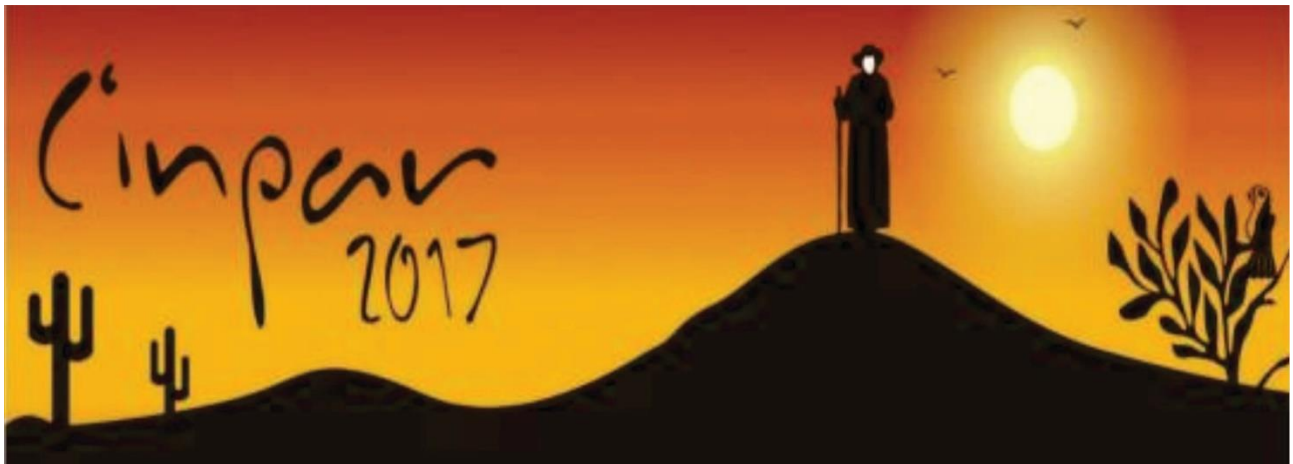


XIII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS

Volume III
Procedimentos

ISBN: 978-85-65425-32-2

07 a 09 de Setembro de 2017
Centro de Convenções do Cariri
Crato - Ceará - Brasil

REALIZAÇÃO

Universidade Regional do Cariri - URCA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ

Faculdade Paraíso - CE

APRESENTAÇÃO

Para o especialista em patologia das construções é fundamental o conhecimento da tecnologia dos materiais utilizados, os métodos de ensaios a serem realizados, os sistemas de medições da geometria das estruturas, das diversas deformações e, obviamente, os recursos da resistência dos materiais e do cálculo estrutural. Muitos desses métodos apresentam uma acelerada evolução e é bastante intensa a velocidade com que aparecem novos materiais e técnicas para o estudo das patologias, assim como para a execução dos trabalhos de reabilitação e reforços. Considerando a importância do conhecimento das manifestações patológicas nas estruturas, suas causas e principais técnicas empregadas na recuperação destas estruturas, as instituições de ensino superior URCA, UFCA, UVA e FAP promoveram no período de 7 a 9 de setembro de 2017, o **XIII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS - CINPAR 2017**.

O CINPAR 2017 representa uma importante etapa para aquisição de novos conhecimentos, técnicas e tecnologias que sejam de grande valia para a realização dos trabalhos de restauração e recuperação das estruturas. Tem por objetivo geral promover a divulgação de novos conhecimentos sobre as manifestações patológicas das estruturas, suas causas e efeitos, assim como os mais modernos procedimentos e materiais utilizados na recuperação das estruturas.

Dentre os pesquisadores/palestrantes que compatilharam seus conhecimentos, estiveram presentes:

- Prof. Angel Oshiro (Argentina)
- Prof. Eduardo Ballan Ballan (Espanha)
- Prof. Elton Bauer (Brasil)
- Prof. Esequiel Mesquita (Brasil)
- Prof. Gibson Meira (Brasil)
- Prof. Humberto Varum (Portugal)
- Profª Irani Clezar Mattos (Brasil)
- Prof. Jefferson Luiz Alves Marinho (Brasil)
- Prof. Marcelo Marquez Marambio (Chile)
- Profª Maria Positieri (Argentina)

COMITÊ ORGANIZADOR

Presidente Geral: Francisco Carvalho de Arruda – UVA – IEMAC (Brasil)

Vice-presidente: Humberto Varum – FEUP (Portugal)

Presidente Local: Jefferson Luiz Alves Marinho – ITEC – URCA (Brasil)

Janeide Ferreira Alencar de Oliveira – ITEC – URCA (Brasil)

Antonia Fabiana de Almeida – UFCA (Brasil)

Sofia Leão Carvalho – FAP (Brasil)

COMITÊ CIENTÍFICO

Presidente: Jefferson Luiz Alves Marinho – ITEC – URCA (Brasil)

Alexandre Araujo Bertini – UFC (Brasil)

Angel Oshiro – UTN – FRC (Argentina)

Antonia Fabiana de Almeida – UFCA (Brasil)

Antonio Nobre Rabelo – URCA (BRASIL)

Eduardo Ballán – UCJC (España)

Enio Pazini Figueiredo – ECC-UFG (Brasil)

Esequiel Mesquita – Universidade Do Porto (Portugal)

Francisco Carvalho de Arruda Coelho – UVA (Brasil)

Gibson Rocha Meira – IFPB (Brasil)

Humberto Varum – FEUP (Portugal)

Jefferson Heráclito Alves de Souza – URCA (Brasil)

José Luís Rangel Paes – Universidade Federal de Viçosa (Brasil)

Maria Josefina Positieri – UTN – FRC (Argentina)

Renato de Oliveira Fernandes – URCA (Brasil)

Soledad Gómez Lorenzini – PUC (Chile)

SUMÁRIO

APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA PARA IDENTIFICAR PATOLOGIAS EM EDIFÍCIOS DE ARQUITETURA MONUMENTAL 5

ESTIMATIVA DA RIGIDEZ RESIDUAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE SUAS CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS 19

DETECÇÃO DE DESTACAMENTOS UTILIZANDO A TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (IRT) EM ELEMENTOS DE PONTES DE CONCRETO ARMADO DE DIFERENTES RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO (A/C) 28

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICÁCIA DOS MÉTODOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO POR CRISTALIZAÇÃO INTEGRAL 41

METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DE PERÍCIAS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS COM PATOLOGIAS E ELABORAÇÃO DE LAUDOS TÉCNICOS 55

PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS – UMA PROPOSTA METODOLÓGICA DE GESTÃO E CONTROLE 80

AVALIAÇÃO DINÂMICA DA VARIAÇÃO DA RIGIDEZ DE UMA VIGA DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDA A PERDA DE MASSA 99

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO CLIMÁTICAS COMO REQUISITOS NORMATIVOS PARA DURABILIDADE DE FACHADAS 111

DETECÇÃO E RECUPERAÇÃO PATOLÓGICA NA FUNDAÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EM RECIFE-PE 127

ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO DE UMA CONSTRUÇÃO PÚBLICA EM RECIFE – PE 138

RESERVATÓRIOS BASEADOS EM CONCRETO ARMADO: PROCEDIMENTOS E ESTRATÉGIAS PARA A MINIMIZAÇÃO DE OCORRÊNCIAS PATOLÓGICAS EM EMENDAS 146

PROCEDIMENTO PARA IMPERMEABILIZAÇÃO COM USO DE MANTA ASFÁLTICA EM UM CONDOMÍNIO NA CIDADE DE TERESINA – PI: UM ESTUDO DE CASO 166

UMA REVISÃO SOBRE A EFICIÊNCIA DA REALCALINIZAÇÃO QUÍMICA E ELETROQUÍMICA EM CONCRETOS CARBONATADOS 181

INVESTIGAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM UM MURO DE CONDOMÍNIO RESIDENCIAL LOCALIZADO NA CIDADE DO RECIFE-PE 194

RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE RESERVATÓRIO ELEVADO EM AMBIENTE MARINHO.206

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS VISANDO CONCEPÇÃO DE PLANO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA PARA O CENTRO DE CONVENÇÕES BENEDITO NUNES, EM BELÉM-PA 220

MÉTODOS E ENSAIOS UTILIZADOS PARA VALIDAÇÃO DE PATOLOGIA ESTRUTURAL EM PILARES DE CONCRETO ARMADO COM BAIXA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO. 238

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE ENDURECEDORES DE SUPERFÍCIE NA DUREZA SUPERFICIAL DE CONCRETOS EMPREGADOS EM PISOS 253

LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM UM CONDOMÍNIO NA CIDADE DE TERESINA – PI: UM ESTUDO DE CASO 270

SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO PARA IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS NA CIDADE DO NATAL – DEFESA CIVIL, ESTUDO DE CASO 283

ISBN: 978-85-65425-32-2

APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA PARA IDENTIFICAR PATOLOGIAS EM EDIFÍCIOS DE ARQUITETURA MONUMENTAL

Infrared Thermography Application To Identify Pathologies On Monumental Architecture Buildings

Marco Aurélio da Silva MÁXIMO[1], João da Costa PANTOJA[2]

[1] Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Brasília, Brasil, marco.aurelio.maximo@gmail.com

[2] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, joaocpantoja@gmail.com

Resumo: A termografia infravermelha representa a possibilidade de realizar registros gráficos da temperatura de objetos os mais variados. Ícones da arquitetura moderna e monumental, e também do uso do concreto armado no Brasil, vários edifícios em Brasília já têm mais de cinquenta anos e apresentam diversas manifestações patológicas. Este artigo traz um estudo da aplicação da termografia infravermelha para identificação de patologias e do estado de conservação nos elementos de concreto armado do Palácio da Justiça Raymundo Faoro. A partir dos registros termográficos foi possível avaliar o comportamento térmico de diversas patologias e compará-las com estudos anteriores que não usaram dessa técnica. Neste estudo a termografia infravermelha se mostrou útil como auxiliar capaz de proporcionar informações para a manutenção e conservação da edificação, evidenciando o comportamento térmico de elementos estruturais, o posicionamento de patologias em relação a elementos estruturais ocultos, a presença de infiltrações, manchas e os gradientes térmicos capazes de comprometer a estrutura.

Palavras-chave: Termografia infravermelha, patologia das edificações, arquitetura monumental, Palácio da Justiça Raymundo Faoro.

Abstract: Infrared thermography represents the possibility of making graphic records of the temperature of objects that are most varied. Icons of modern and monumental architecture, as well as the use of reinforced concrete in Brazil, several buildings in Brasilia are already more than fifty years old and present different pathological manifestations. This paper presents a study of the application of infrared thermography for the identification of pathologies and the state of conservation in the reinforced concrete elements of the Raymundo Faoro Palace of Justice. From the thermographic records, it was possible to evaluate the thermal behavior of several pathologies and to compare them with previous studies that did not use this technique. In this study infrared thermography proved useful as an aid capable of providing information for the maintenance and conservation of the building, showing the thermal behavior of structural elements, the positioning of pathologies in relation to hidden structural elements, the presence of infiltrations, spots and the thermal gradients capable of compromising the structure.

Keywords: Infrared thermography, buildings pathologies, monumental architecture, Palace of Justice Raymundo Faoro.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

Segundo a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2016), a termogragia por infravermelho é o método de medição de temperatura, sem contato, que torna possível a obtenção de imagens térmicas, os chamados termogramas, de um componente, equipamento ou processo. Isso se dá a partir da radiação infravermelha emitida pelos objetos. A termografia pode ser ativa ou passiva: a primeira requer estímulo térmico adicional de uma fonte externa, e tal estímulo pode ser óptico, por ultrasson, indutivo, micro-ondas ou pelo uso de outra fonte de energia; a segunda mede a radiação infravermelha emitida pelos objetos sem a necessidade de estímulos térmicos adicionais de fontes externas. A detecção da radiação infravermelha ocorre por meio de câmera termográfica, que a converte em sinais eletrônicos, que são processados de modo a formar as imagens relacionadas à distribuição de temperatura aparente do objeto.

Ainda de acordo com ABNT (2016) as câmeras termográficas permitem a realização da inspeção termográfica, que é uma inspeção não destrutiva e não intrusiva, fornecendo informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo. Enquanto as inpeções qualitativas são baseadas na análise de padrões térmicos para detectar as anomalias, as inpeções quantitativas são baseadas no uso de valores específicos de temperatura, para determinar a criticidade das anomalias e estabelecer prioridades de intervenção e reparos.

A termografia por infravermelho pode ser aplicada no monitoramento e no diagnóstico das condições dos edifícios, e ainda possibilita a identificação precoce de anomalias evitando o agravamento e o aumento de custos de reparo. Segundo FLIR (2011), a termografia aplicada aos edifícios pode ser fornecer informações sobre visualização de perdas de energia, detecção de falhas ou ausência de isolamento térmico, vazamento de ar, identificação de fontes de umidade, detecção de mofo, detecção das chamadas pontes térmicas, localização de infiltração, localização de tubulações, localização de elementos e estruturas ocultas, falhas construtivas e falhas em sistemas elétricos.

Na identificação de anomalias de edificações, principalmente nas fachadas, Cerdeira *et al.* (2011) ressalta ainda que o uso da termografia infravermelha apresenta vantagens em relação aos métodos tradicionais e inspeção visual, que requerem a instalação de estruturas temporárias, tais como andaimes, ou o uso de técnicas perigosas, como a escalada.

De acordo com Moreira (2007), os efeitos térmicos da variação de temperatura no concreto podem ser relevantes. Pelo fato do concreto possuir características de baixa resistência à tração, quando submetido a esse tipo de tensão, torna-se mais sucetível à ação da variação da temperatura. As tensões provocadas pelos gradientes térmicos, a depender da intensidade, podem atingir facilmente a resistência à tração do concreto, com possibilidade de provocar fissuração.

Para Lima e Morelli (2003) o comportamento da estrutura diante de diferenciais térmicos depende das dimensões dos elementos que se estabelecem um gradiente entre a estrutura e o ambiente. De modo geral, em diferentes partes através da estrutura o concreto não responde com a mesma intensidade às variações ambientais, em razão de sua baixa condutividade térmica e depende ainda das diferenças entre os extremos de

ISBN: 978-85-65425-32-2

temperatura máxima e mínima em cada lugar. Essas variações térmicas, sejam diárias, mensais ou anuais, podem ser significativas, pois o concreto endurecido pode não ser capaz de absorver essas deformações provocadas pelo efeito térmico.

Este estudo avaliou a aplicação da termografia infravermelha para identificação de patologias e do estado de conservação nos elemntos de concreto armado do Palácio da Justiça Raymundo Faoro, um dos ícones da arquitetura moderna e monumental, e também do uso do concreto armado no Brasil, em Brasília.

Medeiros e Ferreira (2012) afirmam que assim como em outros países, o reconhecimento da arquitetura modernista como objeto de preservação começa no Brasil pela eleição de ícones individuais. A Igreja de São Francisco de Assis na Pampulha (1947), o Catetinho (1959) e a Catedral Metropolitana de Brasília (1967) são edifícios que iniciaram um processo de social da construção do patrimônio moderno. O foco de uma prática de preservação passa então para outros bens culturais culminando com a inscrição de Brasília, a capital brasileira, em 1990 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN, três anos após seu reconhecimento como Patrimônio Cultural Mundial pelas UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

Conforme Schlee e Ficher (2010), o Palácio foi projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer em 1962. Localizado na Esplanada dos Ministérios, é a sede do Ministério da Justiça. Como sugerido por Lucio Costa, tanto o Palácio da Justiça como o Palácio Itamaraty, sede do Ministério das Relações Exteriores, foram projetados diferentemente dos demais ministérios, como forma de criar uma diferenciação na Esplanada.

Em termos arquitetônicos, Rosseti (2012) descreve que o Palácio da Justiça possui volumetria equivalente ao Palácio Itamaraty para equilibrar o conjunto arquitetônico da Esplanada e fazer o contraponto com os demais palácios e ministérios. Apresenta planta quadrada e arcada em concreto aparente, com espelho d´água e jardins aquáticos de Burle Marx. O edifício possui cinco pavimentos, com planta-livre que possibilita diversos arranjos para escritórios, salas, gabinetes e demais locais de trabalho. A superestrutura que define a forma do palácio possui uma singularidade, uma vez que cada uma das faces apresenta solução diferente. A fachada oeste possui um quebra-sol vertical com planos de concreto, a leste possui pilares retangulares, a fachada norte com arcos plenos e a fachada sul com semi-arcos e seis cascatas em concreto armado, num arranjo assimétrico, vertendo água sobre o jardim aquático, como parte dos recursos plásticos do edifício.

A Figura 1 mostra as emblemáticas fachadas oeste e sul, com os brises, as cascatas, o jardim aquático e os semi-arcos tão emblemáticos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 1 – Fachadas oeste e sul – Brises, cascatas, jardim aquático e os semi-arcos.

A construção do palácio começou em outubro de 1965, foi aberto somente em julho de 1972, após várias interrupções. Em 1985, Niemeyer fez uma importante intervenção no prédio exigindo o retorno do desenho original retirando o revestimento de mármore branco das fachadas, originalmente concebido em concreto liso, e a reformulação dos arcos da fachada principal de frente para a Esplanada (fachada sul), erroneamente construídos como arcos completos, pois o projeto original usava semi-arcos, Moreira (2007). Em 3 de julho de 2003, o Palácio foi renomeado para o Palácio da Justiça Raymundo Faoro em homenagem ao jurista e historicista brasileiro que morreu em 15 de maio de 2003.

Em termos estruturais, Moreira (2007) descreve o Palácio da seguinte forma: na fachada sul possui nove semi-arcos que ligam pilares extremamente esbeltos, espaçados a cada seis metros e meio. O *brise-soleil* da fachada oeste é formado por uma sequencia de lâminas de concreto, indo do chão ao topo do edifício, com espessuras, angulações e vãos variáveis, conforme Figura 2. A fachada leste possui sete pilares esbeltos espaçados a cada treze metros. As lajes do núcleo foram projetadas como nervuradas, com vigas de meio metro de altura, com contra-flecha de três centímetros em alguns pontos. No terceiropavimento, em razão do jardim interno, foram realizadas transições na estrutura. Pilares espaçados a cada quarenta e cinco centímetros formam um espécie de brise, iniciando na viga-faixa do terceiro pavimento indo até a cobertura, e recebendo as vigas do pergolado. Na cobertura existem vigas contínuas de um metro e trinta de altura no menor vão (de setenta e cinto metros) com vãos que chegam a dezoito e trinta e dois metros sobre o jardim interno e estão apoiadas em vigas-faixa com vão de treze metros. Na cobertura as contra-flechas chegam a cinco centímetros.

ISBN: 978-85-65425-32-2

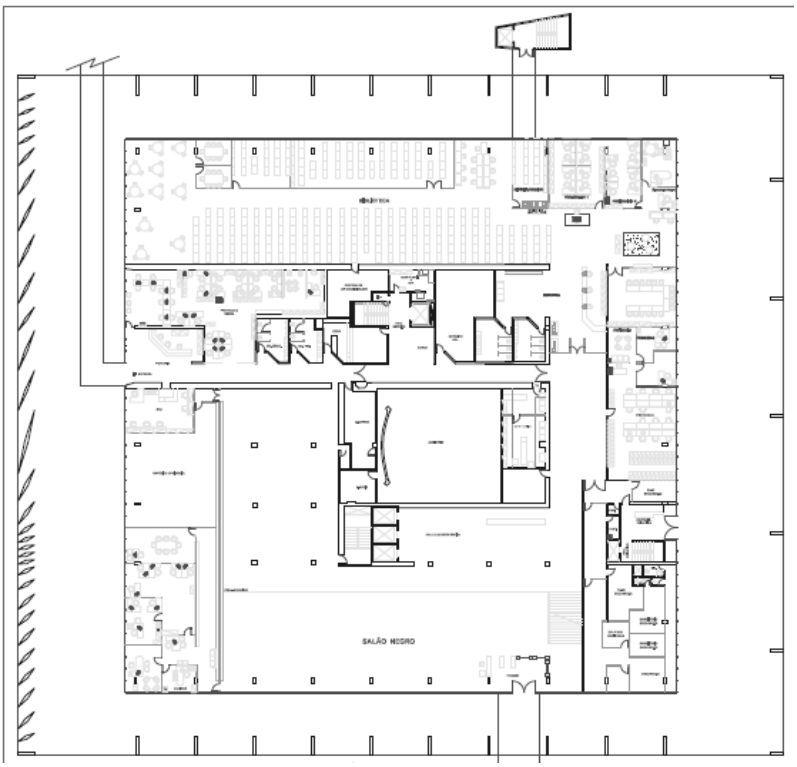


Figura 2 – Planta Baixa do térreo – posicionamento dos brises à esquerda, pilares e da varanda

Sobre o detalhamento de seus elementos, Inojosa e Buzar (2010) descrevem que o edifício consiste em um bloco retangular com dimensões de oitenta e quatro por setenta e cinco metros. O teto cria uma varanda que rodeia o edifício com duas larguras diferentes: sete metros nas fachadas leste e oeste e onze metros nas fachadas norte e sul. Esta varanda protege do sol um plano quadrado com sessenta e um metros e dez centímetros de lado, com cinco andares de altura e um subsolo.

