

IMPORTÂNCIA DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E SEMI DESTRUTIVOS  
COMBINADOS COM A ANÁLISE DO ESTADO DAS MANIFESTAÇÕES  
PATOLÓGICAS PARA A TOMADA DE DECISÃO QUANTO À RECUPERAÇÃO DE  
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO ATINGIDA POR INCÊNDIO.

*Luiz Alberto Modesti*

Pós-Graduando em Engenharia Civil, em Patologia nas Obras Cíveis, pela Unisinos/RS  
Engenheiro Civil.

## RESUMO

As estruturas de concreto armado, embora muito resistentes e duráveis, são muito prejudicadas e são facilmente danificadas quando atingidas pelo calor ou pelas chamas dos incêndios que provocam altas temperaturas. Após a ocorrência de situações que envolvem calor excessivo, como incêndio incidindo sobre estrutura de concreto armado, é necessário determinar, com a maior precisão possível, o grau de comprometimento da estrutura de concreto e da armadura, de forma a orientar a tomada de decisão quanto à necessidade de se efetuar a recuperação da estrutura bem como se é possível apenas realizar reparos do concreto armado ou se faz necessário efetuar o reforço da estrutura. O trabalho é um estudo de caso real de incêndio que atingiu parte de um parque de exposição com 36.000m<sup>2</sup>, onde foram destruídos 3.200m<sup>2</sup> e danificados uma lateral do pavilhão principal com 95m de comprimento. Apresenta um estudo das qualidades do concreto e os efeitos da incidência das altas temperaturas, passando pela análise das principais manifestações patológicas e defeitos construtivos que afetam a estrutura de concreto. Demonstra os procedimentos adotados numa situação de incêndio que danificou uma estrutura de concreto armado para a tomada de decisão da profundidade da recuperação a ser efetuada. A inspeção visual da estrutura danificada por incêndio para identificar a pré-existência de manifestações patológicas que comprometam a estabilidade e a segurança da estrutura é de suma importância, porém deve ser usada de forma conjugada e precedendo os ensaios não destrutivos e semidestrutivos para ser possível a tomada de decisão entre efetuar o reparo ou reforço da estrutura. Além disso, indica que os resultados obtidos com os ensaios da resistência à compressão do concreto não podem ser analisados de forma absoluta em estruturas de concreto armado com manifestações patológicas, mas sim de forma relativa, pois necessitam da inexistência de manifestações patológicas para serem analisados de forma absoluta. Será detalhada e justificada a metodologia empregada para os levantamentos de campo como a vistoria e os ensaios realizados para efetuar a correlação entre as manifestações patológicas verificadas ou potenciais com os resultados obtidos com a extração de corpos de prova do concreto, diagnóstico das causas comprovadas ou prováveis, visando à proposição ou não de medidas corretivas de forma balizada tanto nos aspectos subjetivos quanto objetivos.

Palavras-chave: incêndio, altas temperaturas, manifestações patológicas, concreto armado.

## 1 Introdução

O concreto tem boas características em relação à ação do fogo, tais como: não é combustível; tem desempenho satisfatório por longo período de exposição ao calor, durante o qual não expõem gases tóxicos, apresentando critérios importantes de desempenho como capacidade de suporte, resistência à penetração das chamas e resistência à transmissão do calor. (NEVILLE, 1997). No entanto, as estruturas de concreto armado, embora de modo geral sejam muito resistentes e duráveis, são muito prejudicadas e são danificadas quando sofrem efeito do calor ou pelas altas temperaturas provocadas pelas chamas dos incêndios, prejudicando a pasta de cimento, o agregado e o concreto. (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

Diversos estudos já foram realizados sobre o efeito da exposição do concreto a altas temperaturas (até 600°C) apresentando, de modo geral, resultados muito variáveis devido às diversas variáveis tais como: diferenças de tensões atuantes; das condições de umidade interna; da duração do calor; das propriedades do agregado. Por isso é difícil qualquer generalização. (NEVILLE, 1997).

Através de análises visuais, torna-se possível a avaliação preliminar de estruturas danificadas, tanto por incêndios, quanto deterioradas por manifestações patológicas. Conforme Cascudo (1997, p.79), as análises visuais, “visam registrar todas as anomalias presentes nas estruturas para, a partir daí, comparando-se quadros típicos de sintomas, identificar o problema ou os problemas patológicos atuantes”.

Conforme Helene & Medeiros (2009), acreditava-se que as estruturas de concreto armado, eram perpétuas, sem necessidade de manutenção. No entanto, com o estudo de manifestações patológicas mais recorrentes (como corrosão e fissuras), este entendimento mostrou-se equivocado, tendo como consequência estruturas menos duráveis e deterioradas.

De forma a embasar as inspeções visuais, aplicam-se os ensaios não destrutivos e semi destrutivos, para fundamentar diagnósticos de estruturas danificadas. Entre os mais frequentes, encontram-se a extração de corpos de prova para determinação da resistência à compressão do concreto, ultrassom, esclerometria, potencial de corrosão, carbonatação, teor de cloretos, entre outros (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

O estudo tem como objetivo efetuar uma análise da necessidade e possibilidade de recuperação de uma estrutura de concreto armado composta por vinte pilares e uma viga contínua com 19 vãos e 95m de comprimento do pavilhão “B” situado ao lado e contínuo ao pavilhão “A” onde ocorreu o foco do incêndio de grande porte e com duração de quatro horas.

Para tanto foi realizada um estudo comparativo das manifestações patológicas da estrutura sinistrada associado aos ensaios não destrutivos e semi destrutivos para determinar eventual variação da resistência à compressão do concreto e orientar a tomada de decisão para a possibilidade de recuperação da estrutura sinistrada com ou sem reforço.

## **2 Justificativa**

Este trabalho apresenta um estudo das qualidades do concreto e os efeitos da incidência das altas temperaturas, passando pela análise das principais manifestações patológicas e defeitos construtivos que afetam a estrutura de concreto. Demonstra os procedimentos adotados numa situação de incêndio que danificou uma estrutura de concreto armado para a tomada de decisão para decidir entre efetuar os reparos e os reforços da estrutura.

Será detalhada a metodologia empregada para os levantamentos de campo como a vistoria e os ensaios da realizados para efetuar a correlação entre as manifestações patológicas verificadas ou potenciais com os resultados obtidos com os ensaios semidestruídos através da extração de corpos de prova do concreto, diagnóstico das causas comprovadas ou prováveis, visando à proposição ou não de medidas corretivas para se efetuar os reparos ou reforços da estrutura de forma balizada tanto nos aspectos subjetivos quando objetivos.

