

RONALDO FOSTER VIDAL,
FRANCISCO ELVAS FILHO
FERNANDO MONTEIRO CRUZ

RESOLVENDO SITUAÇÕES CRÍTICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Perícia

Goiânia/GO
2021

RESOLVENDO SITUAÇÕES CRÍTICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Resumo

Seguidas vezes os profissionais que atuam em perícias de análise de causalidade nas áreas de engenharia e arquitetura nos grandes centros urbanos do Brasil são solicitados a enfrentar problemas estruturais e resolvê-los. Nos mais diferentes tipos de edificações e em prol da solidez do imóvel e da segurança das pessoas, a perícia é acionada para intervir em diversos tipos de situações para dar tranquilidade aos moradores ou resposta exata a um desabamento. Desde um simples chamado sobre uma rachadura numa parede até complexos laudos sobre a ruína de prédios inteiros, os fundamentos principais neste tipo de trabalho devem ser, além do conhecimento geral de cálculo estrutural, a experiência prévia na realização de obras urbanas em concreto armado e a rapidez em apurar o funcionamento da estrutura examinada, para obter assim um resultado eficiente ao seu trabalho com a explícita identificação donexo causal. Em casos críticos se faz obrigatório o reforço imediato com escoras metálicas ou perfis de aço, dever do profissional responsável pelo exame da estrutura e pelo laudo, para evitar desabamentos e danos à saúde das pessoas e assim conseguir a preservação do patrimônio ameaçado.

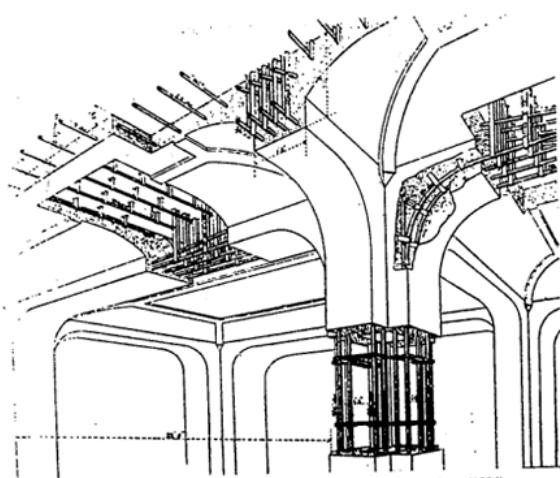
Palavras chave: ***Colapsos; Estruturas; Cargas; Efeito Rüsçh; Escoramentos.***

I – Objetivo:

Este trabalho tem como propósito fornecer um painel abrangente dos procedimentos a serem cumpridos pelos profissionais chamados a resolver situações críticas relativas a estruturas de concreto armado. Indica o leque de procedimentos para os profissionais terem consciência na análise do nexos causal de qualquer colapso estrutural na maioria das construções urbanas. Também o de apresentar exemplos reais de situações emergenciais que tiveram bons resultados graças à análise pericial, e determina a necessidade de escorar emergenciais situações possíveis de serem mitigadas.

II - Porque tem prédio que cai e porque tem prédio que não cai:

De início é necessário saber que o concreto é um material que, a princípio, tem durabilidade ilimitada, sendo-se, inclusive, que cresce de resistência à compressão com o tempo. Faz casamento perfeito com os vergalhões de aço que resistem à tração e são posicionados no interior do conjunto, protegidos da corrosão pelo recobrimento do próprio concreto. O primeiro edifício com este tipo de estrutura monolítica, lajes apoiadas em vigas e apoiadas em pilares formando um só conjunto, foi construído em Paris no ano de 1898 na Rue Danton nº1, pelo Engenheiro François Hennebique. Ele patenteou naquela época este sistema de estruturas. O prédio está lá perfeito, funcionando normalmente após 123 anos de uso, prova viva da eficiência deste método de construção. Ressaltamos que existem muitos outros casos de prédios com este tipo de estrutura que estão sólidos e úteis após quase 120 anos de construídos, como o “*Ingalls Building*”, prédio de escritórios com 15 pavimentos existente no centro de Cincinnati, Ohio, cujo “habite-se” é de 1903. E no Brasil temos o exemplo do prédio do Hotel Copacabana Palace no Rio de Janeiro, que fará cem anos em 2022.



1, Rue Danton, Paris – o primeiro edifício de concreto armado do mundo.

Nenhum destes prédios, assim como milhares de outros pelo mundo afora, caiu de velho, isto porque tiveram bons projetos, boa execução da obra e passam por manutenção periódica nos seus revestimentos e impermeabilizações ao longo das décadas de uso, ficando assim protegidos contra a corrosão. Estas construções possuem assim durabilidade quase ilimitada.

No entanto, têm prédios que caem ou que entram em perigosa situação de colapso iminente. Porque isto acontece? Acontece devido a uma, ou a associação de duas ou mais destas seis (6) causas abaixo listadas:

- a) Falhas nos projetos estruturais: ocorrem por erros no escritório de cálculo tais como: por esquecimento de alguma carga importante que deveria compor os cálculos realizados; por erro de conta simplesmente; ou ainda, por erro de desenho. Há ainda casos muito esporádicos do calculista projetar estrutura inédita e falhar. Exemplos: Pavilhão da Gameleira, Belo Horizonte; Edifício Palace II, Rio de Janeiro; desabamento da Estação Pinheiros da Linha 4 do Metrô de São Paulo; desabamento da piscina do edifício Parador em Vila Velha.



- b) Falhas nas fundações: podem ter muitas origens, como solo insuficientemente pesquisado e que apresenta camada ruim por debaixo de uma camada boa, estacas partidas ou mal ancoradas, etc. Exemplos: Edifício São Luís Rei, no Rio de Janeiro; Edifício Anêmona no litoral de Ubatuba, SP.



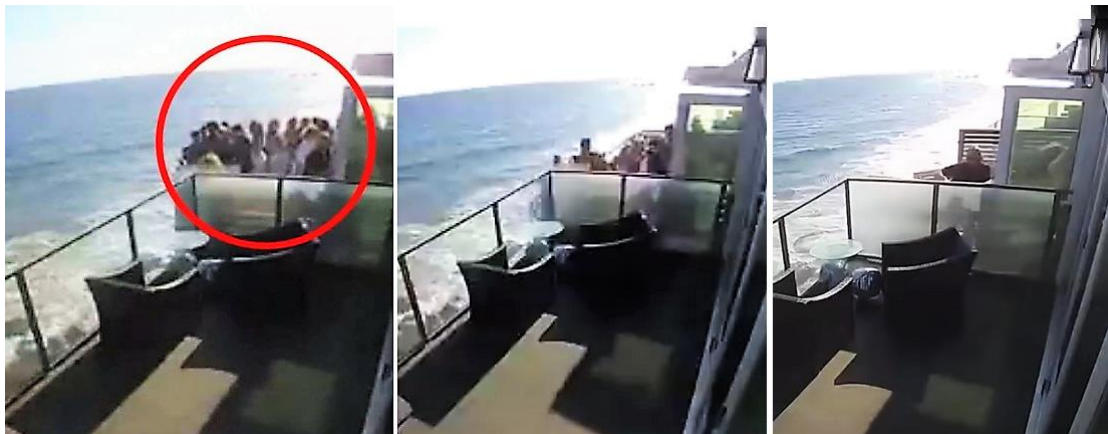
- c) Falhas de execução nos materiais, por negligência na execução ou por simples ignorância: ocorre por ausência de controle tecnológico durante a obra e/ou falta de supervisão do engenheiro. Os colapsos advêm de erro no traço do concreto, por vibração excessiva do concreto (brocas), de mau posicionamento dos ferros (ou até mesmo desvio dos vergalhões por roubo), por vergalhões de aço com têmpera ruim, por cura malfeita, por desforma errada da estrutura, ou devido a pancadas em local impróprio (em pilares, por exemplo) e muitas outras possibilidades. Exemplo comum: desabamento de varandas e marquises por colocação errada dos vergalhões negativos que as sustenta, desabamento de muros de arrimo por falta de armaduras, tirantes ou erro na sua colocação, etc.



- d) Corrosão em edificações sem manutenção correta: ocorrem desabamentos por corrosões advindas de falta de manutenção predial. Se vergalhões de concreto armado ficam expostos às intempéries e à umidade, a corrosão se instala e vai-se alastrando por dentro das peças estruturais, podendo levar ao colapso do conjunto, no todo ou em parte. Advêm de falta de cuidado na manutenção da estrutura. Exemplos: desabamento do Edifício Andréa em Fortaleza; desabamento do conjunto residencial Champlain Towers South em Surfside, na Flórida.



- e) Sobrecarga excessiva: as estruturas têm uma carga prevista em cálculo, mais uma sobrecarga de utilização, e mais um coeficiente de segurança. Porém, há proprietários e moradores que abusam destas margens de folga e colocam pesos nas estruturas que superam essas previsões, levando a estrutura ao colapso. É o caso de proprietários que colocam dois andares a mais nas suas unidades de cobertura (tríplices) sem os devidos cuidados, ou ainda que preenchem decks e lajes rebaixadas com areia e entulho em tal quantidade que adicionam peso além de todas as previsões e cuidados feitos pelo calculista e construtor, chegando ao ponto de fazerem desabar os seus imóveis com estas sobrecargas vultosas. Exemplos: desabamento de prédios informais nas comunidades carentes de Rio das Pedras e Muzema, no Rio de Janeiro; varanda durante uma festa em Malibu, na Califórnia (sequência abaixo).



- f) Vento anormal, fogo, explosão: quando na construção realizada ocorre algum acidente grave, como um incêndio ou uma forte explosão, ou ainda um impacto não previsto, a estrutura poderá ruir, mesmo estando bem projetada e construída. Exemplos: Torres do WTC em Nova Iorque em 2001; desabamento em 2018 do Edifício Wilton Paes de Almeida em São Paulo.



