



Monografia

"ACIDENTES ESTRUTURAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Autor: José Eduardo Dallacqua Santiago
Orientador: Prof. Adriano de Paula e Silva

Julho/2014

JOSÉ EDUARDO DALLACQUA SANTIAGO

"ACIDENTES ESTRUTURAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Patologias das Construções
Orientador: Prof. Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2014

A minha mãe Lúgia, meu pai Francisco, meu
irmão Henrique e minha irmã Helena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial ao professor Adriano de Paula e Silva que desde o princípio se entusiasmou e contribuiu para a realização desse trabalho.

Agradeço a Minasplan Empreendimentos e em especial ao Eng. Marcelo Rocha Figueiredo e ao Eng. José Cláudio Nogueira que foram decisivos para que essa Especialização fosse realizada e que esse trabalho fosse concluído.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Caracterização do problema	1
1.2 Contextualização dos acidentes ocorridos no Brasil.....	2
1.3 Objetivos	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Acidentes devido a ação da corrosão do aço	7
2.1.1 Edifícios em áreas industriais.....	7
2.1.2 Edifícios em atmosfera marinha	8
2.1.3 Edifícios em atmosfera viciada.....	9
2.2 Acidentes devido a erros de execução.....	9
2.2.1 Falhas no escoramento.....	10
2.2.2 Falhas na execução das fôrmas.....	14
2.2.3 Falhas no lançamento e adensamento do concreto	15
2.2.4 Falhas devido a erros na cura do concreto.....	16
2.3 Acidentes estruturais devido ao recalque de fundações.....	16
2.3.1 Execução de fundação em solo compressível.....	18
2.3.2 Execução de fundação direta e fundação profunda em aterros.....	19
2.3.3 Falhas na execução de estacas ou tubulões.....	21
2.4 Acidentes devido a falhas de projeto e detalhamento	23
2.5 Acidentes devido ao mau uso das edificações	26
2.6 Acidentes em marquises	30
3. ESTUDO DE CASO	32
3.1 O controle tecnológico do concreto da construtora	32
3.1.1 Recebimento do concreto usinado na obra	32
3.1.2 Controle tecnológico.....	34
3.2 O controle tecnológico da obra.....	36
3.2.1 Rastreabilidade do concreto.....	36
3.2.2 Planilha do controle tecnológico do concreto	41
3.3 Detecção do problema	42
3.3.1 Retirada dos testemunhos.....	43
3.3.2 Avaliação e solução do projetista	43
4. CONCLUSÃO	45
5. BIBLIOGRAFIA	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema de escoramento e ações de construções, CUNHA (1998)	11
Figura 2.2 - Colapso causado por recalque do solo, CUNHA (1998)	12
Figura 2.3 - Colapso causado por desalinhamento das escoras, CUNHA (1998)	12
Figura 2.4 - Colapso provocado por ruptura da forma, CUNHA (1998)	13
Figura 2.5 - Colapso do escoramento devido a ação do vento, CUNHA (1998)	13
Figura 2.6 - Aterro sobre turfa orgânica, MARCELLI (2007).....	19
Figura 2.7 - Estacas em aterro, MARCELLI (2007)	21
Figura 2.8 - Estaca cravada em terreno com matacão, MARCELLI (2007)	22
Figura 2.9 - Falhas em estacas moldadas no local, MARCELLI (2007).....	23
Figura 2.10 - Novos métodos de cálculo exigem detalhamentos mais elaborados, ALVES (2011)	25
Figura 2.11 - Problemas típicos de projetos, ALVES (2011)	26
Figura 2.12 - Remoção de paredes portantes, MARCELLI (2007)	28
Figura 2.13 - Remoção de um vão de laje e viga contínua, MARCELLI (2007).....	28
Figura 2.14 - Detalhe do surgimento de microfissuras nas marquises, MEDEIROS (2007)	31
Figura 3. 1 - Relação de horário de entrada do concreto na obra e saída da usina de concretagem	33
Figura 3. 2 - Teste do abatimento do tronco de cone (slump test)	33
Figura 3. 3 - Moldagem dos corpos de prova	34
Figura 3. 4 - Rastreamento do concreto - 1ª Laje (Parte 1)	37
Figura 3. 5 - Rastreamento do concreto - 2ª Laje (Parte 1)	38
Figura 3. 6 - Rastreamento do concreto - 2ª Laje (Parte 2)	39
Figura 3. 7 - Pilares entre 1º e 2º pavimento	40
Figura 3. 8 - Reforço no pilar P110	44
Figura 3. 9 - Reforço nos pilares P112 e P120.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. 1 - Histórico de principais acidentes ocorridos no Brasil, SILVA (2011).....	5
Tabela 2. 1- Problemas típicos decorrentes da ausência de investigação, MILITITSKT	17
Tabela 3. 1 - Frequência de amostragem conforme o elemento estrutural	34
Tabela 3. 2 - Controle tecnológico parte 1.....	41
Tabela 3. 3 - Controle tecnológico parte 2.....	42
Tabela 3. 4 - Resultado do rompimento dos testemunhos	43

RESUMO

Os acidentes estruturais na construção civil acontecem com grande frequência em todo o mundo tanto em fase de execução quanto durante o seu uso. É de extrema importância que sejam divulgadas as causas e disseminadas pelo meio técnico e acadêmico, algo que muitas vezes não acontecem, sendo perdidas informações valiosas para o progresso da engenharia e construções futuras.

Nesse trabalho serão discutidas as principais causas de acidentes estruturais na construção civil. Será realizado um estudo sobre a corrosão do aço de estruturas localizadas em diversos tipos de ambientes, como em área industrial e área marinha. Acidentes devido a erros de execução, como falhas ocorridas no escoramento, na montagem das fôrmas, durante a concretagem, erros na cura, lançamento e adensamento do concreto. Também serão estudadas falhas devido ao recalque de fundações, falhas no projeto e detalhamento, falhas devido ao mau uso das edificações e as principais causas que levaram a queda de marquises.

Será realizado um estudo de caso relatando a importância do controle tecnológico do concreto, como forma de garantir a resistência de projeto, evitando que o mesmo contribua como uma causa de um possível acidente estrutural.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do problema

Os acidentes estruturais na construção civil ocorrem com frequência em todo o mundo, porém, a não ser pelos noticiados na mídia, poucas pessoas e profissionais da área tem conhecimento destes eventos.

Normalmente ocorrem em ação conjunta de diversos fatores inerente ao processo construtivo das estruturas, passando desde a concepção e execução, até a a sua utilização.

De acordo com CUNHA (1998), alguns fatores contribuem decisivamente para aumentar a possibilidade dos acidentes estruturais:

- O envelhecimento das estruturas, que entram em sua fase de maturidade, ou seja, próximo da vida útil pelas quais foram projetadas;
- O meio ambiente onde elas se encontram, devido a grande poluição atmosférica causada pelo alto grau de industrialização das cidades;
- O crescimento acelerado da construção civil, necessitando de inovações tecnológicas, as quais trouxeram por si mesmas a aceitação de maiores riscos.

Tudo isso, aliado as falhas ocorridas na fase de concepção do projeto, da execução das estruturas e da má utilização dos usuários, acaba tornando-se um ambiente propício para a ocorrência de acidentes estruturais.

SOUZA (2009) diz que os erros mais frequentes que provocam os acidentes se resumem basicamente na má avaliação dos carregamentos, na modelização inadequada da estrutura, em detalhamentos errados ou ineficientes, na deficiência e falta de controle de qualidade durante a execução, em sobrecargas excessivas não previstas e na falta de um programa adequado de inspeção e manutenção das obras já concluídas. Os autores ainda salientam que um acidente estrutural nunca ocorre por um único fator, mais sim por múltiplas causas que se somam nas condições mais desfavoráveis.

Em 1919, segundo BAUER (2000), a AREA (American Railway Engineering Association) publicou um resumo de 25 acidentes de construções de concreto e classificou-as em:

- Cálculo impróprio;
- Erro nos materiais;
- Erros de mão de obra;
- Carregamento prematuro ou remoção das formas e escoramentos antes do completo endurecimento do concreto;
- Insuficiência de fundações;
- Incêndios.

E terminava o relatório enfatizando: Acreditamos que somente por uma cuidadosa inspeção será possível diminuir o número de acidentes.

Como referência histórica, a preocupação em se evitar acidentes, de acordo com BAUER (2000), data de 1.800 A.C., no Código de Hamurabi elaborado na Mesopotâmia, com as seguintes regras básicas:

- Se o construtor fizer uma casa para um homem e não a fizer firme, e se seu colapso causar a morte do dono da casa, o construtor deve morrer;
- Se causar a morte do filho do dono da casa, o filho do construtor deverá morrer;
- Se causar a morte de um escravo do proprietário da casa, o construtor deverá dar ao proprietário um escravo de igual valor;
- Se a propriedade for destruída, ele deverá restaurar o que foi destruído por sua própria conta;
- Se o construtor fizer a casa para um homem e não fizer de acordo com as especificações, e uma parede cair, o construtor reconstituirá a parede por sua conta.

1.2 Contextualização dos acidentes ocorridos no Brasil

De acordo com CUNHA (1998), anteriormente a década de 70, as estruturas apresentavam seções maiores em seus elementos estruturais (vigas, lajes e pilares), e vãos livres menores, obtendo maior robustez e estabilidade. A partir daí, com os

novos conceitos de cálculo, priorizando ao máximo a racionalidade dos materiais e a tendência de vencer grandes vãos, surgiram estruturas mais esbeltas.

O desenvolvimento tecnológico, segundo BAUER (2000), tem suas indiscutíveis vantagens quando aplicados com rigor técnico, porém podem ter inconvenientes graves, se for utilizado mal, e sem o seu conhecimento verdadeiro e integral. Assim, uma boa arquitetura e bons projetos estruturais, levam a estruturas esbeltas, que se colocadas em ambientes agressivos, podem surgir manifestações patológicas, reduzindo sua durabilidade e aumentando os custos de manutenção.

Após a década de 70, os acidentes na construção civil começaram a despertar mais interesses por parte da população. Um dos marcos foi o acidente da Gameleira em Belo Horizonte, provocando a morte de 64 pessoas, sendo que até hoje há discussões sobre o que ocasionou o colapso da estrutura.

Com a aceleração das obras e a necessidade da redução de gastos, como exemplo a compra de materiais com preços muito abaixo da média de mercado, sendo muitos não enquadrados dentro dos padrões das normas de qualidade, potencializou a origem de edificações não funcionais. Isto aliado com os novos métodos de cálculos estruturais, provocou a origem de várias patologias, tanto nos elementos de vedação, quanto nos componentes estruturais.

A falta ou a má gestão nas obras, com a baixa qualificação e capacitação dos profissionais inseridos na construção civil, também é considerado um dos grandes fatores de riscos para a má construção. Não havendo um controle rigoroso por parte da equipe de engenharia, principalmente na fase de execução, provavelmente haverá a origem de fenômenos patológicos. Como exemplo, a origem de fissuras e trincas em elementos estruturais, ainda em fase de construção, provocadas pela utilização de concreto com baixa resistência, formação de ninhos de concretagem por falta de vibração, erros na cura do concreto, na retirada das formas precocemente ou pela falta de alguma armação prevista em projeto.

Após o desabamento do Edifício Areia Branca na cidade de Recife no dia 14 de Outubro de 2004, o Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON promoveu um evento dedicado à discussão das causas do acidente e as medidas necessárias para reduzir riscos de desastres como o ocorrido. Como resultado desse Debate Técnico,

chamado de “Lições do Areia Branca”, as entidades presentes acharam oportuno lançar um manifesto público.

Esse manifesto foi elaborado pelo ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), IBAPE/SP (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo) e do IBRACON. Nele entende-se como quatro as grandes etapas do processo construtivo: concepção, projeto, execução e uso/manutenção.

Considerando-se sendo a vida útil das estruturas de 50 a 100 anos, os autores chegaram a conclusão que a etapa de uso/manutenção passa a ter grande importância na segurança das edificações, visto que as primeiras são desenvolvidas no período inicial do processo, e supervisionados por profissionais habilitados, enquanto o uso e manutenção, estende-se pelo longo tempo restante, e na maioria das vezes ficam sob supervisão de proprietários leigos.

De acordo com SOUZA (2009) na maioria dos acidentes ocorridos no Brasil foram observados os seguintes problemas: concepção estrutural inadequada, traço inadequado para o concreto estrutural, deficiência de cobrimento das armaduras, posicionamento inadequado das armaduras negativas em balanços, detalhamentos deficientes ou inadequados, falta de sondagem adequado no solo, alteração das medidas originais especificadas em projeto, construção de outros pavimentos ou outros elementos não previstos, falta de manutenção, corrosão de armaduras, falta de orientação e acompanhamento dos profissionais responsáveis junto aos encarregados da obra.