## **3 Fundamentação teórica**

### **3.1 Análise do efeito do aumento da temperatura no concreto armado**

#### **3.1.1 Características do concreto armado**

O concreto tem boas características no que diz respeito à resistência ao fogo, pois não é combustível, continua a ter desempenho satisfatório por longo tempo de exposição ao fogo e não expele gases tóxicos. Apresenta critérios importantes de desempenho, tais como: capacidade de suporte de cargas, resistência à penetração das chamas e resistência à transferência do calor, quando usado como proteção da armadura (NEVILLE, 1997; MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Do ponto de vista de proteção, quando a estrutura é exposta ao fogo, a temperatura do concreto não se elevará até que toda a água evaporável tenha sido removida, sendo necessário um considerável calor de vaporização para a conversão de água em vapor. (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

### 3.1.2 Concreto de resistência convencional e Concreto de alta resistência

Conforme o boletim n ° 38 da *fib* (2007), os três principais impactos do fogo em estruturas de concreto são a degradação das propriedades mecânicas, deformações térmicas e o lascamento. Segundo Costa (2002), concretos de alta resistência (CAR) ou de alto desempenho (CAD) são mais compactos e mais densos que os concretos tradicionais em função da redução do fator água/cimento, com menor permeabilidade da estrutura aumentando a durabilidade e resistência.

No entanto, quando submetidos a elevadas temperaturas ocorre evaporação acelerada da umidade interna, armazenada nos poros de todos os tipos de concreto, provocando pequenas “explosões” denominadas “pop outs” (pipocamento); ou expulsões de partes do concreto denominados de “*spalling*” (lascamentos) expondo a armadura diretamente ao fogo. Já em concretos de baixa resistência, fissurados ou com “ninhos de concretagem”, por terem elevada permeabilidade ou baixa rigidez da estrutura, com muitos poros, são raros os “pop outs”, mas são frequentes os “*spalling*” [MEHTA; MONTEIRO, 2008; LIMA, KIRCHHOF, CASONATO; SILVA FILHO, 2004; SILVA, 2012].

Ainda, a calcinação também causa expansão e fragmentação dos agregados e durante o resfriamento com água dos bombeiros, a rehidratação do óxido de cálcio é caracterizada por uma grande expansão e eleva temperatura, aumentando substancialmente as fissuras (COSTA, 2002).

Conforme Neville (1997) de modo geral a resistência e o módulo de elasticidade varia da mesma forma sob o aumento da temperatura, mas depende do agregado usado e é difícil uma generalização. A perda de resistência é menor quando o agregado não contém sílica, como calcários, rochas ígneas como basalto e outros. O concreto com baixa condutividade térmica tem melhor resistência ao fogo de modo que concretos leves resistem mais do que concretos comuns, sendo observada resistência residual de pelo menos 50% depois de exposição a 600°C. Por outro lado, os estudos com concretos de alta resistência (89MPa) indicam perda de resistência maior do que concreto de resistência comum. Ou seja, concretos com mistura mais pobre parecem sofrer uma perda de resistência menor do que as mais ricas.

Segundo Silva Filho (2004) a justificativa para este comportamento se encontra no acréscimo de pressão que ocorre nos poros do concreto, decorrente da evaporação da água presente na matriz cimentícia, associada às tensões geradas pelos gradientes de deformação térmica. Além disso, salienta que as alterações não se restringem a fenômenos responsáveis

pelas características do concreto endurecido. O efeito combinado pode causar perdas significativas da capacidade portante das estruturas de concreto.

A estrutura típica de concretos de baixa resistência, caracterizada por uma rede ampla de poros, com diâmetros maiores, facilita o escape do vapor de água, reduzindo a “poro-pressão”. Mesmo que o concreto apresenta uma redução de sua capacidade estrutural quando da exposição a temperaturas elevadas, normalmente resiste bem à ação do calor, por um tempo considerável, sem chegar ao colapso. (SILVA FILHO, 2004).

Nessa mesma linha, a *fib* nº38 (2007) e Pignatta Silva (2012) entendem que o “*spalling*” em concretos com resistência convencional ( $f_{ck} < 50$  MPa), tem ocorrência aleatória e decorre, principalmente, do comportamento diferencial a altas temperaturas dos materiais componentes do concreto e da pressão interna da água ao evaporar-se, e buscar soluções para evitar é antieconômico. Já nos concretos de alta resistência a causa, preponderante, é a pressão interna do vapor d’água e nesse pode ocorrer o “*spalling*” explosivo devido à dificuldade de percolação da água.

Conforme Mehta & Monteiro (2008), o concreto de alta resistência é mais frágil do que o concreto convencional; portanto, mais susceptível ao desenvolvimento da fissuração frágil e, conseqüentemente, a lascamento explosivo. No entanto, assim que as fissuras se abrem, há um maior volume disponível para o vapor causando diminuição significativa da pressão no poro.

Concretos bem projetados e com traço adequado, podem ser considerados resistentes ao fogo, suportando temperaturas de até 600°C sem afetar suas propriedades (*FIB* nº 38, 2007). Com o mesmo entendimento, Britez et al. (2012) e a *fib* nº 46 (2008) afirmam que apesar do avanço mundial na área de pesquisa do concreto de alta resistência em situação de incêndio, ainda persiste a ideia de que esse material pode apresentar comportamento desfavorável.

Ressalta-se que diversos estudos já contestaram esse fato, apontados por Britez et al. (2012), apontando que os fatores fundamentais para uma correta avaliação do desempenho frente ao fogo são a geometria e o tamanho da seção transversal, além da taxa e configuração da armadura, principalmente quanto ao “*spalling*” tipo explosivo.

### **3.1.3 Efeitos das altas temperaturas na pasta, no agregado e no concreto**

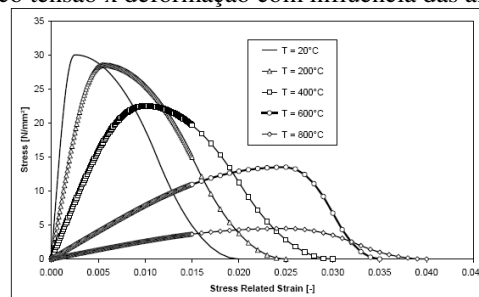
Segundo Mehta & Monteiro (2008) a pasta de cimento Portland bem hidratada consiste basicamente de silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), hidróxido de cálcio e sulfoaluminato de cálcio hidratados e a pasta saturada contém grandes quantidades de água

livre, capilar e adsorvida que são perdidas rapidamente durante os incêndios, por desidratação devido o aumento das temperaturas. Parte da água interlamelar do C-S-H se perde até 300°C. Por volta de 500°C ocorre a decomposição do Hidróxido de cálcio com nova desidratação; porém são necessários 900°C para que ocorra a decomposição completa do C-S-H.