Por esta listagem praticamente exaustiva sobre a questão, pode-se verificar que o profissional de perícias nesta área estrutural deve ter no seu currículo, não apenas a formação necessária em cálculo estrutural e resistência dos materiais, mas também experiência em obras para poder discernir o que é uma construção corretamente edificada ou não. Possuindo o estudo e a experiência no seu currículo, ele irá chegar com segurança íntima ao local do problema e verificar qual onexo causal mais provável logo no seu primeiro olhar.

Claro, há casos óbvios, como o desabamento das torres gêmeas em Nova Iorque provocadas pelo impacto de dois aviões nas estruturas. Porém, pelo contrário há casos muito complexos e difíceis quando envolvem falhas graves no projeto da estrutura ela mesma, principalmente quando o profissional não tem em mãos o projeto original do prédio. Este, por exemplo, foi o caso do desabamento do Edifício Palace II no ano de 1998, muito polêmico na época, porque as plantas originais da estrutura sumiram e os peritos tiveram dificuldade para encontrar a verdadeira origem do problema e condenar o restante do prédio, que ainda continuava de pé, à implosão. Aliás, este fato anômalo até contribuiu posteriormente para confirmar que havia de fato vários erros de cálculo naquela construção.

III – Os falsos avisos de estrutura ruim:

Observa-se, porém, que há diversos casos do profissional ser chamado “*porque o prédio está caindo*” e de fato não está. Principalmente nas épocas em que acontecem acidentes graves relatados com destaque na mídia, tais como os citados no capítulo anterior, as pessoas comuns passam a ter pânico com qualquer tipo de rachadura existente no seu imóvel. Que fique claro que o profissional, lá chegando, deverá separar “o joio do trigo” e identificar logo de início se o problema apresentado pelo solicitante é estrutural ou não.

No nosso clima tropical, as edificações costumam sofrer movimentações térmicas significativas com o gradiente de temperatura entre um dia ensolarado e imediatamente depois chuvoso, ou entre o verão e inverno, ou ainda com a incidência irregular de sol forte em um lado do prédio. Em muitos casos, este efeito do clima na construção gera várias trincas e rachaduras nas paredes que o leigo entende como problema na estrutura, quando de fato não é.

É relativamente comum encontrarmos em vários edifícios novos trincas sucessivas a 45° junto às janelas das fachadas, trincas estas que não aparecem internamente nos mesmos locais do edifício (dentro das salas ou quartos). A um primeiro olhar, estas trincas poderiam sugerir recalque da fundação naquele ponto, porém, se formos olhar mais detidamente, poderemos perceber a falta da verga na

aresta da janela ou, simplesmente, a falta de chapisco de base antes do revestimento externo em emboço. Com as dilatações térmicas sucessivas, o emboço externo se solta e forma estas trincas.

Outro exemplo significativo deste problema aconteceu em diversos processos judiciais abertos na década de 1990 por condôminos de prédios que apresentavam muitas rachaduras nas paredes e a culpa foi inicialmente apontada para as estruturas. Constatou-se, porém, que estas rachaduras eram erráticas, sem uma sequência lógica no seu encadeamento, e se tornavam maiores e mais numerosas nas paredes perto das fachadas ao norte, as mais ensolaradas da edificação, ou nos pavimentos de cobertura.



Este levantamento indicou o caminho do nexo causal do problema crônico apontado, na medida que, através de vários testes, aberturas de janelas de inspeção nas alvenarias e medições das flechas das estruturas, ficou patente que foi causado por um problema do material novo (na época) empregado nas alvenarias de vedação destes edifícios. De fato, todos os painéis eram de tijolos de concreto celular autoclavado, material inerte e pouco resistente à tração que tem capacidade de absorção térmica muito reduzida (isolante térmico) ao contrário dos demais materiais comumente utilizados em construções (estruturas de concreto armado ou aço, tijolos cerâmicos, emboços, perfis de aço e alumínio, etc.). Como estes tijolos foram aplicados às estruturas colados firmemente entre si e junto às vigas e lajes mediante cimento cola, formaram assim um painel excessivamente rígido e esticado, como o couro de um tamborim. Resultado: com as sucessivas dilatações e retrações térmicas naturais do nosso clima, as trincas e rachaduras foram aparecendo, aparecendo, aparecendo porque, enquanto a estrutura expandia de tamanho no calor ou retraía no frio, os tijolos permaneciam imutáveis, do mesmo tamanho...

O caso, portanto, não foi de defeito na estrutura, mas sim da falta de compatibilidade dos módulos de condutibilidade térmica entre os materiais empregados nestes edifícios, que eram muito diferentes entre si, o que foi agravado pela aplicação do cimento cola ao conjunto estrutura/paredes.

E, ainda neste capítulo das falsas impressões, há relatos até do fato tragicômico de alguns vistoristas, sem formação adequada, ficarem alarmados com algumas grandes trincas verticais nas fachadas de edifícios e considerarem que a estrutura deva estar caindo, alertando inclusive o Síndico e mobilizando a Defesa Civil. No entanto, estas trincas vieram a se revelar apenas uma junta de dilatação da estrutura que veio a ser preenchida por massa de pintura, que a mascarou, e estava, obviamente, abrindo formando uma rachadura com aspecto assustador ao olhar leigo.



IV – Como avaliar rapidamente se uma estrutura é ruim ou está ruim:

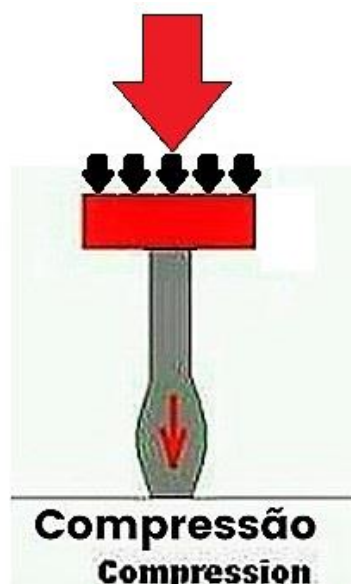
Ao iniciar a vistoria de qualquer edificação que apresente sinais efetivos de risco estrutural, o profissional deverá verificar rapidamente como ela de fato funciona ou deveria funcionar. A forma da estrutura, suas dimensões, seus pontos de apoio e as cargas incidentes com os seus encaminhamentos naturais podem e devem ser avaliados logo no primeiro instante. Também deve ser apurado imediatamente se há indícios de que a edificação foi mal projetada ela toda, ou executada de modo falho durante a obra, por ser situação que agrava bastante qualquer perigo iminente e dificulta os respectivos procedimentos de escoramento ou reforço.

De fato, o profissional experiente sabe quais são as boas construtoras da sua região e poderá identificar logo de imediato se está em um prédio a princípio bastante sólido que, no entanto, está apresentando um problema. Porém, se o prédio foi bem projetado e construído, dificilmente ele não irá se preocupar que a segurança completa do conjunto e irá focar a sua análise no ponto em que ocorreu o colapso ou a deformação perigosa. Nestes casos a análise fica mais facilitada e pode ser realizada de modo rápido e eficiente.

Já no caso do profissional estiver vistoriando prédio com indícios de má execução geral da obra, o profissional deverá avaliar se estes defeitos poderão levar o prédio à ruína por efeito cascata a partir do ponto colapsado. Este tipo de perigo veio a ser comprovado em vários casos, como no episódio do Edifício Palace II no Rio de Janeiro e dos prédios do conjunto residencial Champlain Towers South na Flórida, porque em ambas as construções havia erros graves nos seus projetos de estrutura e vieram a cair por efeito dominó a partir de apenas um ponto localizado de colapso.

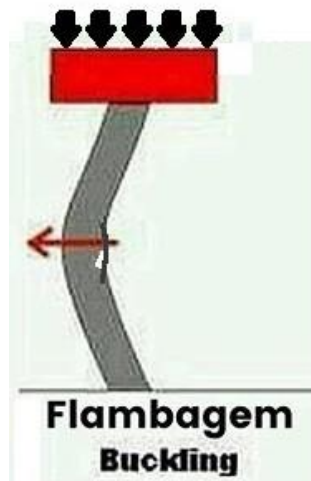
No entanto, seja numa hipótese ou na outra, deve-se identificar corretamente o que aconteceu, ou que está acontecendo no ponto crítico da estrutura, sendo importante ter em mente que colapsos de estruturas de concreto armado acontecem usualmente das seguintes formas:

1. Ruptura por esmagamento do pilar – causado pelo excessivo esforço de compressão aplicado, podendo ocorrer por sobrecarga anômala ou falha na concretagem da peça (brocas internas). Um exemplo: esmagamento pela rara incidência de ventos excepcionalmente fortes na fachada de edifícios de grande altura que, pela sua forma e eventual esbeltez na transversal do vento, venha a gerar uma sobrecarga de compressão muito grande, acima do coeficiente de segurança projetado, nos pilares do lado oposto, levando-os à ruína. Olhando-se um pilar esmagado se vê que o miolo da peça fica com o concreto esfacelado e os vergalhões saltam para fora, envergados em todas as direções. Este tipo de colapso não dá sinais prévios por deformação ou fissuração, simplesmente acontece.