Para SILVA (2011) o reconhecimento de engenheiros especialistas em patologia das edificações, por parte da sociedade e órgãos copetentes, é um fator preponderante para o decréscimo de desastres ocorridos nos últimos anos (tabela 1.1)

SOUZA (2009) cita como os acidentes mais importantes ocorridos na última década o Edifício Atlântico em 1995 (Guaratuba - PR), o Edifício Itália em 1997 (São José do Rio Preto - SP), o Edifício Palace II em 1998 (Rio de Janeiro 0 RJ), o Edifício Érica e Enseada de Serrambi em 1999 (Olinda - PE) e o Edifício Areia Branca em 2004 (Recife - PE).

Podemos adicionar a essa lista também, os acidentes ocorridos no Edifício Santa Fé em 2007 (Capão da Canoa - RS), o Edifício Real Class em 2011 (Belém -PA), o

Edifício Liberdade em 2012 (Rio de Janeiro -RJ), o Edifício Senador em 2012 (São José dos Campos - SP) e mais recentemente, em Dezembro de 2013 um edifício de cinco andares em construção que desabou em Guarulhos - SP. Esses acidentes causaram dezenas de mortes e centenas de feridos, chamando a atenção da qualidade e segurança das construções brasileiras.

Somente no mês de Julho de 2014 ocorreram dois acidentes de grande repercussão na mídia brasileira. O primeiro ocorreu no dia 3 desse mês na cidade de Belo Horizonte, com a queda do Viaduto Guararapes, provocando a morte de duas pessoas e vinte e três feridos. O segundo aconteceu na cidade de Aracaju no dia 20, onde um edifício de quatro andares desabou na madrugada, provocando a morte de um bebê de onze meses e três pessoas feridas que dormiam no local.

Além disso, SOUZA (2009) diz que é de se suspeitar que inúmeros acidentes estruturais sem vítimas fatais vem ocorrendo, só que não são divulgados na literatura técnica.

Tabela 1. 1 - Histórico de principais acidentes ocorridos no Brasil, SILVA (2011)

Ano	Obra	Estado	Cidade	Provável origem do problema	Vítimas fatais
1995	Edifício Atlântico	PR	Guaratuba	Falha na execução da estrutura	28
1997	Edifício Itália	SP	São José do Rio Preto	Falhas do projeto	0
1998	Edifício Palace II	RJ	Rio de Janeiro	Falha de projeto	9
1999	Edifícios Éricka e Enseada de Serrambi	PE	Olinda	Falhas de projeto	4
2004	Areia Branca	PE	Recife	Falhas na execução da obra	4
2006	Marquise da UEL	PR	Londrina	Falhas no projeto	2
2006	Obra na UERJ	RJ	Rio de Janeiro	Desconhecidas	0
2007	Obra do metrô de São Paulo	SP	São Paulo	Falha de gerenciamento: projeto + medidas de recalque	7
2008	Complexo esportivo	RS	Novo Hamburgo	Falha de projeto	3
2008	Edifício Dom Gerônimo	PR	Maringá	Falha estrutural de uma sacada que desabou e levou as inferiores em efeito dominó	0
2009	Edifício Santa Fé	RS	Capão de Canoa	Falhas de execução	4
2009	Igreja Renascer	SP	São Paulo	Falha de projeto	7
2010	Prédio antigo	RJ	Rio de Janeiro	Falha de manutenção	4
2011	Prédio de pequeno porte	RJ	Nova Friburgo	Desconhecidas	3
2011	Prédio - Real Class	PA	Belém	Desconhecidas	3

1.3 Objetivos

O objetivo desse trabalho é a aprendizagem e identificação dos erros mais comuns cometidos no passado que resultaram em acidentes estruturais na construção civil.

Para isso foi realizado uma revisão bibliográfica relatando as principais causas que poderão provocar os acidentes estruturais.

Foi elaborado um breve estudo de caso com o objetivo de ilustrar a importância do controle tecnológico do concreto durante a execução da estrutura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Acidentes devido a ação da corrosão do aço

MARCELLI (2007) diz que a corrosão das armaduras das estruturas é uma das principais causas de acidentes ocorridos na construção civil, podendo levar a enormes prejuízos financeiros e até a vítimas fatais.

Os sintomas visíveis de corrosão, segundo RIBEIRO (2014), só ocorrem após vários anos da utilização da estrutura, podendo aparecer somente após 10 a 15 anos sendo raríssimas as vezes em que o fenômeno se manifesta em curto prazo, ou mesmo durante a execução da estrutura, tornando essa patologia de difícil concientização por parte dos projetistas e construtores.

RIBEIRO (2014) diz que a corrosão se manifesta nas estruturas de concreto armado na forma de manchas superficiais, seguidos por fissuras, destacamento do concreto de cobertura e redução da seção resistente das armaduras.

Em edificações expostas a condições agressivas de intempéries, CUNHA (1998) diz que as medidas corriqueiras de proteção não são suficientes. Um exemplo disso são as fachadas voltadas para direção de vento e chuvas, onde a pressão do vento faz com que a água e agentes agressivos penetrem no revestimento, atingindo a estrutura de concreto e conseqüentemente a armadura.

De uma maneira geral, RIBEIRO (2014) diz que as ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto armado, são provocados devido a agente químicos, físicos e biológicos que atuam simultaneamente na deterioração dos elementos estruturais.

2.1.1 Edifícios em áreas industriais

HELENE (1999) define atmosfera industrial como regiões ao ar livre em locais industriais contaminadas por gases e cinzas, sendo os mais frequentes e agressivos o H₂S, SO₂ e NO_x.

MARCELLI (2007) diz que uma estrutura exposta em um ambiente industrial, pode acelerar em até 80 vezes o processo de corrosão, quando comparada a uma estrutura

em ambiente rural, desde de que essa última não esteja contaminada por agentes agressivos. Ainda ressalta que, deve ser verificado o índice de umidade relativa do ar da região onde a estrutura está inserida, sendo a umidade acima de 70% já é considerada danosa para as armaduras.

Há indústrias em que ela mesma gera um ambiente agressivo, prejudicando a sua própria estrutura e os edifícios que se encontram ao redor. MARCELLI (2007), cita como exemplo, as indústrias de decapagem de aço, que devido a vazamentos de produtos químicos de seus reservatórios, poluem o meio ambiente, podendo deteriorar a estrutura de concreto armado. O autor também cita a indústria de galvanoplastia, onde os banhos ácidos e alcalinos respingam no concreto, e somados aos gases emanados do processo industrial, podem levar a deteriorização da estrutura.

2.1.2 Edifícios em atmosfera marinha

HELENE (1999) define atmosfera marinha como regiões ao ar livre sobre o mar e perto da costa, onde esta atmosfera pode conter cloretos e sulfatos que são extremamente agressivos para a estrutura em concreto armado, acelerando o processo de corrosão.

Para se ter idéia do potencial corrosivo em ambiente marítimo, MARCELLI (2007) diz que a velocidade de corrosão chega a ser de 40 vezes superior em relação a uma estrutura exposta em atmosfera rural. Isso significa que, a corrosão em atmosfera marinha, poderá ser percebida em 2 ou 3 meses, enquanto que em ambiente rural somente após 8 anos de conclusão da obra.

De acordo com RIBEIRO (2014), a água do mar, além de ser nociva por aumentar a possibilidade de corrosão, ela pode agir diretamente sobre o concreto, por processos físicos e químicos, como o ataque químico por parte dos sais dissolvidos, dilatação causada pela cristalização dos sais nos poros, erosão superficial causada pelas ondas ou marés, entre outros.

MARCELLI (2007) sugere que em obras localizadas em ambientes marinhos, deve-se tomar cuidados com a estocagem do aço no canteiro, dando-se preferência para estoques pequenos. Outra recomendação é que se tome cuidado com as esperas de

aço nos pilares, principalmente se ocorrer eventuais paralizações do andamento da obra, podendo iniciar o processo de corrosão e comprometer o desempenho da estrutura.

2.1.3 Edifícios em atmosfera viciada

HELENE (1999) define atmosfera viciada como regiões em locais fechados com baixa taxa de renovação de ar, podendo haver uma intensificação de concentração de gases, que poderão atacar as armaduras do concreto.

Um exemplo citado por MARCELLI (2007), se encontra nas galerias de esgotos, devido ao alto teor de sulfetos formados no interior desses ambientes. A parte da tubulação mais sujeita a corrosão são aquelas situadas na interface do ar com o concreto e as superiores, devido às diferenças de aeração e concentração de sais. As partes que ficam em contato permanente com o fluido apresentam comportamento melhores, pois dificultam a presença de oxigênio.

2.2 Acidentes devido a erros de execução

BAUER (2000) cita como as principais causas de deteriorização da estrutura de concreto armado devido a erros de execução da seguinte forma:

- Má interpretação dos projetos ou detalhes por parte do pessoal de campo;
- Adoção de métodos executivos e equipamentos inadequados;
- Deslocamento de formas, prumo e alinhamento, na montagem;
- Falta de limpeza das formas;
- Deslocamentos de formas, durante a concretagem, por deficiente amarração, vibração excessiva;
- Má colocação da armadura, como falta de cobrimento adequado e má distribuição;
- Desforma antes que o concreto apresente resistência a compressão e módulo de deformação suficientes e necessários;
- Nas juntas de dilatação, a não retirada de materiais construtivos, tais como formas, falta de vedação elástica, ou limpeza;
- Recalques diferenciais;

- Segregação do concreto;
- Retração hidráulica, durante a pega do concreto, por perda d'água;
- Vibrações produzidas por tráfego intenso, cravação de estacas, impactos ou explosões nas proximidades da estrutura;
- Inadequado conhecimento de engenharia por parte do construtor e/ou desobediência das normas, códigos e especificações.

2.2.1 Falhas no escoramento

Nas edificações convencionais a retirada do escoramento está comumente associada com a resistência do concreto. CUNHA (1996), diz que não se deve retirar o escoramento, somente pela resistência, e sim pelo módulo de elasticidade do concreto na data. Se sua entrada em carga se faz ainda com um módulo de elasticidade baixo, as flechas poderão alcançar valores extremamente grandes a seus valores iniciais.

As falhas devido a deformação vertical das escoras podem ocorrer devido a duas maneiras de acordo com MARCELLI (2007):

- Se forem apoiadas diretamente sobre solos compressíveis. Nesse caso é necessário o levantamento das cargas recebidas pelas escoras durante a concretagem e das cargas de utilização posterior da estrutura. Também será necessário obter o tipo de solo existente, podendo ser adquirido pela soldagem ou ensaios em laboratório. Deverá ter maiores cuidados em solos com aterros e em solos com argila orgânica ou solo vegetal;
- Se forem apoiadas diretamente no último nível concretado. Devem ser previsto escoramento parcial nos níveis inferiores e um planejamento de retirada de escoras, de preferência indicada em projeto específico de montagem de formas, com a intenção de evitar deformações durante e após a concretagem.

Ainda segundo MARCELLI (2007), o que se tem visto, é a retirada precoce das escoras provocando deformações excessivas nas vigas e lajes. O problema se agrava, quando se tenta corrigir o problema com o engrossamento do contrapiso e do revestimento no teto, acrescentando mais carga na estrutura que não são previstas em projeto.

De acordo com CUNHA (1998), cargas de impacto sobre o sistema de escoramento durante a concretagem e a remoção prematura de escoras, têm sido as causas primárias do colapso de edifícios durante a construção.

As ações de construção se dividem em ações permanentes (peso próprio do concreto armado, do escoramento, de fôrmas, de sistemas de contraventamento) e ações variáveis (peso móvel de operários, equipamentos, materiais de construção e impacto provocado pelo processo de concretagem). A figura 2.1 resume as principais ações de construções.