Já Neville (1997) destaca que com elevação da temperatura até 400°C ocorre a desidratação do concreto e a consequente decomposição do hidróxido de cálcio, resultado cal. Contudo, com o combate ao incêndio ocorre a ruptura do concreto devido a rehidratação do concreto pela água de resfriamento. Além disso, ressalta que a aplicação de água em incêndio equivale a resfriamento brusco que provoca uma grande redução de resistência face os intensos gradientes de temperatura originados no concreto.

Além do módulo de elasticidade a *fib* nº 46 (2008) relata que a resistência à compressão e à tração também são afetadas. No caso da compressão, esta é afetada principalmente no caso de agregados graúdos convencionais, com a relação água/cimento, tipo de cimento e resistência à temperatura ambiente tendo pouca influência no resultado final. Já a resistência à tração, diminui mais rapidamente, conforme demonstrado na figura 1.

Figura 1- Gráfico tensão x deformação com influência das altas temperaturas



Fonte: *fib* nº 46 (2008, p. 10).

De acordo com Mehta & Monteiro (2008) se existe grande quantidade de água evaporável dentro do concreto submetido às altas temperaturas de um incêndio e se a taxa de aquecimento for elevada e a permeabilidade da pasta de cimento for baixa, podem aparecer danos no concreto em forma de lascamentos superficiais denominado de “*spalling*”. Isso ocorre quando a pressão de vapor aumentar a taxa maior do que o alívio de pressão pela dispersão do vapor pelos poros.

O aumento da temperatura nos elementos de concreto causa redução na resistência característica e no módulo de elasticidade dos materiais; há perda de rigidez da estrutura e a heterogeneidade dos materiais constituintes do concreto (pasta, agregados, aço) conduz à degradação polifásica do concreto armado, podendo levar as peças estruturais à ruína. A desagregação do concreto pode ser antecipada dependendo das características da própria pasta, como o teor de umidade e as adições para melhorar a resistência (COSTA, 2002).

Conforme Pignatta Silva (2012), hoje se reconhece que a capacidade resistente do concreto, do aço, das estruturas mistas, etc., em situação de incêndio é reduzida, em vista da degeneração das propriedades mecânicas dos materiais ou da redução da área resistente.

A porosidade e a mineralogia do agregado parecem exercer importante influência sobre o comportamento do concreto quando exposto às altas temperaturas de um incêndio, e, dependendo de alguns fatores do concreto, os agregados porosos podem ser suscetíveis à expansão destrutivas do tipo pipocamento, “pop out”. A mineralogia do agregado determina as expansões térmicas diferenciais entre o agregado e sua interfase com a pasta de cimento. (MEHTA; MONTEIRO, 2008)

O boletim nº 38 da *fib* (2007) indica que os principais parâmetros a serem analisados para avaliação da estrutura que foi exposta a um incêndio são: a taxa de aquecimento da estrutura, que influencia o aumento da temperatura e os gradientes da pressão nos poros e na umidade da estrutura; a temperatura máxima atingida, afetando as características físico-químicas do concreto; a duração do incêndio, influenciando a evolução da temperatura no interior da peça exposta e o regime de resfriamento.

Britez et al. (2011) destaca que existem vários estudos que devem ser analisados com cuidado, pois foram elaborados com agregados de aspectos litológicos de outros países e, geralmente silicosos e calcários, sendo que prepondera no Brasil o uso de agregado basáltico. Além disso, ressalta que os ensaios de estrutura submetidos a incêndio deveriam ser realizados em amostras com idade de no mínimo um ano e que apresentem maturidade, teor de umidade e grau de hidratação compatíveis com as estruturas em uso.

### **3.1.4 Efeito das altas temperaturas no aço do concreto armado**

Durante um incêndio ocorrem elevados gradientes de temperatura e, por isso, as camadas superficiais, mais quentes, tendem a descamar das camadas internas, mais frias. A fissuração é mais intensa nas juntas, nas regiões que foram mal adensadas ou nos planos das barras da armadura, que depois de exposta, a armadura esquenta e passa a conduzir o calor acelerando o efeito da temperatura. NEVILLE (1997 p.391)

Além disso, Santos (2010) afirma que o aço existente na estrutura de concreto armado contribui para o aquecimento dos elementos, em virtude de fatores, tais como: maior proximidade da face da peça à fonte de calor; diferença do cobrimento da armadura e existência de vazios internos.

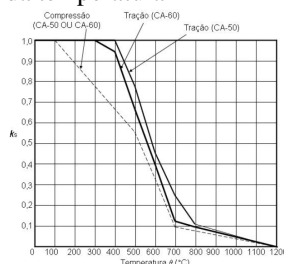
Em caso de incêndio, o calor se propaga mais rápido ao longo da armadura e o aço se dilata mais que o concreto. As barras flambam e comprimem a zona de aderência aço-concreto oprimindo a interface e por isso, ocorre a perda da aderência e ancoragem das armaduras existentes nas estruturas de concreto armado quando submetidas às altas temperaturas de incêndio. Além disso, ressalta-se que a perda de aderência, independente do diâmetro das barras, é muito maior em concretos resfriados com água dos bombeiros, comparativamente quando resfriados naturalmente. (COSTA, 2002).

Segundo Colaço (2005), as propriedades mecânicas dos aços são muito afetadas por temperaturas elevadas. Temperaturas superiores a 500°C podem resultar em alterações da microestrutura e ou deformações irreversível quando o material é submetido a esforços relativamente pequenos, uma vez que a tensão de escoamento pode diminuir abruptamente. Por outro lado, a exposição do aço à temperaturas elevadas pode originar corrosão ou erosão severa da superfície, da qual poderá resultada a perda de funcionalidade do componente, assim como resulta que a exposição prolongada ao fogo de uma estrutura de aço pode resultar perda de capacidade de sustentação da estrutura e ou danos irreversíveis na sua funcionalidade.

Em caso de recuperação e aproveitamento da estrutura remanescente, deve ser observada a adequação da estrutura de concreto à Norma NBR 15200 (2012), no item 4.7 e demais que prevê que a estrutura só pode ser reutilizada após um incêndio se for vistoriada, tiver sua capacidade remanescente verificada e sua recuperação for projetada e executada, pressupondo que a estrutura volte a ter as características que apresentava antes do incêndio.