A análise do Palácio da Justição Raymundo Faoro com o uso da técnica de termografia infravermelha, de forma passiva e qualitativa, para a identificação de patologias e do estado de conservação nos elementos de concreto armado das fachadas, incluindo os brises, os pilares, vigas de bordo, laje da cobertura e as cascatas, permitiu identificar o comportamento térmico de diversas patologias já identificadas em estudos anteriores e no inventário do Palácio, identificar o posicionamento de algumas patologias em relação a elementos estruturais não visíveis e ocultos. Foi possível avaliar a contribuição da inspeção termográfica como técnica auxiliar na identificação de patologias presentes em estruturas de concreto armado, se mostrando uma ferramenta valiosa em inspeções de edifícios, permitindo a detecção de patologias e anormalidades na estrutura de forma rápida e prática.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2. Metodologia

O desenvolvimento do trabalho baseou-se em realização de uma revisão bibliográfica sobre a edificação e sobre o uso da termografia infravermelha como técnica não destrutiva e auxiliar no diagnóstico de patologias em estruturas, na visita *in loco* para a inspeção termográfica dos elementos estruturais das fachadas do edifício, reunião com o pessoal do setor de arquitetura e engenharia do Palácio para entrevista a fim de obter informações sobre históricos de intervenções, e na análise das imagens fotográficas, imagens térmicas (termogramas) e informações do inventário da edificação e do levantamento de dados patológicos de estudos anteriores.

3. Anamnese, Resultados e Discussões

Segundo o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN (2013) o inventário realizado indicou que a estrutura do Palácio da Justiça Raymundo Faoro (edifício sede) apresentava diversas patologias, entre elas: infiltrações, manchas, fissuras e corrosões acentuadas das armaduras. Na laje de cobertura foi diagnosticado o acúmulo de água pluvial com formação de poças, manchas escurecidas, perda de camada impermeabilizante, trincas e corrosões acentuadas das armaduras. Concluiu ainda que a edificação apresentava graves problemas que deveriam receber tratamento imediato e urgente, além de indicar uma investigação mais aprofundada sobre os processos degenerativos.

Ao realizar a inspeção do Palácio para a aplicação da metodologia GDE/UnB para a quantificação do grau de deterioração de estruturas de concreto, Moreira (2007) já havia identificado diversas patologias nos elementos estruturais. Os elementos das fachadas, tais como pilares, vigas, brises, apresentavam grande variedade de patologias. Os pilares apresentavam incidência de manchas superficiais, corrosão de armaduras e deficiência de cobrimento do concreto. As vigas de bordo da cobertura apresentavam problemas de corrosão de armaduras, deficiência no cobrimento do concreto e presença de eflorescência. As lajes dos avarandados apresentavam fissuras, eflorescência e manchas. As cascatas por sua vez evidenciavam cobrimento deficiente e corrosão de armaduras. Os semi-arcos sofriam com cobrimento deficiente, corrosão de armaduras e manchas, assim como os arcos plenos da fachada norte.

Em entrevista realizada com o setor de arquitetura e engenharia do Palácio, em 10/05/2017, o mesmo informou que desde a realização do inventário em 2013 nenhuma intervenção significativa havia sido executada nos elementos de concreto armado da fachada. Portanto o estado de deterioração geral só piorou em comparação com a situação à época do inventáro, o que pode ser comprovado durante as visitas e em comparação com as imagens do inventário.

Em outra visita técnica ao Palácio, 06/05/2017, a coleta das imagens (térmicas e comuns) se deu entre as 08:30h e 10:30h. Para a captura das imagens térmicas (termogramas) foi utilizado o termovisor FLIR E40 e para as imagens fotográficas a câmera NIKON D 300, cujas características estão no Quadro 1.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 1 – Características do termovisor FLIR E40 e da câmera NIKON D300

Item	FLIR E40 Valores e Faixas	NIKON D300 Valores e Faixas
Resoução	160 x 120 pixels	12 Megapixel
Sensibilidade	< 0.07 ºC	ISO de 03 do ISO 100 a ISO 6400
Precisão de leitura	+- 2º C ou 2% de leitura	-
Faixa de temperatura	de – 20º C a 650º C	-
Lente	Padrão 25º	NIKKOR AF-S 18–200 mm, f 3.5-5.6, DX, ø 72
Sensor	-	CMOS 23.6 x 15.88 mm
Pontos de focagem	-	até 51 pontos

O termovisor foi ajustado com os seguintes parâmetros: emissividade igual a 0.95 (concreto seco); temperatura refletida igual a 28º C, umidade relativa igual a 60%; temperatura atmosférica igual a 20º C; distância até o objeto sendo variável de um a quinze metros. As condições climáticas foram inseridas a partir de dados climáticos para Brasília naquele dia a partir de informações disponíveis na *internet*.

Foi realizada inspeção qualitativa dos elementas externos da edificação, ou seja, baseada na análise de padrões térmicos para detectar anomalias. Na inspeção foi aplicada a técnica termográfica passiva, pois os materiais e elementos foram estimulados por uma fonte natural de calor, no caso a energia solar. A seguir foi realizada a análise dos termogramas, verificando a presença ou não de anormalidades nos perfis de distribuição da temperatura dos elementos da edificação.

A realização de termogramas em grandes fachadas e ambientes externos é um processo de tentativa e erro, pois é necessário um certo tempo para que a estrutura aqueça e que elementos e materiais com inércia térmica diferentes possam manifestar diferentes temperaturas e possam ser captados pelo termovisor. Com o passar do dia e do aquecimento de uma fachada, por exemplo, há a tendência de que todos os elementos atinjam a mesma temperartura, não sendo então uma condição favorável à captura das imagens.

Procurou-se identificar visualmente algumas patologias e situações de interesse (furos, ferragens expostas, manchas brancas e negras) e realizar então as imagens termográficas a fim de verificar como essas patologias e situações eram captadas pelo termovisor, ou seja, que tipo de informação era possível obter. Toda a vez que o objeto de interesse ou a distância do operador ao objeto de interesse eram mudados, se fazia necessário ajustar a informação do distanciamento para o equipamento, e tais distâncias variaram de um a quinze metros em média. Durante a previsualização da imagem no termovisor era verificado então que paleta de cores (preto e branco ou colorido) evidenciava melhor a patologia ou o elemento estrutural, conforme Figura 3.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 3 – Fachada Norte – previsualização e escolha da paleta de cores

Considerando que a estrutura passou o período da noite resfriando, buscou-se incialmente realizar os registros térmicos na fachada oeste (poente), onde estão localizados os brises, pois era de se esperar que a mesma estivesse num processo mais lento de aquecimento que a fachada leste, que já vinha recebendo os raios do sol desde as 06 horas da manhã daquele dia. O objetivo era poder captar melhor os gradientes de temperatura nos brises.

No entanto, conforme Figura 4, os reflexos dos vidros da fachada do edifício do Ministérios das Comunicações estavam influenciando a leitura térmica nos brises, e não foi possível obter uma imagem mais ampla que captasse o comportamento térmico dos brises naquele momento.

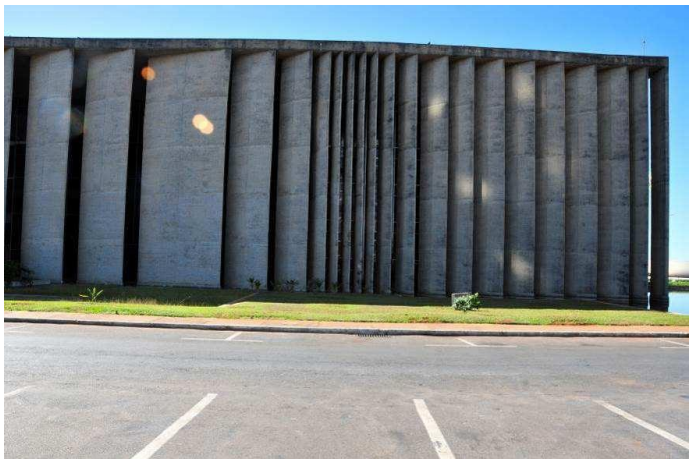


Figura 4 – Fachada Oeste – reflexos dos vidros da fachada do Ministério das Comunicações influenciando as leituras nos brises

Em alguns casos as imagens em preto em branco evidenciavam melhor as diferenças de temperatura, às vezes as imagens coloridas funcionava. Ao comparar as fotos de estudos anteriores de Moreira (2007) e do inventário percebe-se que as manchas escuras nos brises continuam presentes, assim como o cobrimento deficiente e a corrosão das armaduras. As

ISBN: 978-85-65425-32-2

manchas escuras são mais presentes nos brises mais próximos ao eixo monumental (próximos à fachada sul). Não foi possível verificar se as manchas escuras apresentam necessariamente um comportamento térmico diferente das áreas adjacentes. Essa característica é um ponto de partida para futuras investigações no âmbito da termografia para verificar se o aparecimento dessas manchas negras tem alguma relação com o gradiente diferencial de temperatura e com as dimensões dos brises. Para esse estudo pode ser necessário avaliar o comportamento térmico desses elementos ao longo de um periodo de 24 horas por exemplo, de modo a evidenciar o aquecimento e resfriamento durante um ciclo completo de um dia.

Considerando que o comportamento do concreto depende dos diferenciais térmicos, em razão das dimensões dos elementos, que a condutividade térmica acarreta respostas diferentes em diferentes partes da estrutura, e que o comportamento do concreto também é afetado pelas diferenças entre os extremos de temperatura máxima e mínima, a grande amplitude térmica nos brises pode indicar as causas das patologias.

Na Figura 5 é possível verificar que a amplitude térmica da imagem é de 4.1ºC entre o centro e a extremidade do brise, onde o centro está numa temperatura mais elevada.

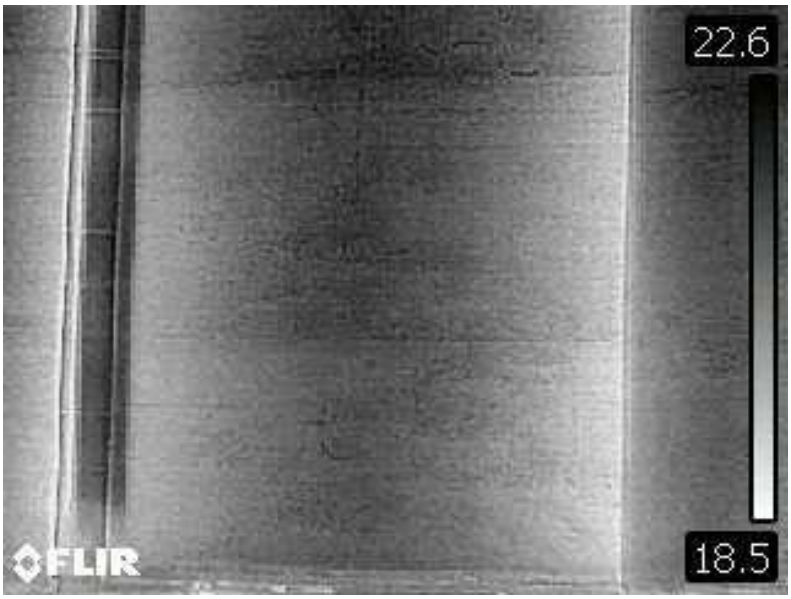


Figura 5 – Fachada Oeste – Brise de posição 13, da esquerda para a direita – concentração de calor na região central ao se comparar com as extremidades

Alguns termogramas evidenciaram elementos estruturais não visíveis a olho nu, tais como vigas invertidas da laje no avarandado da fachada leste. A diferença de temperatura possibilitou delimitar o vigamento. Foi possivel também captar o comportamento térmico e encaminhamento das manchas na laje, desse modo é possível estabelecar o posicionamento das manchas em relação às vigas invertidas (ocultas numa visualização de baixo para cima), o que pode auxiliar na determinação do encaminhamento de infiltrações, como na Figura 6. Como o projeto estrutural está diponível ao setor de arquitetura e engenharia do Palácio, os termogramas possibilitam a sua validação. Não dispondo de informações sobre o projeto e sobre o histórico de intervenções, a termografia contribui

ISBN: 978-85-65425-32-2

para a identificação de estruturas ocultas, tais como em edifícios e prédios históricos. Estudos anteriores apontavam que as lajes dos avarandados apresentam fissuras, eflorescência e manchas. Os termogramas captaram tais patologias, pois as mesmas foram visíveis com comportamento térmico diferente das áreas adjacentes e sãs. A Figura 7 mostra a aplicação para mostrar estruturas ocultas na laje (as vigas invertidas).

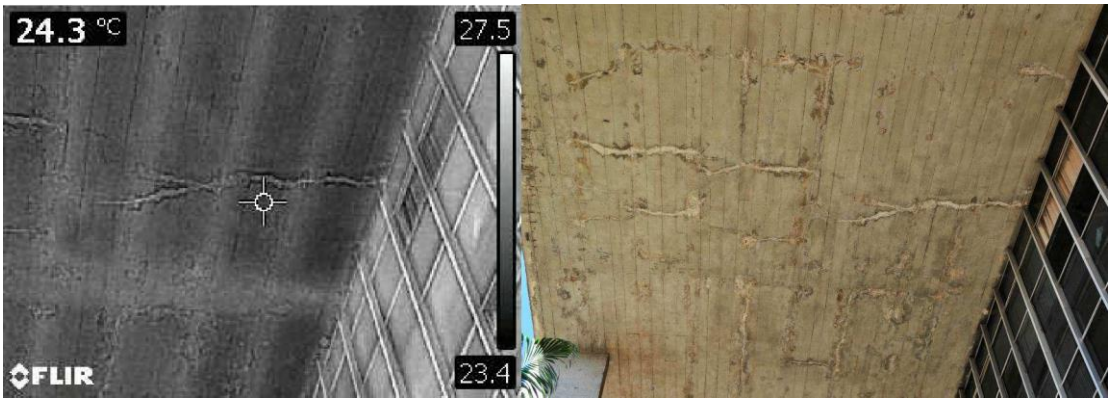


Figura 6 – Fachada Leste - Laje de cobertura/vista inferior – manchas brancas e posição das vigas

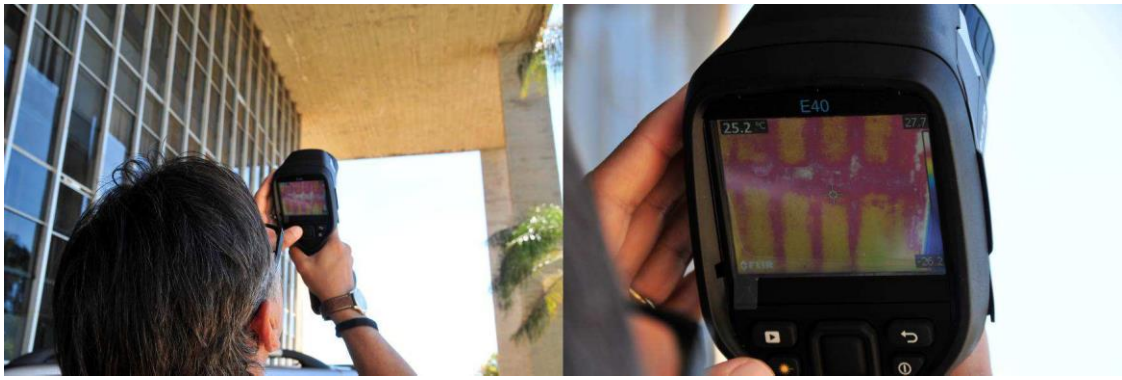


Figura 7 – Fachada Leste - Laje de cobertura – vista inferior

A Figura 8 mostra a possibilidade da aplicação da termografia para validação do projeto, na região do pilar P80. Manchas e deficiência no cobrimento foram identificados, conforme mostra a Figura 9.

ISBN: 978-85-65425-32-2

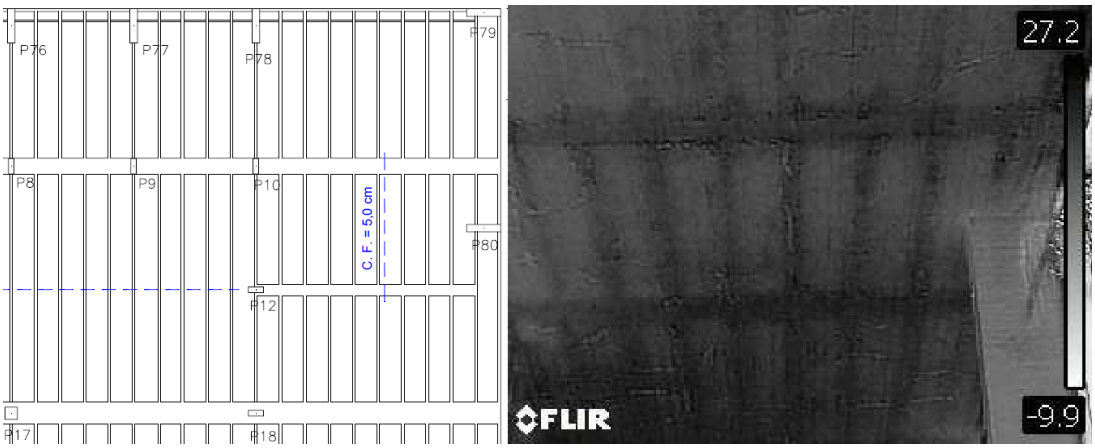


Figura 8 – Planta da cobertura – detalhe nas proximidades do pilar P80 e evidências das vigas em comparação com o projeto

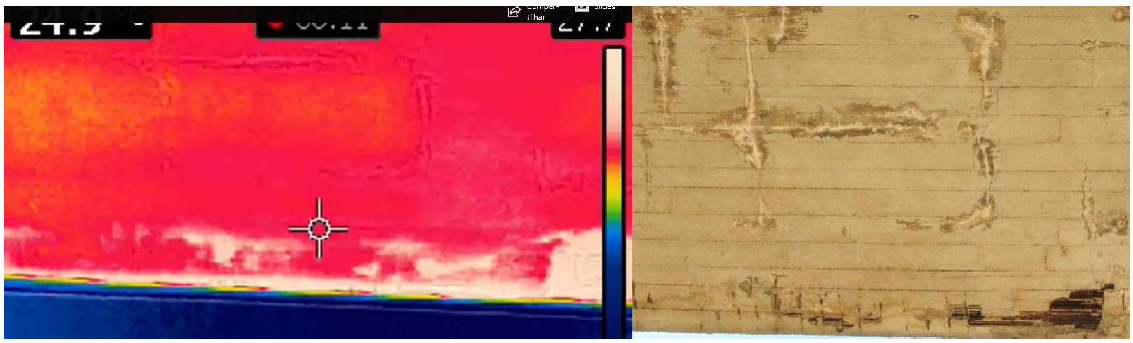


Figura 9 – Fachada Leste – Laje – trecho de vídeo e fotografia - evidências de região com danos no recobrimento apresentando maior temperatura que entorno

O cobrimento deficiente e corrosão de armaduras das cascatas, além das manchas negras, também podem estar associados a regiões com comportamento térmico diferente das demais. A Figura 10 a seguir mostra uma região mais quente relacionada às manchas.

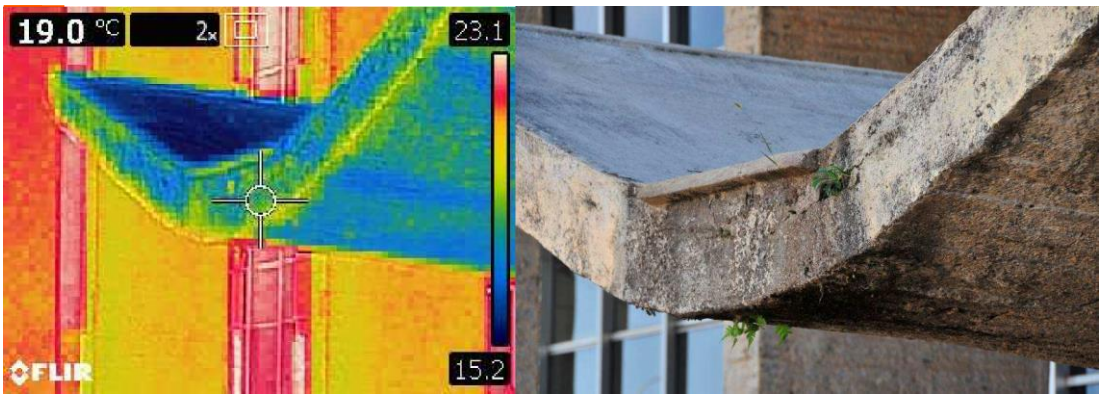


Figura 10 – Fachada Sul – Cascata

ISBN: 978-85-65425-32-2

A deficiência no cobrimento do concreto nas vigas de bordo da cobertura e nos pilares foram captados como anomalias nas imagens, conforme Figuras 11 e 12. Em algumas situações não visíveis a olho nu, primeiramente foi feito o termograma que ao evidenciar anomalia, indicou a necessidade de fotografar a região para identificação da patologia, conforme Figura 12. Ressalte-se ainda que além da deficiência no cobrimento apresentar um comportamento térmico anômalo (trecho mais quente, em branco). Também foi possível identificar a região da junta entre a laje e os arcos dos pilares, uma vez que tal região apresentou comportamento térmico diferente das áreas adjacentes, tendo a junta uma temperatura mais elevada.