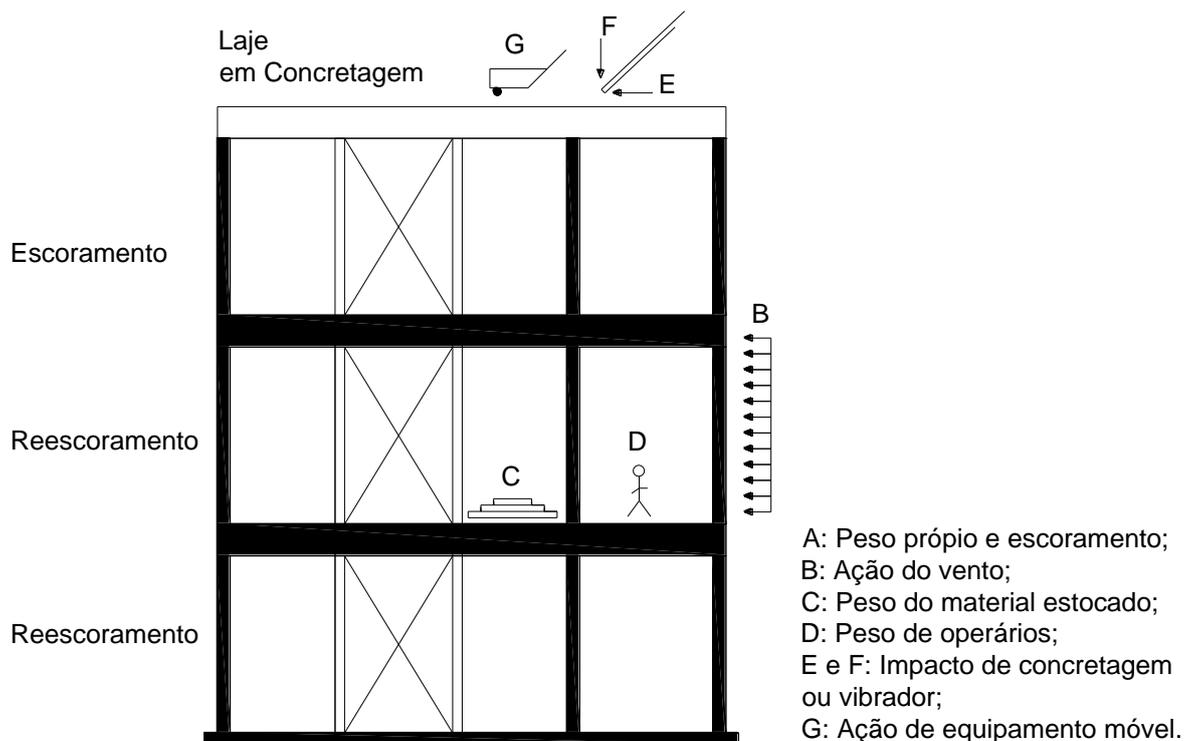


Figura 2.1 - Sistema de escoramento e ações de construções, CUNHA (1998)

Ainda segundo CUNHA (1998) os colapsos podem ocorrer segundo a seguinte forma:

- Recalques observados na fundação temporária das escoras que suportam a primeira laje, sujeita à ação de construção (q). Eles ocorrem devido insuficiente consolidação do solo, alteradas por água corrente ou empoçada, resultante de chuva, operações de lavagens de betoneira, águas oriundas da cura do concreto, etc (figura 2.2);

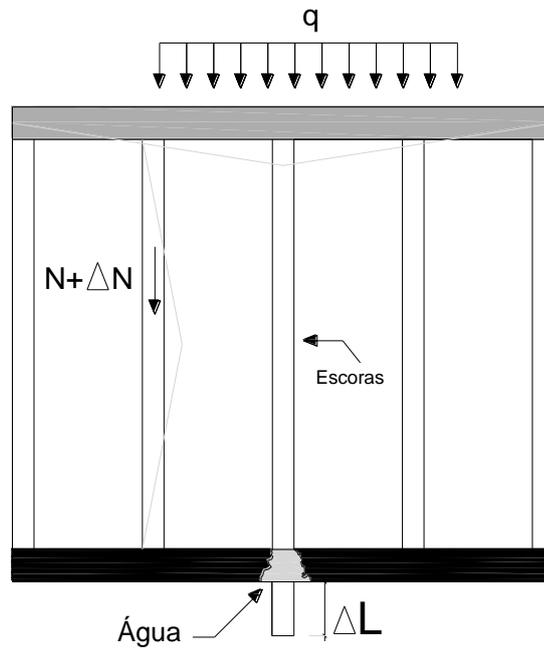


Figura 2.2 - Colapso causado por recalque do solo, CUNHA (1998)

- Falta de alinhamento vertical das escoras. Este quadro pode levar ao colapso do sistema de escoramento, ruptura da laje ou deslocamento do corpo rígido horizontal da laje, na falta de contraentramento horizontal. Ver figura 2.3;

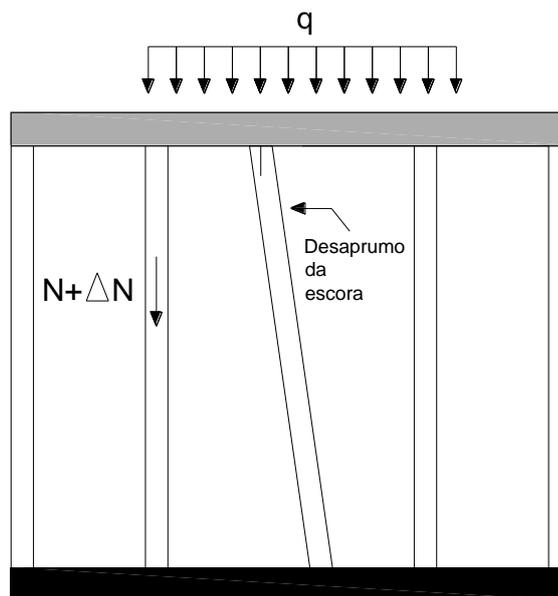


Figura 2.3 - Colapso causado por desalinhamento das escoras, CUNHA (1998)

- Cargas de impacto do concreto e equipamentos de concretagem (mangueiras, vibradores, etc) sobre a forma, permitindo a sua ruptura, provocando o impacto do material sobre o sistema de escoramento. Ver figura 2.4;

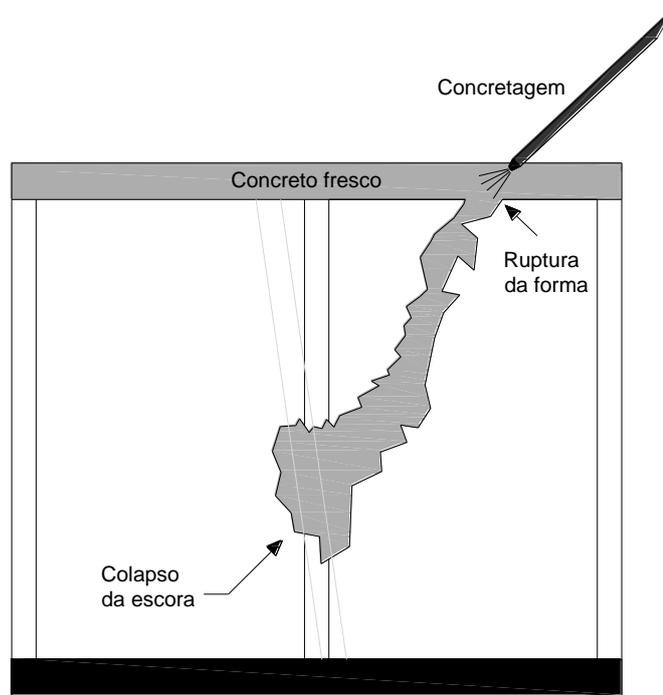


Figura 2.4 - Colapso provocado por ruptura da forma, CUNHA (1998)

- Edifícios com grandes áreas laterais exposta ao vento, com um sistema de escoramento ineficiente em relação a um sistema de contraventamento que permita a transferência de ações horizontais para a fundação. Ver figura 2.5..

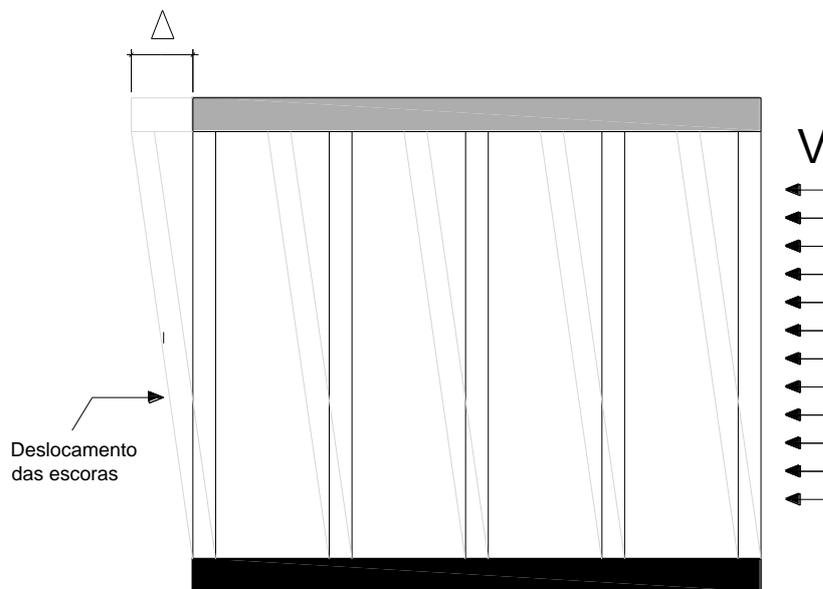


Figura 2.5 - Colapso do escoramento devido a ação do vento, CUNHA (1998)

2.2.2 Falhas na execução das fôrmas

De acordo com MARCELLI (2007), para que uma estrutura de concreto armado seja executada próxima a perfeição, as armaduras devem estar devidamente colocadas conforme projeto, garantindo o cobrimento especificado, a ancoragem das barras e as dimensões das peças estruturais executadas conforme especificadas.

Uma maneira de atingir as conformidades citadas acima, algumas construtoras contratam escritórios de projetos de fôrmas e escoramento, trazendo benefícios como a utilização otimizada de recursos, como a madeira e mão de obra, além de garantir a estanqueidade das formas, com desenhos e notas que visam dar soluções as principais causas de aberturas das formas, formação de ninhos de concretagem, e outras possíveis falhas de execução que poderão gerar patologias futuramente. Além disso, um estudo adequado da execução das fôrmas reduzirá a necessidade de correção da falta de prumo e alinhamento de peças estruturais com regularização em argamassa ou gesso, prejudicando a parte financeira da obra.

MARCELLI (2007) abaixo cita as seguintes dicas para a execução das formas:

- Em vigas de altura elevada, apenas o travamento superior das peças não é suficiente, sendo necessário a adição de tirantes intermediários para impedir que a forma se abra no meio da seção;
- Na base das formas dos pilares, deverá ser prevista uma janela de inspeção, para que antes da concretagem, seja realizada a limpeza de possíveis corpos estranhos, como madeira, pedaços de ferragem, ou qualquer outro tipo de material que possa ter caído dentro da forma durante a execução da armação e montagem das formas;
- Assim como nas vigas, os pilares de grande dimensões deverão ser previsto a adição de tirantes. E em pilares com altura superior a 2,5 m deverão ser previstas janelas intermediárias nas formas, para que se faça a concretagem em partes, evitando a segregação do concreto;
- As fôrmas deverão ser executados com um determinado grau de estanqueidade para que se evite a perda da calda de cimento nas pequenas aberturas das fôrmas durante a vibração. O autor não indica o uso tradicional de jornais ou sacos de cimento nas aberturas, não sendo suficiente para o impedimento da fuga dos materiais. Para resolver esse problema, deverá ser

colocado tábuas com o cerne voltado para o interior da fôrma e aplicar preferencialmente mata-juntas ou massa plástica nas juntas.

2.2.3 Falhas no lançamento e adensamento do concreto

Segundo MARCELLI (2007) o concreto deverá ser lançado no máximo após 1 hora do seu amassamento. Após esse prazo, o concreto começa a perder sua trabalhabilidade. Caso seja necessário aumentar o tempo de pega, deverá ser estudado a adição de aditivos, sem comprometer o seu desempenho.

Outro cuidado a ser observado, é que a altura de lançamento em queda livre do concreto não deva ultrapassar a 2,5 m. Os riscos que se correm ao lançar o concreto em altura acima desse valor, é a segregação da brita, formando ninhos de concretagem ou “bicheiras”, sendo essa região cheia de vazios devido a grande presença de brita e pouca areia e cimento. MARCELLI (2007) sugere as seguintes providências quando a altura de lançamento for ultrapassada a 2,5m:

- Abertura de janelas nas fôrmas;
- Usar trombas no interior das fôrmas;
- Usar concreto mais plástico e rico em cimento;
- Colocar 5 a 10 cm de argamassa sem agregado graúdo na base da peça a ser concretada, utilizando o mesmo traço do concreto a ser lançado.

Outro fator durante a execução, que potencializa o surgimento de patologias nas estruturas, é o adensamento mal executado. De acordo com MARCELLI (2007) o excesso de vibração pode ser pior que a falta de vibração, podendo provocar segregação dos agregados e afloramento superficial da água de hidratação do cimento. Nos pontos onde ocorrem a segregação, a estrutura perderá resistência, devido ao alto índice de vazios. Além disso, o concreto ficará poroso e permeável, facilitando o acesso da água nas armaduras, provocando a corrosão. Essa situação poderá ficar crítica quando se trata de elementos estruturais submersos ou em contato permanente com o solo (umidade constante). Dependendo das condições, essas situações poderão não ser percebidas a tempo de tomar ações corretivas.

MARCELLI (2007) sugere as seguintes providências para um bom adensamento:

- Definir o raio de ação do vibrador;

- Aplicar o vibrador em distâncias de uma vez e meia o raio de vibração;
- Introduzir e retirar a agulha do vibrador com velocidade de 5 a 8 cm/s;
- Não deslocar a agulha horizontalmente;
- A espessura da camada deverá ser de $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha;
- Vibrar por cinco a trinta segundos dependendo da consistência do concreto;
- Não vibrar muito próximo as formas.

2.2.4 Falhas devido a erros na cura do concreto

De acordo com PETRUCCI (2005) dá-se o nome de cura ao conjunto de medidas com a finalidade de evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento, que rege a pega e seu endurecimento.

Segundo MARCELLI (2007), a cura do concreto nem sempre é levado a sério, principalmente em obras de pequeno e médio porte, executadas muitas vezes por empreiteiros sem conhecimento técnico. Isso acaba resultando na perda d'água do concreto por evaporação, impedindo que a reação com o cimento ocorra por completo, provocando uma significativa perda de resistência do concreto e conseqüente prejuízo na estabilidade da estrutura, sendo responsável por alguns casos de acidentes estruturais.