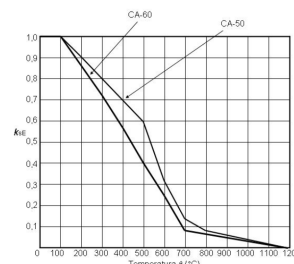
Da mesma forma o item 5, descreve as propriedades dos materiais em situação de incêndio, e afirma que a resistência ao escoamento do aço da armadura passiva decresce com o aumento da temperatura, conforme mostrado na figura 2 e que o módulo de elasticidade do aço da armadura passiva decresce, conforme mostrado na figura 3.

Figura 2 - Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva em função da temperatura



Fonte –NBR 15200 (2012, p.7)

Figura 3 - Fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura passiva em função da temperatura



Fonte – NBR 15200 (2012, p.8)



#### **4. Estrutura estudada**

Para desenvolver este artigo foi vistoriada parte da estrutura de um parque exposições composto por pavilhões justapostos com área total de 36.000m<sup>2</sup> que sofreu um incêndio de grande porte e que provocou a perda total do pavilhão “A” e danificou a face externa da estrutura de concreto armado do pavilhão “B”. O pavilhão analisado possui estrutura de concreto armado composto por pilares, pilares tirantes, laje de entrepiso de concreto armado e pé direito livre de 5,70m e comprimento de 95m.

O sinistro de incêndio ocorreu em 05 de junho de 2013 com início às 01h30m e término às 05h30m. O levantamento de informações ocorreu durante vários dias de julho de 2013 quando se efetuaram as vistorias da estrutura danificada e o levantamento das manifestações patológicas e problemas construtivos.

Ressalta-se que o prazo para a conclusão dos estudos e da recuperação da estrutura do pavilhão “B” e a reconstrução do pavilhão “A” era de apenas 45 dias, pois havia a previsão da abertura de uma feira latino-americana, fato que limitou os estudos e ensaios.

De modo geral a parede externa do pavilhão “B” foi afetada pelo incêndio, seja de forma superficial com a queima da camada superficial do revestimento e da tinta de pintura da estrutura e com deposição e aderência de fuligem espessa, seja de forma mais profunda com o destacamento da camada de revestimento argamassado e em alguns locais com lascamentos do concreto dos pilares e vigas externas expondo a armadura.

Na sequência foi removida a totalidade do revestimento argamassado dos pilares e da viga superior de entrepiso do pavilhão para analisar as condições do concreto armado e concluir da necessidade ou não de se efetuar reparos ou reforços emergenciais ou programáveis. Após foram realizados os ensaios tecnológicos na estrutura de concreto necessários para verificar o comprometimento da resistência do concreto nos pilares e na viga. Por fim, encaminhou-se o projeto de recuperação estrutural e acompanhou-se a execução da recuperação da estrutural nos locais onde o concreto apresentava comprometimento em sua resistência à compressão ou nos pontos em que as manifestações patológicas comprometeram a segurança e estabilidade.

##### **4.1 Análise dos danos, defeitos e manifestações patológicas da estrutura de concreto**

De início foi efetuada uma revisão detalhada das condições da estrutura de concreto armado, especificamente nos 20 pilares e nos 19 vãos de vigas com 95m de comprimento,

observando a qualidade de concretagem identificando os pontos com problemas construtivos que foram expostos ao calor do incêndio e analisando a presença de manifestações patológicas na estrutura de concreto, pois o calor e as chamas de incêndio potencializam estes problemas.

Todos os detalhes indicativos de defeitos e falhas construtivas foram devidamente fotografados para manter o registro mais detalhado possível.

A vistoria realizada logo após o incêndio comprovou a ocorrência de chamas diretas e intenso calor na estrutura de concreto e na estrutura metálica da cobertura a ponto de deformar duas das tesouras metálicas mais próximas do foco do incêndio e a cobertura, indicando com isso, que o calor variou de 500°C a 600° C graus, conforme mostrado nas figuras 4 e 5.

Figura 4 - Foto da cobertura deformada



Fonte – Autor (2013)

Figura 5- Foto da tesoura metálica deformada



Fonte - Autor (2013)

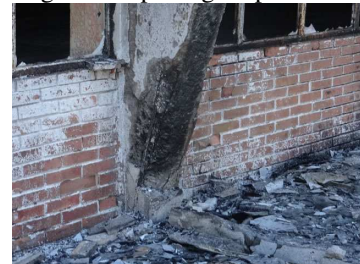
A inspeção comprovou que algumas partes da estrutura de concreto sofreram danos do tipo destacamento e queda do revestimento argamassado dos pilares e vigas. Destaca-se que o revestimento argamassado é uma proteção, inclusive térmica, para a estrutura de concreto, conforme figura 6. Também ocorreram “*spalling*” de partes do concreto, desprotegendo e expondo a armadura ao calor intenso, conforme mostrado na figura 7.

Figura 6 -Foto de queda revestimento



Fonte – Autor (2013)

Figura 7 - spalling no pilar



Fonte - Autor (2013)

Na vistoria se observou a ocorrência de inúmeros pontos com ninhos de concretagem e segregação do concreto que provocam a diminuição da resistência da estrutura. Isto ocorre devido a falta de fiscalização atenção durante a concretagem, adensamento e cura do concreto. As figuras 8 e 9 demonstram o porte elevado dos ninhos e segregação.

Figura 8 - Foto de ninho com segregação



Fonte – Autor (2013)

Figura 9 - ninho c/segregação



Fonte - Autor (2013)

Constatou-se a ocorrência de cobertura insuficiente e posição inadequada da armadura prejudicando de sobremaneira o comportamento da estrutura e comprometendo a segurança. As figuras 10 e 11 demonstram que a estrutura não teve a devida atenção quanto ao posicionamento da armadura e respeito ao cobrimento mínimo.

Figura 10 - cobrimento insuficiente



Fonte – Autor (2013)

Figura 11 - posição inadequada da armadura



Fonte - Autor (2013)

Observou-se a ocorrência de juntas de concretagem inadequadas em quase todas as vigas que comprometem a segurança da estrutura. As juntas não foram tratadas e não tiveram a devida atenção e a estrutura se destacou, conforme mostrado nas figuras 12 e 13.