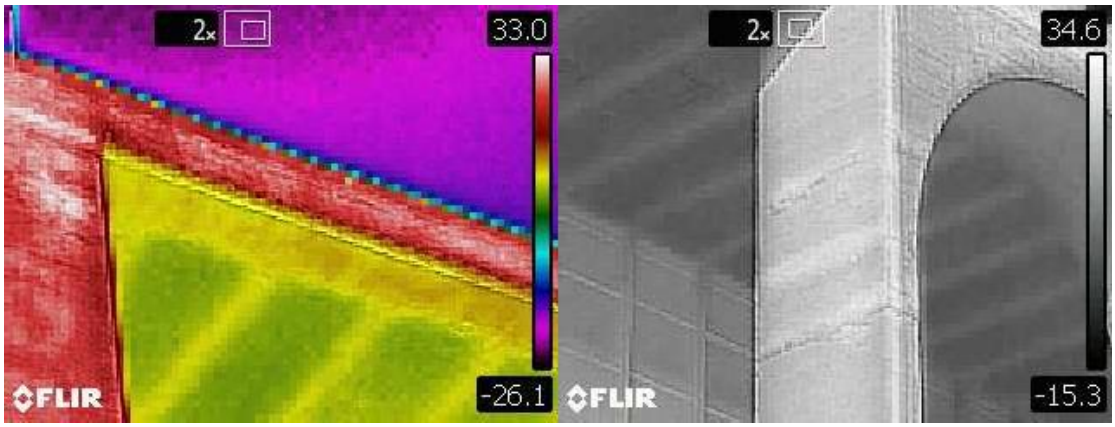


Figura 11 – Fachada Norte – Vigas de bordo e pilar – concentração de calor na junta entre a viga e o pilar, e na face com problemas de cobrimento

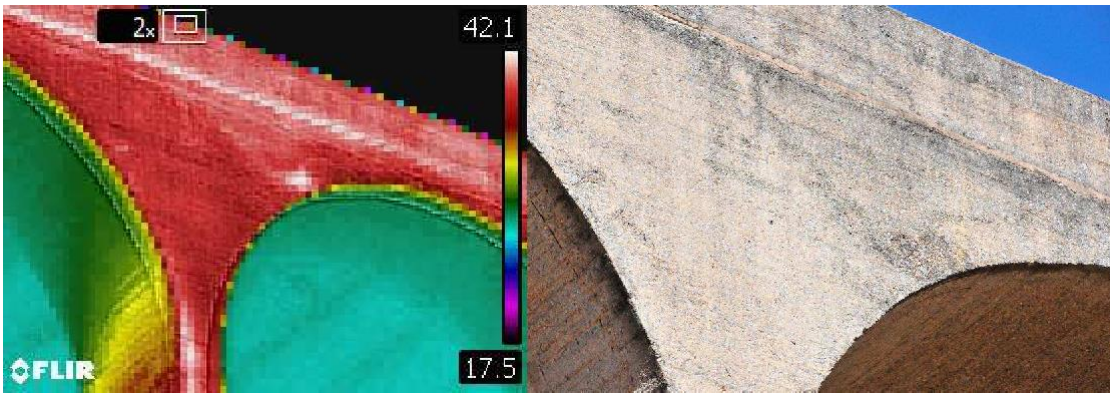


Figura 12 – Fachada Norte – Arco pleno – anomalia térmica e foto com evidências de região com danos no recobrimento

O Quadro 2 apresenta um resumo das principais patologias e anomalias verificadas.

Quadro 2 – Principais patologias e anomalias verificadas

ISBN: 978-85-65425-32-2

Patologia	Local/Elemento
Danos de recobrimento	Lajes, pilares, vigas de bordo, arcos, cascatas
Manchas negras	Lajes, cascatas, brises, arcos, vigas de bordo, pilares
Manchas brancas	Lajes
Infiltrações	Lajes
Fissuras	Lajes
Corrosão de armadura	Lajes, pilares, vigas de bordo, cascatas, arcos

4. Conclusões

Este trabalho mostrou que a termografia infravermelha pode ser útil como auxiliar no estudo das patologias encontradas no Palácio da Justição Raymundo Faoro, tanto na identificação das patologias como na avaliação do estado de conservação dos elementos de concreto armado das fachadas, incluindo os brises, os pilares, vigas de bordo, laje da cobertura e as cascatas.

A termografia infravermelha se mostrou uma técnica rápida e prática na inspeção da edificação, permitindo a detecção de patologias e anormalidades na estrutura, dispensando a instalação de estruturas temporárias, tais como andaimes, ou o uso de técnicas perigosas, como a escalada.

As imagens térmicas podem contribuir na busca da solução para sanar os danos patológicos, uma vez que podem indicar a origem do problema, auxiliando portanto na definição de ações de manutenção da estrutura física da edificação. A termografia infravermelha pode facilitar a execução de mapa de danos, etapa extremamente relevante no desenvolvimento de projetos de restauro, de projetos de recuperação e de ações de conservação e manutenção.

A inspeção realizada corroborou com os resultados dos estudos anteriormente realizados que identificaram diversos problemas patológicos no Palácio, tendo sido possível visualizar as patologias identificadas nesses estudos como um comportamento de anomalia térmica nos termogramas.

O uso da termografia infravermelha pode contribuir de modo positivo na busca de ações preventivas e corretivas em diversas edificações tombadas em Brasília, representantes da arquitetura moderna e monumental, do uso do concreto armado no Brasil, que já têm mais de cinquenta anos e que apresentam diversas manifestações patológicas.

Outros estudos específicos para a continuidade dessa linha de pesquisa podem ser desenvolvidos, tais como a avaliação do comportamento térmico ao longo de um período de 24 horas de elementos estruturais determinados, por exemplo um brise, um pilar ou um trecho da laje, a fim de verificar os gradientes térmicos e suas variações. Pode-se ainda avaliar o comportamento térmico de uma região específica contendo patologias graves, também por um período de 24 horas ou ao longo dos meses do ano, num horário específico, para avaliar os gradientes de temperaturas máxima e mínima.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Agradecimentos

Agradecemos o engenheiro Júlio César da Silva Máximo por seus trabalhos como termografista neste trabalho.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2016). NBR 15424 - Ensaios não destrutivos – Termografia – Terminologia 2006.

Cerdeira, F., Vásquez, M., Collazo, J., Granada, E. (2011). Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. Energy and Buildings, Oxford, v. 43, p. 1845-1851.

FLIR Systems (2011). Thermal Imaging Guidebook for Building and Renewable Energy Applications.

Inojosa, L. S. P., Buzar, M. A. R. (2010). O Sistema Estrutural na obra de Oscar Niemeyer em Brasília. In: Dvorkin, Eduardo. (Ed.) [*et al*] Mecánica Computacional. Vol XXIX, Buenos Aires, nov/2010, pp. 9903-9927.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - Iphan (2013). Inventário do Palácio da Justiça.

Lima, M. G., Morelli, F. (2003). Degradação das estruturas de concreto devido à amplitude térmica brasileira. Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto V, São Paulo, Brasil; junho 2003.

Medeiros, A. E., Ferreira, O. L. (2012). A Forma Segue a Função? Uma contribuição ao estado atual da arte da conservação patrimonial no Brasil a partir de dois estudos de caso: O Touring Club e o Brasília Palace Hotel. Seminário da rede Conservação, Brasil, Recife, nov/2012.

Moreira, A. L. A. (2007). A estrutura do Palácio da Justiça em Brasília: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Estratégia para Manutenção. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasil.

Rosseti, E.P. (2012). Arquiteturas de Brasília, Instituto Terceiro Setor, Brasília.

Schlee, A. R., Ficher, S. (2010). Brasília 50 anos: Guia de Obras de Oscar Niemeyer. Câmara dos Deputados, Brasília.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ESTIMATIVA DA RIGIDEZ RESIDUAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE SUAS CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS

Assessment Of The Residual Stiffness Of Reinforced Concrete Beams By Their Dynamic Characteristics

Gustavo E. S. LIMA[1], **José Luiz R.** PAES[2], **André Luiz** CANDIAN[3], **Gustavo S.** VERÍSSIMO[4], **Leonardo Gonçalves** PEDROTI[5]

[1] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, gustavo.lima@ufv.br

[2] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, jlrangel@ufv.br

[3] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, alcandian@yahoo.com.br

[4] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, gustavo@ufv.br

[5] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, leonardo.pedroti@ufv.br

Resumo: A deterioração de uma estrutura de concreto armado causa a redução da rigidez dos elementos estruturais e, por consequência, modifica sua frequência natural. A partir da frequência natural é possível estimar a rigidez residual de um elemento estrutural. Neste trabalho avalia-se o comportamento estrutural de vigas de concreto armado submetidas à degradação mecânica da rigidez, com auxílio das características dinâmicas. Para o desenvolvimento do programa experimental foram utilizadas três vigas de concreto armado com as mesmas características mecânicas. A fim de promover a degradação da rigidez das vigas, os modelos experimentais foram submetidos a ensaios de flexão até alcançar uma carga próxima ao colapso. Para diversos estágios de carga no ensaio de flexão foi obtida a frequência fundamental da viga por meio de um ensaio para determinação das características dinâmicas. Com base nos resultados obtidos concluiu-se que para a faixa de serviço os elementos apresentaram cerca de 70% a 80% de sua rigidez inicial. Para cargas próximas ao colapso, as vigas ainda conservaram uma parcela significativa de sua rigidez, que varia entre 50% e 60% de sua rigidez inicial. De uma forma mais ampla, concluiu-se que a estimativa da rigidez residual de vigas de concreto armado, por meio de sua frequência fundamental, mostra-se como uma metodologia adequada para avaliação da integridade destes elementos.

Palavras-chave: Concreto, Rigidez, Degradação

Abstract: The deterioration of reinforced concrete structures results in a reduction of the stiffness of the structural elements and consequently modifies their natural frequency. From the natural frequency, it is possible to estimate the residual stiffness of a structural element. In this paper, the structural behavior of reinforced concrete beams submitted to the mechanical degradation of the stiffness was assessed based on the dynamic characteristics. For the development of the experimental program, three reinforced concrete beams with the same mechanical characteristics were used. In order to promote the degradation of the stiffness of the reinforced concrete beams, the experimental models were subjected to flexural tests until reaching a close to the failure load. For several loading stages of the flexural test, the fundamental frequency of the beam was obtained with a dynamic test. The

results shows that for the service range the elements presented about 70% to 80% of their initial stiffness. For loads close to the failure, the beams still retain a significant portion of their stiffness, ranging from 50% to 60% of their initial stiffness. In general, it was possible conclude that the assessment of the residual stiffness of reinforced concrete beams based on the fundamental frequency has been shown as an adequate methodology to evaluate the integrity of these elements.

Keywords: Concrete, Stiffness, Degradation

1. Introdução

O concreto armado se tornou um dos mais importantes materiais estruturais no último século, sendo amplamente utilizado na construção de uma grande variedade de tipologias estruturais, tais como edifícios, túneis, pontes, plataformas offshore, barragens, reatores nucleares, etc.

Dentre os materiais constituintes do concreto armado, estão a pasta de cimento endurecida, os agregados e a armadura de aço. Portanto trata-se de um material heterogêneo e de comportamento complexo.

Com os avanços das ciências dos materiais, têm-se conseguido produzir concretos com resistências cada vez mais elevadas, o que tem permitido o projeto de estruturas mais econômicas e esbeltas, mas de menor rigidez. Esta característica tem contribuído principalmente com o aumento das flechas e das vibrações, aumentado significativamente as chances de surgimento de problemas patológicos.

A atualização e o advento de normas técnicas que visam criar parâmetros no sentido de prolongar a vida útil das edificações, tem criado uma demanda crescente pelo desenvolvimento de técnicas de inspeção que permitam uma análise rápida, confiável e de baixo custo.

Neste contexto, os ensaios não destrutivos (END) apresentam-se como uma forte alternativa para esta questão. Segundo Garaygordobil (2003), os END apresentam uma variedade de técnicas para a verificação de danos, permitindo obter informações quanto ao estado de deterioração do elemento. Assim, estas técnicas tornam-se de grande importância para garantir a rápida identificação de falhas e manutenibilidade em estruturas de concreto.

Em se tratando de estruturas já com elevado grau de dano, quando se deseja realizar a recuperação de um elemento, habitualmente se despreza qualquer capacidade residual que porventura a peça possua e é feita uma intervenção buscando restabelecer sua condição inicial. Entretanto quando se despreza a capacidade residual do elemento, de fato não está se fazendo uma recuperação e sim uma obra de reforço, ou seja, a capacidade resistente do elemento é aumentada. Logo, há acréscimo de custo desnecessário na intervenção.

Os END baseados na obtenção da frequência de vibração apresentam uma grande sensibilidade às modificações da rigidez dos materiais. Sendo assim, através de um estudo mais aprofundado destas relações é possível obter correlações satisfatórias que levem à determinação da capacidade residual dos elementos de concreto submetidos a um dano progressivo. Por consequência, é possível propor soluções de recuperação e

ISBN: 978-85-65425-32-2

reforço mais realistas com o comportamento estrutural e mais racionais sobre o ponto de vista econômico.

O presente trabalho trata da avaliação da degradação da rigidez de vigas de concreto armado submetidas a um processo de dano progressivo, com vistas ao desenvolvimento de uma metodologia para estimar a rigidez residual destes elementos, a partir da modificação da frequência fundamental.

2. Fundamentação teórica

2.1 Estimativa da rigidez à flexão

A expressão para obtenção da vibração transversal de uma viga simplesmente apoiada nas duas extremidades, para os seus n modos de vibração e que atende as condições de Bernoulli-Euler, é dada por:

$$f = n^2 \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{E\,I}{\rho\,A}} \qquad (1)$$

onde:

n número do modo de vibração (1, 2, 3, ...);

Partindo-se da Expressão 1 pode-se estimar a rigidez (EI) da vigas partir da frequência fundamental por meio de:

$$EI = \frac{4\,\rho\,A\,f^2\,L^4}{\pi^2} \qquad (2)$$

2.3 Deterioração do concreto nas estruturas

Existem diferentes formas da degradação se manifestar em estruturas de concreto. Segundo Gebregziabhier (2008), os sinais de degradação mais comuns observados nas estruturas de concreto são as fissuras, descamamentos ou delaminações, deslocamentos excessivos, alterações de coloração, erosão e corrosão das armaduras.

O conhecimento das causas da deterioração do concreto é indispensável para que se possam adotar procedimentos de reparo adequados e para evitar que a estrutura volte a se deteriorar (SOUZA e RIPPER, 1998).

Para Bertolini (2010), a ação do ambiente sobre as estruturas de concreto armado pode levar a um processo de deterioração progressiva, tanto no concreto como nas armaduras. Segundo esse autor, as principais causas da deterioração do concreto são físicas (efeito da temperatura), químicas (ataque de sulfatos e cloretos), biológicas (proliferação de plantas) e mecânicas (choques e sobrecargas).

A deterioração causada por sobrecargas em estruturas de concreto armado pode acontecer por diversas razões, desde uma alteração na utilização da edificação, até circunstâncias incomuns como terremotos ou explosões. Estes danos podem ocorrer

ISBN: 978-85-65425-32-2

ainda durante a fase de execução da obra, com a remoção precoce de formas ou devido ao armazenamento inadequado de materiais e equipamentos (PCA, 2002).

Independentemente da causa, a deterioração do concreto provoca diferentes graus de degradação da rigidez de elementos estruturais. A quantificação da rigidez de elementos deteriorados é um aspecto de grande importância para efeitos de recuperação e reforço das estruturas.

3. Materiais e métodos

3.1 Modelos experimentais

Para desenvolvimento do programa experimental foram fabricadas três vigas de concreto armado, conforme modelo apresentado na Figura 2. Os modelos experimentais possuem dimensões nominais de 9x18x180 cm, armadura longitudinal de tração composta por duas barras de aço CA-60 com diâmetro Ø5.0 mm e porta-estribos composto por duas barras de aço CA-60 com diâmetro Ø4.2 mm. Para a armadura transversal foram utilizados estribos de aço CA-60 com diâmetro Ø4.2 mm, espaçados a cada 9,0 cm e cobrimento da armadura de 1,5 cm.

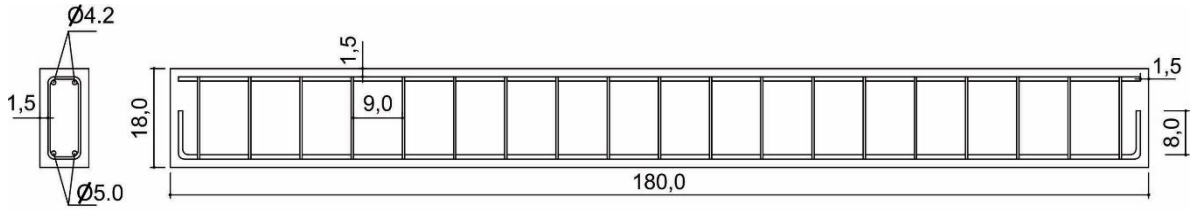


Figura 2 – Modelo de viga

Para produção dos modelos de vigas foram confeccionadas três formas de madeira compensada plastificada. Antes da concretagem as armaduras e formas foram limpas e foi aplicado um desmoldante de base mineral nas formas. Também foram utilizados espaçadores plásticos modelo S (circular universal) nas armaduras, a fim de garantir o adequado cobrimento de concreto.

Durante as primeiras 24 horas após a moldagem, as vigas foram mantidas umedecidas e cobertas por uma lona plástica. Passado este período, os elementos foram desformados e colocados em um tanque, no qual foi realizada cura por imersão durante 28 dias.

3.2 Instrumentação

A configuração utilizada no ensaio foi do tipo Stuttgart. Na Figura 3 apresenta-se a posição dos transdutores de deslocamento utilizados para a obtenção da flecha em diferentes posições. Os pontos 1 e 2 representam a posição de instalação de acelerômetro piezométrico unidirecional e de impacto com martelo instrumentado respectivamente. No centro da peça foi posicionada uma célula de carga para obtenção do carregamento ao longo do ensaio.

ISBN: 978-85-65425-32-2

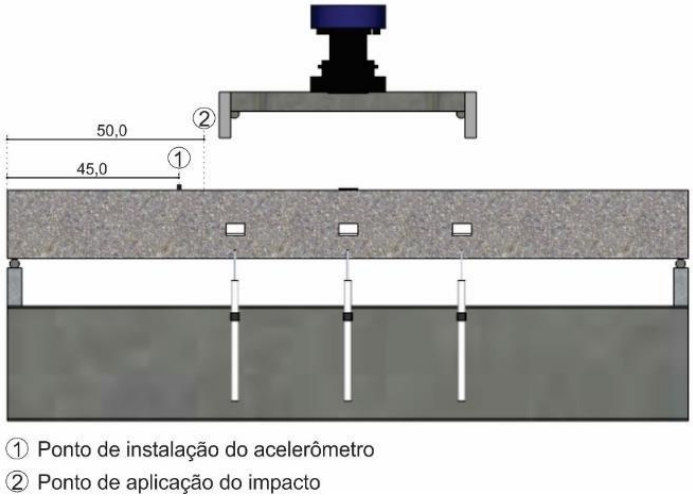


Figura 3 – Montagem geral da instrumentação utilizada

3.3 Aplicação do dano

A fim de promover a degradação da rigidez das vigas de concreto armado, decidiu-se submeter os modelos experimentais a um ensaio de flexão até alcançar uma carga próxima ao colapso, cujo esquema de carregamento é mostrado na Figura 4.

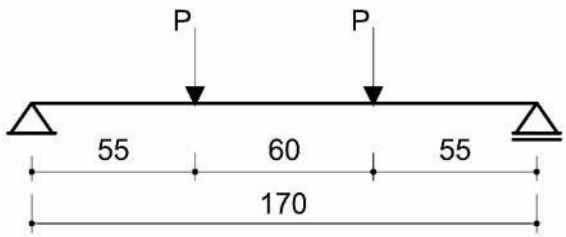


Figura 4 – Esquema de carregamento para o ensaio de flexão

Para aplicação do carregamento, os elementos foram posicionados no eixo de uma máquina universal servo controlada, sobre uma viga de reação de aço previamente instalada, conforme mostrado nas Figuras 5a e 5b. O dano foi promovido pela ação do atuador, aplicando um carregamento monotônico em dois pontos, com controle de deslocamentos, a uma taxa de 0,02 mm/s.

ISBN: 978-85-65425-32-2

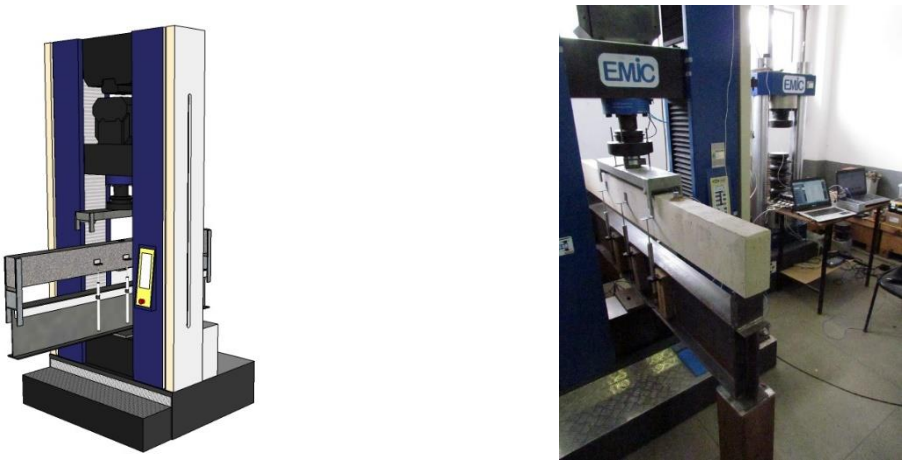


Figura 5 – a) Montagem do ensaio; b) Configuração final do ensaio

As vigas foram submetidas a estágios de carga progressivos, com medição dos deslocamentos. Após alcançar um determinado estágio de carga, o atuador era suspenso para reestabelecer a condição biapoiada da viga. Os dados de carregamento, deslocamentos e deformação foram obtidos com auxílio de um Sistema de Aquisição de Dados (SAD) da HBM, no qual foram conectados uma célula de carga de 200kN e quatro transdutores de deslocamento com curso de 100mm. A comunicação para aquisição dos dados foi realizada com auxílio do programa CatmanEasy v3.4.