Além da perda da resistência, MARCELLI (2007) diz que no caso em que não se adotada nenhum processo de cura, o concreto ficará mais poroso com o surgimento de fissuras, aumentando a permeabilidade e facilitando o acesso de agentes agressivos.

2.3 Acidentes estruturais devido ao recalque de fundações

Segundo CUNHA (1996), uma tarefa importante para os engenheiros é o estudo minucioso das características do solo onde se deseja edificar, bem como as condições encontradas em sua redondeza, como a presença ou não de edifícios, e o tipo de fundação em que se almeje executar. Os danos causados em edificações vizinhas na etapa da execução das fundações exibem um número elevado de ocorrências, que devem ser evitadas pelas construtoras, através de um estudo

acurado das condições do solo bem como das rotinas e procedimentos nessa etapa de construção.

De acordo com MARCELLI (2007) soluções geotécnicas tomadas por profissionais com ausência de conhecimento técnico ou com a falta de humildade de reconhecer suas limitações, adotam soluções empregadas em obras anteriores, sem considerar o seu desempenho ao longo do tempo, ou se ela é adequada ao solo da nova obra.

MILITITSKY (2008) diz que a investigação do subsolo é a causa mais frequente de problemas nas fundações. Como o solo é o meio que irá sustentar as cargas da superestrutura, ele deve ser devidamente identificado e caracterizado afim de evitar patologias futuras.

Infelizmente a prática de fundações em obras de pequeno porte sem investigação nenhuma do subsolo é realizada com grande frequência, sendo inaceitável esse tipo de ação.

De acordo com MILITITSKY (2008) em mais de 80% dos casos de mau desempenho de fundações de obras de pequenas e médias, a ausência completa de investigação é motivo da adoção de solução inadequada. Na tabela 2.1 abaixo encontra-se um resumo destas ocorrências.

Tabela 2. 1- Problemas típicos decorrentes da ausência de investigação, MILITITSKY

Tipo de fundações	Problemas típicos decorrentes
Fundações diretas	Tensões de contato excessivas, incompatíveis com as reais características do solo, resultando em recalques inadmissíveis ou ruptura
	Fundações em solos/aterros heterogêneos, provocando recalques diferenciais
	Fundações sobre solos compressíveis sem estudos de recalques, resultando grandes deformações
	Fundações apoiadas em materiais de comportamento muito diferente, sem junta, ocasionando o aparecimento de recalques diferenciais
	Fundações apoiadas em crosta dura sobre solos moles, sem análise de recalques, ocasionando a ruptura ou grandes deslocamentos da fundação
Fundações profundas	Estacas de tipo inadequado ao subsolo, resultando mau comportamento
	Geometria inadequada, comprimento ou diâmetro inferiores aos necessários
	Estacas apoiadas em camadas resistentes sobre solos moles, com recalques incompatíveis com a obra
	Ocorrência de atrito negativo não previsto, reduzindo a carga admissível nominal adotada para a estaca

2.3.1 Execução de fundação em solo compressível

MARCELLI (2007) cita em seu livro, alguns casos vivenciado pelo autor, onde os construtores apresentaram problemas relacionados a deformabilidade do solo, em edificações onde foram executados fundações sem considerar o efeito de solos compressíveis, ou tomaram decisões equivocadas para solucionar o problema. Os dois casos estão brevemente simplificados nos tópicos abaixo.

- Em alguns casos, executou-se um aterro variando a altura entre 0,50 m a 2,0 m sobre solo compressível. Nesses locais, o aterro executado, mesmo sendo em pequenas alturas, provocou após alguns meses o adensamento da camada compressível do subsolo, provocando afundamento dos pisos. Essas deformações gerou o surgimento de sobrecargas não previstas nas vigas baldrames e fundações. O afundamento dos pisos não ocorreram de maneira uniforme, mais sim predominantemente no centro dos ambientes delimitados pelas alvenarias. Esse fato se justifica tendo em vista que ocorre uma ligação entre o piso e os elementos de vedação;
- Em uma obra, devido a má qualidade da camada superficial do solo, a construtora resolveu tomar providências, por conta própria, para minimizar os danos do aterro da edificação que seria construída no local. A solução adotada foi a de colocar uma malha de aço no contrapiso passando por sobre as vigas baldrames. O construtor não considerou que agindo dessa maneira, um possível deslocamento do solo, o piso iria sobrecarregar as vigas baldrames e conseqüentemente as fundações, provocando fissuras ou trincas na estrutura e elementos de vedação. A figura 2.6 ilustra o ocorrido.

Segundo o autor onde não foram colocados as armaduras no contrapiso os danos foram menores, mas mesmo assim tiveram problemas de recalque do piso e pelo atrito lateral com as alvenarias, causando alguns danos.

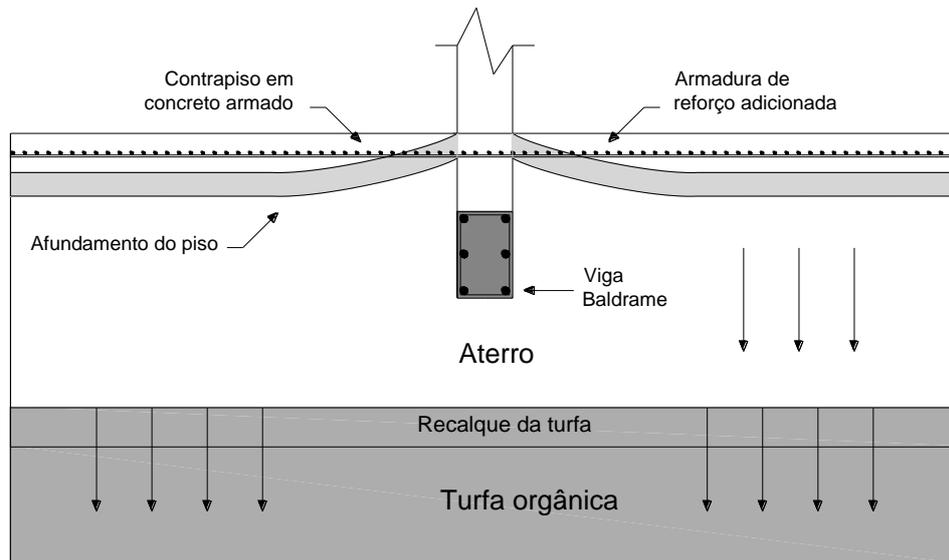


Figura 2.6 - Aterro sobre turfa orgânica, MARCELLI (2007)

Em relação a fundações profundas, MARCELLI (2007) atenta que quando a camada compressível for grande, o aterro poderá provocar acomodações de tal magnitude ao ponto de se gerar atrito negativo nas estacas, que se não forem consideradas, irão gerar recalques diferenciais nas fundações.

Outra observação feita por MARCELLI (2007) é que a deformação de solos compressíveis depende de suas características geotécnicas, e da altura e o tipo de aterro depositado sobre ele, devendo ser tomadas certos cuidados na execução do aterro, para que ao final das acomodações tenhamos um recalque final onde a soma do aterro mal executado com a deformação da camada compressível seja compatível com o previsto.

2.3.2 Execução de fundação direta e fundação profunda em aterros

De acordo com MARCELLI (2007), a não ser em casos específicos e devidamente estudados, não é aconselhado executar fundações direta sobre aterros. Segundo a experiência do autor, na maioria dos casos, as edificações tiveram sérios problemas de recalque, com surgimento de trincas e comprometimento da estrutura. MARCELLI (2007) cita em seu livro três situações possíveis descrita abaixo:

- Os piores locais para se edificar, são terrenos que receberam aterros sanitários ou que foram depositados lixos industriais. Além do ponto de vista técnico, nessas situações, devem ser consultados diversos tipos de profissionais, devido ao risco exposto a gases inflamáveis e tóxicos que são nocivos a saúde do homem, e a contaminação do lençol freático;
- Em casos onde ficou decidido que irão ser executados as fundações rasas, os profissionais de engenharia devem prestar bastante atenção, após atravessar a camada de aterro, em apoiar as sapatas em solos compatíveis para resistir ao peso da edificação;
- Outra situação, passível de ocorrer, é o cuidado em que os engenheiros devem tomar na investigação do tipo de solo. Há situações em que parte do solo é terreno natural, dando a entender que toda a área construída será com o mesmo tipo de solo, sendo que há áreas de aterro.

Em fundações profundas, MARCELLI (2007) sugere que tanto em fundações em tubulões ou estacas, deve se obter um conhecimento pleno do subsolo, definindo com precisão o tipo de fundação a ser executada e a identificação das cotas de apoio. O autor cita três casos descritos abaixo de situações de riscos de fundações profundas em aterro.

- Na cravação das estacas pode ocorrer a chamada "nega falsa", ou seja, encontra-se um componente resistente no aterro onde a ponta da estaca não consegue ultrapassar. Como consequência, além dessa camada não ser suficiente para suportar as solicitações, a estaca poderá recalcar junto com o aterro se ele ainda não estiver estabilizado. Ver figura 2.7;
- Deve-se levar em conta que o aterro poderá produzir um atrito negativo nas estacas devido a acomodação do solo, o que resulta num acréscimo de carga nas mesmas, figura 2.7;
- No caso de estacas do tipo Strauss, deve-se tomar o cuidado no momento de sua concretagem, para que não se crie vazios na mesma, provenientes de entulhos do aterro.

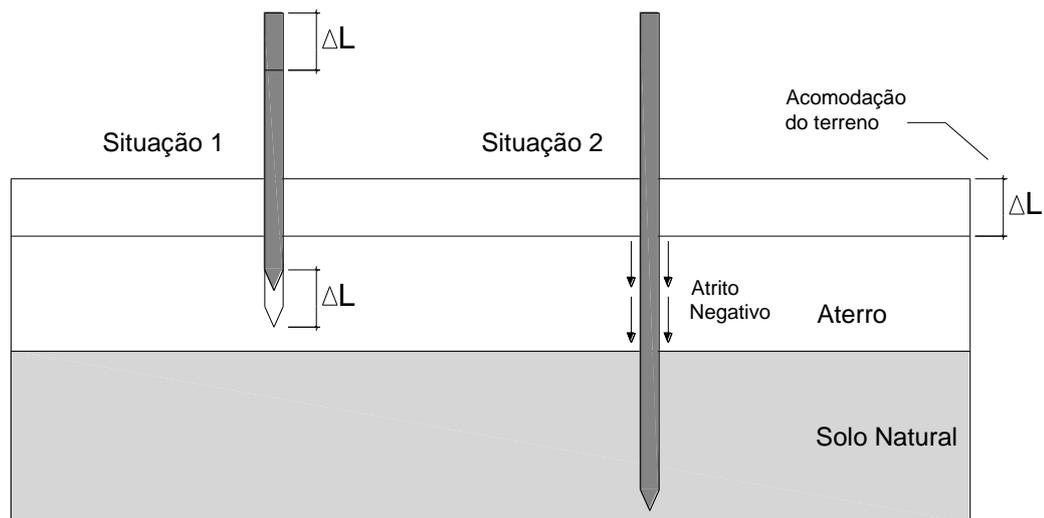


Figura 2.7 - Estacas em aterro, MARCELLI (2007)

2.3.3 Falhas na execução de estacas ou tubulões

Em seu livro, MARCELLI (2007) destaca as principais possíveis causas de acidentes na execução de fundação, com estacas pré-moldadas ou moldadas no local, da seguinte forma:

- Estacas fora da posição correta: pode ocorrer erros de locação das estacas devido falhas no projeto ou na marcação em obra. Devido a movimentação do bate estaca, ele pode ficar mal posicionado e deslocar os piquetes de indicação das estacas. Pode ocorrer de o bate estaca iniciar na posição correta, mas conforme a estaca irá descendo, ela poderá esbarrar em pedaços de rochas (matacões), ou em outros objetos em casos de terreno em aterro, provocando um desaprumo da estaca ou uma tomada de conclusão falsa de terreno firme;
- Erros de cravação: durante a cravação das estacas, podem ocorrer erros do operador do bate estacas, da má qualidade das estacas, de camadas de solos difíceis de serem ultrapassadas e da presença de elementos que impeçam a sua penetração. É possível que um operador inexperiente, ao quebrar uma estaca ou encontrar a presença de matacões, conclua que se atingiu a camada de solo resistente. Isso futuramente poderá provocar recalques diferenciais na fundação, afetando a estabilidade da estrutura ou fissuras e trincas nos elementos de vedação. Ver figura 2.8;