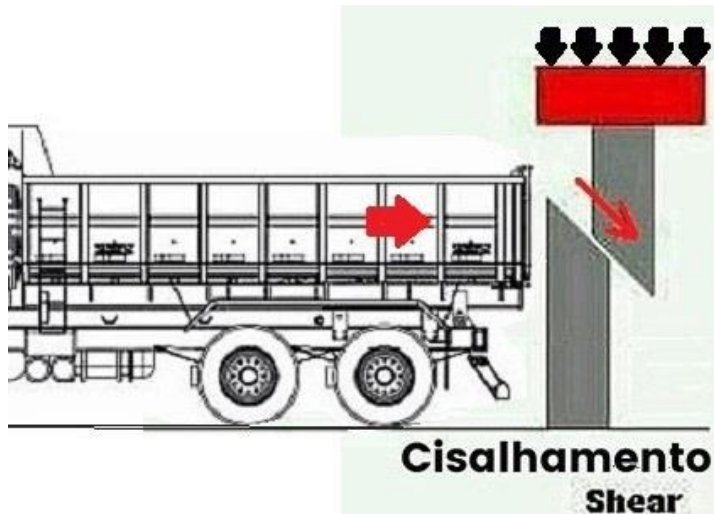


2. Ruptura por flambagem do pilar – pilares são dimensionados conforme a carga que recebem e são calculados pela forma e tamanho da sua seção em relação à sua altura. Se algum carregamento anômalo, ou um corte na sua seção, ou ainda a corrosão dos seus vergalhões, diminuem a sua capacidade de

resistência eles envergam (flambam) no comprimento vertical, podendo romper com a quebra do concreto e o embarrigamento dos vergalhões saltando para fora da face arqueada da peça. Esta ruptura pode avisar pela flecha aparente que começa a aparecer com o arqueamento do pilar ao longo da sua altura.

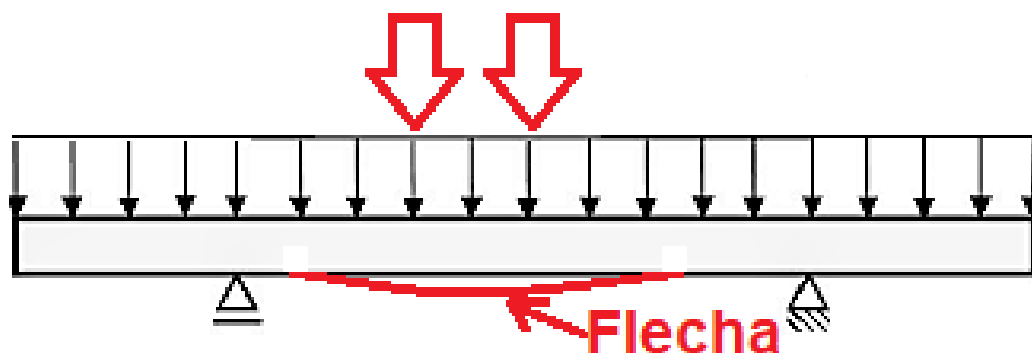


3. Ruptura por cisalhamento do pilar – advém de um esforço não previsto no dimensionamento do pilar como, por exemplo, atingido pela pancada transversal de um pesado caminhão dando a ré sobre ele. Este tipo de ruptura aparece como uma grande rachadura transversal e inclinada na seção do pilar a 45° aproximadamente.



4. Ruptura por flexão – sabendo-se que as vigas e lajes trabalham com a compressão na sua parte superior e a tração na parte inferior, quando bi apoiadas, ou ao contrário em balanços e zonas de continuidade de vigas e lajes. Nestes casos a quebra da estrutura normalmente avisa com o aparecimento de flechas anormais nas vigas e lajes acompanhadas de trincas, porém não avisa quando o problema está localizado nos balanços, que sempre desabam repentinamente sem qualquer prévio aviso. Importante saber também que as flexões, simples ou compostas, ocorrem também nas zonas do encontro

das vigas e pilares, ocasionadas por diversos fatores como a força dos ventos muito fortes, por exemplo.



5. Ruptura por colapso das fundações: as fundações das estruturas são de três tipos, a saber: diretas (sapatas); indiretas (estacas, tubulões, etc.) ou em “radier” (placa estrutural em toda a base do prédio). Por alguma razão geotécnica, como solo mal prospectado por exemplo, ou de dimensionamento estrutural insuficiente, ou ainda por falha na execução, as fundações podem ceder em uma parte do prédio (recalque diferencial) ou completamente (afundamento geral do edifício) propiciando na supraestrutura tensões altas que venham a colapsá-la pelas razões expostas nos subitens precedentes.

Identificado pelo profissional na listagem acima apresentada a que caso pertence o ponto crítico que está sendo vistoriado, ele deve proceder ao exame do local na busca a mais rápida possível da origem do problema identificando a sua, ou suas, causas. Quando o caso for de corrosão das armaduras, recalque das fundações ou de acidente externo, incêndio ou explosão, a origem fica facilmente identificada logo de imediato.

Porém, se o caso for de flexão, flambagem ou esmagamento, o profissional deve proceder a algumas apurações rápidas e práticas das forças incidentes na estrutura examinada, confrontando-as com os danos encontrados no local. Este cálculo prévio, aproximado, é fundamental para a possível identificação do nexos causal com a possível execução imediata de medidas de escoramento correto, ou ainda, para a indicação dos reparos possíveis. Este mesmo procedimento deve ser feito também quando há o desabamento parcial ou total da edificação, porém já se sabendo de antemão que nesta situação trata-se de fato consumado, sem mais qualquer possibilidade de ser mitigado pelo profissional da perícia em face do que já se encontra destruído.

As apurações iniciais, feitas de modo expedito, são:

- I. Carga incidente sobre um pilar: é rapidamente apurado medindo-se a área de influência das lajes e vigas do edifício sobre aquele pilar específico, multiplicada pela quantidade de andares até a cobertura. Apurado o total da superfície

carregada, multiplica-se por uma tonelada por metro quadrado e temos uma ideia aproximada da carga suportada pelo pilar. Segue exemplo de um cálculo rápido das cargas incidentes sobre um apoio no pavimento térreo:

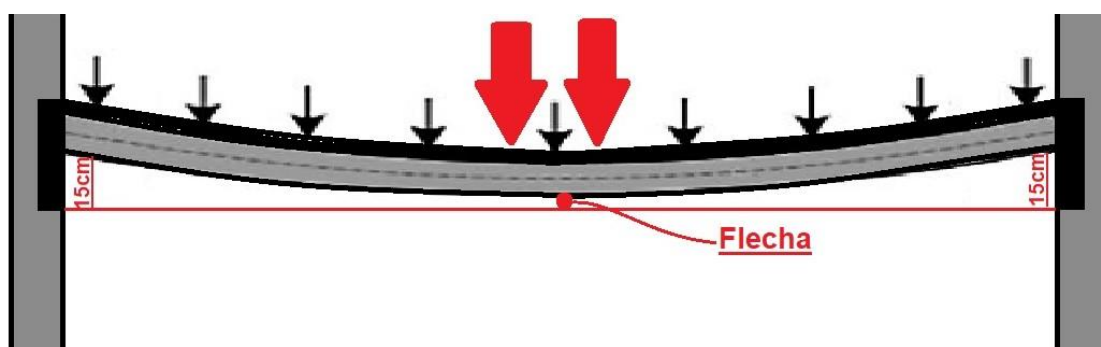


- II. Capacidade mínima de resistência do pilar: mede-se a seção horizontal útil do pilar em centímetros e multiplica-se a área obtida por $F_{ck} = 135\text{kgf/cm}^2$, em caso de prédios antigos, construídos antes do ano 2000, ou por $F_{ck} = 180\text{kgf/cm}^2$ em prédios mais recentes. Este cálculo rápido, indicado para pilares até 5,00m de comprimento em altura, indica a sua capacidade de suportar o peso da carga apurada no subitem anterior ou não. Segue modelo:

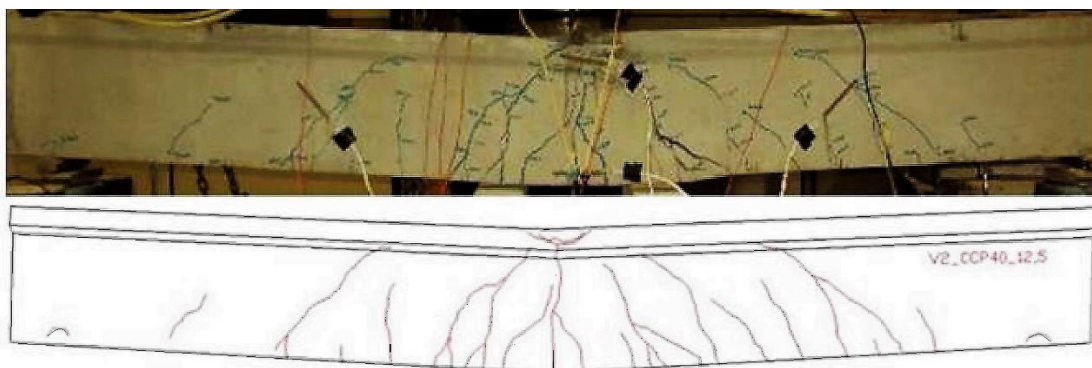


- III. Vigas ou lajes próximas do limite de ruptura: quando uma viga, que obviamente sustenta as lajes de uma construção, está próxima da ruptura, ela apresenta

uma flecha anômala avisando do problema. Aquela “barriga” para baixo que começa a aparecer no meio do vão denuncia que está sofrendo um carregamento acima do normal, ou então, que está subdimensionada, ou ainda, com falha de execução ela mesma. Usualmente os deslocamentos máximos das vigas devem ter o limite de até 1/300 avos do vão, se apoiadas dos dois lados, e de 1/200 avos do vão se engastadas e em balanço, porém podem ocorrer fissurações em alvenarias apoiadas nas estruturas por deslocamentos menores que os indicados. O modo simples e rápido de medir as flechas existentes no local é mostrado nesta ilustração abaixo.