Para obtenção das características dinâmicas foi utilizado o SAD modular da *Nacional Instruments* (NI), dotado de um rack e um módulo de entrada analógica para conexão do martelo e do acelerômetro. A comunicação para aquisição dos dados foi realizada por meio do *Virtual Instrument* (VI) desenvolvido no programa Labview v2010.

4. Resultados e discussão

Na figura 6 apresentam-se os resultados obtidos de carga e deslocamento com a evolução do ensaio de flexão. O Diagrama Carga-Flecha evidencia a baixa dispersão dos resultados do ensaio para os modelos R1, R2 e R3, o que permitiu adotar valores médios como representativos para cada série. Cada ponto desse diagrama representa um estágio de carga, para qual foi obtida a flecha máxima da viga no centro do vão e a frequencia fundamental de vibração do elemento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

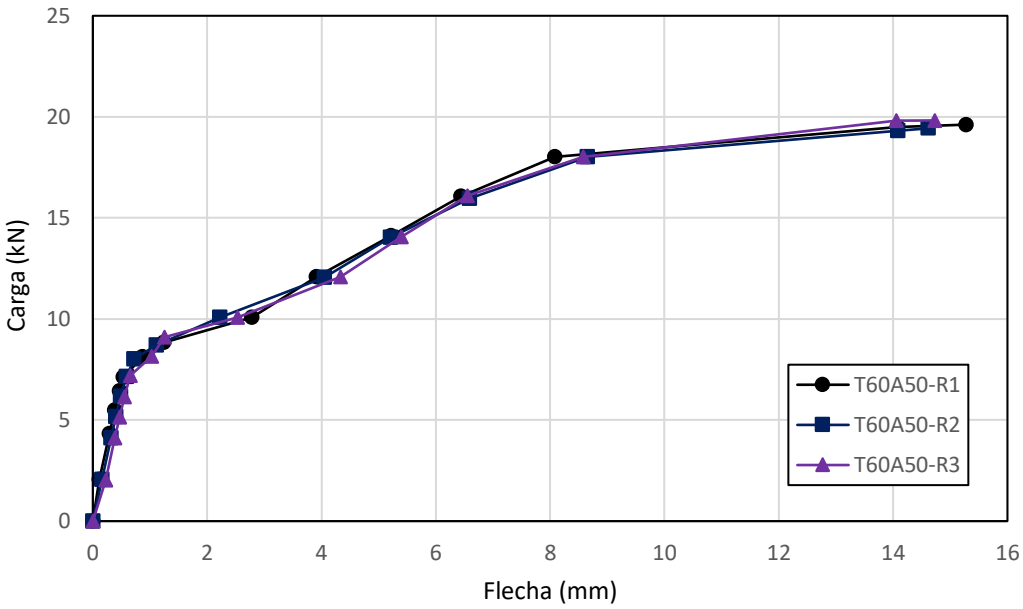


Figura 6 – Diagrama Carga-Flecha

Para cada estágio de carga, no qual se obteve também a frequência fundamental de vibração, foi estimada a rigidez da viga (EI) com auxílio da Expressão 2, o que permitiu obter as curvas de degradação da rigidez ao longo da aplicação do carregamento (Figura 7). Na Figura 8 apresenta-se a degradação em termos percentuais.

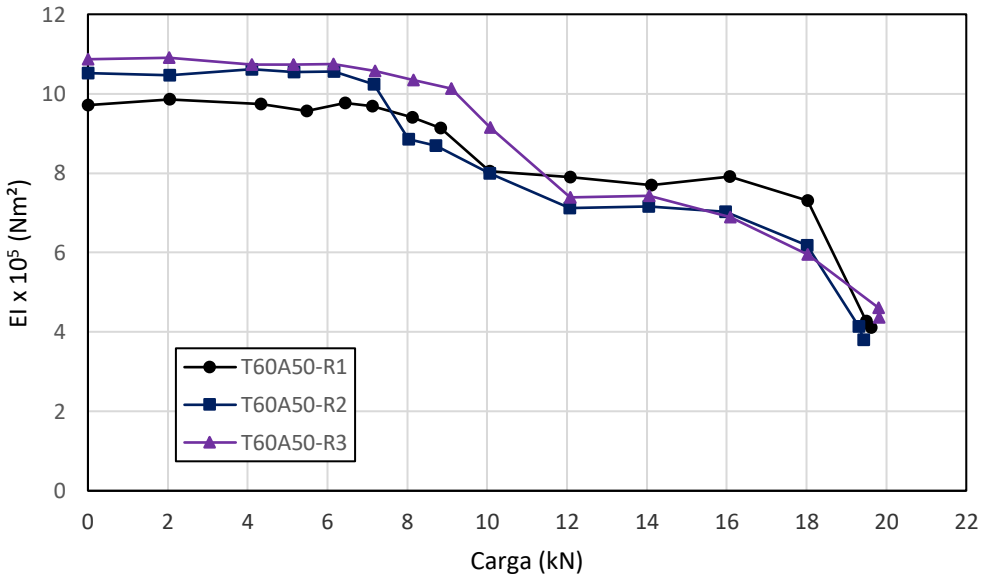


Figura 7 – Diagrama de Degradação da Rigidez para os modelos experimentais.

ISBN: 978-85-65425-32-2

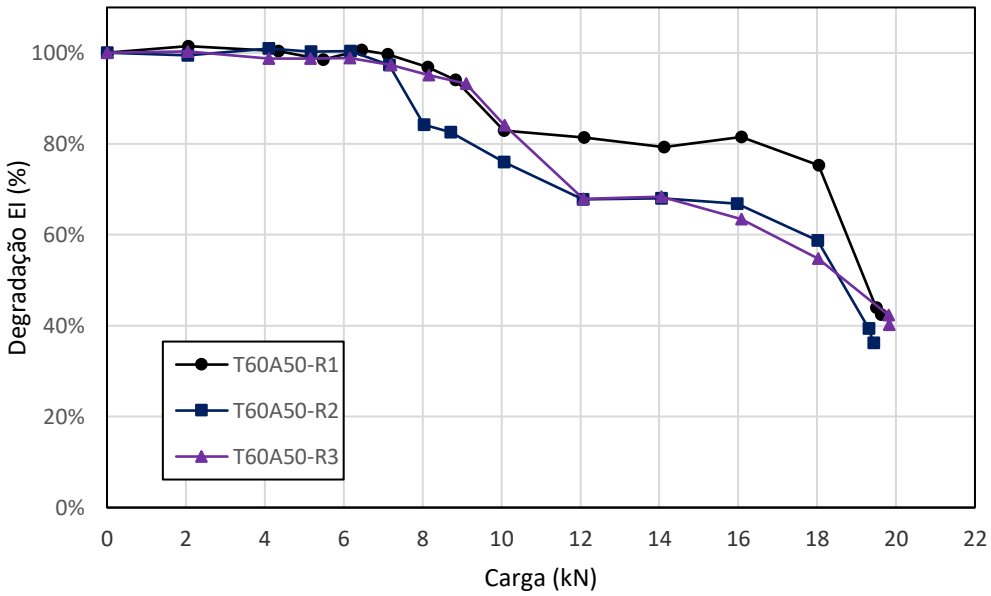


Figura 8 – Diagrama de Degradação da Rigidez Percentual para os modelos experimentais.

Com relação à variação da rigidez (Figura 7), pode-se observar que existe uma dispersão maior entre as repetições do que quando comparado com os resultados dos Diagramas Carga-Flecha (Figura 6). Isto pode ser explicado devido à dispersão típica da resistência à tração do concreto e do caráter aleatório da distribuição da fissuração em uma viga de concreto armado. No entanto, pode-se observar uma tendência clara da degradação da rigidez do modelo, o que torna razoável descrever o fenômeno por meio da média dos resultados. Ainda na Figura 7, observa-se uma tendência bem marcada do fenômeno de degradação da rigidez, ficando evidenciados os trechos que correspondem ao início da fissuração do concreto e escoamento do aço.

Com base no diagrama que representa a Degradação da Rigidez Percentual (Figuras 8), pode-se observar que para a faixa de serviço[1] os elementos apresentam cerca de 70% a 80% de sua rigidez inicial. Para cargas próximas ao colapso, os elementos ainda conservam uma parcela significativa de sua rigidez, que de 40% a 50%. A rigidez residual de um elemento estrutural é um aspecto de grande relevância, pois em projetos de recuperação estrutural essa característica mecânica é muitas vezes desprezada devido à dificuldade de mensurá-la. Nesses casos, deixa-se de contar com uma parcela da capacidade resistente ainda disponível no elemento estrutural, o que torna a recuperação mais cara e dificulta prever o comportamento estrutural do mesmo.

5. Conclusões

[1] Entende-se por faixa de serviço a região compreendida entre 40% e 60% da carga de colapso do elemento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A metodologia proposta no presente trabalho, baseada na variação da frequência natural do elemento estrutural, se mostrou adequada para estimar a rigidez residual de vigas de concreto armado. Com auxílio dos ensaios de determinação das características dinâmicas foi possível verificar o início da fissuração, o seu desenvolvimento e o escoamento das armaduras.

Com o desenvolvimento desta metodologia, é possível se obter um valor mais realista para a rigidez de um elemento estrutural submetido a um dano de qualquer natureza, permitindo assim a definição de um reparo estrutural mais eficiente e econômico.

Num outro viés, a metodologia estudada pode ser utilizada para o monitoramento contínuo de estruturas, conduzindo a um diagnóstico prematuro de manifestações patológicas e, por consequência, a um prolongamento da vida útil da estrutura.

Agradecimentos

Os autores registram seus agradecimentos à Universidade Federal de Viçosa, em especial a Pró-Reitoria de Administração pelo apoio logistico no desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, S. F.. Análise dinâmica experimental da rigidez de elementos de concreto submetidos à danificação progressiva até a ruptura. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BERTOLINI, L.. Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GARAYGORDÓBIL, J. C. A.. Dynamic assesment of structural building components. 2003. 383 f. Tese (Ph. D. em Engenharia da Construção) – Escola Técnica Superior d' Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2003.

GEBREGZIABHIER, T. T.. Durability problems of 20th century reinforced concrete heritage structures and their restorations. 2008. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Structural Analysis Of Monuments And Historical Constructions, Technical University Of Catalonia, Barcelona, 2008.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). Concrete Information: Types and Causes of Concrete Deterioration. Skokie: PCA, 2002.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T.. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: PINI, 1998.

ISBN: 978-85-65425-32-2

DETECÇÃO DE DESTACAMENTOS UTILIZANDO A TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (IRT) EM ELEMENTOS DE PONTES DE CONCRETO ARMADO DE DIFERENTES RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO (A/C)

Detection Of Delaminations Using Infrared Thermography (IRT) In Reinforced Concrete Bridge Elements With Different Water/Cement Ratios (A/C)

Joaquin ROCHA[1], **Cynthia** SANTOS[2], **Manoely** OLIVEIRA[3], **Yêda** PÓVOAS[4]

[1] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, jhar_pec@poli.br

[2] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, cfs_pec@poli.br

[3] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, mso_pec@poli.br

[4] Professora orientadora, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, yeda.povoas@gmail.com

Resumo: O concreto utilizado na construção de pontes varia de acordo com as especificações de projeto. Sua principal causa de deterioração é a corrosão e seus produtos, como destacamentos e fissuras. A termografia infravermelha é uma técnica não destrutiva que pode ser usada na inspeção para detectar estes defeitos. O objetivo deste estudo é avaliar a influência da qualidade do concreto por meio de termogramas para a identificação de suas manifestações patológicas. A metodologia do estudo é experimental, onde foram confeccionados dois corpos de prova de concreto com relações água/cimento (a/c) de 0.50 e 0.60, por meio da inserção de placas de poliestireno de diferentes espessuras (3, 6 e 12 mm) e profundidades (2.5, 5.0 e 7.5 cm), a fim de simular defeitos no interior do concreto e avaliar a capacidade da termografia infravermelha. Os resultados mostram que o corpo de prova com baixa relação a/c apresentou maior facilidade de detecção de defeitos, ao contrário daquele com uma maior relação a/c. Pode-se concluir que quanto melhor a qualidade do concreto, a técnica é mais eficaz para detectar destacamentos.

Palavras-chave: Pontes, qualidade do concreto, inspeção, termografia infravermelha.

Abstract: The concrete used in the construction of bridges varies according to the design specifications. Its main cause of deterioration is corrosion and its products as delaminations and fissures. Infrared thermography is a non-destructive technique that can be used in the inspection to detect these defects. The objective of this study is to evaluate the influence of concrete quality through thermograms for the identification of their pathological manifestations. The methodology of the study was experimental, where two specimens of concrete with water/cement ratios (a/c) of 0.50 and 0.60 were made by inserting polystyrene plates of different thicknesses (3, 6 and 12 mm) and depths (2.5, 5.0 and 7.5 cm) in order to simulate defects inside the concrete and evaluate the capacity of infrared thermography. The results show that the specimen with low a/c ratio showed greater ease of defect detection, unlike that with a higher a/c ratio. It can be concluded that the better the quality of concrete, the more effective the technique is to detect detachments.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Keywords: Bridges, concrete quality, inspection, infrared thermography.

1. Introdução

Apesar da importância das funções das pontes (AASHTO, 2011), a frequência de inspeção destas estruturas ocorre, na maioria dos casos, em intervalos de tempo elevados. Nos Estados Unidos, as inspeções são realizadas a cada dois anos (GPO, 2017); no Japão, a primeira ocorre com dois anos após a conclusão da estrutura e, depois, a cada 5 anos (MLIT, 2014); na Europa, a frequência é superior a 5 anos em sua grande maioria (Everett *et al*., 2008); no Brasil o panorama não é diferente, chegando a ter uma inspeção rotineira a cada ano, e inspeções especiais a cada cinco a oito anos, dependendo do caso, conforme a NBR 9452 (ABNT, 2016). Estas frequências largas representam um problema, uma vez que as patologias não são detectadas e a deterioração pode agravar-se, reduzindo a possibilidade de ações eficazes (Farrag *et al*. 2016).

A inspeção visual é normalmente realizada em inspeções periódicas, porém, por ser um método subjetivo, baseado na experiência do inspetor (Jain e Bhattacharjee, 2011; Rehman *et al*., 2016), problemas internos como os destacamentos não podem ser detectados. As extrações de testemunhos de concreto também são tradicionalmente feitas e podem fornecer informações específicas, mas sua cobertura é limitada a pontos (Kee *et al*., 2012). Em ambos os casos, para que o inspetor consiga realizar as inspeções, é necessário que tenha contato direto com a ponte, o que pode ser perigoso e, por isso, são realizadas interrupções durante sua permanência no local inspecionado, prejudicando os usuários (Washer, 2012). A termografia infravermelha é capaz de resolver os problemas mencionados porque é uma técnica que analisa grandes áreas e não requer o contato direto (Clark *et al*., 2003), além de ser amplamente utilizada para a detecção de destacamentos no concreto como um resultado da corrosão (AASHTO, 2011).

As pontes são feitas de diferentes tipos de concreto e isso depende muito das condições específicas de carga e requisitos de durabilidade. Isto envolve diferentes proporções dos materiais constituintes, a adição de materiais suplementares e mesmo a utilização de aditivos químicos, o que leva ao concreto com diferentes propriedades, os quais podem tornar-se um fator que influencia a inspeção com a termografia infravermelha (Farrag *et al*., 2016). Não foram realizadas muitas pesquisas que possam verificar esta influência especificamente. Neste sentido, o objetivo deste estudo é avaliar o potencial da termografia de infravermelha para detectar defeitos em concretos de diferentes relações água/cimento (a/c).

2. Revisão bibliográfica

A termografia infravermelha é um método à distância, rápido, não destrutivo, fácil de recolher dados e de resultados imediatos, utilizado principalmente na inspeção de pontes para detectar especificamente destacamentos (Aggelis *et al*., 2010; Clark *et al*., 2003; Oh *et al*., 2013; Vaghefi *et al*., 2012; Washer, 2012). No entanto, não fornece informações sobre a profundidade dos defeitos e depende altamente das condições ambientais (Washer *et al*., 2010; Yehia *et al*., 2007)

O conceito da aplicação da termografia é que os destacamentos e defeitos no interior do concreto interrompem o fluxo de calor através do mesmo. Estas falhas manifestam-se como

ISBN: 978-85-65425-32-2

temperaturas mais elevadas nestes setores, ao contrário das áreas sem problemas, formando gradientes térmicos (ASTM, 2013; Maser e Roddis, 1990; Vaguefi *et al*., 2012; Vemuri e Atadero, 2017 Washer, 2012). As câmeras termográficas podem medir a energia radiante emitida pela superfície do concreto e converter esta medição numa imagem de temperatura conhecida como termograma, mostrando os gradientes térmicos causados pelos defeitos no concreto (Vaguefi *et al*., 2011; Watase *et al*., 2015)

Radiação, condução e convecção são os três métodos de transferência de calor que podem afetar o fluxo de calor através do concreto. Embora a energia radiante seja o parâmetro que pode ser medido por uma câmera termográfica, a condutividade térmica dentro do concreto e a convecção de calor em torno do mesmo pode influenciar esta medida (Clark *et al*., 2003; Vaghefi *et al*., 2011).

A condutividade térmica é definida como a capacidade de um material permitir o fluxo de calor através de um intervalo de tempo específico. A condução de calor através do concreto é afetada em certa medida pela densidade, definida microscopicamente como uma quantidade de moléculas de um material particular num volume específico, onde o calor é conduzido pelo material por meio de transferência de energia interna provocada por colisões rápidas das moléculas. Neste sentido, quanto mais denso o material, maior a probabilidade de colisão de moléculas e, assim, a condução de calor tem maior velocidade (Farrag *et al*., 2016).

A condutividade térmica do concreto é afetada pela dosagem, pelas características dos agregados, pelos componentes do cimento, pelo estado de umidade e pelo peso unitário (Howlader *et al*., 2012; Morabito, 1989). A condutividade térmica aumenta com um teor mais elevado de cimento, diminuindo a relação a/c, resultando em um concreto com menor porosidade e uma densidade mais elevada (Demirboga, 2007; Farrag *et al*., 2016; Kim *et al*., 2003), bem como uma maior resistência à compressão (Mehta e Monteiro, 2013).

De acordo com a literatura, não foram claramente estabelecidos limites de detecção dos destacamentos sobre a relação a/c e a profundidade; Yehia *et al*. (2007) encontraram vazios e destacamentos a uma profundidade de 4 cm em um concreto de resistência à compressão de 28 MPa, enquanto que Kee *et al*. (2012) encontraram destacamentos a 5 cm em um concreto de mesma resistência; Maierhofer *et al*. (2007) com o uso de termografia ativa encontraram vazios a uma profundidade de 6 cm em um concreto de 48 MPa; Alfredo-Cruz *et al*. (2015) com um concreto de resistência à compressão de 38 MPa, relação a/c de 0.35, encontraram defeitos a uma profundidade de 5 cm, sendo os defeitos de 7.5 cm de profundidade menos visíveis; Farrag *et al*. (2016) encontraram destacamentos e vazios a 10 cm de profundidade utilizando concreto de resistência à compressão de 50 MPa. A incerteza quanto à capacidade de termografia infravermelha pode ser devido ao fato dos estudos terem sido realizados em diferentes condições ambientais, a diferentes espessuras de destacamentos e com diferentes qualidades de concreto (Hiasa *et al*., 2016).

3. Programa Experimental

O programa experimental baseia-se no trabalho de outros autores em relação à detecção de destacamentos em pontes (Hiasa *et al*., 2016; Washer *et al*., 2009; Washer *et al*., 2010; Yehia *et al*., 2007). Foram moldados dois corpos de prova (CP) de diferentes relações a/c, com medidas de (0.50 x 0.50 x 0.10) m, onde foram inseridas placas de poliestireno (0.10

ISBN: 978-85-65425-32-2

x 0.10) m de espessuras variáveis a diferentes posições e profundidades, indicados na Figura 1 e Quadro 1, para avaliar a capacidade da técnica de termografia infravermelha na detecção de destacamentos e vazios em diferentes tipos de concreto.

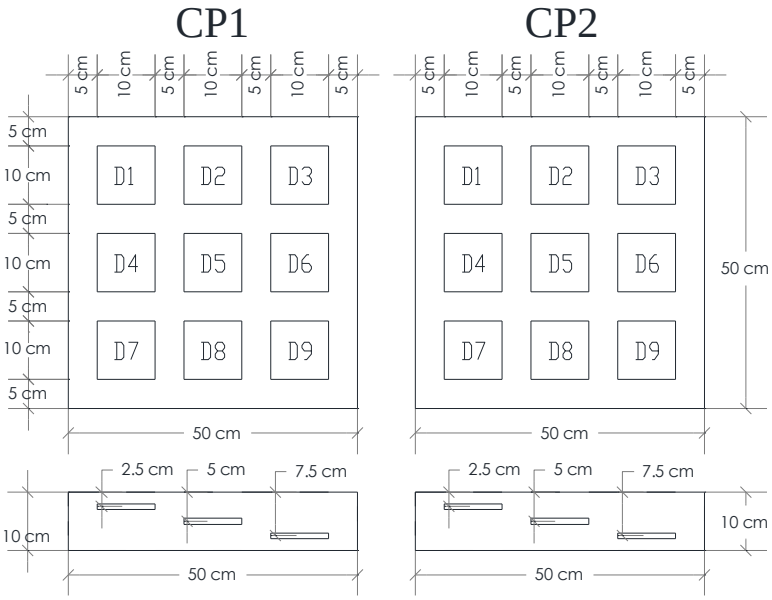


Figura 1 – Medidas dos corpos de prova e posição dos destacamentos

Quadro 1 – Detalhe dos destacamentos inseridos no concreto

Destacamento	Corpo de Prova 1 (CP1)		Corpo de Prova 2 (CP2)	
	Profunidade (cm)	Espessura (mm)	Profundidade (cm)	Espessura (mm)
D1	2.5	3.0	2.5	3.0
D2	2.5	6.0	2.5	6.0
D3	2.5	12.0	2.5	12.0
D4	5.0	3.0	5.0	3.0
D5	5.0	6.0	5.0	6.0
D6	5.0	12.0	5.0	12.0
D7	7.5	3.0	7.5	3.0
D8	7.5	6.0	7.5	6.0
D9	7.5	12.0	7.5	12.0

O corpo de prova 1 foi feito com uma relação a/c de 0.50 e o corpo de prova 2 com uma relação a/c de 0.60. Os mesmos foram confeccionados no Laboratório Avançado de Construção Civil da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco.