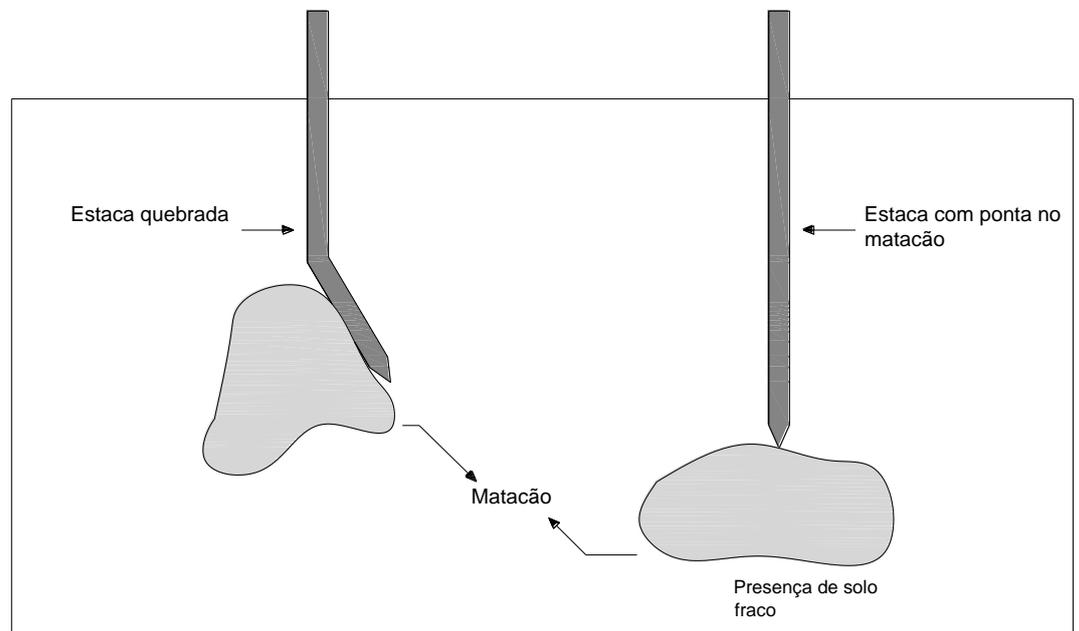


Figura 2.8 - Estaca cravada em terreno com matacão, MARCELLI (2007)

- Nega falsa: em solos argilosos, rijos a duros, o operador do bate estaca no momento da cravação da estaca, não consegue ao efetuar os golpes descer mais do que alguns milímetros. No dia seguinte ao retomar o trabalho, novamente trabalhando na mesma estaca, ela desce o necessário. Este fenômeno é chamado de relaxação. O efeito ao contrário pode ocorrer em solos arenosos, a estaca no momento da cravação não da nega, e no dia seguinte não penetra mais. Nessas situações é imprescindível a presença do engenheiro especialista em fundações, sendo somente ele a definir quando deverá ser interrompida a cravação;
- Erros em estaca moldadas no local: no caso de estacas executadas com camisa metálica, as falhas mais comuns é o surgimento de “bicheiras” durante a concretagem. Essa situação se torna mais preocupante, quando se tem armadura em toda a estaca, pois a mesma dificulta a descida do pilão, acabando amassando-as, e aumentando as possibilidades do surgimento das “bicheiras”. No caso em estacas sem o uso da camisa metálica, os problemas costumam ocorrer durante a concretagem, devido a possíveis estrangulamentos da estaca pelo desmoronamento do solo das paredes laterais, ou pela contaminação do concreto com possíveis desmoronamentos durante a concretagem, afetando a capacidade de carga da estaca. Ver figura 2.9..

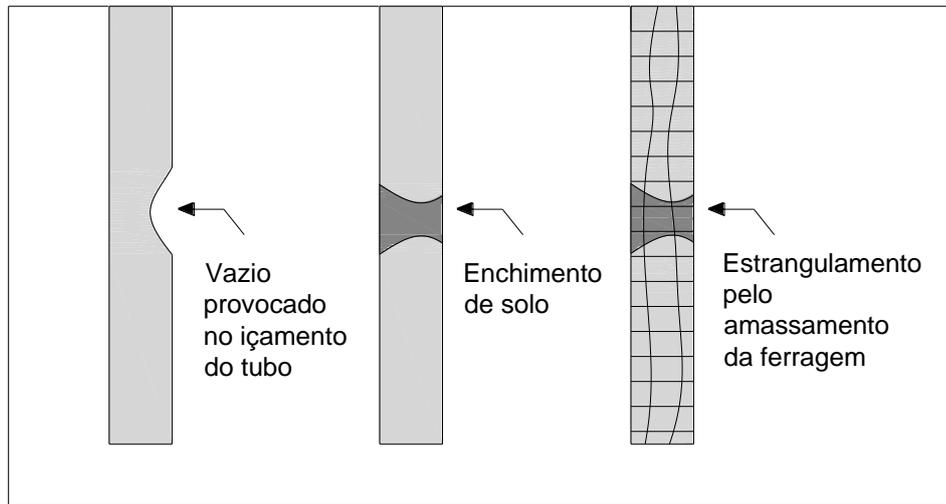


Figura 2.9 - Falhas em estacas moldadas no local, MARCELLI (2007)

2.4 Acidentes devido a falhas de projeto e detalhamento

A seguir, está relacionado as principais causas de deterioração de estruturas de concreto, decorrentes de erros de projetos, conforme BAUER (2000).

- Falta de detalhamento ou detalhes mal especificados;
- Cargas ou tensões não levadas em consideração no cálculo estrutural;
- Variações bruscas de seção em elementos estruturais;
- Falta, ou projeto deficiente de drenagem;
- Efeitos da fluência do concreto, não levados em consideração.

Já para RIPPEER (1998) as falhas provocados na fase de projetos, podem ser diversas, tais como:

- Elementos de projeto inadequado (má definição das ações atuantes, escolha infeliz do modelo analítico, deficiência do cálculo estrutural ou má avaliação do solo);
- Falta de compatibilização dos projetos;
- Especificação inadequada de materiais;
- Detalhamento insuficiente ou errado;
- Detalhes construtivos inexecutáveis;
- Falta de padronização das representações (convenções);

- Erros de dimensionamento.

De acordo com CUNHA (1996), o cálculo estrutural das antigas edificações, originava projeto de estruturas com elevada robustez e conseqüentemente peças estruturais menos esbeltas. Isso conduzia a deformações normalmente pequenas.

Após a década de 70, CUNHA (1996) diz que houve uma visível redução nas dimensões das peças estruturais, e o uso de sistemas de contraventamento mais leves, tornando-se as estruturas mais esbeltas e como conseqüência, o surgimento de grandes deformações.

Essas deformações, tendendo a aumentar com o tempo, poderão conduzir danos consideráveis a edificações, tais como:

- Sérias trincas nas alvenarias;
- Empenamento de esquadrias;
- Deslocamento e trincamento de revestimento de piso e peitoris;
- Fissuração da lajes e vigas por excesso de deformações;
- Pilares e vigas de periferia, sob efeito das rotações de lajes e vigas, acabam também por sofrer efeitos de flexão e torção, não considerados nos projetos.

Outro erro na falha de projetos, comum de ocorrer segundo CUNHA (1996), são as flechas nas varandas em balanço, que muitas vezes concebidas com vãos importantes, elas raramente são monitoradas, sendo que muitas vezes aparecem trincas no ponto de momento máximo, ficando a armadura vulnerável ao ataque de agentes externos.

ALVES (2011) resume na figura 2.10 essa situação abordada por CUNHA (1996), chegando a conclusão de que, já que houve uma alteração nos cálculos estruturais, além dos processos construtivos serem atualizados, uma das providências a serem tomadas é a necessidade de melhorias no detalhamento dos projetos.

Segundo CUNHA (1996) a superposição de todos esses problemas acabam comprometendo a durabilidade da estrutura, podendo provocar conseqüências danosas, com a degradação dos materiais e principalmente pela possibilidade de ataques as armaduras.



Figura 2.10 - Novos métodos de cálculo exigem detalhamentos mais elaborados, ALVES (2011)

Apesar da evolução dos softwaers de dimensionamento de estruturas e a criação de novos modelos de cálculos, MARCELLI (2007) cita alguns casos passíveis de provocar um acidente, descrito abaixo:

- Informações imprecisas passadas ao computador pelos projetistas, como o lançamento de ações não correspondentes com o real. Se o engenheiro calculista não tiver um bom senso crítico sobre o coportamento estrutural, ele poderá enviar para obra projetos com o dimensionamento errado, podendo certamente provocar um grave acidente estrutural;
- É importante que se desenvolva um senso crítico entre as cargas atuantes, as dimensões e a armadura do elemento estrutural. Esse caso se torna mais crítico no caso de pilares em concreto armado, que pode estar próximo ao colapso, e não dar sinais de ruptura;
- Os projetos estruturais também devem se atentar a determinadas situações que dificultam o processo executivo. Algumas vezes o projetista não se atenta a grande concentração de ferragens em um elemento estrutural, ou no encontro deles. Devido ao fato, na execução, poderemos ter a formação de vazios nos elementos estruturais ("bicheiras"), podendo se agravar quando ela acontece no interior da peça, não demonstrando sinais. Esse fato se agrava quando acontece em pilares, sendo o concreto responsável por grande parte da resistência da peça.

De acordo com ALVES (2011), devido ao grande número de atividades e serviços que envolvem a construção de um edifício, é grande a complexidade dos diversos projetos envolvidos. Com a falta de compatibilização dos projetos, e a falta de comunicação

entre os projetistas, poderá haver erros e falhas na execução, que dependendo da situação, poderá ser fatal para a durabilidade e funcionalidade da edificação. Ver figura 2.11.



Figura 2.11 - Problemas típicos de projetos, ALVES (2011)

Segundo ALVES (2011) percebeu-se que a carência de um bom detalhamento dos projetos de estruturas em concreto armado está associado a pouca abordagem na literatura. Segundo os autores, a própria NBR 6118 não apresenta uma organização das prescrições acerca do detalhamento das estruturas, tornando a prática confusa e disvinculada, provocando a criação de diversos padrões de detalhamento diferentes entre os projetistas.

2.5 Acidentes devido ao mau uso das edificações

De acordo com CUNHA (1996), na maioria das vezes, os proprietários das edificações não possuem os projetos estruturais de seus imóveis, e muito menos os projetos que foram adaptados durante a obra (projetos "as built"). Esses dados deveriam estar obrigatoriamente com os usuários ou proprietários, pois são informações imprescindíveis para a manutenção ou alterações do uso do imóvel. Essa falta de informação se agrava quanto mais antigo for a edificação.

CUNHA (1996) ainda ressalta, que quando há alterações no uso do edifício, e há a necessidade de se alterar a configuração inicial da estrutura, somente é feita análise sobre as alterações das cargas e a capacidade portante da estruturas, sem considerar os efeitos das deformações, que conseqüentemente poderá provocar flechas e rotações excessivas, frequentemente associada a fissuração exacerbada pelo aumento de tensão na armadura de tração.

Em estudo de caso, em seu livro, CUNHA (1998) diz que a sobrecarga excessiva, acima da capacidade portante e a falta de manutenção adequada na estrutura são dois dos fatores que mais contribuem para o surgimento de sintomas patológicos, ou para a ocorrência de acidentes estruturais.

MARCELLI (2007) cita cinco tipos de possíveis causas de acidentes estruturais devido ao mau uso dos usuários nos edifícios residenciais, comerciais ou industriais, descrito nos tópicos abaixo:

- Muitas residências ou edifícios residenciais, foram executados no passado em locais onde não se imaginava-se possíveis mudanças de funções, como a instalações de lojas, escritórios ou oficinas. Isso não teria muito problema, caso tivesse sido feito um histórico dessas mudanças, como o armazenamento de projetos, registros das alterações, fotos, relatórios ou outra documentação que numa possível mudança do tipo de uso da edificação, poderia ser realizado um estudo criterioso dessas alterações;
- Há casos em que no momento da construção, o construtor toma a decisão de executar vigas e pilares de concreto armado juntamente com as alvenarias, resultando num misto de alvenaria portante, com vigas e pilares servindo de amarração e travamento. Em uma possível alteração do uso dessa construção, o construtor poderá remover uma parede, imaginando se tratar somente de uma estrutura em concreto armado, podendo comprometer a estabilidade do conjunto, como ilustrado na figura 2.12 . Esse tipo de situação é mais comum em construções antigas;

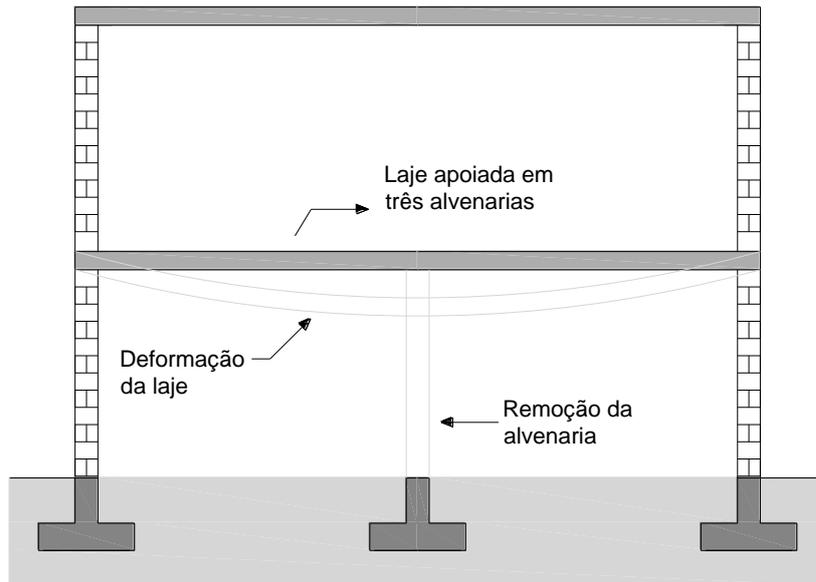


Figura 2.12 - Remoção de paredes portantes, MARCELLI (2007)