Também importante o profissional saber que tipo de fissuração aparece numa viga fletida. A configuração típica deste problema estrutural é mostrada no desenho abaixo apresentado



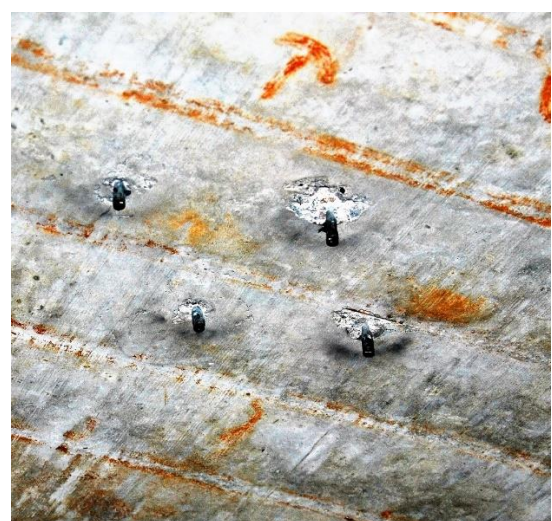
- IV. Verificação da resistência do concreto: também importante verificar se a capacidade à compressão da estrutura está correta. Pode-se testar a resistência do material através de três métodos: a) por extração de testemunhos e rompimento na prensa em laboratório, o melhor método, porém demorado e mais caro; b) por pancadas no local em superfícies lisas da peça através de um esclerômetro de impacto (sabendo-se que mede apenas a tensão superficial do concreto); c) em prédios mais antigos, com “habite-se” anterior ao ano 2000, mede-se a resistência do concreto através da cravação de pinos conforme o Método do Professor Domingos Pontes Vieira. A seguir, apresentamos fotos que demonstram como são feitos estes procedimentos.



a) Extração de testemunhos com ruptura em laboratório.



b) Esclerometria, aparelho que mede o resultado do impacto no concreto.



Método da cravação com medição da parte aparente do pino após o impacto.

- V. Também é conveniente que o profissional verifique a existência de armaduras corretamente dispostas dentro das peças estruturais, o que pode ser feito usando os atuais 'scanners' de paredes. Este instrumento é útil quando se desconfia de insuficiência de vergalhões ou, até mesmo a simples ausência deles em vários pontos da estrutura examinada. O procedimento é simples e rápido, conforme ilustrado abaixo.



Verificando o espaçamento dos estribos na altura de um pilar

Conseqüentemente, se o profissional fizer estas verificações sobre a qualidade do concreto do edifício, sobre o dimensionamento dos pilares e das vigas e sobre a existência de armaduras confiáveis dentro das peças estruturais da edificação e se tudo estiver satisfatório, se deduz que o prédio foi bem construído e o problema encontrado estará localizado apenas no ponto crítico aparente. Porém, se algum dos testes revelar problemas de execução e o prédio apresentar uma estrutura fraca, o profissional deverá redobrar de cuidado no exame do problema encontrado, porque poderá não ficar adstrito apenas ao local do incidente e tenderá a se espalhar comprometendo todo o conjunto pelo efeito dominó que a estrutura ruim proporciona.

Este efeito perigoso aconteceu, por exemplo, no caso do desabamento parcial inicial do edifício Palace II no Rio de Janeiro. Quando os peritos e os técnicos da Prefeitura foram examinar os escombros de uma ala que foi à ruína na madrugada do dia 22/02/1998, foram percebendo que todo o restante do prédio estava fissurando e estalando perigosamente. Houve um segundo desabamento parcial cinco dias depois e o prédio veio a ser implodido no dia 28 seguinte. De fato, o Palace II estava com substanciais erros de cálculo nele todo e não possuía a mínima condição de ser escorado ou recuperado.

Observa-se assim, a partir deste caso concreto e de vários outros já registrados, que é fundamental o profissional verificar logo de início a qualidade da construção que está sendo vistoriada, para que não venha a ter surpresas desagradáveis.

V – Identificada a causa, avalia-se o risco e indica-se solução:

O profissional, ao vistoriar um imóvel com algum problema estrutural, após constatar onexo causal que ocasionou o acidente deverá avaliar os riscos advindos da situação encontrada. Objetivamente falando, deverá informar se há risco iminente de queda da construção ou não.

Final, se a construção tiver falhas graves e o problema estrutural começou em local que possa atingir os espaços construídos ao seu redor, ele deverá decidir se interdita o prédio ou não. E, em paralelo, encontrar uma solução que estabilize a construção e dê tranquilidade o mais rapidamente possível ao imóvel. São decisões difíceis e que expõem muito o profissional da perícia, mas que se impõem obrigando assim a uma avaliação fundamentada e a análise lógica da situação encontrada no local.

Apresentamos nos itens anteriores deste trabalho o painel geral dos procedimentos básicos para exame e avaliação da estrutura de qualquer tipo de construção em concreto armado, exatamente para que o perito tenha ferramentas confiáveis para apreciar e definir o que deve ser feito imediatamente no local, mesmo se não tiver em mãos as plantas do imóvel. Como, aliás, foi o caso citado acima da decisão dos peritos pela implosão do que restou do edifício Palace II no Rio de Janeiro em 1998, porque o prédio estava muito instável e perigoso, sem qualquer possibilidade de escoramento e recuperação. Mesma coisa aconteceu mais recentemente no condomínio Champlain Towers South na Flórida, que veio desabando em efeito dominó e o que sobrou foi implodido.

Deve-se ter cuidado em prédios perto de ambientes agressivos, como na orla oceânica, quando apresentam vasto comprometimento das armaduras dos seus pilares pela corrosão. Um caso típico deste problema ocorreu no Edifício Andréa em Fortaleza, Ceará, que veio a desabar totalmente no dia 15/10/2019 no meio de uma obra de recuperação de pilares corroídos. O condomínio, depois muito tempo e vários avisos de ferrugem se alastrando na estrutura do edifício, resolveu enfim realizar a obra de restauro das armaduras e recomposição dos pilares contratando a empresa de engenharia mais barata.

Esta começou a fazer o serviço sem os devidos cuidados, isto é, fazendo uma avaliação detalhada do comprometimento real dos pilares para saber se o coeficiente de segurança da estrutura estava muito comprometido ou não. No entanto, começou a fazer o seu trabalho intervindo na estrutura imediatamente, descascando os cobrimentos do concreto e lixando a ferrugem dos vergalhões sem efetuar nenhum escoramento prévio da estrutura. O resultado é que o desgaste adicional das intervenções dos reparos levou um dos pilares a não mais suportar o carregamento e a ceder. A partir deste primeiro pilar os demais, que também estavam fracos, não

foram suficientes para absorverem as sobrecargas e tudo veio a ruir em efeito dominó. Nesse descuido da engenharia, morreram nove pessoas e o edifício, com seus sete pavimentos, virou escombros.



A partir deste caso e de vários outros desastres relatados, cabe lembrar aqui um fato importante a respeito da resistência do concreto armado. Este material tem aumento da sua resistência à compressão ao longo do tempo, sim, conforme incontáveis estudos realizados, porém isto acontece se ele estiver trabalhando com as folgas necessárias dos coeficientes de segurança estabelecidos em normas técnicas. Desta forma, em um prédio bem construído ele estará suportando esforços de 55% a, no máximo, 75%, do seu limite de ruptura pelo carregamento aplicado.

Porém uma peça estrutural que seja solicitada por carga muito grande e próxima do seu limite de ruptura por um longo período de tempo, terá o efeito contrário: irá perder a capacidade de resistência do seu material. Esta realidade, denominada de “**efeito Rüsck**”, explica porque um prédio ou pilar, excessivamente carregado, não desaba na hora, mas sim depois de alguns dias, ou até mesmo meses, por **fadiga estática**. Isto aconteceu no prédio de Fortaleza, que veio a desabar porque estava com perda dos vergalhões dos seus pilares por corrosão e, também, com a perda correspondente de seção de concreto dos seus pilares. Desta forma, os pilares perderam seção efetiva de resistência à compressão porque o que restou de concreto sadio na parte central dos pilares do edifício ficaram sobrecarregados e foram

perdendo paulatinamente a sua capacidade de resistência. Desta forma, o prédio desabou repentinamente, por inteiro, praticamente de uma vez só.

Portanto, o profissional que esteja examinando uma estrutura “doente”, além de constatar o nexos causal em relação ao acidente pelo qual foi convocado, deverá ter em conta também a necessidade premente da edificação ser devidamente **escorada** para que não haja riscos. Se a empresa de engenharia que foi contratada pelo condomínio do Edifício Andrea em Fortaleza tivesse escorado as vigas existentes na garagem, poderia ter trabalhado em paz na recuperação dos pilares corroídos pela maresia e este terrível acidente não teria acontecido.

Os procedimentos de escoramento, portanto, devem ser indicados pelo profissional que está trabalhando na vistoria e realizados rapidamente. Antigamente, os profissionais indicavam a famosa “fogueira de dormentes” como uma solução imediata. Atualmente isto é desaconselhado, tanto pela dificuldade em encontrar este tipo de material como pelo fato de ocupar muito espaço do ambiente no entorno do pilar ou viga colapsada, o que atrapalha os trabalhos posteriores de recuperação.