A câmera termográfica utilizada para o estudo foi a *FLIR E60*, cujas características são apresentadas na Quadro 2.

Quadro 2 – Características da câmera termográfica (FLIR, 2013)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Características da câmera	FLIR E60
Resolução IR	320x240 pixels
Sensibilidade Térmica	<0.05 ºC
Precisão	±2ºC ou ±2% de leitura
Câmera de vídeo sem iluminação	3.1 MP
Peso	0.825 kg

Os ensaios foram realizados nos corpos de prova após 28 dias de cura. Os termogramas foram recolhidos nos seguintes horários: 08:00, 10:00, 12:00; 15:00, 18:00 e às 20:00 horas para ver as diferenças de temperatura na superfície do concreto ao longo do dia. Os testes foram conduzidos no período de 18 de abril até 5 de maio de 2017, tendo 13 dias de inspeção, eliminando os dias chuvosos. Com o auxílio de um termohigrômetro, foram realizadas as leituras da temperatura do ambiente.

Foi realizado o ensaio de resistência à compressão de três amostras de cada CP obtendo-se a média conforme NBR 5739 (ABNT, 2007), apresentando os resultados do Quadro 3.

Quadro 3 – Propriedades dos corpos de prova

Propriedade	CP1	CP2
Relação água cimento	0.60	0.50
Resistência à compressão (MPa)	25	32
Densidade (kg/m^3)	2200	2400

A distância entre a câmera e o objeto foi de um metro, tomando-se termogramas, de acordo com a Figura 2.

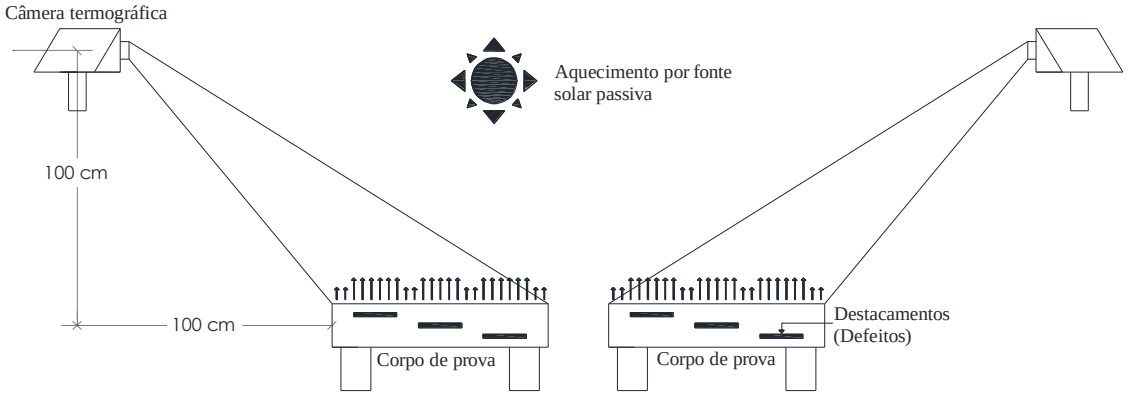


Figura 2 – Posição da câmera para a realização do ensaio

ISBN: 978-85-65425-32-2

4. Análise e discussão dos resultados

Para investigar diretamente o efeito da relação a/c na detecção de destacamentos pela termografia infravermelha, os termogramas foram tomados nos dois corpos de prova (CP1 e CP2), ao mesmo tempo e nas mesmas condições ambientais.

Os destacamentos foram analisados por comparação das imagens de ambos os corpos de prova (CP1 e CP2), com a identificação de defeitos visíveis, utilizando uma abordagem visual, através de gradientes térmicos formados na superfície do concreto como se mostra na Figura 3.

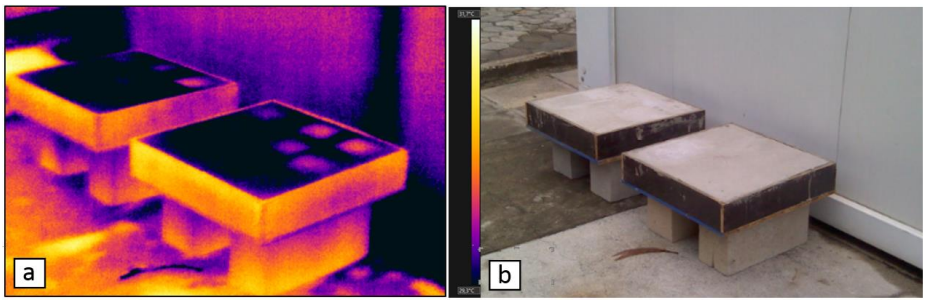


Figura 3 – Corpos de prova: a) Imagem térmica e b) Fotografia dos corpos

Durante o período de estudo, as leituras diárias apresentavam-se similares em relação aos gradientes de temperatura da superfície do concreto, de modo que os resultados mostrados permitem generalizar o comportamento para cada corpo de prova e observar as diferenças entre ambos (CP1 e CP2). No presente trabalho, são apresentados os resultados específicos para as horas seguintes: 08:00, 10:00, 12:00, 15:00, 18:00 e às 20:00.

A Figura 4, a Figura 5 e a Figura 6 mostram os termogramas para os dois corpos de provas, tomados pela manhã e ao meio-dia. É possível observar que no CP1 apenas se distinguem os destacamentos D1, D2 e D3, ao contrário do CP2 onde são detectados mais destacamentos, especificamente D4, D5 e D6, situados a 5 cm de profundidade. Às 15:00 horas, Figura 7, é observada uma mudança do gradiente térmico, onde os destacamentos que tiveram a temperatura mais alta do que o concreto se tornaram mais frios em relação à temperatura do concreto, sendo pouco visíveis neste período. A Figura 8 e a Figura 9 mostram os termogramas nos períodos da noite, em que a detecção é mais clara, obtendo-se resultados semelhantes àqueles encontrados na parte da manhã. Os destacamentos D7, D8 e D9 não foram encontrados em nenhum período, uma vez que estes estão a 7.5 cm da superfície do concreto, mostrando a limitação da técnica quanto ao alcance em relação à profundidade de detecção. Para a apresentação dos termogramas, optou-se por uma paleta de cores básicas para melhor visualização dos mesmos, onde a cor branca representa áreas quentes e a cor preta áreas frias.

ISBN: 978-85-65425-32-2

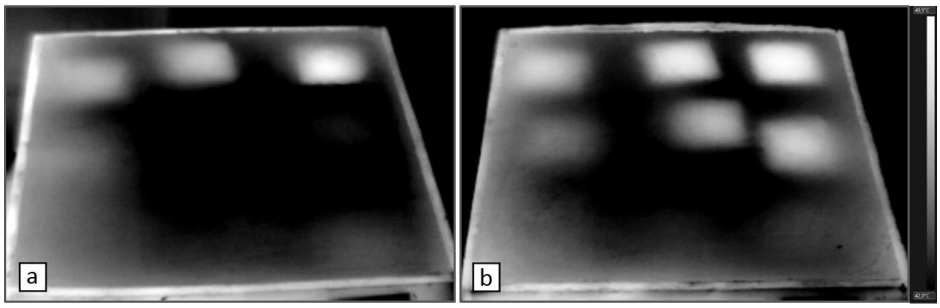


Figura 4 – Termogramas às 8:00 horas: a) CP1 e b) CP2

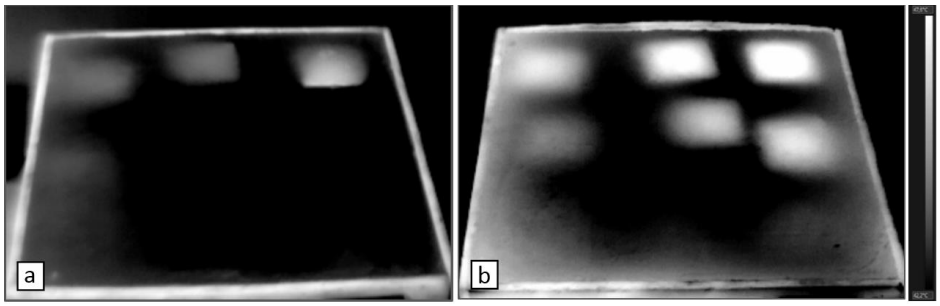


Figura 5 –Termogramas às 10:00 horas: a) CP1 e b) CP2

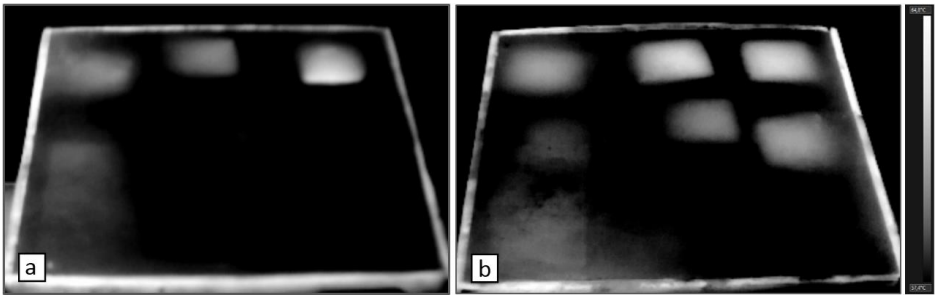


Figura 6 – Termogramas às 12:00 horas: a) CP1 e b) CP2

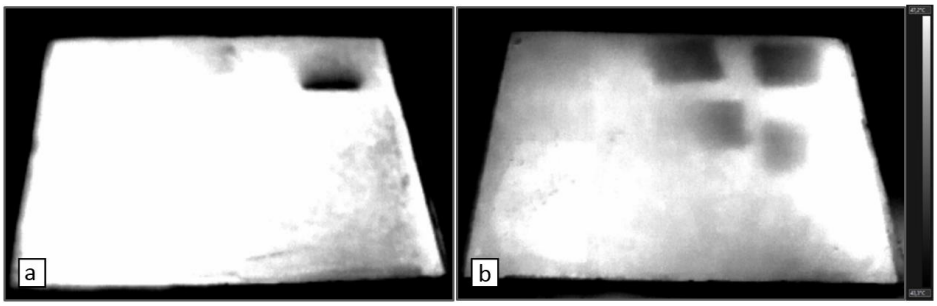


Figura 7 – Termogramas às 15:00 horas: a) CP1 e b) CP2

ISBN: 978-85-65425-32-2

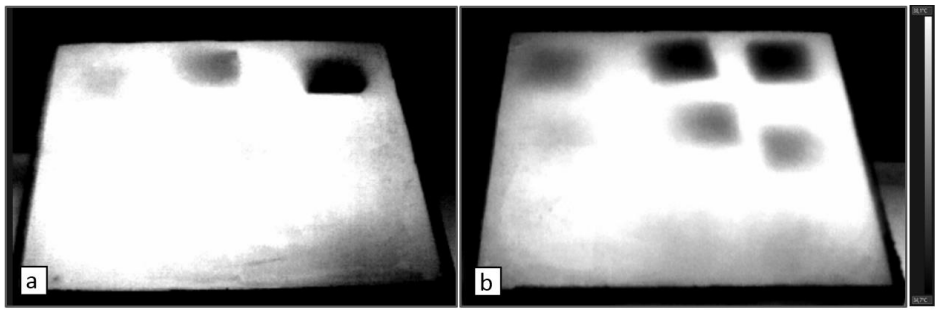


Figura 8 – Termogramas às 18:00 horas: a) CP1 e b) CP2

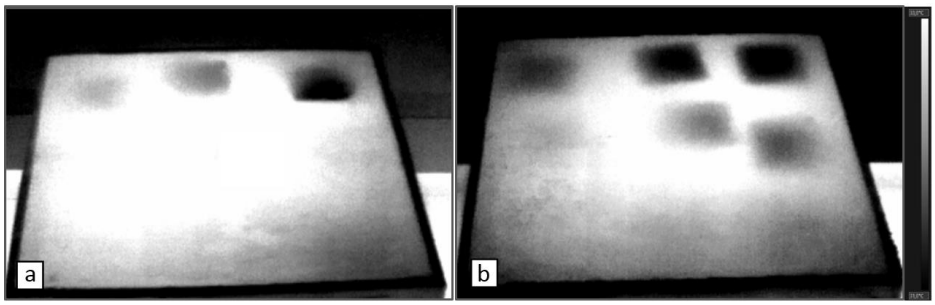


Figura 9 – Termogramas às 20:00 horas: a) CP1 e b) CP2

O Quadro 4 mostra um resumo dos resultados para os corpos de prova CP1 e CP2, em que a percentagem (%) representa o número de destacamentos detectados em torno do corpo de prova em relação ao total destes destacamentos. É importante notar que estas percentagens representam a detecção precisa de defeitos e apresentando uma informação adicional para uma melhor interpretação dos resultados.

Quadro 4 – Destacamentos detectados em função das horas

Destacamento	Profunidade (cm)	CP1		CP2	
		Detectado	%	Detectado	%
D1	2.5	Sim	33	Sim	67
D2		Sim		Sim	
D3		Sim		Sim	
D4	5.0	Não		Sim	
D5		Não		Sim	
D6		Não		Sim	
D7	7.5	Não		Não	
D8		Não		Não	
D9		Não		Não	

ISBN: 978-85-65425-32-2

De acordo com o Quadro 4, observa-se uma clara diferença na detecção de destacamentos em ambos os corpos de prova, tendo no CP1 a detecção de apenas 33%, enquanto no CP2, 67%, dobrando os resultados do primeiro.

Pode-se verificar que a relação a/c tem um impacto sobre a detecção de defeitos com a termografia infravermelha, uma vez que a maior parte dos destacamentos encontrados foi no CP2, que tem uma relação a/c de 0.50, ao contrário do CP1 com uma relação a/c de 0.60. Como Al-Hadharmi *et al*. (2012) e Farrag *et al*. (2016) relataram, este comportamento é atribuído à porosidade e à densidade do concreto, uma vez que quanto mais denso melhor sua condutividade térmica e melhores resultados ocorrem nos termogramas. Isso explica a existência de gradientes mais detectáveis no CP2, em relação ao CP1, o qual, devido à sua composição e densidade mais baixa, torna-se mais poroso e com mais heterogeneidade, propriedades que impedem o fluxo de calor no interior do concreto, interrompendo a formação de gradientes de temperatura em sua superfície.

Como é observado nos resultados, a maior quantidade de gradientes visíveis foi observada no CP2 até uma profundidade de 5 cm, que tem uma resistência à compressão de 32 MPa; enquanto que o CP1, de 25 MPa, os resultados foram visualizados até 2.5 cm de profundidade. A resistência à compressão é uma consequência direta da relação a/c e outras propriedades, tais como a densidade e a porosidade (Mehta e Monteiro, 2013). A relação entre a resistência à compressão do concreto e a profundidade máxima de detecção do destacamento pode ser vista na Figura 10, onde é apresentada uma comparação dos resultados de outras investigações (Alfredo-Cruz *et al*., 2015; Farrag *et al*., 2016; Kee *et al*., 2012; Maeirhofer *et al*., 2007; Yehia *et al*., 2007), tendo em conta esta relação. Observa-se que os resultados obtidos neste estudo confirmam esta tendência: quanto maior a resistência do concreto, maior o alcance de detecção de destacamentos quanto à profundidade.

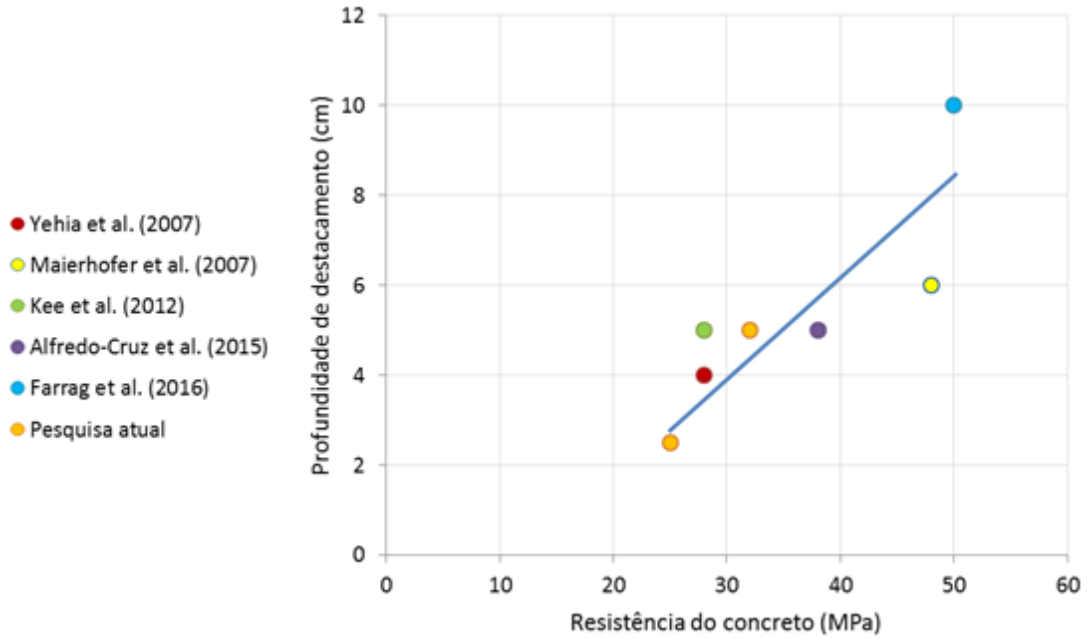


Figura 10 – Capacidade encontrada de relação de profundidade de destacamento e resistência à compressão do concreto

ISBN: 978-85-65425-32-2

A termografia é fortemente influenciada pelas condições ambientais, o que afeta a obtenção de termogramas, mesmo quando a aplicação é passiva, utilizada com mais frequência na inspeção de pontes (Washer *et al*., 2010; Washer, 2012). No entanto, pode-se notar que o local escolhido para os ensaios, isto é, o município de Recife-PE, apresenta condições ambientais adequadas para o desenvolvimento de gradientes térmicos visíveis com a termografia infravermelha tanto ao dia quanto à noite.

Durante o tempo de inspeção, observou-se que são necessárias determinadas diferenças de temperatura no ambiente para o desenvolvimento de gradientes térmicos no concreto, sendo precisas diferenças de temperatura ambientais mínimas de 5.5°C para que se permita a detecção dos destacamentos no concreto. No Quadro 5 são mostradas as temperaturas máximas e mínimas registradas durante o tempo de estudo.

Quadro 5 – Temperatura dos dias do ensaio

Temperatura	**Dias do ensaio**												
	Abril									**Maio**			
	18	**19**	**20**	**22**	**24**	**25**	**26**	**27**	**29**	**02**	**03**	**04**	**05**
Máxima (°C)	37.8	33.2	36.7	37.2	34.7	39.8	38.6	34.5	37.7	32.2	34.5	35.2	34.8
Mínima (°C)	27.4	27.7	25.9	28.0	27.1	28.2	28.5	26.7	26.0	26.4	28.8	27.8	28.1
Diferença (°C)	10.4	5.5	10.8	9.2	7.6	11.6	10.1	7.8	11.7	5.8	5.7	7.4	6.7

Como foi investigado, a detecção da profundidade e tamanho dos destacamentos representa uma limitação da termografia infravermelha (Hiasa *et al*., 2016). No presente estudo, foram utilizados destacamentos do mesmo tamanho em profundidades e espessuras diferentes. A profundidade máxima alcançada pelo termograma foi de 5 cm, com uma espessura de 3 mm, representado no destacamento D4, o qual foi detectado durante o tempo do ensaio.

A detecção de destacamentos ou defeitos utilizando a termografia infravermelha para as superfícies de concreto envolve observar as diferenças de radiação emitida pela superfície da estrutura. É importante notar que a termografia infravermelha dá informações sobre a existência de potenciais defeitos; no entanto, não dá detalhes sobre a natureza desses defeitos ou irregularidades. No caso de pontes, estes problemas podem ser ligados a produtos de corrosão ou defeitos de construção. A existência de gradientes de temperatura é uma referência importante para a detecção de defeitos no concreto com um bom nível de confiança.

Se for necessário corroborar os resultados obtidos, podem-se utilizar outras técnicas não destrutivas, assim como outros autores fizeram em suas pesquisas, como por exemplo, o uso do *GPR* (*Ground Penetrating Radar*) (Aggelis *et al*., 2010; Kee *et al*., 2015; Oh *et al*., 2013; Vemuri e Atadero, 2017).

A termografia infravermelha é apresentada como uma ferramenta alternativa para a inspeção de pontes porque é mais confiável do que apenas uma inspeção visual, pois fornece mais informações. No entanto, devem ser levados em conta muitos fatores, tais como a qualidade do concreto e as condições ambientais da área da inspeção.