- Uma situação possível de ocorrer, é a retirada parcial de lajes ou parte de vigas contínuas, sem analisar a estabilidade global da estrutura. Isso poderá provocar a perda da condição hiperestática, podendo provocar deformações acentuadas ou até mesmo sofrer um colapso estrutural. Situação ilustrada na figura 2.13;

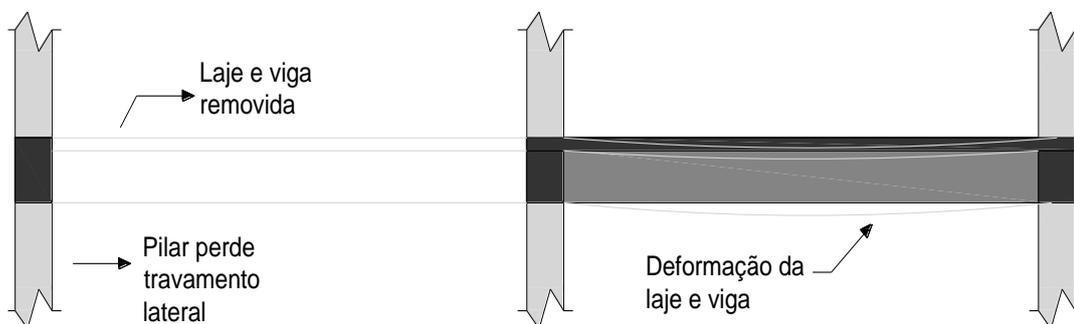


Figura 2.13 - Remoção de um vão de laje e viga contínua, MARCELLI (2007)

- Outra situação, passível de provocar acidentes, é a remoção de lajes e vigas, sem analisar a estabilidade global da estrutura, não considerando que a

mesma poderá ter a função de resistir a esforços horizontais, como a ação dos ventos e empuxos de terra;

- Em edifícios ou galpões industriais, muitas vezes sendo imóveis alugados, é muito comum que se perca o histórico das atividades exercidas no local, podendo-se cometer o erro de se adicionar máquinas ou equipamentos sobre lajes que não foram projetadas para tal finalidade. Nos locais de depósitos, principalmente em lajes acima do primeiro pavimento ou em mezaninos, corre-se o risco do proprietário, por não obter conhecimento e nem percepção sobre engenharia, armazenar mais do que o previsto em projeto, podendo provocar um grave acidente estrutural;
- Em galpões industriais, o fechamento de aberturas nas laterais ou no teto, previamente projetadas devido a ação dos ventos, provavelmente alterará de maneira significativa os esforços que irão atuar na edificação, podendo provocar o colapso da mesma.

MARCELLI (2007) ainda salienta que no caso de edifícios industriais onde a finalidade da indústria for alterada, poderá ser produzido um meio mais agressivo que o anterior, tanto na atmosfera quanto no subsolo. Caso isso ocorra, se a edificação não for adaptada para atuar nas novas condições, poderá ocorrer ataques aos elementos estruturais a curto e a médio prazo, podendo acarretar em um grave acidente estrutural.

Segundo SOUZA (2009), sintomas como fissuras de grandes aberturas, manchas de infiltração, deformações exageradas, portas e janelas com dificuldades de fechamento e o deslocamento de pisos, na maioria das vezes são indícios de que poderá estar acontecendo algum problema estrutural. Esses sintomas, muitas vezes não levados a sério por moradores, poderiam ser facilmente identificados casos houve-se uma vistoria por profissionais habilitados a cada dois anos.

2.6 Acidentes em marquises

De acordo com MEDEIROS (2007), sendo a marquise um elemento construtivo saliente que avança em balanço em relação ao alinhamento do edifício, e estando engastada na estrutura, deve-se ter uma atenção especial em fase de projeto, execução e manutenção das mesmas. Devido a sua configuração estrutural, por se tratarem de uma estrutura isostática e com um único vínculo, ela tende a sofrer ruptura brusca, tipo frágil e sem aviso.

MEDEIROS (2007) cita nos ítems abaixo, as causas mais frequentes pelo desabamento de marquises:

- Mal posicionamento das armaduras: o posicionamento correto das armaduras, principalmente as negativas, durante a execução devem permanecer exatamente a descrita no projeto estrutural. É comum durante a concretagem, elas serem amassadas ou posicionadas inadequadamente, devido ao tráfego de pessoas e equipamentos. É imprescindível que o engenheiro responsável pela execução da obra esteja no momento da concretagem e atue corretivamente no momento dessas ocorrências;
- Corrosão de armaduras: existe uma tendência ao surgimento de micro-fissuras na parte superior do engaste, como mostrado na figura 2.14. Nos primeiros anos de utilização o sistema de impermeabilização impede a penetração de umidade no concreto, mas com o desgaste do mesmo, com a conseqüente falta de manutenção, as microfissuras começam a surgir. De maneira geral, as marquises estão sujeitas a ação da água, e aliado aos poluentes atmosféricos, favorece o desenvolvimento do processo de corrosão das armaduras.

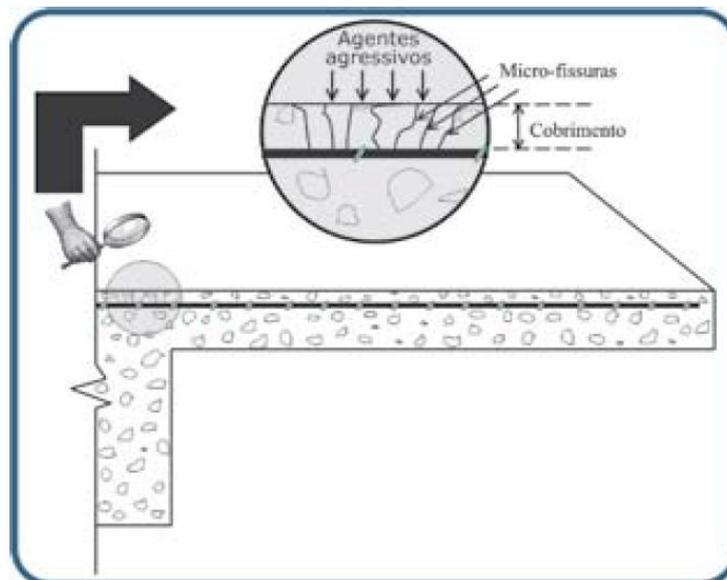


Figura 2.14 - Detalhe do surgimento de microfissuras nas marquises, MEDEIROS (2007)

- Sobrecargas: Manutenção incosequente do sistema de impermeabilização, sem remoção do antigo, acumulando carga na estrutura. Outro problema é o acúmulo de água, sendo consequencia do não funcionamento do sistema de drenagem. A instalação de máquinas de ar-condicionado e letreiros de lojas, sem a consulta de um engenheiro se a marquise está adaptada para receber esses carregamentos.

3. ESTUDO DE CASO

Esse estudo de caso se refere a importância da realização do controle tecnológico do concreto como precaução a futuros acidentes ocasionados pela má qualidade do material estrutural.

3.1 O controle tecnológico do concreto da construtora

O controle tecnológico do concreto é o acompanhamento dos resultados dos rompimentos dos corpos de prova com 28 dias para que estejam de acordo com o fck definido em projeto.

3.1.1 Recebimento do concreto usinado na obra

O engenheiro responsável pela obra deverá solicitar a central de concreto, o tipo de concreto a ser utilizado fornecendo as seguintes informações:

- Volume de concreto;
- Resistência a compressão aos 28 dias de idade;
- Diâmetro máximo do agregado graúdo;
- O abatimento do tronco de cone (slump) no estado fresco;
- O consumo de cimento por m³ de concreto;
- O tipo de lançamento (convencional ou bombeável);
- O módulo de deformação;
- Aditivos, se for o caso;
- Horário, data e local exato da entrega do material.

Quando o concreto chegar a obra, primeiramente deverá ser verificado o horário de saída do caminhão (descriminado na nota fiscal) e comparado ao horário de chegada, sendo que a diferença de horários não ultrapasse a 90 minutos (figura 3.1). O tempo total desde a preparação do concreto até a aplicação não deverá ultrapassar o limite de 2 horas e trinta minutos (figura 3.1). Caso ultrapasse, o mesmo somente será aplicado mediante autorização do engenheiro responsável.

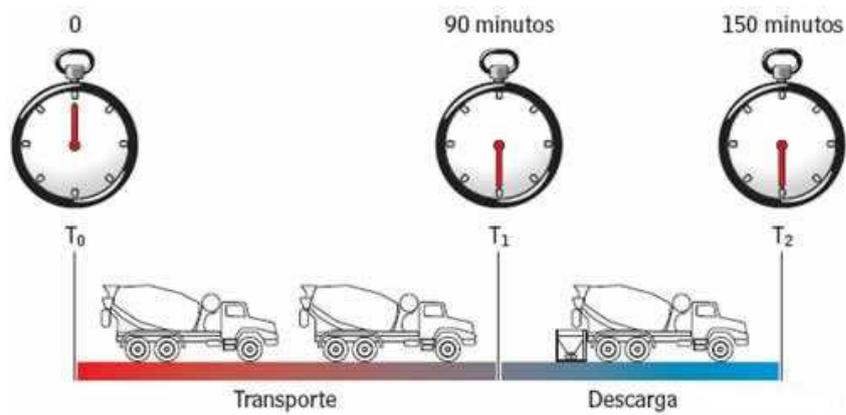


Figura 3. 1 - Relação de horário de entrada do concreto na obra e saída da usina de concretagem

Se o caminhão for autorizado pelo tempo de espera para aplicação, o próximo passo será a realização do teste do abatimento do tronco de cone (slump test), ilustrado na figura 3.2. Este ensaio deverá ser realizado a cada betonada de acordo com a ABNT NBR NM 67. A medida determinada pelo abatimento do tronco cone deverá ser comparada com aquela especificada para a concretagem a ser procedida. Caso o resultado fique acima da tolerância especificada na compra, o caminhão deverá ser rejeitado. Caso resulte num valor abaixo do especificado, pode-se ajustar o valor através da adição de água no balão do caminhão. Essa quantidade de água deve ser especificada pelo fornecedor e deve ser supervisionada pelo responsável da obra.

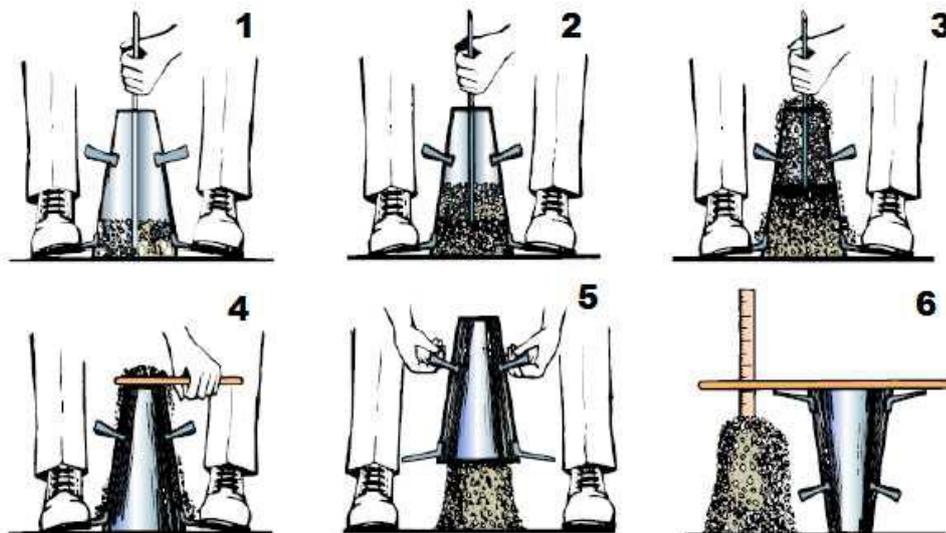


Figura 3. 2 - Teste do abatimento do tronco de cone (slump test)

Aprovado o slump test deve-se coletar a amostra de concreto depois de descarregar 0,5 m³ do material do caminhão. O número de corpos de prova a serem moldados, a idade na qual serão rompidos e a frequência da amostragem devem obedecer a tabela 3.1.