Figura 12 - Foto de junta de concretagem



Fonte – Autor (2013)

Figura 13 Foto de junta de concretagem



Fonte - Autor (2013)

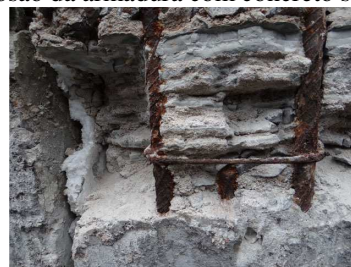
Constatou-se a ocorrência de inúmeros pontos com corrosão da armadura comprometendo o desempenho estrutural e a segurança da estrutura. A corrosão se mostrou presente em quase todos os pilares e vigas devido a má qualidade da execução do concreto (segregado) e com inobservância do posicionamento da armadura facilitando o início do processo de corrosão conforme demonstrado na figuras 14 e 15.

Figura 14 - Corrosão da armadura



Fonte – Autor (2013)

Figura 15 - Corrosão da armadura com concreto segregado



Fonte - Autor (2013)

#### 4.2 Ensaio não destrutivos e semidestrutivos realizados na estrutura

Foram propostos ensaios não destrutivos e semi destrutivos em função da situação do local estudado e a disponibilidade de tempo e recursos citados a seguir.

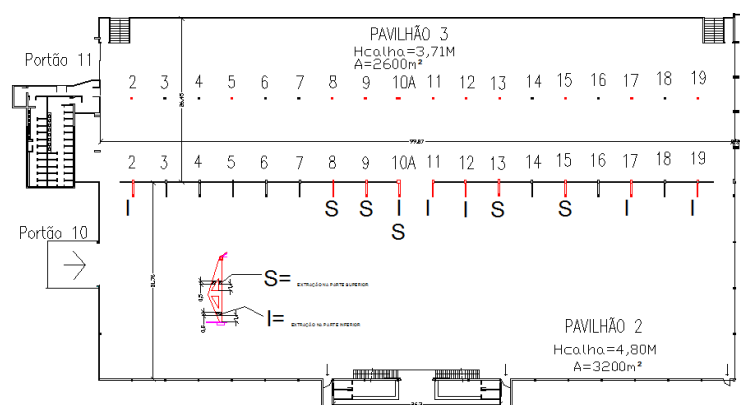
- Ensaio de esclerometria: que apresenta dados da dureza superficial do concreto ensaiado, da resistência à compressão e sua homogeneidade;
- Ensaio de pacometria: permite localizar e marcar a armadura para a realização dos demais ensaios e para indicar o local para a retirada dos testemunhos;
- Extração de corpos de prova: não é propriamente um ensaio, mas é a coleta de corpos de prova para análise em laboratório e permite a inspeção visual interna do concreto;
- Ensaio de compressão axial do concreto: ensaio realizado nos corpos de prova extraídos do concreto e permite caracterizar e verificar a homogeneidade do concreto;

Conforme Sahuinco (2012), outros tipos de ensaios não destrutivos poderiam ser aplicados no estudo.

- Ensaio de ultrassom: fornece dados como módulo de elasticidade dinâmico do concreto, a resistência à compressão, existência de vazios no concreto, falhas e deteriorações e fissuras;
- Ensaio de carbonatação: indica a profundidade de carbonatação e a qualidade do concreto;
- Ensaio de porosidade (índice de vazios), absorção de água, absorção capilar e umidade de equilíbrio: demonstra a qualidade do concreto e a sua capacidade de proteção contra a corrosão das armaduras;
- Ensaio de resistividade elétrica do concreto: demonstra as propriedades do concreto que influenciam no processo eletroquímico da corrosão;

Os ensaios laboratoriais não destrutivos e semidestrutivos foram realizados pelo ITT Performance da Unisinos. Em função do tempo disponível de apenas 45 dias para realizar todos os estudos e a recuperação ou demolição da estrutura optou por realizar apenas os ensaios de esclerometria; de pacometria, de compressão axial do concreto com a extração de corpos de prova. A figura 16 apresenta a planta baixa do local estudado indicando os pilares internos e externos onde foram realizados os ensaios.

Figura 16 – planta baixa da estrutura indicando os 20 pilares internos e os 20 pilares externos



Fonte – ITT Performance (2013)

Primeiramente foi realizado o **ensaio de esclerometria** conforme a **NBR 7584:2012** para a determinação da resistência superficial do concreto e orientar a escolha dos pilares que devem ser exemplares para a retirada de corpos de prova, conforme mostrando na figura 17.

Na sequência foi realizado o **ensaio de pacometria** conforme BS.1881-204:1978 para a determinação da posição da armadura dentro dos pilares e vigas e evitar o corte durante a extração dos corpos de prova, conforme mostrado na figura 18.

Figura 17 - Ensaio de esclerometria



Fonte – Autor (2013)

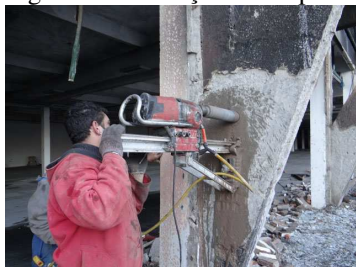
Figura 18- Ensaio de pacometria



Fonte - Autor (2013)

Foi realizada a **extração de corpos de prova da estrutura** conforme a NBR 7680:2007 (figura 19), para a posterior realização de **ensaio para determinação da resistência à compressão axial do concreto** conforme a NBR 5739: 2007 dos pilares e vigas, mostrado na figura 20.

Figura 19 - Extração de corpo de provas



Fonte – Autor (2013)

Figura 20 -Ensaio da resistência à compressão



Fonte - Autor (2013)

## 5 Discussão e Resultados

### 5.1 Resultados da análise das manifestações patológicas existentes na estrutura de concreto armado (pilares-tirantes e vigas)

Logo após o incêndio constatou-se que diversos pilares e vigas restaram com o revestimento argamassado destacado ou fissurado expondo ao calor do incêndio, mesmo que parcialmente, a armadura em diversos locais dos pilares, seja na parte inferior ou superior, ou mesmo na viga externa de fechamento do pavilhão. Ressalta-se que os efeitos da elevada temperatura no aço da estrutura não é objeto desse estudo.

De forma geral, verificou-se que vários pilares e vigas apresentaram sérias deficiências construtivas, falhas de concretagem, com muitos pontos de armadura exposta ou com processo de corrosão instalado nos vergalhões e com diminuição acentuada de seção dos estribos e, também com espessura de cobertura insuficiente e inferior a 0,5 cm em determinados locais, além de inúmeros pontos com grandes ninhos de concretagem e vários pontos com segregação e fissuração interna do concreto comprovado pela passagem de água por dentro do concreto durante a extração de corpos de prova.

