Recuperação da Estrutura

3.5.1 Viga Metálica de Esforço Cortante (figuras 13 e 14)

- Recolocação do pilar retirado com recuo para esquerda de aproximadamente 70 cm, levando-o à posição correta de projeto;
- Colocação de uma viga metálica na parte inferior da viga danificada, com consequente reforço da mesma;
- Recomposição das rachaduras com groute
- A viga metálica foi colada com uma resina de alta capacidade de aderência e resistência mecânica;



Fig. 13 – Viga Metálica de Esforço Cortante



Fig.14 – Pilar Recolocado com recuo de 70 cm

3.5.2 Viga de Esforço de Flexão

- Escarificação da viga até as ferragens ficarem à mostra;
- Abertura de furos na laje adjacente à viga, nos locais de colocação dos novos estribos;
- Colocação dos estribos em posição, após uma rigorosa limpeza de toda viga. Os estribos são colocados abertos e fechados apenas após a sua amarração à armadura longitudinal;
- Colocou-se as fôrmas em posição, aplicando-se resina epóxi nas regiões de contato das novas armaduras com o concreto existente, e concretou-se com groute.

As figuras 15 e 16 apresentam a viga de esforço de flexão, onde pode-se ver o detalhe da recuperação da mesma e a colocação de escoramentos e fôrmas.

ESC 1:10

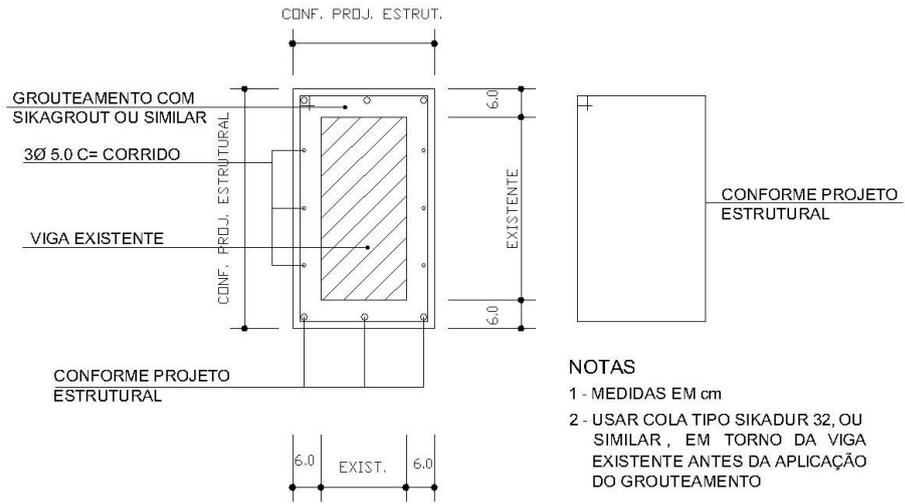


Fig. 15 – Detalhe da Recuperação das Vigas



Fig.16 – Colocação de Escoramentos e Fôrmas

4. CONCLUSÃO

Após a detecção do problema de projeto e de execução, houve uma mobilização para estudo na tomada de medidas de emergência para a solução do incidente, sendo elas:

- Elaboração de um novo projeto estrutural para compatibilizar a segurança de todo o prédio;
- Análise comparativa dos efeitos do projeto anterior e redimensionamento para a execução das medidas práticas de segurança;
- Elaboração dos dois modelos de projeto de recuperação e reforço da estrutura;
- Tomadas de medidas para execução da reforma das vigas;
- Execução de reforço da viga danificada com efeito cortante;
- Execução de reforço da viga danificada com efeito de flexão;
- Recomposição da rachadura com utilização de groute.

5 – Referencias Bibliográficas

AGUIAR, José Eduardo de. *Durabilidade, proteção e recuperação das estruturas*. Notas de aula. Especialização em Construção Civil (Especialização /Aperfeiçoamento) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

AGUIAR et al, José Eduardo. Relatório Técnico: Avaliação das estruturas de concreto. 1. rev. Belo Horizonte, 2011.

ALMEIDA, Luiz Carlos de. Aços para concreto armado: notas de aula da disciplina Estruturas IV, Concreto Armado. Universidade Estadual de Campinas, ago. 2002.

BASTOS, Paulo S. Notas de aula: *Fundamentos do Concreto Armado*. Bauru- SP: Universidade Estadual Paulista, 2006.

BOTELHO, M.H.C – Concreto Armado, eu te amo, 2 vols; Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

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

KAEFER, Luis Fernando – A evolução do Concreto Armado - 1998, p. 22.

OLIVEIRA, P.S.F. Proteção e Manutenção das Estruturas de Concreto. Engenharia, n.485, p. 11-26, nov. dez. 1991

SOUZA, Jr. Tarley F- Notas de aula: *Estrutura de Concreto Armado*. Universidade Federal de Lavras, 2004.

SOUZA, Vicente C. M. de e Ripper, Thomaz. Patologia, Recuperação e Reforço da Estrutura de Concreto. São Paulo: Pini, 1998.