Tabela 3. 1 - Frequência de amostragem conforme o elemento estrutural

Elemento Estrutural	Número de Corpos de Prova	Idades de Rompimento (dias)	Frequência de Amostragem
Fundação/Cintamento/Contenção	6	14 - 28 - 56	Uma betonada sim, outra não
Pilar	6	7 - 28 - 56	Toda betonada
Viga /Laje	6	7 - 28 - 56	Uma betonada sim, outra não

Deverão ser moldados dois corpos de prova para cada idade de rompimento. Para realizar a moldagem, deve-se preencher com concreto os cilindros metálicos (20x10cm) em duas camadas iguais e aplicar 12 golpes uniformemente distribuídos em cada camada. Se a haste criar vazios na massa, bater levemente com a mesma na face externa do molde. Após a compactação da última camada, retirar o excesso de concreto, alisar a superfície com uma régua ou colher de pedreiro (figura 3.3). Ao manusear os corpos de prova, evitar trepidações, golpes, inclinações ou qualquer movimento que possa perturba-lo, devendo ser armazenados em uma caixa de areia úmida após 24 horas de sua moldagem.

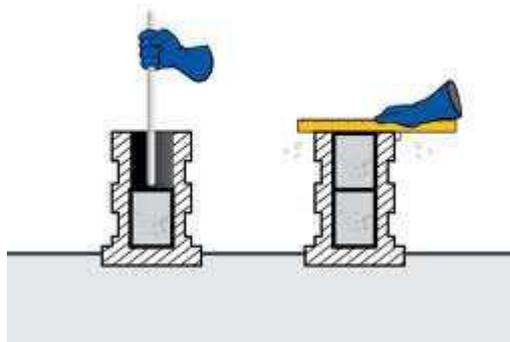


Figura 3. 3 - Moldagem dos corpos de prova

Todo corpo de prova moldado deverá ser identificado e encaminhado a um laboratório especializado para realização dos ensaios de resistência à compressão.

3.1.2 Controle tecnológico

Após a concretagem, o responsável pela mesma, deverá enviar o formulário físico da rastreabilidade do concreto, devidamente preenchido. O responsável pelo controle tecnológico alimenta a planilha de dados específica, iniciando-se assim o

monitoramento com os resultados de rompimento periodicamente fornecido pelo laboratório, através de seu site na internet. O relatório final deverá ser enviado pelo laboratório por meio físico após 63 dias da concretagem.

Todos os relatórios são analisados, sendo a evidência da análise o carimbo de "OK" com data e assinatura do responsável pelo controle tecnológico. Somente será carimbado o relatório com resultado conforme, o não conforme irá aguardar a finalização do processo para ser carimbado. Todos os relatórios depois de analisados são arquivados em ordem sequencial na pasta correspondente à obra.

As peças estruturais referente aos relatórios com resultados conformes são adicionados na planilha do controle tecnológico e identificados na cor verde, simbolizando que o resultado está conforme.

Os relatórios que apresentam resultados não conformes, seguem as seguintes diretrizes:

- Abertura de uma Folha de Ocorrência (FLO), para tratar a não conformidade;
- Na planilha do controle tecnológico os dados referentes as peças/concretagem tem as células preenchidas com a cor vermelha, simbolizando que o resultado está não conforme;
- Paralelamente é requerido ao engenheiro calculista, responsável pelo projeto estrutural, uma carta de solicitação, constando as informações do relatório e solicitando a reavaliação do fck para possível liberação da estrutura.

Caso a reavaliação do fck não seja aprovada, é agendada reunião registrada em Ata com o responsável pela obra, a fim de dar continuidade a FLO, e definir providências imediatas.

Caso a liberação ocorra, a carta de solicitação é arquivada na pasta pertinente à obra e na planilha de controle tecnológico, as células referentes aos dados dessa peça são preenchidas com a cor laranja, evidenciando que o resultado não estava de acordo, mas que a peça foi liberada pela avaliação do engenheiro calculista ou pela execução de um reforço estrutural.

3.2 O controle tecnológico da obra

3.2.1 Rastreabilidade do concreto

Nas figuras 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7 encontra-se o rastreamento do concreto realizado em obra do 1º e 2º pavimento.

Só estão mostrados os rastreamentos nos pavimentos em estudo.

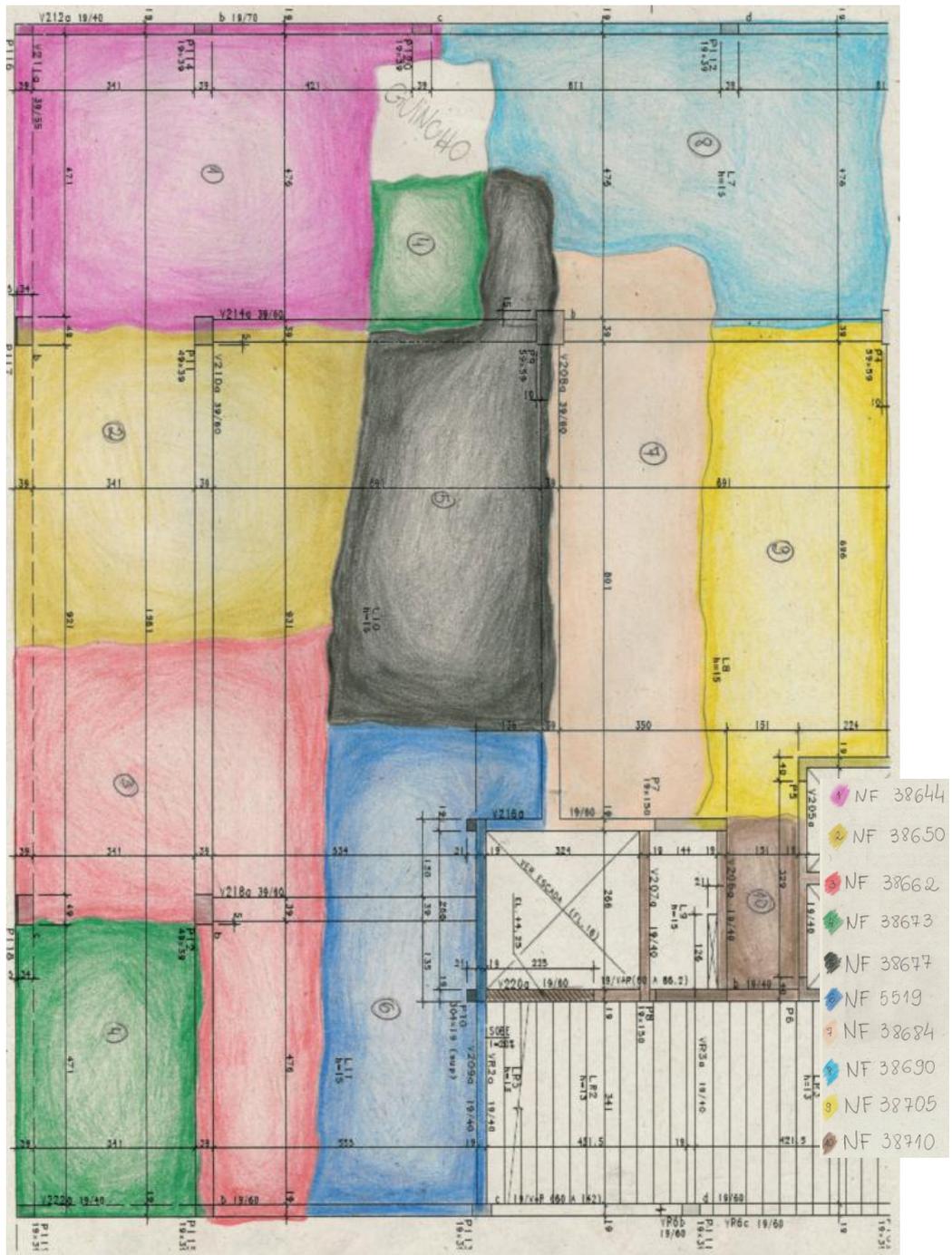


Figura 3. 6 - Rastreamento do concreto - 2ª Laje (Parte 2)

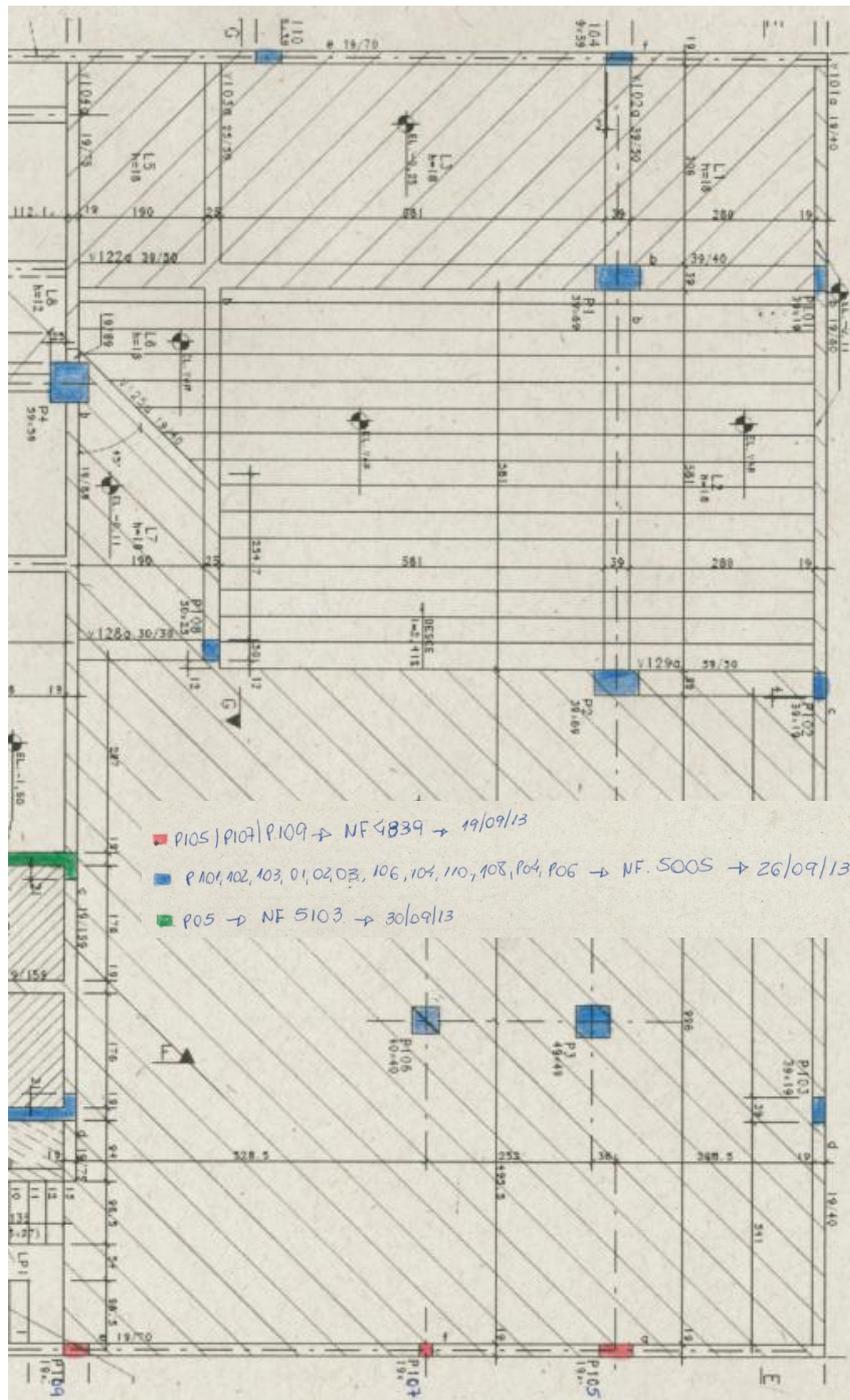


Figura 3. 7 - Pilares entre 1º e 2º pavimento

3.2.2 Planilha do controle tecnológico do concreto

Segue na tabela 3.2 e 3.3 a planilha do controle tecnológico do concreto em estudo.