Ressalta-se que, conforme o referencial bibliográfico estudado, quando submetida às altas temperaturas de um incêndio a estrutura de concreto armado sofre prejuízos muito intensos, seja pela desidratação do concreto, principalmente nos locais segregados, seja pela fissuração do concreto que provocam a diminuição da resistência à compressão do concreto, seja pelos danos à armadura de aço, que são potencializando pelo efeito da temperatura,

Destaca-se que os danos na estrutura de concreto do pavilhão estudado não foram maiores porque o concreto apresentava qualidade técnica muito baixa, com muitas fissuras internas, falhas e ninhos de concretagem, segregação do concreto que provocaram muitos vazios internos (poros) que não permitem que a “poro-pressão” seja muito elevada, fato que causariam “pop outs” ou maior quantidade de “*spalling*”.

Constatou-se a presença das seguintes manifestações patológicas nos pilares e vigas.

- Destacamento do revestimento argamassado em diversos pilares expondo o concreto às altas temperaturas;
- Armadura exposta nas vigas e pilares que foram submetidas às altas temperaturas;
- Ninhos de concretagem muito intensa nos pilares e nas vigas;
- Porosidade e segregação elevada nos pilares;
- Corrosão de armadura nas vigas e pilares,

## **5.2 Resultados dos ensaios não destrutivos e ensaios semidestrutivos realizados na estrutura do concreto armado dos pilares-tirantes e vigas**

Primeiramente foram realizados levantamento da dureza superficial de diversos pilares internos e íntegros para balizarem o comparativo com os exemplares externos que foram atingidos pelas chamas. No entanto, os ensaios não destrutivos de esclerometria não se mostraram coerentes e não foram explicativos, pois os locais escolhidos como balizadores (11 pilares), apresentaram valor médio menor que a média dos locais analisados (13 pilares) que sofreram a ação das altas temperaturas, havendo pontos acima e abaixo da média, não sendo conclusivos ou explicativos de qualquer fenômeno. Conforme Malhotra & Carino (2006), os resultados de ensaios de esclerometria em peças carbonatadas com espessura acima de 20 mm, apresentam dureza superficial até 50% superior ao de um concreto não carbonatado, prejudicando a análise.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados nos pilares íntegros e nos pilares atingidos pelas chamas e posteriormente nas vigas. Foram extraídas amostras nos pilares-tirantes em duas alturas. Na parte inferior a cerca de 150 cm do piso e na parte superior a cerca de 5,00m do piso. E a 4,30m do piso nas vigas. Os valores obtidos foram corrigidos de acordo com o ACI 214.4R-10, (2010).

Os resultados foram processados separadamente para se efetuar o comparativo entre os pilares em função do calor do incêndio x altura. Os resultados da parte superior dos pilares se mostraram muito superiores ao esperado e não foram indicativos de diminuição de resistência do concreto, mas sim de que o concreto analisado, naquela altura de 5,0m, possuía resistência muito superior ao esperado para os concretos produzidos em 1969.

Por isso nosso estudo se concentrou nas amostras obtidas nos pilares a 1,50m de altura e nas vigas a 4,30m de altura.

### **5.2.1 Análise da parte inferior dos pilares (150 cm acima do piso)**

Calculou-se a resistência média dos pilares extremos (2 e 19) cujo valor de 45 MPa foi adotado como referência, tendo em vista que o incêndio nestes locais não foi intenso. Foi realizada a comparação e os resultados demonstram que ocorreu a diminuição da resistência à compressão do concreto em direção à região central do pavilhão, fato que coincide com a região indicada como foco do incêndio (pilares 11-12-13), conforme mostrado na tabela 1.

Verificou-se que em seis pilares ocorreu a diminuição da resistência, comparada com a média, da ordem de **37% a 50%** (pilares 4 – 5 – 11 – 12 – 14 - 15) e em cinco a diminuição foi da ordem de **20% a 30%** (7 – 8 – 13 – 17), conforme mostrado na figura 21.

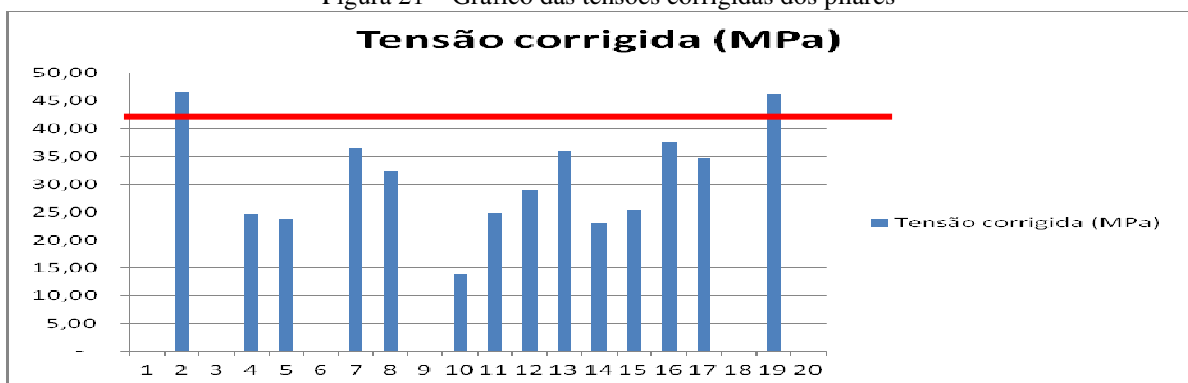
Em alguns pilares a diminuição foi menor, mesmo entre dois pilares bem prejudicados, e esse fato se explica porque o cenário era de feira de vestuário com muitos estandes e anteparos que funcionaram como barreiras à propagação do calor do incêndio.