ISBN: 978-85-65425-32-2

5. Conclusões

No presente trabalho foi desenvolvida uma pesquisa experimental qualitativa para analisar a relação a/c na detecção de destacamentos através da termografia infravermelha. Foram construídos dois corpos de prova de diferentes concretos para tal análise. Também outros parâmetros foram introduzidos como temperatura ambiente, profundidade e espessura de descolamentos.

De acordo com os resultados do programa experimental, verificou-se que a variação da relação a/c e os seus respectivos impactos sobre a resistência à compressão e a densidade do concreto influenciam na detecção de defeitos.

O concreto com menor relação a/c teve os melhores resultados quanto à detecção de destacamentos devido à sua elevada densidade, ao contrário do outro corpo de prova em que a detecção foi limitada. Os resultados não indicam necessariamente que a técnica não é recomendada para concretos de baixa qualidade, no entanto, quanto maior a qualidade do concreto, mais eficaz é a termografia infravermelha.

Os defeitos mais superficiais, bem como os de maior espessura são mais detectáveis. As condições ambientais de Recife são adequadas para o uso da técnica em inspeções de pontes, uma vez que foram detectados gradientes térmicos na maior parte do dia e da noite.

Agradecimentos

À CAPES pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). Manual for Bridge Evaluation. 2nd ed. Washington D.C.: AASHTO Publications.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil.

Aggelis, D., Kordatos, E., Soulioti, D., Matikas, T. (2010). Combined use of thermography and ultrasound for the characterization of subsurface cracks in concrete. Constr. Build. Mater., 24 (10), 1888–1897.

Alfredo-Cruz, R., Quintero-Ortiz, L.Galán-Pinilla, C., Espinosa-García, E. (2015). Evaluación de técnicas no destructivas en elementos de concreto para puentes. Revista Fac. Ing., 24 (40), 83-96.

Al-Hadhrami, L. M., Maslehuddin, M., Shameem, M., Ali, M. (2012). Assessing concrete density using infrared thermographic (IRT) images. Infrared Phys. Technol., 55(5), 442–448.

ASTM - American Society for Testing and Materials. (2013). D4788 – 03: Standard test method for detecting delaminations in bridge decks using infrared thermography. Philadelphia, United States.

Clark, M., McCann, D., Forde, M. (2003). Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges. NDT&E International, 36 (4), 265-275.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Demirboga, R. (2007). Thermal conductivity and compressive strength of concrete incorporation with mineral admixtures. Build. Environ., 42 (7), 2467–2471.

Everett, T., Weykamp, P., Capers, H., Cox, R., Drda, T., Hummel, L., Jensen, P., Juntunen, D., Kimball, T., Washer, G. (2008). Bridge Evaluation Quality Assurance in Europe. 1st ed. Washington D.C.: FHWA-HPIP.

Farrag, S., Yehia, S., Qaddoumi, N. (2016). Investigation of Mix-Variation Effect on Defect-Detection Ability Using Infrared Thermography as a Nondestructive Evaluation Technique. J. of Bridge Eng., 21 (3), 1-15.

FLIR - Forward Looking Infrared. User's manual FLIR Exx Series. 1st ed. Wilsonville: FLIR.

GPO - Government Publishing Office. (2017). Electronic Code of Federal Regulations. Subpart C, Title 23, 650.311. Washington D.C. Disponivel em: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=48c6c5553bac59c9b7f600ca2580ae15&mc=true&node=se23.1.650_1311&rgn=div8>. Acesso em: 30 mai. 2017.

Hiasa, S., Catbas, F., Matsumoto, M., Mitani, K. (2016). Monitoring concrete bridge decks using infrared thermography with high speed vehicles. Structural Monitoring and Maintenance, 3 (3), 277-296.

Howlader, M., Rashid, K., Mallick, D., Haque, T. (2012). Effect of aggregate types on thermal properties of concrete. ARPN J. Eng. Appl. Sci., 7 (7), 900–907.

Jain, K.; Bhattacharjee, B. (2011). Application of fuzzy concepts to the visual assessment of deteriorating reinforced concrete structures. J. of Construction Eng. Manag., 138(3), 399-408.

Kee, S., Oh, T., Popovics, J., Arndt, R., Zhu, J. (2012). Nondestructive bridge deck testing with air-coupled impact-echo and infrared thermography. J. of Bridge Eng., 17 (6), 928-939.

Kim, K., Jeon, S., Kim, J., Yang, S. (2003). An experimental study on thermal conductivity of concrete. Cem. Concr. Res., 33 (3), 363–371.

Maierhofer, C., Arndt, R., Rollig, M. (2007). Influence of concrete properties on the detection of voids with impulse-thermography. Infrared Phys. Technol., 49 (3), 213–217.

Maser, K., Roddis, W. (1990). Principles of thermography and radar for bridge deck assessment. J. of Transportation Eng., 116 (5), 583–601.

Mehta, K., Monteiro, P. (2013). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill.

ISBN: 978-85-65425-32-2

MLIT - Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (2014). Manual for periodic Bridge Inspection. 2nd ed. Tokyo: Road Bureau, 2014.

Oh, T., Kee, S., Arndt, R., Popovics, J., Zhu, J. (2013). Comparison of NDT Methods for Assessment of a Concrete Bridge Deck. J. of Eng. Mechanics, 139 (3), 305-314.

P. Morabito (1989), Measurement of thermal properties of different concretes, High Temp. High Press., 21 (1), 51– 59.

Rehman, S., Ibrahim, Z., Memon, S., Jameel, M. (2016). Nondestructive test methods for concrete bridges: A review. Construction and Building Materials, 107 (15), 58-86.

Vaghefi, K., Oats, R., Harris, D., Ahlborn, T., Brooks, C., Endsley, K., Roussi, C., Shuchman, R., Burns, J., Dobson, R. (2012). Evaluation of Commercially Available Remote Sensors for Highway Bridge Condition Assessment. J. of Bridge Eng., 17 (6), 886-895.

Vaghefi, K.; Melo e Silva, H.; Harris, D.; Ahlborn, R. (2011). Application of thermal IR imagery for concrete bridge inspection. In: PCI National Bridge Conference, Salt Lake City, United States, 2011.

Vemuri, S., Atadero, A. (2017). Case Study on Rapid Scanning Techniques for Concrete Bridge Decks with Asphalt Overlay: Ground-Penetrating Radar and Infrared Thermography. Pract. Period. Struct. Des. Constr., 22 (2), 1-8.

Washer, G. (2012). Advances in the use of thermographic imaging of the condition assessment of bridges. Bridge Structures, 8 (2), 81-90.

Washer, G., Fenwick, R., Bolleni, N. (2010). Effects of Solar Loading on Infrared Imaging of Subsurface Features in Concrete. J. of Bridge Eng., 15 (4), 384-390.

Washer, G.; Fenwick, R.; Bolleni, N. Development of Hand-held Thermographic Inspection Technologies. 1st ed. Jefferson City: MODOT.

Watase, A., Birgul, R., Hiasa, S., Matsumoto, M., Mitani, K., Catbas, F. (2015). Practical identification of favorable time windows for infrared thermography for concrete bridge evaluation. Construction and Building Materials, 101 (1), 1016-1030.

Yehia, S., Adudayyeh, O., Nabulsi, S., Abdelqader, I. (2007). Detection of common defects in concrete bridge decks using nondestructive evaluation techniques. J. of Bridge Eng., 12 (2), 215-225.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICÁCIA DOS MÉTODOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO POR CRISTALIZAÇÃO INTEGRAL

Comparative Analysis Of Efficacy Of Crystalline Waterproofing Methods

Rodrigo Wanderley FREIRE[1], Thayse Dayse DELMIRO[2], Angelo Just da COSTA E SILVA[3]

[1] Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, Brasil, rwfreire@gmail.com

[2] Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, Brasil, thaysedayse@hotmail.com

[3] Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, Brasil, angelo@tecomat.com.br

Resumo: Cada vez mais em evidência, o conceito de durabilidade nas estruturas de concreto se torna alvo de estudos mais detalhados, devido à alta demanda por recuperação destas estruturas. Isto posto, este estudo tem como objetivo estudar a eficácia dos métodos de impermeabilização por cristalização integral frente aos dois principais agentes degradantes das estruturas de concreto: água e ions cloreto. Para essa analise três famílias de corpos de prova foram analisadas, todas com mesmo traço de concreto, diferindo apenas na aditivação em uma das famílias e aplicação tópica em outra, e uma família de corpos de referência. Para cada família foram confeccionados 7 corpos de prova, que foram ensaiados quanto a absorção por capilaridade, absorção total, resistência à compressão e profundidade de penetração de cloreto. Os resultados obtidos foram capazes de mostrar que o concreto aditivado com cristalizante teve melhor desempenho em todos os ensaios realizados, evidenciando sua eficacia quanto à proteção do concreto frente à acao de agentes agressivos no concreto.

Palavras-chave: Durabilidade, Água, Impermeabilização, Concreto.

Abstract: The durability in concrete structures concept, now even more in evidence, becomes an object of detailed studies due to a huge demand for those structure recovery. Said that, this study main objective is to study the efficacy of crystalline waterproofing methods facing two of the most degrading agents of concrete structures: water and chloride ion. For this analysis three families of test specimens were analyzed, all with the same concrete trait, differing only in the additivation in one family and topical application in another, and a family of reference bodies. For each family, 7 specimens were tested, which were tested for capillary absorption, total absorption, compressive strength and depth of chloride penetration. The results obtained were able to show that the crystallizing additive concrete had better performance in all the tests, evidencing its effectiveness in the protection of the concrete against the action of aggressive agents in the concrete.

Keywords: Durability, Water, Waterproof systems, Concrete.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

A indústria da construção civil é um dos maiores responsáveis pelo crescimento econômico e social do país, sendo os sistemas construtivos de concreto armado utilizados em larga escala nas construções brasileiras. Dito isto, compreende-se como necessário o estudo de processos que contribuam para uma maior durabilidade das estruturas de concreto, ou seja, o seu adequado desempenho durante sua vida útil e uso (FRANÇA, 2011).

Ambientes urbanos cada vez mais agressivos e a falta de manutenção das estruturas de concreto contribuem para o aparecimento de manifestações patológicas que diminuem a vida útil da estrutura. Essas anomalias, em sua maioria, estão relacionadas com a umidade e a percolação de água, que são os principais agentes degradantes das estruturas de concreto armado.

A penetração de água em estruturas de concreto não fissuradas, junto com a passagem de ions cloreto, pode ser o início de uma das mais severas manifestações patológicas, a corrosão. Esta situação despassiva as armaduras de aço do concreto armado, levando a corrosão e diminuindo a durabilidade das estruturas (GJØRV, 2015). Um dos meios de proteger a estrutura do ataque de agentes agressivos é reduzir a permeabilidade do concreto, visto que essa propriedade influencia diretamente nos processos físicos e químicos de degradação do concreto (CAPELLESSO *et al.*, 2016).

Os íons cloreto têm a possibilidade de penetrar nas estruturas de concreto e da argamassa devido ao uso de sais de degelo, contato com água marinha, ambiente que envolve atmosfera industrial, etc. Em recife, onde o clima é tropical, a situação exige maiores cuidados com as estruturas de concreto. Ao passo que as estruturas isentas de umidade são umedecidas por águas salinizadas, ocorre a absorção devido a permeabilidade do concreto. A esse processo atribui-se o nome de ciclo de molhagem e secagem e contribui para a saturação do concreto (FRANÇA, 2011).

Uma forma de proteção de estruturas é a impermeabilização. Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010) impermeabilização consiste em um conjunto de operações técnicas e construtivas (serviços), composta por uma ou mais camadas que tem por finalidade proteger as estruturas contra a ação degradante de fluidos, de vapores e da umidade.

Os sistemas de impermeabilização vêm evoluindo, desde os primeiros estudos, onde não havia tanta tecnologia, até os dias atuais, que já contam com tecnologia de ponta para realização de estudos relacionados ao comportamento das estruturas de concreto relacionados a diversos materiais. Para estruturas que não estejam sujeitas a grandes movimentações (basicamente estruturas enterradas) como reservatórios, muros de arrimo, pisos de concreto em contato com o solo e outras, surge como opção a cristalização integral. Basicamente a cristalização integral consiste em cristais que são formulados por cimento, quartzo, areia e alguns produtos químicos de ativação que proporcionam um sistema de impermeabilização permanente no concreto (MUHAMMAD *et al.,* 2015).

O concreto é, naturalmente, um material poroso. A origem dos vazios que se fazem presente no concreto tem várias origens que passam desde o excesso de água na massa de concreto até fissuras de origens térmicas ou mecânicas. Soma-se a esses fatores a baixa qualidade de execução, a dosagem ineficiente e a falta de fiscalização e

ISBN: 978-85-65425-32-2

teremos vazios de maior dimensão. Visto que esses vazios geralmente são interligados, o concreto normalmente é permeável a água e vapores (BAUER, 2014).

Algumas formas de diminuição da permeabilidade das estruturas de concreto são reduzir a relação água/cimento, utilizar pozolanas ou produtos hidrofugantes, ou adtivos impermeabilizantes no concreto fresco ou até mesmo tratamentos superficiais com materiais impermeabilizantes, entre outras ações. Ademais, outros procedimentos de execução como correto adensamento, uma cura eficiente e uma correta dosagem do traço, limita a porosidade e restringe o surgimento de fissuras (MEHTA *et al.,* 2015).

Os cristais do cristalizante penetram nos vazios capilares do concreto por pressão de osmose e ocupam os poros do concreto, e de acordo com que a umidade se apresente, os cristais expandem-se, colmatando os capilares, causando a redução da permeabilidade à umidade e água. Ou seja, a cristalização não deve ser confundida com uma membrana ou revestimento (CAPELLESSO *et al.*, 2016).

Os sistemas de impermeabilização por sua vez, devem ser selecionados de acordo com a demanda da estrutura, sua localização e seu uso. Com a solicitação do mercado por um melhor desempenho e maior durabilidade, pela inserção da norma de desempenho – NBR 15575 (ABNT, 2013), cada vez mais se exigem sistemas construtivos mais duráveis. A impermeabilização também se enquadra nesse caso. A cristalização integral, como age diretamente no concreto, e se torna parte integrante dele, diminui a manutenção e consequentemente os custos futuros de uma intervenção para substituição do sistema de impermeabilização (LIMA *et al.,* 2013).

1.1 Justificativa

Com o advento da norma de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013), que entrou em vigor em junho/2013, os conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho passaram a ocupar maior espaço no mercado da construção civil. A importância destes se deu devido ao grande número de manifestações patológicas que surgem nas estruturas de concreto, diminuindo seu desempenho e, consequentemente, sua vida útil.

Sendo assim, é de suma importância o estudo de mecanismos que melhorem o desempenho das estruturas e aumentem sua vida útil.

1.2 Objetivos

Avaliar de forma comparativa, a partir de ensaios de laboratório, a influência da técnica de impermeabilização de concreto por meio de aplicação tópica e por aditivação.

2. Materiais

2.1 Cimento

Na moldagem dos corpos de prova foi utilizado cimento Portland CP II 32 Z. Nas Tabelas 1, 2 e 3 podem ser observadas as características do cimento utilizado.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 1 – Composição química do cimento conforme fabricante

Características analisadas (%)	CP II	Limites normativos
Óxido de Magnésio (MgO)	2,1	6,5
Trióxido de Enxofre (SO_3)	2,6	4,0
Perda ao Fogo (PF)	6,1	6,5
Resíduo Insolúvel	11,8	16

Tabela 2 – Características físicas do cimento conforme fabricante

Características analisadas	CP II	Limites normativos
Finura 200 (%)	4,0	≤12
Finura 325 (%)	17,2	-
Massa específica (g/cm³)	1,4	-
Início de pega (h:min)	2 h 37 min	1 h 00 min
Fim de pega (h:min)	5 h 02 min	10 h 00 min
Área Específica (cm²/g)	4.638	≥2600

Tabela 3 – Resistência à compressão do cimento em diferentes idades conforme fabricante

Idade	Mpa	Limites normativos
3 dias	25,0	≥10
7 dias	31,0	≥20
28 dias	38,7	≥32

2.2 Agregado miúdo

A massa específica apresentou valor de 2,62 g/cm³. Foi feita a análise granulométrica e na Tabela 4 pode-se observar os resultados. O módulo de finura encontrado foi igual a 3,07.

Tabela 4 – Distribuição granulométrica da areia

	Percentagem retida (%)	
Peneira (mm)	**Individual**	**Acumulada**
4,75	3,51	3,51
2,36	8,75	12,26
1,18	19,27	31,53
0,60	38,98	70,51

ISBN: 978-85-65425-32-2

0,30	20,34	90,85
0,15	7,61	98,46
Fundo	1,54	100

2.3 Agregado graúdo

Utilizou-se agregado graúdo industrializado, com dimensão máxima de 19 mm, com massa específica de 3,42 g/cm³, com massa unitária de 1,52 kg/dm³.

2.4 Água

Utilizou-se, para a confecção dos corpos de prova, água da rede de abastecimento de Recife.

2.5 Aditivos

Utilizou-se em uma das famílias de corpos de prova um impermeabilizante por cristalização integral na forma de aditivo para o concreto. A quantidade utilizada especificada pelo fabricante é 0,8% em relação ao peso de cimento no traço projetado. O Quadro 1 apresenta as características do aditivo.

Quadro 1 – Proporção dos componentes do aditivo conforme fabricante

Características	**Aditivo**
Forma de utilização	Aditivação
Aparência	Pó cinza
Cimento Portland (%)	40-70
Areia de quartzo (%)	0
Compostos químicos ativos (%)	10-30
Densidade [g/cm³]	1,10
pH em solução	10-13

2.6 Impermeabilizante utilizado como aplicação tópica

O impermeabilizante foi aplicado na superfície do concreto na forma de pintura. Ele consiste de cimento Portland, areia de quartzo e compostos químicos ativos. O Quadro 2 contém as informações e características do produto. Para aplicação manual, o fabricante indicou uma proporção em mistura com água de 5 partes de pó para 2 partes de água (5:2) em volume.

O fabricante especificou um consumo de 1,6 kg/m², quantidade de material que foi aplicada em duas demãos (0,8 kg/m²/demão), quando a primeira ainda estava fresca.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 2 – Proporção dos componentes do produto conforme fabricante

Características	**Produto aplicado na superfície**
Forma de utilização	Aplicação tópica
Aparência	Pó cinza
Cimento Portland (%)	10-50
Areia de quartzo (%)	10-40
Compostos químicos ativos (%)	30-60
Densidade [g/cm³]	1,45
pH em solução	10-13

3. Planejamento experimental

Os ensaios elencados e realizados para analisar o comportamento do concreto nas situações em que os corpos de prova foram submetidos estão listados a seguir.

Para que os ensaios fossem realizados, foram idealizadas 3 famílias de corpos de prova sendo todas elas com o mesmo traço de concreto, diferindo apenas na aditivação de uma das famílias e o tratamento superficial em forma de aplicação tópica em outra, enquanto que uma não recebeu tratamento ou aditivação, sendo esta família de corpos de prova considerada como concreto de referência. Na Figura 1 pode ser vista uma representação esquemática da distribuição dos corpos de prova com os seus respectivos tratamentos.

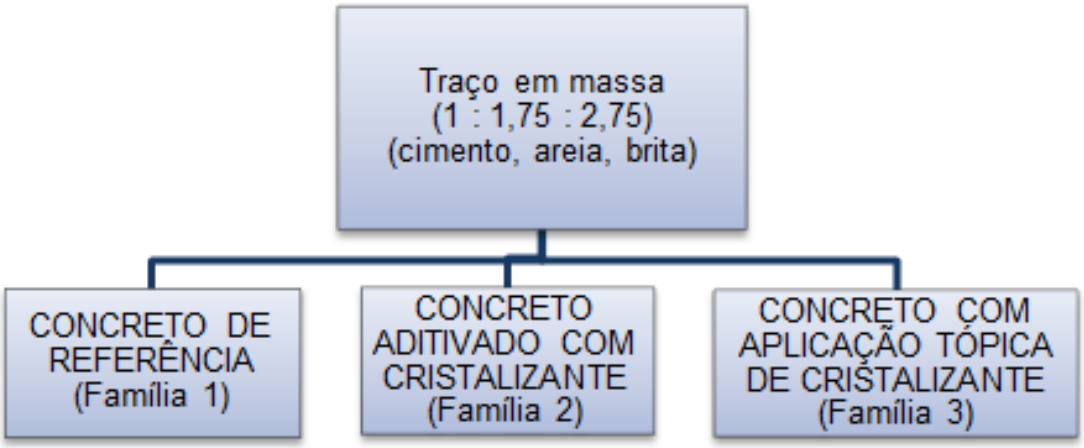


Figura 1 - Representação esquemática da divisão das famílias de corpos de prova.

3.1 Moldagem dos corpos de prova

O traço utilizado no trabalho foi idealizado para atingir uma resistência de 20 Mpa, com o objetivo de observar uma melhor atuação dos impermeabilizantes por cristalização integral. Foram moldados corpos de prova com dimensões de 200 mm de altura e 100 mm de

ISBN: 978-85-65425-32-2

diâmetro. A Tabela 5 apresenta a descrição do traço de concreto com as proporções de cada componente.