Tabela 3.2 - Controle tecnológico parte 1

Data da concretagem	Peças concretadas	fck de projeto (MPa)	Volume Total (m³)	Nº de corpos de prova	Nota fiscal	Resultados (MPa)		
						7 dias	28 dias	63 dias
16/09/13	1ª laje, vigas e pilares	35	68,5	42	36306	*	*	*
					36309	*	*	*
					36313	31,1	37,1	41
					36316	28,5	34,2	37,2
					36320	28,6	33,6	37,2
					36324	28,8	33,7	37,2
					36326	27,9	30,6	38
					36328	27,9	31,9	36,3
18/09/13	BLOCO 10	35	32	36	36332	30,8	32	37,8
					36431	28,7	31	37
					36433	26,8	31,2	38,4
18/09/13					36440	29,2	33,4	37,3
18/09/13	B113, V139, V136, V131	35		6	36450	30,3	33,6	39
18/09/13	B08, V111ab, B113, V131a, V108a	35	8	6	36455	25,7	36,6	41
18/09/13	B07, V109ab, B111, V136a, V135b	35	8	6	36458	27,6	30,9	36,1
19/09/13	B11, V114ab, B114, B117a, B116, B117, V115b, V123a	35	20	24	4839	24,8	27	37
					4840	23,6	27	36,1
					4847	19,5	27,1	37,2
					4850	16,3	25,2	35
24/09/13	1ª Parte T12	20	13	4	36807	18,1	21,1	26,2
	2ª Parte T12			4	36814	16,3	17,3	21
	3ª Parte T12			4	36827	13,9	21,3	25,8
26/09/13	P101, P102, P103, P104, P106, P108, P110, P01, P02, P03, P04, P06	35	8	6	5005	19,9	26,9	32,5
26/09/13	V112ab, V117b, V118a, V120ab, B120, V126a, P09, V110a, V130b, C17, C16bc	35	16	18	5007	22,8	28,2	31,7
					5013	20,9	27,4	31,7
					5017	20,2	24,3	29,2
30/09/13	B112 - 1º Pavimento e P5 - 1º Pavimento a El. +3,80	35	6	6	5103	22,1	24,9	30,4
30/09/13	V117cd, V119a, V121ab, V107ab, V124ab - 1º	35	6	6	5106	24,9	29,5	32,1

* Não foram moldados corpos de prova para esse caminhão

Tabela 3. 3 - Controle tecnológico parte 2

Data da concretagem	Peças concretadas	fck de projeto (MPa)	Volume Total (m³)	Nº de corpos de prova	Nota fiscal	Resultados (MPa)				
						7 dias	28 dias	63 dias		
04/10/13	2ª laje - Parte 1	35	56,5	48	37460	21,9	30,1	33,7		
					37474	22,9	31,6	36,9		
					5197	15,1	26,4	31		
					5199	16,8	22	27,6		
					37489	20,8	26,2	29,3		
					5204	20,6	28,5	31,3		
					5209	22,4	28,3	30,4		
					5215	21,9	29,6	32,7		
10/10/13	P112,P120,P114,P116, P1,P117	35	6	6	37901	24,7	32,9	39,6		
10/10/13	B12,B18	35	8	6	37903	27,6	33,7	37,8		
10/10/13	B15,C138a,C140a	35	8	6	37907	22,7	30,7	36,8		
10/10/13	C119,C114cde,C150a, C135a,C113a	35	8	6	37908	23,3	35,4	39,7		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35	74	60	38644	25,9	33,7	36,3		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35			38650	30,9	34,8	39,7		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35			38662	30,4	35,5	40,7		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35			38673	28,1	31	41,8		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35			38677	27,9	34,6	39,7		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35			5519	25,9	33,1	37,1		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35			38684	25,3	33,1	37,2		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35			38690	24,2	31,6	37		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35			38705	22,9	31,9	37,3		
23/10/2013	2ª laje - Parte 2	35			38710	25,7	28,3	37,3		
21/11/13	Pilares P113,P115,P118,P119,P10,P12; Escada (1º para o 2º pavimento)	35			8	12	40402	28,7	38,3	40,5
21/11/13	Pilares P113,P115,P118,P119,P10,P12,	35			8	12	40443	26,6	38,3	41,5

3.3 Detecção do problema

Foi detectado na planilha do controle tecnológico que alguns resultados não alcançaram a resistência mínima de projeto.

Em reunião com o engenheiro calculista do edifício, o mesmo solicitou a planilha do controle tecnológico e o rastreamento das concretagens.

Com base nas informações passadas, o engenheiro calculista pediu a retirada de alguns testemunhos, indicando os locais onde deveriam ser realizado os furos.

3.3.1 Retirada dos testemunhos

A tabela 3.4 indica os resultados dos rompimentos dos testemunhos.

Tabela 3. 4 - Resultado do rompimento dos testemunhos

CP Nº	Identificação dos Testemunhos	Altura (mm)	Resistência a Compressão (MPa)	Resistência a Compressão Corrigida (MPa)	NF
1	T1: V122 A	198	23,7	23,6	36309
2	T2: V103 A	190	36,4	36,0	
3	T3: V103 B	196	35,5	35,3	
4	T4: V119 A	200	44,9	44,9	5106
5	T5: V121 B	195	41,8	41,6	
6	T6: V121 A	195	39,1	38,9	
7	T7: V130 B	197	36,1	36,0	5007,5013, 5017
8	T8: V120 A	199	28,3	28,3	
9	T9: V126 A	197	40,6	40,4	
10	T10: V114 C	198	33,7	33,6	37908
11	T11: V120 A	200	33,6	33,6	
12	T12: B12	200	27,4	27,4	
13	T13: V123 A	200	43,7	43,7	4839, 4840, 4847, 4850
14	T14: V123 A	200	36,0	36,0	
15	T15: V115 B	200	35,7	35,7	
16	T16: V208 A	200	40,1	40,1	38677, 5519
17	T17: V208 A	196	36,7	36,6	
18	T18: V218 A	199	39,2	39,2	
19	T19: V315 B	200	33,6	33,6	39807, 39811
20	T20: V304 A	195	29,1	29,0	
21	T21: V304 B	198	26,0	26,0	
22	T22: V309 A	200	37,1	37,1	6129, 6192
23	T23: V309 A	200	41,4	41,4	
24	T24: V315 B	198	36,1	36,0	

3.3.2 Avaliação e solução do projetista

Com base nos resultados dos rompimentos o engenheiro calculista determinou as seguintes situações:

- Após vários cálculos realizados decidiu reforçar os pilares de periferia P110, P112 e P120, sendo necessário aumentar a seção apenas na direção paralela a divisa (figuras 3.8 e 3.9);
- O restante dos pilares da torre passaram, pois a robustez deles ajudou.

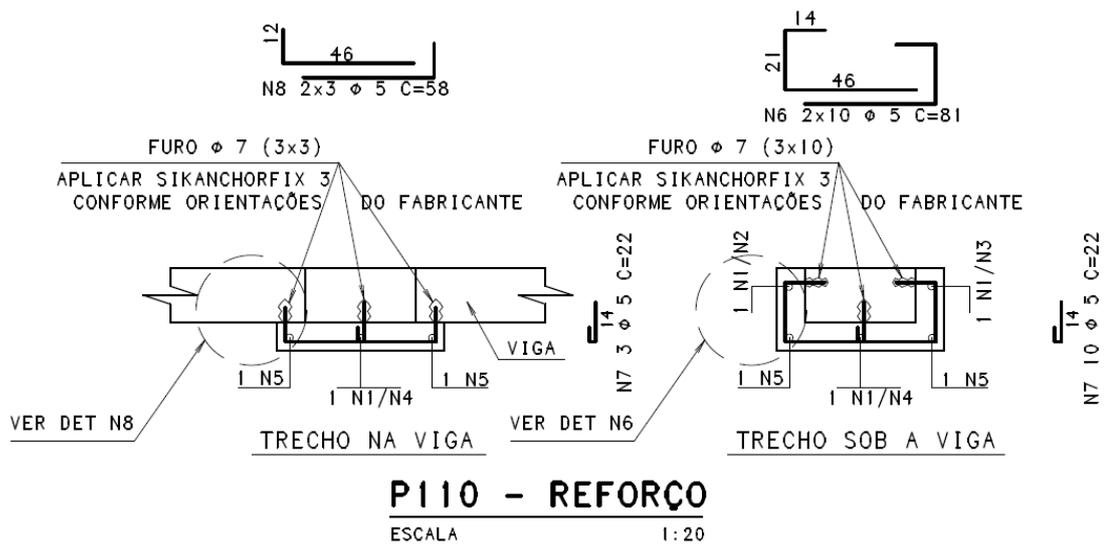


Figura 3. 8 - Reforço no pilar P110

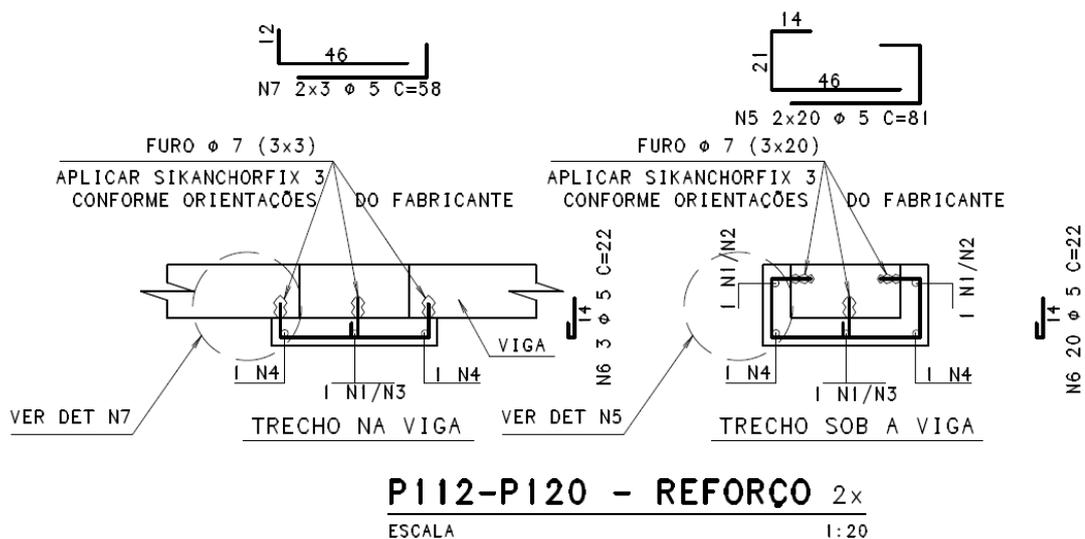


Figura 3. 9 - Reforço nos pilares P112 e P120

4. CONCLUSÃO

Com o estudo realizado na revisão bibliográfica, concluiu-se que os acidentes estruturais são provocados na maioria das vezes, pela falta de competência e instrução dos profissionais inseridos na construção civil, desde serventes até engenheiros, nas diferentes fases de projeto, execução e manutenção da edificação.

Durante a construção é inadmissível que ocorram falhas como a má interpretação dos projetos, utilização de equipamentos de maneira errada, execução das formas em desacordo com medidas de projeto, armadura colocada fora de posição ou mesmo a ausência dela, erros na cura do concreto, sendo que a maioria dos responsáveis não sabem o porque o fazem, erros na execução do escoramento e na retirada precoce do mesmo e a falta de critérios para o armazenamento de materiais e equipamentos sobre a estrutura.

Todos esses erros são frutos da falta de conhecimento e conscientização dos profissionais que constroem o edifício.

Como principais falhas na fase de projeto, cito a falta de investigação do subsolo, resultando na escolha errada do modelo de fundação. O dimensionamento das estruturas, sem considerar o meio ambiente na qual a mesma está inserida, detalhamentos inadequados e insuficientes para a perfeita execução, erros na concepção do projeto estrutural e erros no dimensionamento da estrutura.

A falta da vistoria periódica por profissional habilitado nas edificações em uso é a principal causa de erros pós construção, visto que síndicos e moradores muitas vezes não tem conhecimento técnico para essa função. A identificação e monitoramento da mudança de uso do edifício, reformas sem acompanhamento técnico, surgimento de manifestações patológicas na estrutura, sobrecargas excessivas e a realização de medidas preventivas, seria atividades de responsabilidade desse profissional, que certamente reduziria a ocorrência de acidentes estruturais.

O estudo de caso mostra a importância da fiscalização da qualidade dos materiais constituintes da estrutura. Caso não fosse realizado o controle tecnológico do concreto, possivelmente no futuro a estrutura iria começar a apresentar manifestações patológicas, podendo evoluir a ruína da estrutura e provocar um grave acidente estrutural.

5. BIBLIOGRAFIA

ALVES, A.T., SANTIAGO, J.E.D., CALIMAN, R.F. **Detalhamento das Armaduras de Lajes Maciças em Concreto Armado: Uma Análise Crítica.** Trabalho Final de Curso – Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa: 2011. 64 p.

BAUER, L.A.F., **Materiais de Construção.** 5. Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2000. 1 v. 471 p.

CUNHA, A.J.P., LIMA, N.A., SOUZA, V.C.M. **Acidentes Estruturais na Construção Civil.** São Paulo: Editora Pini, 1996. 1 v. 202 p.

CUNHA, A.J.P., LIMA, N.A., SOUZA, V.C.M. **Acidentes Estruturais na Construção Civil.** São Paulo: Editora Pini, 1998. 2 v. 269 p.

HELENE, P.R.L., **Corrosão em armaduras para concreto armado.** 4. Ed. São Paulo: Editora Pini, 1999. 47 p.

MARCELLI, M., **Sinistro na Construção Civil.** São Paulo: Editora Pini, 2007. 259 p.

MEDEIROS, M.H.F., GROCHOSKI, M. **"Marquises: Por Que Algumas Caem?".** Revista Concreto, v. 46, p. 95-103, São Paulo, 2007.

PETRUCCI, E.G.R., **Concreto de Cimento Portland.** 14. Ed. São Paulo: Editora Globo, 2005. 307 p.

RIBEIRO, D.V.R., **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise.** Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2014. 272 p.

SOUZA, R.A., ENAMI, R.M. **Sobre os Acidentes Estruturais recentes ocorridos na cidade de Maringá-PR.** Revista Tecnológica. v. 18, p. 91-101, 2009.

SOUZA, V.C.M., RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo: Editora Pini, 1998. 250 p.

TUTIKIAN, B., PACHECO, M. **Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil.** Boletim Técnico – ALCONPAT. BT 01, 15 p, 2013.