Portanto, todo e qualquer escoramento emergencial deve ser feito com escoras prontas ou com perfis metálicos soldados, materiais estes existentes em praticamente qualquer lugar deste país. São peças mais leves, que podem ser transportados e posicionados na edificação por uns poucos operários, e que têm capacidade de resistência conhecida podendo assim garantir segurança ao procedimento através de cálculos expeditos da carga que podem suportar. Seguem alguns exemplos de escoramento prático e eficiente para situações críticas em estruturas:

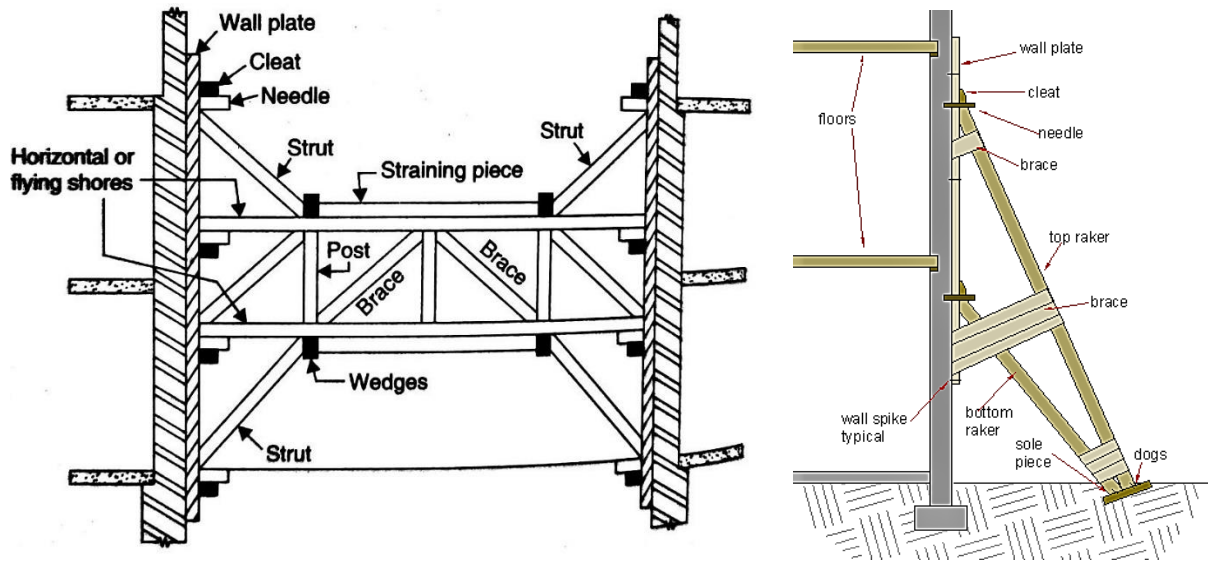


Escoramentos emergenciais feitos com peças tubulares telescópicas prontas. Este material é alugado facilmente no mercado e costuma suportar 1 tonelada cada um.

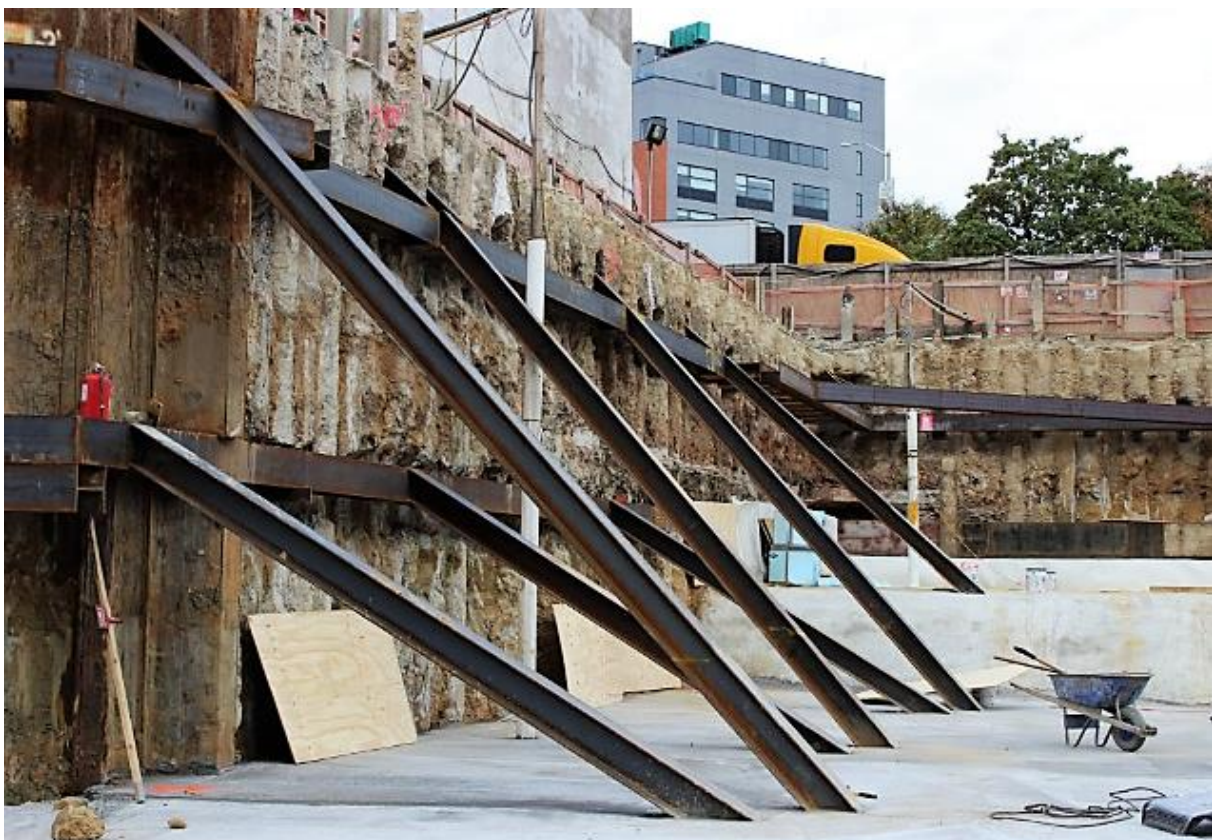


Escoramentos feitos com torres metálicas prontas. Também é material alugado no mercado que pode ser disponibilizado rapidamente para efetuar o procedimento.





Modelos de escoramentos emergenciais laterais, feitos com peças de madeira bruta (pranchões) ou perfis de aço soldados





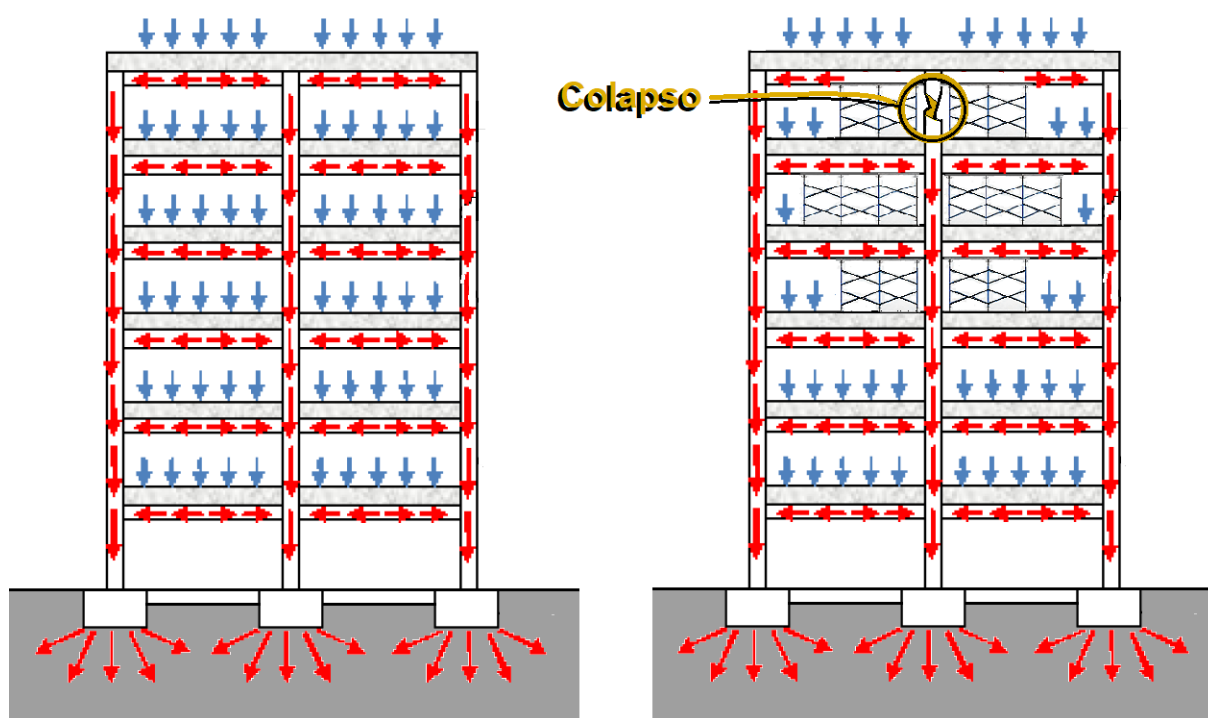
Escoramento feito com perfis de aço contra a flambagem de pilares corroídos.



Escoramento especial devidamente calculado como estrutura de aço para atender a esta situação específica no trabalho de recomposição de um pilar colapsado.

Outro cuidado a ser cumprido quando é feito o escoramento emergencial de qualquer parte de uma edificação, diz respeito à correta redistribuição da carga que foi objeto do colapso. Afinal, houve um acidente na estrutura e o profissional deverá estudar os seus efeitos no contexto do conjunto como um todo, de modo a evitar que o trecho afetado seja escorado de forma a que não ocorra nenhum excesso de carregamento perigoso em trechos próximos ao problema.

Quando o colapso ocorre no subsolo ou no andar térreo, o escoramento terá base sólida de apoio para ser aplicado, isto é, o próprio solo e as fundações. Porém, como proceder se o colapso acontece no último pavimento de um edifício? Esta situação passa a ser analisada através do desenho e respectivos comentários abaixo apresentados.