Tabela 1 – relatório de resistência à compressão de corpos de prova dos pilares

<b>PILARES INFERIORES</b>	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Tensão corrigida	% de perda
<b>Pilar 2 Inf.</b>	14,7	7,3	152,20	36,40	46,48	Referencia
<b>Pilar 4 Inf.</b>	14,6	7,3	80,70	19,30	24,65	-46,54%
<b>Pilar 5 Inf.</b>	14,6	7,3	77,70	18,60	23,75	-48,48%
<b>Pilar 7 Inf.</b>	14,6	7,3	119,60	28,60	36,52	-20,78%
<b>Pilar 8 Inf.</b>	14,6	7,3	106,50	25,40	32,44	-29,64%
<b>Pilar 10 Inf.</b>	14,4	7,2	43,80	10,80	13,79	descartado
<b>Pilar 11 Inf.</b>	14,5	7,2	78,80	19,40	24,77	-46,26%
<b>Pilar 12 Inf.</b>	14,5	7,2	91,90	22,60	28,86	-37,91%
<b>Pilar 13 Inf.</b>	14,6	7,3	117,80	28,10	35,88	-22,16%
<b>Pilar 14 Inf.</b>	14,6	7,3	75,60	18,10	23,11	-49,86%
<b>Pilar 15 Inf.</b>	14,6	7,3	83,90	20,00	25,54	-44,60%
<b>Pilar 16 Inf.</b>	14,6	7,3	123,50	29,50	37,67	-18,28%
<b>Pilar 17 Inf.</b>	14,6	7,3	113,70	27,20	34,73	-24,65%
<b>Pilar 19 Inf.</b>	14,6	7,3	151,20	36,10	46,10	Referencia

Fonte – ITT – Unisinos (2013)

Figura 21 – Gráfico das tensões corrigidas dos pilares



Fonte – ITT- Unisinos (2013)

Pilares: Face a grande diminuição da resistência à compressão dos pilares centrais, exposição da armadura diretamente ao calor do incêndio e a pré-existência de muitos defeitos construtivos, se concluiu que deve ser executada a recuperação com reforço emergencial de sete pilares. Outros sete pilares devem ser reforçados na segunda fase dos trabalhos, pois apresentaram diminuição acentuada de resistência à compressão e grau médio de comprometimento pelas manifestações patológicas. Os demais cinco pilares serão apenas



reparados, pois não apresentaram diminuição de resistência e apresentam grau baixo de comprometimento pelas manifestações patológicas.

Ressalta-se que a construção do pavilhão é de 1969 e durante 44 anos permaneceu estável e sem maior comprometimento “aparente” na estrutura, mesmo com os danos relatados e fotografados neste trabalho, tendo em vista a robustez da estrutura e o excesso de cimento utilizado na produção do concreto que atingiu em algumas amostras 50 MPa.

### 5.2.2 Análise das vigas externas parte superior dos pilares (430 cm acima do piso)

Calculou-se a resistência média das vigas (V14 ate V19) cujo valor de 40,75 MPa foi adotado como referência tendo em vista que o incêndio nestes locais não foi tão intenso. Foi realizada a comparação e os resultados indicaram que ocorreu a diminuição da resistência à compressão do concreto do início do pavilhão em direção à região central do pavilhão, fato que coincide com a região indicada como foco do incêndio, conforme mostrado na tabela 2.

Desta forma, em 7 vãos da viga (V3; V4; V5; V6; V10; V11; e V13) ocorreu a diminuição de resistência, comparada com a média, da ordem de 51,90% a 67,36%, e, em 5 vãos da viga (V1; V2; V7; V9 e V12) ocorreu a diminuição de resistência da ordem de 35,95% a 44,79% e na V8 a diminuição foi de 23,19% , conforme mostrado na figura 22.

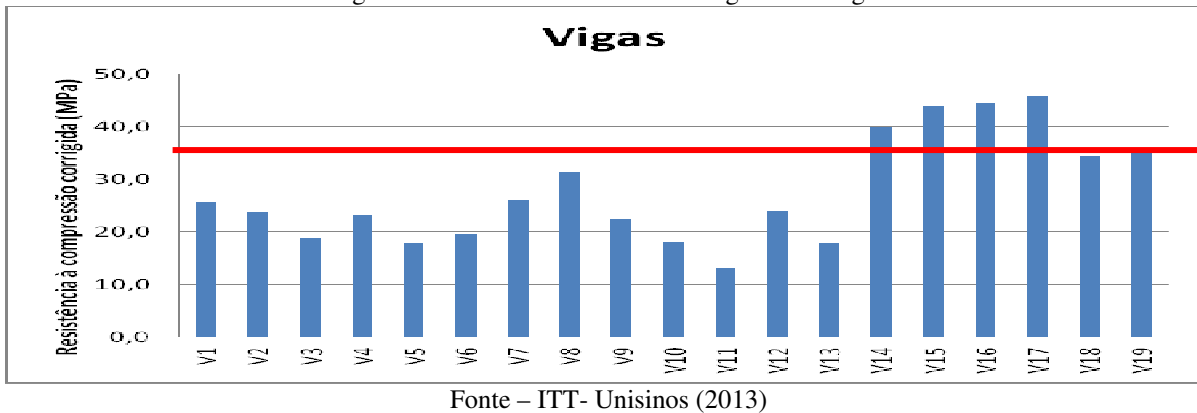
Tabela 2 – relatório de resistência à compressão de corpos de prova das vigas

viga entre Pilares	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Tensão corrigida	% Perda
V1- P1 e P2	10,20	5,10	43,30	21,00	25,54	-37,42
V2- P2 e P3	10,20	5,10	40,10	19,60	23,83	-41,60
V3- P3 e P4	10,20	5,10	32,30	15,60	18,97	-53,37
V4- P4 e P5	10,30	5,15	40,00	19,20	23,35	-57,18
V5- P5 e P6	10,20	5,10	30,00	14,60	17,75	-56,32
V6- P6 e P7	10,30	5,15	33,30	16,10	19,58	-51,90
V7- P7 e P8	10,20	5,10	44,00	21,50	26,14	-35,95
V8- P8 e P9	10,30	5,15	53,60	25,70	31,25	-23,19
V9- P9 e P10	10,30	5,15	38,60	18,50	22,50	-44,79
V10- P10 e P11	10,10	5,05	29,60	14,80	18,00	-55,83
V11- P11 e P12	10,40	5,20	23,20	10,90	13,25	-67,36
V12- P12 e P12	10,20	5,10	41,00	19,80	24,08	-40,86
V13- P13 e P14	10,10	5,05	29,50	14,70	17,88	-56,07
V14- P14 e P15	10,40	5,20	69,70	32,80	39,88	referência
V15- P15 e P16	10,10	5,05	72,40	36,10	43,90	referência
V16- P16 e P17	10,30	5,15	76,20	36,60	44,51	referência
V17- P17 e P18	10,30	5,15	78,50	37,70	45,84	referência
V18- P18 e P19	10,30	5,15	59,20	28,40	34,53	referência

V19- P19 e P20	10,30	5,15	61,10	29,20	35,51	referência
----------------	-------	------	-------	-------	-------	------------

Fonte – ITT – Unisinos (2013)

Figura 22 – Gráfico das tensões corrigidas das vigas



Vigas: Em função da diminuição da resistência à compressão das vigas e da exposição da armadura diretamente às chamas durante o incêndio e a pré-existência de defeitos construtivos, associada à esbelteza da viga (10cm a 12cm), se concluiu que deve ser executada a recuperação com reforço em toda a extensão da viga com 95m de comprimento para manter a uniformidade do reparo.