Tabela 5 – Proporção dos componentes do traço dos corpos de prova

Materiais	Traço
Cimento	1
Areia	1,75
Brita	2,75
Água	0,55
Aditivo Cristalizante**	0,8% do peso do cimento

** O aditivo cristalizante foi usado apenas na Família 2 de corpos de prova.

Foram confeccionados 21 corpos de prova em conformidade com a norma NBR 5738 (ABNT, 2015). Para realização dos ensaios planejados dividiu-se da seguinte forma: 2 corpos de cada família para absorção por capilaridade, 2 corpos de prova para absorção total, 3 corpos de prova para ensaio de resistência à compressão sendo que os mesmos corpos de prova que foram utilizados no ensaio de resistência à compressão foram utilizados também no ensaio de profundidade de penetração de cloreto

O processo de cura se deu 24 horas após a moldagem dos corpos de prova. Em seguida da desforma os corpos de prova foram colocados completamente imersos em água até 21 dias após a confecção. Com 21 dias, os corpos de prova da família 3 foram retirados da imersão para que pudesse ser feita a aplicação do cristalizante na forma de pintura. Por recomendação do fabricante, que alega que a aplicação deve ser feita em SSS (superfície saturada seca), os corpos de prova foram enxugados com pano úmido e depois lixados com escova de aço para retirar qualquer resquício de desmoldante, para que depois fosse feita a aplicação. Após a aplicação, os corpos de prova secaram ao ar livre por um dia e retornaram a cura úmida, junto com os outros corpos de prova, só que a partir daquele momento com apenas metade do corpo de prova imerso, em ciclos de 4 dias cada metade, por recomendação do fabricante.

3.2 Resistência à compressão

Com o objetivo de analisar a predisposição ao suporte de esforços, o ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com as orientações da NBR 5739 (ABNT, 2007). As Figuras 2, 3 e 4 ilustram os processos pelos quais os corpos de prova foram submetidos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 2 - Corpo de prova sendo retificado

Figura 3 - Corpo de prova retificado

Figura 4 - Corpo de prova após passar pela prensa.

Os corpos de prova foram ensaiados com idade de 28 dias e passaram pelos procedimentos de retífica antes de serem postos à prova na prensa. Foram observados os valores de resistência à compressão de 3 corpos de prova de cada família. Esse ensaio em especial foi realizado no laboratório da Tecomat Engenharia.

3.3 Absorção por capilaridade

Os procedimentos para análise da absorção de água por capilaridade, descritos na NBR 9779 (ABNT, 2012) foram seguidos para obtenção de dados. O primeiro procedimento do ensaio consiste na determinação do peso seco do corpo de prova em estufa. O passo seguinte é a colocação dos corpos de prova em um recipiente especial para a análise da absorção da água por capilaridade. As Figuras 5 e 6 apresentam alguns passos do ensaio realizado.

Figura 5 - Ensaio de absorção de água por capilaridade em andamento

Figura 6 - Verificação da altura atingida pela umidade em um dos corpos de prova

3.4 Absorção por imersão

ISBN: 978-85-65425-32-2

Os procedimentos para o ensaio de absorção por imersão foram adaptados da norma NBR 9778 (ABNT, 2005). Após 28 dias, os corpos de prova foram colocados em estufa com o objetivo de determinar o peso seco. Determinado o peso seco das amostras eles foram imersos em água, respeitando as seguintes orientações: 1/3 do volume foi mantido imerso nas primeiras 4 horas, 2/3 do volume nas 4 horas subsequentes e completamente imerso nas 64 horas restantes. A Figura 7 mostra os corpos de prova imersos, durante a realização do ensaio.

Figura 7 - Corpo de prova totalmente imerso, para determinação de absorção.

3.5 Profundidade de penetração de cloretos

Os procedimentos utilizados neste ensaio foram adaptados da norma UNI 7928 (1970). O ensaio consistiu em aspersão de uma solução de nitrato de prata $AgNO_3$ com concentração 0,1M nos corpos de prova, com objetivo de analisar qualitativa e quantitativamente a penetração de íons cloretos nos corpos de prova.

Os corpos de prova que foram analisados nesse ensaio, ao completarem 28 dias, foram submetidos a condições de aceleração do processo de degradação. A situação proposta foi simular ciclos de molhagem e secagem, sendo que esses ciclos foram realizados com imersão em água do mar da cidade do recife durante 12 horas e a secagem posterior nas 12 horas seguintes. Os corpos de prova ficaram sujeitados a estas condições durante 14 dias e logo após foi realizada a aspersão da solução já supracitada.

As Figuras 8, 9 e 10 expõem alguns procedimentos realizados durante a execução dos ensaios.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 8 - Aspersão da solução 0,1M de nitrato de prata

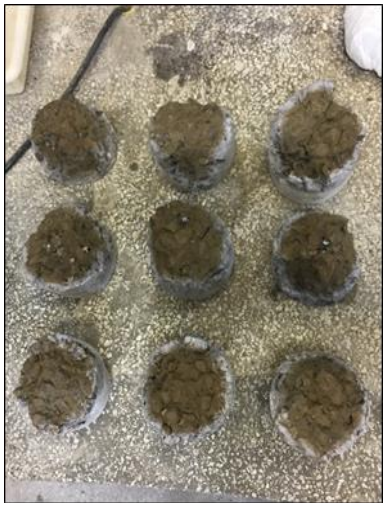


Figura 9 - Situação dos corpos de prova após aspersão da solução

Figura 10 - medição da profundidade atingida por íons cloreto

4. Resultados

4.1 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão alcançados estão ilustrados no gráfico ilustrado na Figura 11.

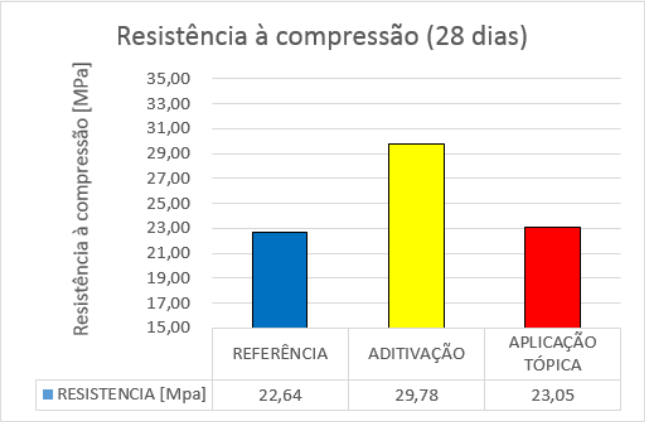


Figura 11 - Resistência à compressão a 28 dias dos concretos com diferentes tratamentos

Conforme pode ser observado na Figura 11, os corpos de prova que foram aditivados apresentaram uma resistência à compressão cerca de 30% maior que os corpos de prova da família de referência e dos corpos de prova que tiveram tratamento superficial.

A melhora da resistência devido a aditivação de concreto com cristalizante já pôde ser observada no trabalho de (CAPELLESSO *et al*., 2016), porém não na mesma escala. A

ISBN: 978-85-65425-32-2

melhora na resistência observada pelo trabalho citado foi de 10% em relação ao concreto de referência, possivelmente devido ao fck de projeto que foi de 40 MPa.

A melhora da resistência de dos corpos de prova que foram aditivados, provavelmente se deve ativação do cristalizante ter sido realizada desde o início do processo de cura do concreto, colmatando os poros e capilares, aumentando a resistência à compressão.

4.2 Absorção por capilaridade

No tocante ao ensaio de absorção por capilaridade, serão apresentados os resultados da absorção por capilaridade e da altura atingida por capilaridade.

Apresentam-se os gráficos dos resultados das diferentes absorções de cada família de corpos de prova a diferentes períodos, conforme NBR 9779 (ABNT, 2012). Além disso, tem-se um gráfico com as médias das alturas atingidas por capilaridade em cada família de corpos de prova.

A Figura 12 apresenta os resultados de absorção a diferentes períodos de cada família de corpos de prova. Enquanto que a Figura 13 apresenta os resultados da média das alturas atingidas pela absorção de água por capilaridade.

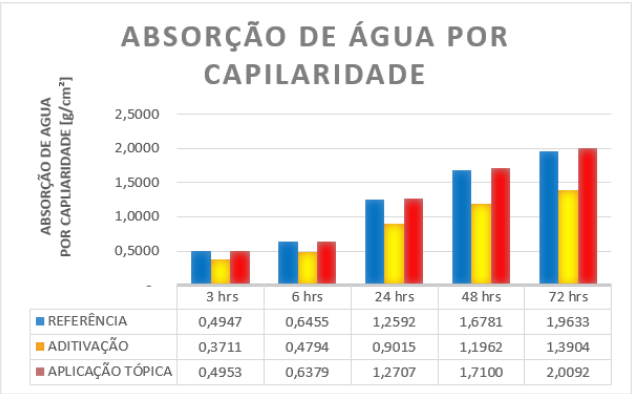


Figura 12 - Absorção por capilaridade de cada família à diferentes períodos

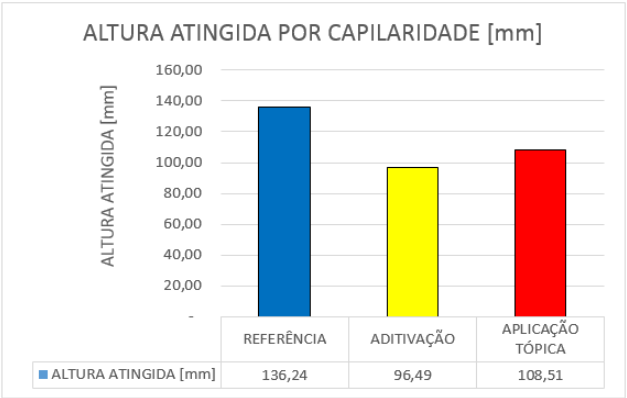


Figura 13 - Altura atingida pela água por absorção por capilaridade

Os resultados obtidos foram coerentes com a expectativa. Mais uma vez os melhores desempenhos foram obtidos dos corpos de prova que foram aditivados, provavelmente pelo mesmo motivo já citado no item 4.1.

Observou-se que a absorção por capilaridade dos corpos de prova que foram tratados com cristalizante por aplicação tópica foi maior, em alguns casos, do que a de referência. Possivelmente esse resultado se deu pelo fato de ter sido aplicado mais material na superfície dos corpos de prova, aumentando a área de contato fazendo com que o corpo de prova absorvesse mais água.

4.3 Absorção por imersão

A Figura 14 apresenta os resultados dos ensaios de absorção por imersão de cada família de corpo de prova, conforme os períodos de 24, 48 e 72 h.

ISBN: 978-85-65425-32-2

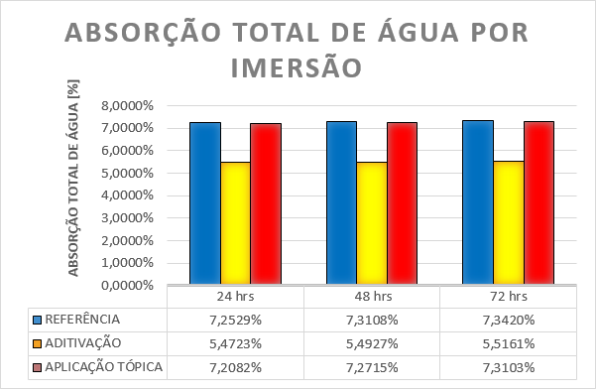


Figura 14 - Absorção total por imersão em água

Os resultados obtidos nesse ensaio ratificam o melhor desempenho do concreto que foi aditivado com cristalizante. A absorção dos corpos de prova que foram aditivados ficou em torno de 5,5%, enquanto as outras famílias tiveram absorção de em média 7,3%.

Novamente, deve ser levado em consideração que com a aplicação tópica do cristalizante, que tem em sua composição areia, foi depositado mais material na superfície do concreto. Este material criou uma espécie de “crosta” na superfície do concreto, composta principalmente por areia, o que ocasionou no aumento da absorção.

4.4 Profundidade de penetração de cloretos

A Figura 15 expõe os resultados obtidos da penetração de cloretos.

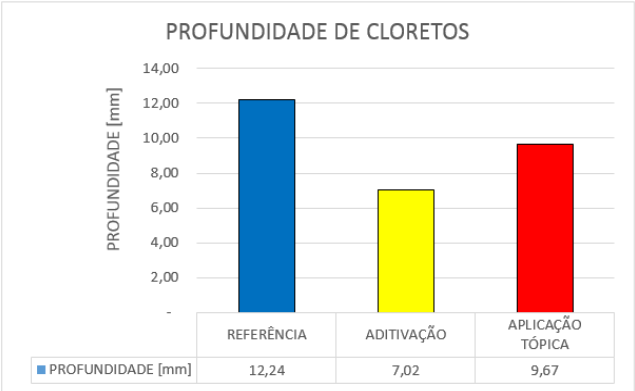


Figura 15 - Profundidade de penetração de íons cloreto

A família de corpos de prova que obteve o melhor resultado foi a família cujos corpos de prova foram aditivados. A profundidade atingida nestes corpos de prova foi em média de 7,02 mm, nos corpos de prova em que houve a aplicação tópica a profundidade média observada foi menor do que o concreto de referência, porém maior do que os corpos de prova que foram aditivados.

ISBN: 978-85-65425-32-2

5. Conclusões

De acordo com resultados que foram obtidos, em todos os ensaios as famílias 2 e 3 tiveram resultados melhores que o concreto de referência, com exceção dos ensaios de absorção, em que a família 3 apresentou desempenho igual ou inferior ao concreto de referência. Além disto, os resultados apresentados pela família 2 foram superiores aos resultados apresentados pela família 3 em todos os ensaios.

O impermeabilizante por cristalização usado como aditivação mostrou-se eficiente no ensaio de resistência a compressão aumentando a resistência com relação ao concreto de referência. Como já era esperado, o cristalizante aplicado na superfície não influenciou nos resultados obtidos no que se refere a resistência à compressão.

A absorção dos corpos de prova que tiveram tratamento superficial com a aplicação tópica do cristalizante pode ter sido disfarçada devido a criação de uma “crosta”, que aumentou a absorção, formada pelo produto seco na superfície do corpo de prova. Como a altura atingida pela capilaridade foi menor na família 3 que nos corpos de prova de referência, já expõe certa eficácia do impermeabilizante aplicado na superfície.

No que diz respeito à permeabilidade a íons cloreto, no ensaio de profundidade penetração de cloretos com aspersão de nitrato de prata, os corpos de prova da família 2, apresentaram melhores resultados novamente. Vale salientar que a impermeabilização por aplicação tópica de cristalizante também proporcionou uma diminuição na penetração de cloretos, mostrando mais uma vez a eficácia dos sistemas de impermeabilização por cristalização integral.

É importante ressaltar que a ativação dos compostos químicos que compõem o aditivo cristalizante que foi utilizado, se deu desde o primeiro dia da moldagem dos corpos de prova, situação que pode ter contribuído para um melhor desempenho nos ensaios realizados, ao contrário do que aconteceu com os corpos de prova que tiveram tratamento superficial por aplicação tópica apenas no 21º dia após a moldagem dos corpos de prova.

Para tanto, mostra-se necessária a realização de novos, mais abrangentes e mais longos estudos para compreender de forma mais uniforme o comportamento do concreto quando submetido à impermeabilização por cristalização integral.

Agradecimentos

Os autores reconhecem o apoio da TECOMAT Engenharia e da Penetron na realização dos ensaios. A gratidão também deve ser expressa aos vários especialistas que moldaram este projeto de pesquisa oferecendo seu tempo para desenvolver esta estrutura.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 9575: Seleção e Projeto de Impermeabilização. Rio de Janeiro, 2010.

ISBN: 978-85-65425-32-2

_____. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, L.F. (2014). Materiais de construção. Volume 1, 5ª Edição revisada. Páginas 307-310, São Paulo.

CAPELLESSO, V.G.; PETRY N.S.; DAL MOLIN, D.C.C.; MASUERO, A.B. (2016). Influência do uso de impermeabilizante por cristalização na penetração de cloretos em concreto. XVI Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. Páginas 1-2.

FRANÇA, C (2011). Avaliação de cloretos livres em concreto pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata. Dissertação de mestrado. Universidade Católica de Pernambuco. Páginas 1-3, 25-27.

GJØRV, O.E. (2015). Projeto de durabilidade de estruturas de concreto em ambientes de severa agressividade. Ed. Oficina de Textos. São Paulo.

MUHAMMAD, N.; KEYVANFAR, A; MAJID, M.; MIRZA, A. J. (2015). Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches. Construction and Building Materials. v. 101 p. 80–90.

MEHTA P.K., MONTEIRO.P.J.M. – Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais. HASPARYK.N.P. 2.ed. São Paulo, IBRACON, 2014. p.134.

LIMA, J. L. de A.; PASSOS, F. U.; COSTA, D. B. Processo integrado de projeto, aquisição e execução de sistemas de impermeabilização em edifícios residenciais. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 59-77, jul./set. 2013.

ISBN: 978-85-65425-32-2

METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DE PERÍCIAS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS COM PATOLOGIAS E ELABORAÇÃO DE LAUDOS TÉCNICOS

Methodology For Performing Expertise In Residential Buildings With Pathologies And Elaboration Of Technical Reports

Alexandro Rezende de LIMA[1], **Carlos Antônio Camargos** D'ÁVILA[2],
Daniela Tiemy KURUSSU[3], Maíra Armaneli FERRARI[4]
[1] PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil, alexandrocivil@gmail.com
[2] PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil, carlos.davila.pucminas@gmail.com
[3] PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil, dani.kurussu@gmail.com
[4] PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil, mairaaferrari@yahoo.com.br

Resumo: Este estudo trata da revisão bibliográfica sobre Perícias Técnicas dirigidas às edificações residenciais com patologias, conceituações, considerações técnicas e jurídicas, atribuições profissionais dos especialistas, legislação pertinente e normas regulamentadoras que subsidiam sua realização. Aprofunda sobre o exercício da Engenharia Legal apresentando um breve histórico e sua natureza jurídico-legal, com ênfase na atuação do engenheiro como profissional competente para a produção de laudos técnicos. Avalia o impacto da NBR 15575 - Norma de Desempenho, que se apresenta como primeira norma técnica com foco na proteção do consumidor e principal documento de consulta e orientação para verificação das melhores práticas de construção, voltadas para o desempenho das edificações. Posteriormente trata também da revisão bibliográfica sobre a elaboração dos Laudos Técnicos, conceituações, aplicações, atribuições dos profissionais especialistas e requisitos para su desenvolvimento. Busca indicar caminhos para contemplar as principais patologias das edificações residenciais, produzindo recomendações para diagnóstico e ações para recuperação. Por fim, o trabalho desenvolve uma metodologia para a elaboração de perícias técnicas, com o objetivo de padronizar a execução dessa atividade pelo engenheiro legal.

Palavras-chave: Engenharia Legal, Perícia Técnica, Laudo Técnico, Patologia, Metodologia.

Abstract: This paper deals with the bibliographic review about the Performing Expertise directed to residence buildings with pathologies, conceptualizations, technical and legal considerations, professional attributions of the specialists, pertinent legislation and regulatory norms that subsidize their realization. It deepens on the exercise of Legal Engineering by presenting a brief historical and its juridical nature, with emphasis on the performance of the engineer as a competent professional for the preparation of technical reports. Evaluates the impact of the Brasilian NBR 15575 - Performance Standard, which is presented as the first technical standard focused on consumer protection and it is a main consultation document and a guidelines for verification of best construction practices, oriented to the performance of buildings. Subsequently it is also an bibliographical revision

ISBN: 978-85-65425-32-2

about the elaboration of Technical Reports, conceptualizations, applications, attributions of the professional experts and specialists and also requirements for their development. It indicates ways to contemplate the main pathologies of residential buildings, making diagnostic recommendations and recovery actions. Finally, this paper deals a methodology for the development of technical knowledge, with the aim of standardizing the execution of this activity by the legal engineer.

Keywords: Legal Engineering, Performing Expertise, Technical Reports, pathology, Methodology.

1. Introdução

Com o desenvolvimento econômico do Brasil nos últimos anos, alguns especialistas afirmam a ocorrência de um “boom” imobiliário sem precedentes que impulsionou o setor da construção civil a partir de 2006.

Embora esse crescimento tenha trazido melhorias nas tecnologias para a execução de obras e utilização de novos materiais, muitas estruturas apresentam desempenho insatisfatório, devido a falhas involuntárias, imperícias, a má utilização dos materiais, envelhecimento natural ou erros de projetos e por isso, o aquecimento do mercado imobiliário, fez também crescer as reclamações no setor da construção civil.

Nos últimos anos, grandes acidentes ganharam repercussão no país como a queda do viaduto ainda em construção na cidade de Belo Horizonte para a Copa do Mundo de 2014 vitimando duas pessoas; o colapso de uma ciclovia suspensa sobre o mar no Rio de Janeiro às vésperas das Olimpíadas 2016 causado pela elevação da maré, com a morte também de duas pessoas; queda e perda total de edifícios em bairro nobre de Belo Horizonte - MG e, em proporções ainda maiores, o rompimento de uma barragem de rejeitos de mineração na cidade de Mariana-MG, que dizimou vidas e provocou um desastre sócio ambiental sem precedentes.

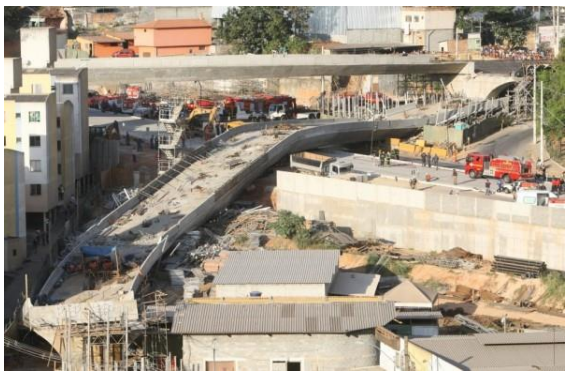


Figura 1: Queda de viaduto em Belo Horizonte – MG, afeta edifícios residenciais vizinhos.