Quando por exemplo um pilar central localizado no último andar colapsa, o escoramento jamais poderá ser apenas naquele pavimento porque senão dobra a carga incidente nas vigas do teto e pilares do pavimento logo abaixo. Devido a este fato simples, o escoramento deve começar no mínimo dois pavimentos abaixo e ir subindo, de modo a redistribuir as cargas incidentes em três níveis diferentes de vigas e pilares. Com este cuidado, a carga adicional será de, no máximo, 25% a mais nas vigas e pilares abaixo do ponto do colapso, o que permite a absorção da carga adicional pelo coeficiente de segurança da estrutura. Importante considerar que a montagem deste escoramento deverá ser feita obrigatoriamente do andar mais baixo para o andar mais alto, para que seja eficaz.

Cumpridos estes preceitos, o profissional estará garantindo segurança aos moradores e proprietários das construções que, por alguma razão devidamente

apurada no local, tiveram a infelicidade de sofrer um problema estrutural no seu imóvel.

VI – Um caso real de escoramento emergencial:

Demonstrando na prática como acontecem de fato estes procedimentos emergenciais, passamos a relatar perícia real realizada no prédio situado à Avenida Atlântica nº 3.530, esquina com a Rua Almirante Gonçalves, no bairro de Copacabana no Rio de Janeiro. O Edifício Alcazar é um prédio misto, residencial e comercial, erigido no final dos anos 1940 de frente para o mar. Tem dez pavimentos, incluindo o térreo com duas lojas e a garagem, cuja arquitetura se constata na foto abaixo.



No início da noite de uma quinta feira no ano de 2011, o colega telefonou para mim comunicando que o Juiz da 5ª Vara Cível da Comarca da Capital estava nos convocando para uma perícia urgente, urgentíssima, neste edifício, em relação a uma Ação de Nunciação de Obra Nova aberta pelo condomínio contra o proprietário e o inquilino das lojas térreas. Segundo relatado, o problema teria ocorrido por obra malfeita em andamento nas lojas do edifício, com risco de desabamento.

Aceitei o encargo e, junto com ele, pegamos o processo no Fórum e fomos fazer a diligência no local no dia seguinte, às 14,00h, junto com a decisão liminar do Juiz determinando o embargo da obra. Lá chegando, acompanhados das partes e assistentes técnicos, constamos de plano que os pilares existentes no andar térreo

dentro do imóvel se apresentavam profundamente corroídos pela maresia, conforme ilustrado nas fotos a seguir apresentadas.



O que originou a situação crítica da estrutura destas lojas, foi o fato de que ali estava instalado há mais de quarenta anos um restaurante de comida típica hispano-alemã, O Alcazar, cuja decoração aplicou no lugar lambris de madeira, retirando nesta mudança de revestimento o emboço forte que até então existia em volta dos pilares. Ora, o lambri é o tipo de revestimento que não fornece nenhuma proteção aos vergalhões contra a corrosão, o que proporcionou a longa e profunda oxidação dos pilares nestas quatro décadas de uso pelo restaurante, que foi agravada pela proximidade do imóvel em relação à praia de Copacabana.

No entanto, naquele ano de 2011, o restaurante típico saiu e o novo inquilino retirou a decoração antiga para reformar com a sua própria decoração para um ambiente de lanchonete de *fast food*. Ao arrancar os lambris, descobriu o problema já em estágio avançado de perda das seções das armaduras de aço da estrutura do edifício, como está mostrado nas fotos acima.

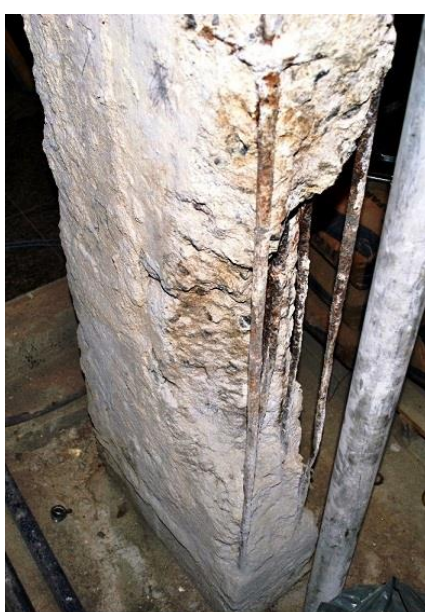
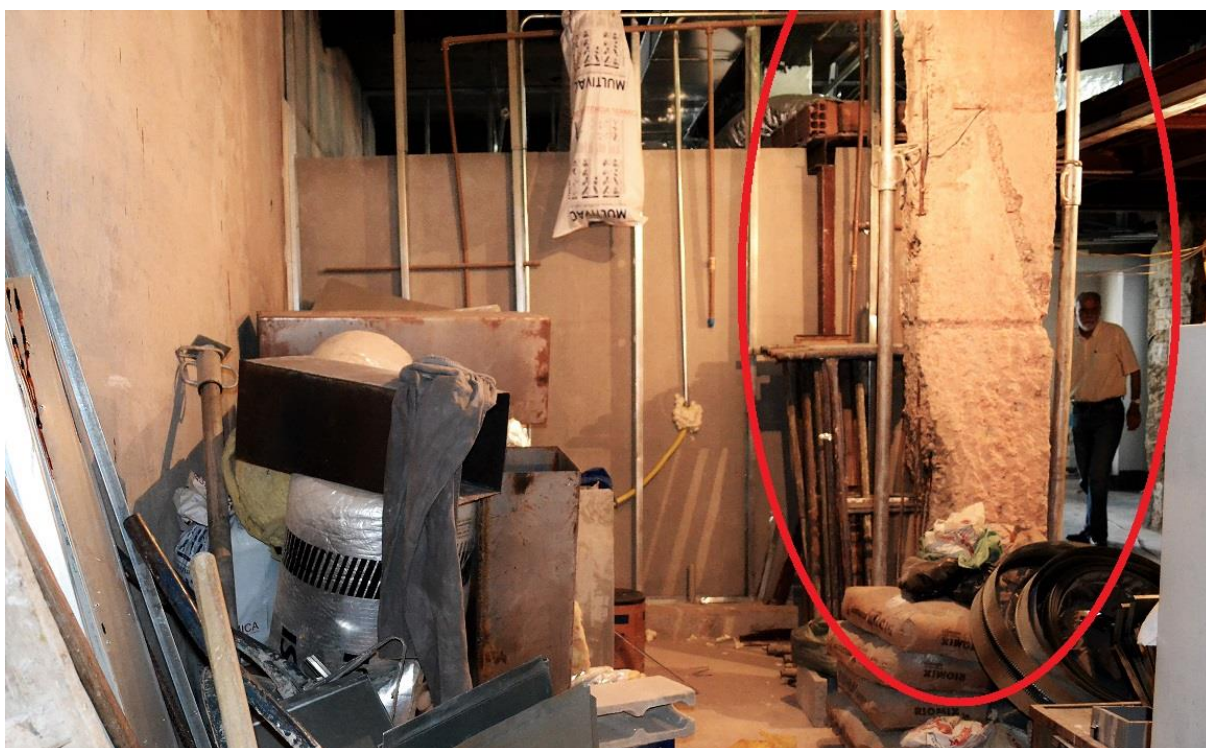
Diante desta realidade, o inquilino avisou o Condomínio do que tinha descoberto comunicando também ao Síndico que começaria imediatamente a fazer as obras de recuperação da estrutura combalida. Para tal tarefa, contratou uma empresa de engenharia por concorrência do menor preço, empresa esta que, sem escorar a estrutura, começou a fazer as obras necessárias do modo registrado na sequência de imagens abaixo apresentada.



Este descascamento manual do concreto, necessário para a recomposição das armaduras, foi feito pela empresa de engenharia sem nenhum cálculo ou avaliação de riscos. O Condomínio não gostou do que viu e abriu o processo judicial de Nunciação de Obra Nova contra o proprietário das lojas e contra o inquilino que estava fazendo estas obras, isto pelo justo receio de que o procedimento que fora observado

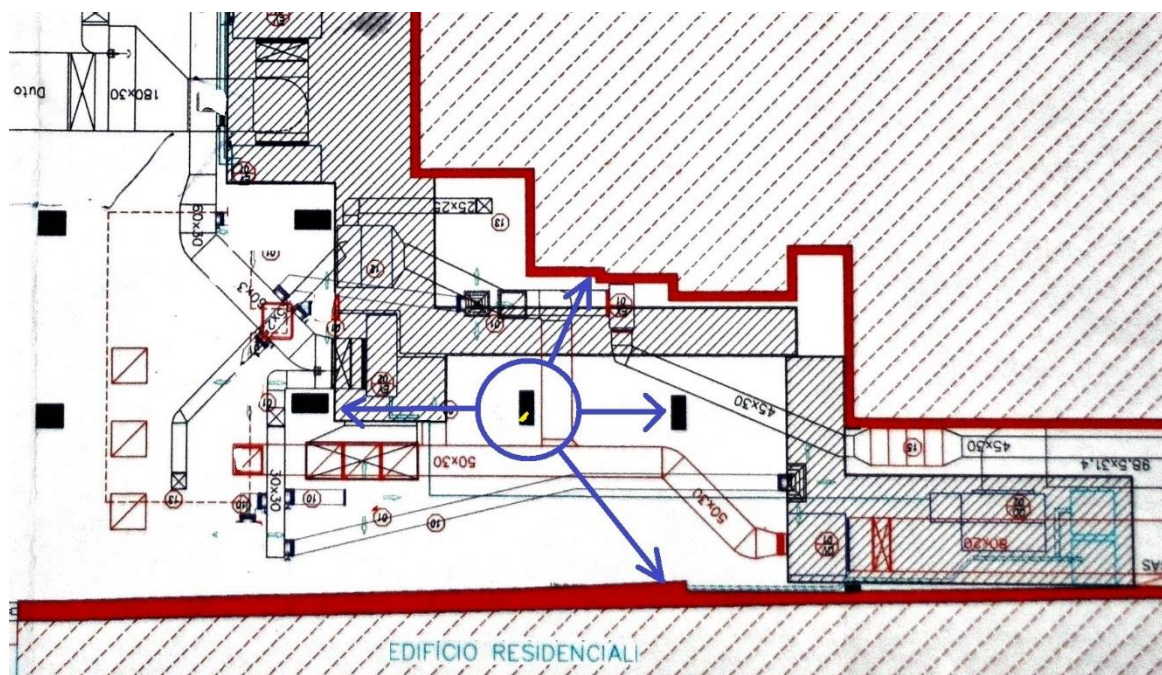
estava sendo feito de modo incorreto e que poderia trazer consequências graves ao edifício como um todo.