## 6 Considerações finais e Conclusão

Os resultados dos ensaios semi destrutivos indicaram que a estrutura de concreto armado sofreu impacto pelo incêndio, pois o calor intenso provocado pelas chamas alterou as condições estruturais dos componentes do concreto e reduziu sua resistência à compressão na maior parte dos pontos analisados, sendo possível estimar o índice de prejuízo e o nível atual de resistência, indicando ser ou não suficiente para manter o nível de segurança da estrutura.

No entanto com a vistoria realizada na estrutura foi possível concluir que a estrutura de concreto armado analisada apresentava manifestações patológicas que comprometiam sua segurança e podiam mascarar os resultados dos ensaios tecnológicos que determinaram a resistência à compressão do concreto.

Por isso, os resultados dos ensaios devem ser analisados de forma relativa e não absoluta. Foi comprovado que a estrutura de concreto apresentava manifestações patológicas do tipo armadura exposta, ninhos e falhas de concretagem, segregação do concreto e falta de cobertura da armadura, além de pontos com elevado índice de corrosão da armadura. A qualidade heterogênea do concreto produzida no local em 1969, por si só já determinariam o reparo da estrutura.

Desta forma, para ser efetuada a recuperação da estrutura devem ser analisados para cada elemento (pilar e viga) os resultados dos ensaios semi destrutivos conjuntamente com a existência ou não de manifestações patológicas da estrutura de concreto armado. Devem-se observar os preceitos das NBR 6.118, 15.200 e NBR 14.432, pois ficou comprovado que o incêndio contribuiu na diminuição da resistência do concreto de parte da estrutura que foi exposta ao calor do incêndio, sem, no entanto, ser o fator decisivo para a tomada de decisão.

O estudo permite concluir a importância da realização dos ensaios semidestrutivos em conjunto com a análise das manifestações patológicas pré-existentes para a tomada de decisão de quais os pilares e vigas deveriam ser reparados e quais deveriam ser reforçados.

Por fim, destaca-se que todos os serviços de recuperação devem ser precedidos de uma análise dos danos provocados e a realização de ensaios tecnológicos previamente à contratação de projeto estrutural específico para a recuperação.

### **Referências Bibliográficas.**

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI. **214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results**: reported by ACI Committee 214. 2010. p.17

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9p.

\_\_\_\_\_, **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221p.

\_\_\_\_\_, **NBR 7680**: concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2007. 12p.

\_\_\_\_\_, **NBR 7584**: Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 2012. 9p.

\_\_\_\_\_, **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001

\_\_\_\_\_, **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio- Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

AZEVEDO, M.T., **Patologia das estruturas de concreto**. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011, v. 2, p.1095-1128.

BRITZ, C.; COSTA, C.N., **Ações do fogo nas estruturas de concreto**. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011, v. 2, p.1029-1068.

BRITZ, C.; HELENE, P.; BILESKY, P.; BERTO, A.; **Avaliação experimental do concreto armado de alta resistência submetido a elevadas temperaturas.** In: Concreto & Construções. IBRACON. n. 67. 2012

BRITZ, C.; HELENE, P.; BUENO, S.; PACHECO, J.; **Estanqueidade de lajes de subpressão.** Caso MIS-RJ. In: 55º Congresso brasileiro do concreto. CBC2013 – 55CBC 1, IBRACON, 2013.

BRITISH STANDARD – BS. **1881-204:** Testing concrete: Recommendations on the use of electromagnetic covermeters, Londres, 1988.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto:** Inspeção e técnicas eletroquímicas. Goiânia: UFG; São Paulo: PINI, 1997.

COLAÇO, R; GONÇALVES, M.C.; MARGARIDO, F. **Aços.** Materiais de Construção – Guia de Utilização; Cap. 3, pp. 52-75. Instituto Superior Técnico; Lisboa – Portugal. 2005.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Estruturas de concreto armado em situação de incêndio.** In: XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. 2002, Anais. Brasília.

COSTA, C. N.; BRITZ, C. A. Ações do fogo nas estruturas de concreto. In: ISAIA, G. C. (1ª ed.) **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011, v. 2, p.1029 - 1068  
FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BETÓN – FIB. **Buletin nº38 – Fire design of concrete structures – materials, structures and modeling.** Alemanha: Sprint-Digital-Druck, 2007.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BETÓN – FIB. **Buletin nº46 – Fire design of concrete structures – Structural behaviour and assessment.** Alemanha: Sprint-Digital-Druck, 2008.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço, e proteção de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, P; MEDEIROS, P. H. F. Durabilidade e proteção do concreto armado. **Téchne,** São Paulo, ano 18, n. 151, p.50-54, 2009.

MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. **Handbook of nondestructive testing of concrete.** 2<sup>nd</sup> ed. EUA: CRC Press, 2006.

MEDEIROS, P. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto.** In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011, v. 1, p. 773-808.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J .M. **Concreto, microestrutura, propriedades e materiais.** 1ª ed. São Paulo: IBRACON. 2008.

NEVILLE, A. M. – **Propriedades do Concreto.** Trad. De Salvador E. Giammusso. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1997.

SAHUINCO, M. H. C.; BITTENCOURT, T. N. **Utilização de métodos não destrutivos e semi destrutivos na avaliação de pontes de concreto: estudo de caso**: EPUSP, 2012. 23p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/575)

SANTOS, C.C.; RODRIGUES, J.P.C.; COELHO, A.L. - **Reparação de estruturas de betão após incêndio**. In Encontro Nacional Conservação e Reabilitação de Estruturas, Lisboa, 2010. Lisboa: LNEC, 2010. p. 1-10

SILVA FILHO, L. C. P.; LIMA, R.C.A.; KIRCHHOF, L.D.; CASANATO, Carlos A.; Artigo: **Efeitos de altas temperaturas no concreto**. In II Seminário de Patologia das Edificações. 2004, Porto Alegre.

SILVA, V.P., **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, conforme a ABNT NBR 15200:2012**. São Paulo: Blucher, 2012.

TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, M. Inspeção, diagnóstico e prognóstico na construção civil. **Boletim ALCONPAT Internacional 1**, 2013.