E os advogados do condomínio tinham toda a razão em assediar o Juiz e pedirem urgência na liminar de embargo da obra e na realização da vistoria judicial, isto porque, quando nós, peritos, lá chegamos, além do cenário dantesco das profundas e generalizadas corrosões dos pilares, encontramos na parte mais ao fundo do imóvel um dos pilares flambado, com os vergalhões expostos e retorcidos. O registro deste problema grave ficou documentado nas fotos a seguir.



O pilar estava envergado e partido, apoiado por apenas duas escoras metálicas de uma tonelada cada que a empresa de engenharia colocou ali emergencialmente. Ele colapsou devido à corrosão e ao tratamento de corte e limpeza da sua seção para efetuar o tratamento. O corte realizado foi além do coeficiente de segurança da estrutura e a flambagem ocorreu de madrugada, segundo o testemunho do vigia da obra, que ouviu o estrondo da ruptura quando não tinha ninguém trabalhando. Temos assim mais uma prova do efeito Rüsç.

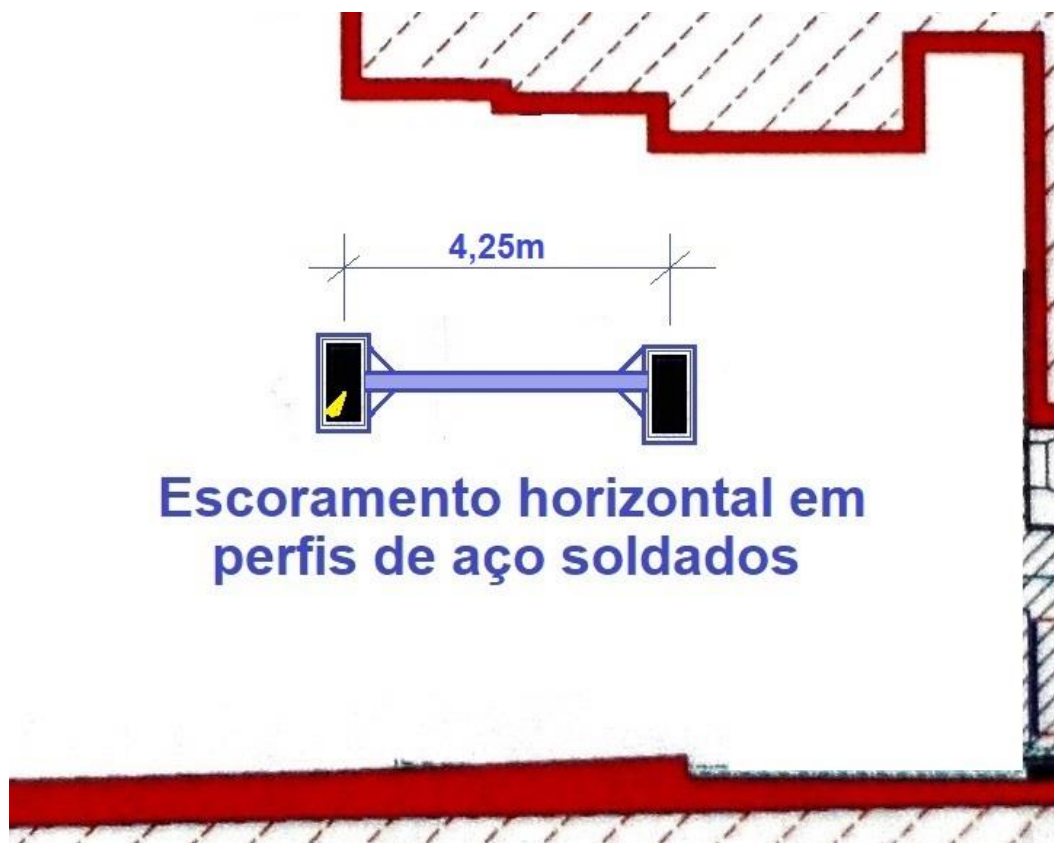
O prédio não caiu naquela hora porque a sua construção, de modelo tradicional, era de boa qualidade e o pilar, ao colapsar, teve a sua carga redistribuída pelas vigas para os pilares vizinhos, como fica ilustrado na planta do local abaixo reproduzida.



Diante deste quadro perigoso na medida que este pilar suportava uma carga de aproximadamente 100 toneladas, fomos no pavimento imediatamente acima, um apartamento. Lá encontramos sinais claros de que a estrutura tinha cedido naquele ponto e o que suportou a queda do edifício foram de fato os pilares vizinhos. Seguem fotos de alguns dos danos encontrados neste imóvel.

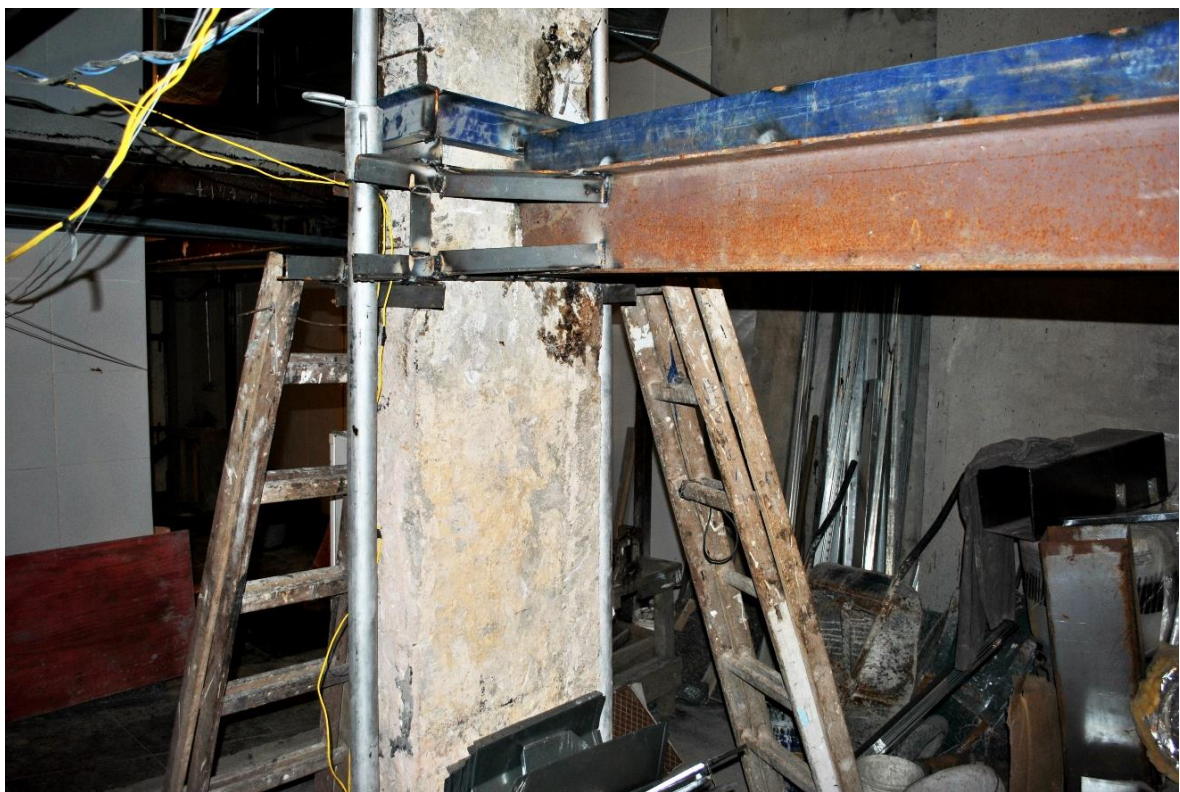


Frente a esta realidade nós, os peritos, decidimos ali mesmo efetuar um escoramento emergencial do edifício. O problema que causou o dano era a esbeltez excessiva do pilar rompido, que flambou. Conseqüentemente, o melhor escoramento para flambagem consistiu em aplicar um perfil horizontal de aço, devidamente dimensionado, abraçando o pilar ruim em paralelo com o pilar bom mais próximo e a meia altura, conforme o desenho a seguir feito na época.



Acompanhados do Assistente Técnico do Condomínio e do Réu inquilino, voltamos ao Fórum naquela mesma tarde de sexta-feira e despachamos com o Juiz, que, por sua vez, decidiu levantar parcialmente o Embargo da Obra para a realização imediata deste escoramento, sob pena de multa diária. O desenho correspondente a este escoramento de emergência foi devidamente anexado aos autos.

Como tudo deveria ser feito num fim de semana, orientamos o Réu a comprar os perfis em um ferro velho e convocar um serralheiro para fazer o quadro de aço logo em seguida. Deixamos com ele os desenhos feitos por nós à mão para poder procurar cantoneiras de abas iguais e perfis de aço de seção "I" ou "H", dentro das bitolas padrão indicadas que seriam necessárias para escorar o conjunto. Isto veio a ser feito ao longo do sábado e parte do domingo, com a execução das soldagens pelo serralheiro sob a nossa supervisão. Eis o resultado:



No domingo, quando o serralheiro deu os últimos pontos de solda nesta estrutura metálica improvisada, as quatro escoras tubulares vistas nestas fotos afrouxaram espontaneamente e caíram ao chão... porque isto aconteceu?

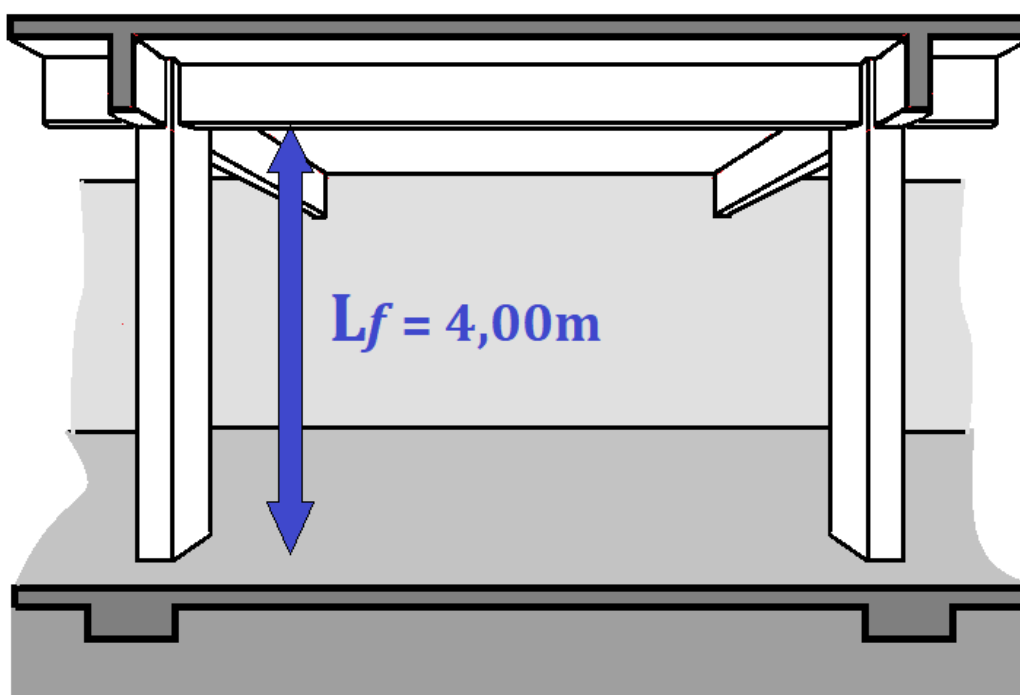
O conjunto das lajes, vigas e pilares, principalmente estes dois últimos, formam um quadro estrutural que é um pouco elástico devido às propriedades do concreto armado. Neste caso aconteceu que um dos pilares não suportou o corte da sua seção horizontal, ficou esbelto em demasia e flambou, partindo, mas sem o esmagamento do concreto na sua parte sã. No entanto, as lajes e vigas da parte superior do quadro cedeu um pouco e, com a carga redistribuída, ficou em equilíbrio, porém instável, pressionando as escoras. Afinal, os engenheiros da obra colocaram as quatro escoras tubulares “no sufoco”, usando este equipamento leve para aliviar um pouco a pressão, porém estas escoras, obviamente, ficaram também sob forte pressão, na mesma tendência de flambar junto com todo o conjunto pilares e escoras.

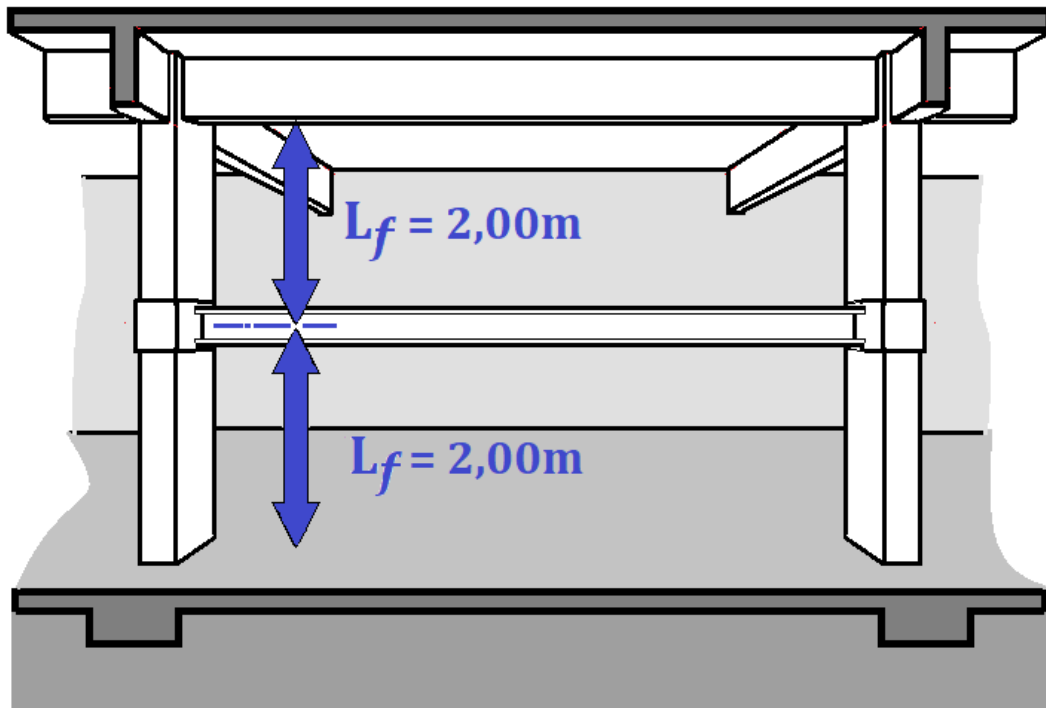
O escoramento horizontal com o perfil metálico abraçando os dois pilares entre si a meia altura entrou para modificar o quadro estrutural sob risco. A **carga crítica** de flambagem de um pilar é calculada pela Fórmula de Euler que assim se expressa:

$$\text{fórmula de Euler: } P_{CR} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_f^2}$$

Onde: **E** é o módulo de elasticidade longitudinal do material (concreto armado) em Pascal; **I** é o menor momento de inércia da seção em m^4 ; e **L_f é o comprimento de flambagem da peça em metros.**

Ora, sublinhamos o componente da fórmula que interessa ao caso, posto que quanto maior for o comprimento da altura do pilar, menor será a carga crítica que ele poderá suportar. E, vice-versa, quanto **menor** for sua altura **maior será a sua capacidade de carregamento**, porque o **L_f está no denominador da fórmula.**





Portanto, na prática, esta modificação efetiva do quadro dos pilares existentes no local do colapso passa a ter uma enorme melhora graças à aplicação da ligação à meia altura com o perfil de aço, interligando a estrutura à meia altura. Pela Fórmula de Euler, com este procedimento nós **DIMINUÍMOS À METADE O COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM**, multiplicando instantaneamente **cerca de quatro vezes a mais a resistência destes dois pilares à flambagem**. Desta forma, alivia-se de imediato todas as tensões do conjunto e afasta-se qualquer risco de desabamento.

E de fato, conforme testemunhamos na época, as pequenas escoras tubulares afrouxaram, se soltaram do teto e caíram ao chão quando foram feitos os últimos cordões de solda no escoramento metálico.

VII – Conclusão:

Examinadas as possibilidades mais usuais de colapsos em estruturas de concreto armado, concluímos que o profissional deve ter consciência da importância de conhecer bem a dinâmica da forma e dos carregamentos a que é submetida a estrutura existente no local, para definir corretamente o que acarretou o problema. E, em seguida, deve se preocupar com as consequências advindas do acidente em relação ao restante da edificação, indicando o escoramento prático e rápido a ser aplicado no ponto crítico da construção e, também, nos ambientes próximos ao local do acidente se necessário for.

Bibliografia:

- BAUER, Luiz Alfredo Falcão. “Materiais de Construção Civil”. Vol. 1. 5ª Ed. Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. São Paulo, 1994.
- BOLINA, Fabrício; TUTIKIAN, Bernardo; HELÈNE, Paulo - “Patologia de Estruturas” – Editora Oficina de Textos – 2019.
- CÁNOVAS, Manuel Fernández. “Patologia e Terapia do Concreto Armado” – Ed. PINI. São Paulo, 1987.
- MOREIRA DE SOUZA, Vicente C. & Ripper, Thomaz – Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto – Pini - 1998.
- NBR 6.112 – 1996 – “Projeto e Execução de Fundações” – ABNT.
- NBR 6.118 – 2014 – “Projeto de Estruturas de Concreto” – ABNT.
- NBR 6.120 – 2018 – “Ações para os Cálculos de Estruturas de Edificações” – ABNT.
- NBR 9.607 – 2017 – “Prova de Carga Estática em Estruturas de Concreto” – ABNT.
- NBR 13.752 – 1996 – “Perícias de Engenharia na Construção Civil” – ABNT.
- NBR 15.200 – 2004 - “Projeto de estruturas de concreto em situação de Incêndio” – ABNT.
- NBR 15.575/2 - 2013 – “Desempenho: Requisitos para os Sistemas Estruturais” – ABNT.
- POLILLO, Adolpho – “Dimensionamento de Concreto Armado” volumes 1, 2 e 3 – Editora Científica – 1973.
- POLILLO, Adolpho – “Mecânica das Estruturas” volumes 1 e 2 – Editora Científica – 1977.
- RÜSCH, Hubert. “Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete”. ACI Journal: Proceedings. Julho, 1960.
- THOMAZ, Ercio – “Trincas em Edifícios” – coedição IPT/EPUSP/Pini -
- VERÇOSA, Ênio José – “Patologia das Edificações” – Editora Sabra, 1991