Fonte: Correio popular 2014

Figura 2: Prédio residencial interditado desaba em Belo Horizonte – MG.

Fonte: g1.com.br – 2012

É sabido que, para a ocorrência de acidentes de tais proporções, é necessário que um conjunto de fatores aconteça em cadeia, a partir de uma causa raiz. Contudo, também é de

ISBN: 978-85-65425-32-2

conhecimento geral que, se os responsáveis tivessem atuado em algum ponto dessa cadeia a fim de evitar sua continuidade, tais acidentes poderiam ter sido evitados.

Figura 3: Queda de marquise - Edifício residencial em Teutônia - RS.
Fonte: http://www.jornalahora.com.br/2013/05/06

Figura 4: Patologias de fachada - Edifício residencial em Belo Horizonte - MG.
Fonte: Acervo dos autores 2017/06/27

Neste sentido, vem sendo cada vez mais aplicado pelo mercado, o trabalho de avaliação, acompanhamento e fiscalização do empreendimento para a minimização de ocorrências negativas. Podendo ser feitas nas etapas de projeto, construção ou operação, as perícias técnicas possuem a capacidade de atestar a qualidade e a segurança do empreendimento, ou de suas etapas, além de ser uma ferramenta importante de subsídio à tomada de decisão.

Apesar da existência de normas que indiquem os requisitos mínimos para a execução de uma perícia, uma metodologia amplamente difundida para a execução dela ainda é inexistente. Sendo assim, este trabalho tem como um dos objetivos apresentar uma metodologia para a realização de perícia técnica a fim de auxiliar a sua execução por um profissional qualificado e capacitado.

Engenharia Legal

Segundo Oliveira (2009) a expressão “Engenharia Legal” já consta, desde 1937, no decreto número 23.569, que regulamentou o exercício da profissão do engenheiro. A função do perito judicial compreende todas as atividades do profissional em matéria de engenharia, dependem de conhecimentos técnicos específicos, e tendem também a solucionar problemas jurídicos, confundindo-se por vezes com atividades inerentes aos advogados e magistrados.

A Engenharia Legal é a “parte da engenharia que atua na interface técnico-legal envolvendo avaliações e toda espécie de perícias relativas a procedimentos judiciais”. (NBR 14653 -1, 2001).

A técnica da avaliação dos imóveis desenvolveu-se a tal ponto nas últimas décadas que hoje ela exige conhecimentos técnicos especializados que envolvem vários ramos da engenharia.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Sendo assim, a expressão dos conceitos técnicos em uma linguagem que possibilite o claro entendimento entre engenheiros, tecnólogos, juízes e as partes recorrentes em processos judiciais é uma importante atribuição da Engenharia Legal.

Por fim, entende-se que a Engenharia Legal é um dos vários ramos de atuação do engenheiro, no qual utilizará do seu conhecimento técnico para a execução de uma perícia de um determinado fato ou situação, para posterior elaboração de laudos técnico-analíticos. Laudos esses que poderão ser usados como provas em disputas judiciais ou como base técnica para elaboração de planos de melhoria ou manutenção.

2.1 Breve Histórico

No Brasil, o crescimento urbano verificado nos grandes centros no período anterior à segunda guerra mundial, conduziu o poder público a um grande número de desapropriações, o que obrigou a implementação de estudos no campo das avaliações.

Em 1978, o avanço do setor imobiliário permitiu aos engenheiros que participavam das desapropriações acompanharem a evolução do mercado, em especial no que se referia às transações e locações (PELLI NETO, 2004).

A engenharia de avaliação sempre foi e continua sendo praticada por engenheiros, constituindo-se, inclusive, privativa de classe, por força de lei. (PELLI NETO, 2004).

Segundo IBAPE (2012) na década de 50 começaram a surgir os primeiros institutos brasileiros dedicados à engenharia de avaliações, o mais antigo deles sendo o Instituto de Engenharia Legal do Rio de Janeiro, em 1953. Sucederam-se o IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo em 1957, o Instituto Pernambucano de Engenharia de Avaliações e Perícias de Engenharia em 1972, O Instituto Brasileiro de Avaliações - IBA no Rio Grande do Sul em 1977, o Instituto de Avaliações e Perícias do Paraná em 1978, o Instituto Catarinense de engenharia de avaliações e perícias - ICAPE em 1978. A partir daí foram criadas as entidades federativas e as associações que congregavam todos os institutos de avaliações e perícias dos estados.

2.2 Natureza Jurídico-legal

A lei que regula o exercício das profissões de engenheiro - Lei nº 5.194 de 24 de dezembro de 1966, determina que são atividades e atribuições desses profissionais, dentre outras, "avaliações, vistorias, perícias e pareceres". Da mesma forma a Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973, do então Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, atualmente sem a Arquitetura, discrimina as atividades das diferentes modalidades profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia, especifica as seguintes atividades: "Vistoria, perícia, avaliação, arbitramento, laudo e parecer técnico".

Enquanto isso, o Código de Processo Civil em seu Artigo 145, modificado pela Lei nº 7.270, de 10 de dezembro de 1984, estabelece que "os peritos serão escolhidos entre profissionais de nível universitário, devidamente inscritos no órgão de classe competente". Mais adiante, o mesmo texto legal, em seu Artigo 420, discrimina: "a prova pericial consiste em exame, vistoria ou avaliação".

A Lei nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976, que dispõe sobre as sociedades por ações diz, por sua vez, que "[...] a avaliação dos bens será feita por três (3) peritos ou por empresa

ISBN: 978-85-65425-32-2

especializada [...]" e que "[...] os peritos ou a empresa avaliadora deverão apresentar laudo fundamentado [...]". Assim também, o Decreto-lei nº 2.300, de 21 de dezembro de 1986, que dispõe sobre licitação e contratos da Administração Federal, considera serviços técnicos de profissionais especializados, entre outros: "pareceres, perícia e avaliações em geral."

Seguindo essa mesma linha, a Resolução nº 345 do CONFEA, de 27 de julho de 1990, que dispõe quanto ao exercício por profissionais de nível superior das atividades de Engenharia de Avaliações e Perícias de Engenharia, e tem força de lei (Artigo 27, Letra "f", da Lei Federal 5.194), estabelece todo o procedimento legal que rege a atividade, atribuindo textualmente aos profissionais registrados nos CREA's: "[...] vistorias, perícias, avaliações e arbitramentos relativos a bens móveis e imóveis [...]". Mais ainda, determina claramente o caso de nulidade quando este procedimento não for seguido: "serão nulas de pleno direito as perícias e avaliações e demais procedimentos indicados no Artigo 2º quando efetivados por pessoas físicas ou jurídicas não registradas nos CREA's".

A Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, que criou o Código de Defesa do Consumidor, prevê como prática abusiva "colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço de desacordo com as normas expedidas pelos órgãos competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas [...]". Em consonância com este dispositivo legal, basta verificar todas as normas brasileiras relativas à avaliação, onde consta que "[...] a determinação desse valor é da responsabilidade e da competência exclusiva dos profissionais legalmente habilitados pelo CREA [...]."

Mais recentemente, o Código do Processo Civil de 2015, por meio do artigo 156, introduziu o cadastro de peritos e órgãos técnicos a ser elaborado e mantido atualizado pelos Tribunais, aos quais os juízes estão vinculados. Para a formação de cadastro dos profissionais, os tribunais deverão realizar consulta pública pela internet, jornais de grande circulação, consulta a universidades, conselhos de classe, Ministério Publico, Defensoria Pública e a ordem dos Advogados do Brasil. Os profissionais ou órgãos técnicos deverão realizar avaliações e reavaliações periódicas para a manutenção do cadastro, levando-se em conta a formação profissional, a atualização e a experiência dos peritos selecionados.

Portanto, tem-se uma inovação significativa: os Juízes deverão, por determinação legal, nomear somente peritos inscritos no cadastro do Tribunal a que pertencem. “Trata-se de inovação positiva na qual se percebe a preocupação do legislador em melhorar a qualidade dos serviços de Engenharia Legal no Brasil. Ao se exigir a formação profissional, experiência e atualização dos peritos que irão integrar o cadastro, o legislador está transferindo para os tribunais a seleção dos peritos que irão funcionar nas varas sob sua jurisdição”. (MENDONÇA, 2016).

2.3 Considerações complementares

A Engenharia Legal é um ramo pouco conhecido do público em geral. É um instrumento eficaz para explicar fatos no meio jurídico e garantir a necessária credibilidade no estabelecimento da certeza, tendo o perito à responsabilidade de produzir a “prova técnica”. Muitos profissionais do meio desconhecem suas atribuições e relevância, contudo, é necessário agregar ao conhecimento técnico da engenharia, o conhecimento de legislação, o domínio da redação jurídica e da linguagem forense.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Este conceito pode exercer papel preponderante não apenas nas questões de apoio aos magistrados, mas em todo o processo legal no suporte aos advogados para produção de peças jurídicas com teor técnico, na formatação de provas periciais, na emissão de laudos periciais e na construção de linhas de argumentação jurídica tendo a prova pericial como uma informação estratégica.

A redação de textos contendo os resultados de uma perícia é uma tarefa que exige competência e habilidade. A capacidade de redigir é indispensável àqueles que têm a pretensão de prestar serviços à Justiça, na importante função de perito do juízo ou assistente técnico das partes. A boa linguagem é condição para a eficiência das comunicações nos autos.

Para melhorar ainda mais o trabalho do perito em engenharia, torna-se indispensável o conhecimento das leis que dispõem sobre os quesitos técnicos para assim ter propriedade ao desempenhar sua atividade.

Uma das mais conhecidas, a norma NBR 15.575/2013, denominada “Edificações habitacionais – Desempenho” consolida todo o conhecimento técnico fomentando a qualidade de uma edificação, com foco principalmente nas edificações residenciais que serão abordadas neste artigo.

Por fim, evidencia-se a necessidade de melhorar a divulgação da importância das execuções de vistorias, conscientizar os responsáveis dos imóveis da sua importância e, sobretudo definir os critérios e metodologia de avaliação, bem como difundir as normas e legislação pertinentes para homogeneização e qualidade técnica dos trabalhos.

Norma ABNT NBR 15575

Nos últimos anos grandes acidentes prediais ganharam repercussão no território brasileiro. Com o propósito de certificar as condições de segurança, estabilidade e conservação das edificações, leis e padrões técnicos devem ser utilizados como procedimentos para ajudar na prevenção de acidentes. Dessa forma se torna indispensável o conhecimento dessas leis que dispõem sobre os quesitos técnicos para a realização das vistorias e sobre as condições de manutenção e desempenho das edificações.

Visando a reestruturação do setor da construção civil brasileira – como o alcance da qualidade desejada, em maio de 2008 foi publicada a primeira versão da norma ABNT NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho. A partir daí a norma passou por diversas revisões, sendo finalmente publicada em 19 de fevereiro de 2013, que entrou em vigor 150 dias após a data de publicação, ou seja, em julho de 2013. E desde então, é exigida para novos projetos.

Além de a norma ressaltar a importância da pesquisa para o desenvolvimento tecnológico, aumentando a importância do projeto, para que seja bem elaborado, ela introduz novos fatores (diferentemente de outras normas publicadas, o foco não se direciona ao tipo de material ou sistema construtivo), tais como: a definição de direitos e obrigações dos construtores, incorporadores, projetistas e usuário, por exemplo. A norma também descreve itens relacionados à garantia de conforto e segurança na utilização do imóvel.

A norma está estruturada em seis partes:

ABNT NBR 15575-1 – Parte 1: Requisitos gerais;

ABNT NBR 15575-2 – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;

ISBN: 978-85-65425-32-2

ABNT NBR 15575-3 – Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso;

ABNT NBR 15575-4 – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;

ABNT NBR 15575-5 – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;

ABNT NBR 15575-6 – Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários;

Seguem de forma sintética os aspectos considerados importantes de cada norma.

3.1 ABNT NBR 15575-1 – Parte 1: Requisitos gerais

Com um caráter de orientação geral, a primeira parte da norma descreve os requisitos para o conjunto atingir desempenho mínimo necessário.

A norma define obrigações e direitos do construtor, do incorporador, do usuário e do fornecedor de material. Também é introduzido o conceito de vida útil de projeto e garantia certificada.

3.2 ABNT NBR 15575-2 – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais

A segunda parte da norma trata dos requisitos para os sistemas estruturais de edificações habitacionais, na qual descreve o atendimento às normas específicas dos sistemas construtivos, tanto no estado limite último, quanto no de serviço. Além disso, são propostos dois ensaios para verificar a resistência à ruptura e instabilidade, de tal forma que mede os tipos de impacto que a estrutura deve suportar sem que apresente falhas ou rachaduras.

3.3 ABNT NBR 15575-3 – Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso

Destaca-se nesta parte da norma a definição de sistema de piso, como a combinação de diversos elementos, tais como: a composição da camada estrutural, a camada de impermeabilização, a camada de contrapiso, a camada e fixação e a de acabamento.

Também são abordados requisitos de segurança, como a necessidade de resistência ao escorregamento, os desníveis e frestas máximas que o sistema de pisos deve ter para não comprometer a segurança na circulação, e a verificação de arestas contundentes, que podem causar lesões por contato direto.

Ademais, a norma descreve que o desempenho da edificação não se restringe ao desempenho funcional. O sistema de pisos deve apresentar conforto tátil, visual e antropodinâmico. Com isso, planicidade e homogeneidade são requeridas nessa parte.

3.4 ABNT NBR 15575-4 – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas

Na quarta parte são definidos ensaios que simulam as solicitações que podem ocorrer durante o uso, não só em função de causas externas, mas também por causa do usuário, como ações transmitidas por portas, cargas em prateleiras e impactos nos sistemas de vedações, por exemplo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Ademais, a norma define que o sistema de vedações não deve ser tratado como uma parte isolada, mas sim como uma parte que pode ser influenciada e que pode influenciar bastante os outros elementos da construção.

3.5 ABNT NBR 15575-5 – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas

Para o sistema de coberturas, a norma define que os usuários, os contratantes e os incorporadores são responsáveis pelo estabelecimento de desempenho, desde que acima do mínimo.

Com relação à montagem, devem ser previstas condições seguras para que não ocorram acidentes. Cabe destacar que deve conter no Manual de uso, operação e manutenção a possibilidade e o local estipulado para a adoção de balancins, andaimes e fixação de cintos de segurança, além disso, deve conter neste manual os locais por onde o usuário pode transitar, de modo que a segurança deste não seja comprometida.

3.6 ABNT NBR 15575-6 – Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários

A parte 6 da NBR 15.575 compreende os sistemas prediais de água fria e de água quente, de esgoto sanitário e ventilação, além dos sistemas prediais de águas pluviais. O texto explora conceitos como a durabilidade dos sistemas, a previsão e antecipação de critérios para a manutenção da edificação e suas partes, bem como o funcionamento dos sistemas hidrossanitários.

O texto também traz considerações sobre a separação física dos sistemas de água fria potável e não potável, em consonância com as tendências atuais de reuso de água.

Laudo Técnico

Segundo a NBR 13752, laudo é a peça na qual o perito, profissional habilitado, relata o que observou e dá as suas conclusões ou avalia, fundamentadamente, o valor de coisas ou direitos.

Já a perícia é, segundo a NBR 14653-1, a “atividade técnica realizada por profissional com qualificação específica, para averiguar e esclarecer fatos, verificar o estado de um bem, apurar as causas que motivaram determinado evento, avaliar bens, seus custos, frutos ou direitos.”.

Ou seja, pode-se dizer que o laudo técnico é um documento emitido por um profissional habilitado após uma perícia realizada sobre um fato ocorrido ou matéria estudada.

O laudo técnico é um documento de suma importância e por ser uma peça escrita fundamentada, geralmente é utilizada como prova para deliberação de sentenças por juízes em processos civis ou penais.

O código de processo civil (CPC) brasileiro reconhece a importância da prova pericial e apresenta grandes inovações para a designação do perito.

Nos termos do caput do artigo 156 do novo CPC, o juiz será assistido por perito quando a prova do fato depender de conhecimento técnico ou científico.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Conforme também definido na NBR 13752, “As perícias de engenharia na construção civil devem ser acompanhadas da ART (Anotação de Responsabilidade Técnica), conforme estabelece a Lei nº 6496/7”.

4.1 Laudo Técnico na Construção Civil

A norma brasileira que define a metodologia básica aplicável e estabelece os critérios a serem empregados nos trabalhos periciais na construção civil é a NBR 13752 - pericias de engenharia na construção civil.

Nela é possível verificar pelo menos cincos espécies de perícias:

Arbitramentos: Atividade que envolve a tomada de decisão ou posição entre as alternativas tecnicamente controversas ou que decorrem de aspectos subjetivos;

Avaliações: Atividade que envolve a determinação técnica do valor qualitativo ou monetário de um bem, de um direito ou de um empreendimento;

Exames: Inspeção, por meio de perito, sobre pessoa, coisas, móveis e semoventes, para verificação de fatos ou circunstâncias que interessem à causa;

Vistorias: Constatação de um fato, mediante exame circunstanciado e descrição minuciosa dos elementos que o constituem;

Outras.

Assim, exemplificando alguns tipos de perícia: Exame de Local de Incêndio, que consiste em analisar os vestígios existentes procurando determinar o(s) foco(s) de fogo e a causa do evento; Exame de Local de Acidente de Trabalho, que consiste em analisar os vestígios existentes procurando determinar se o acidente foi causado por falha ou ausência de equipamentos de segurança ou imperícia; Exame de Local de Danos, que consiste em analisar, constatar e descrever a ocorrência de danos ao patrimônio público ou privado; dentre inúmeros outros.

Na norma também é possível verificar quais situações podem envolver a necessidade de uma perícia:

Ações judiciais;

Ações administrativas;

Ações extrajudiciais.

Podendo ser executada nas várias fases do projeto, a perícia tem como objetivo identificar a causa de um fato. Na maior parte das vezes, a perícia é utilizada após o ocorrido, ou seja, quando já não se pode fazer nada para evitar o fato. Muitas vezes utilizada como instrumento para análise de acidentes, a perícia ainda é pouco utilizada como ferramenta de manutenção preventiva.

Observa-se que a exigência de requisitos para uma perícia se da apenas ao empenho do trabalho e não a um grau mínimo de precisão, pois existem muitos aspectos subjetivos em uma perícia. Quanto menor forem os aspectos subjetivos em uma perícia, maior será a exatidão do trabalho.

Sendo assim, a norma caracteriza três tipos de requisitos: os requisitos essenciais, os complementares e os especiais.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Os requisitos essenciais são todos aqueles que permitam ao perito elaborar seu parecer técnico. Deve assegurar a qualidade do trabalho incluindo fotografias, execução de croquis de situação, descrição resumida dos bens nos seus aspectos físicos, dimensões, áreas, utilidades, materiais construtivos, etc., indicação e perfeita caracterização de eventuais danos e/ou eventos encontrados. (NBR 13752, 1996)

Já os requisitos complementares são os mesmos dos essenciais, mas solicitando um número ampliado de fotos, descrição detalhada dos bens, apresentação das plantas dos bens, indicação e perfeita caracterização de eventuais danos e/ou eventos encontrados, com planta de articulação das fotos perfeitamente numeradas; análise dos danos e/ou eventos encontrados, apontando as prováveis causas e consequências; juntada de orçamento detalhado e comprovante de ensaios laboratoriais, quando se fizerem necessários.

Por fim, têm-se os casos especiais que de maneira geral é quando o trabalho prepondera a superficialidade ou quando não puder atender aos requisitos anteriormente citados.

Em complemento, a norma enfatiza que a realização da perícia de engenharia na construção civil é “matéria eminentemente técnica e de exclusiva competência de peritos e assistentes técnicos nos termos da legislação vigente”.

4.2 Atividades Básicas

Para a realização de uma perícia, as atividades básicas exigidas na norma regulamentadora são:

Vistoria e/ou exame do objeto da perícia;

Diagnóstico dos itens objeto da perícia;

Coleta de informações;

Escolha e justificativa dos métodos e critérios periciais;

Análise das ocorrências e elementos periciais;

Soluções e propostas, quando possível e/ou necessário;

Considerações finais e conclusões.

A vistoria é a atividade pela qual o perito consegue levantar boa parte das informações necessárias para a elaboração da perícia. As informações coletadas são:

Caracterização da região como relevo, solo, meio ambiente, infraestrutura urbana, transporte coletivo, rede bancária, segurança, dentre outros;

Caracterização do imóvel e seus elementos como o imóvel e sua localização, terreno e suas dimensões e características, benfeitorias como outras construções, equipamentos;

Constatação de danos, classificando e quantificando a sua extensão;

Condições de estabilidade do prédio caso haja qualquer anormalidade que deva ser considerada;

Fotografias em quantidade suficiente para documentar o fato com data se possível;

Plantas dos prédios e;

Subsídios esclarecedores como qualquer outro documento que possa ser útil caso a natureza da perícia exigir.

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.3 Apresentação dos Laudos

A NBR 13752 não define um padrão único para que um laudo seja desenvolvido, mas expõe as informações mínimas que o documento deve conter. As informações são:

Indicação da pessoa física ou jurídica que tenha contratado o trabalho e do proprietário do bem objeto da perícia;

Requisitos atendidos na perícia conforme descrito no capítulo 2 desde documento;

Relato e data da vistoria, com as informações relacionadas no capítulo 3 deste documento;

Diagnóstico da situação encontrada;

No caso de perícias de cunho avaliatório, pesquisa de valores, definição da metodologia, cálculos e determinação do valor final;

Memórias de cálculo, resultados de ensaios e outras informações relativas à sequência utilizada no trabalho pericial;

Nome, assinatura, número de registro no CREA e credenciais do perito de engenharia.

4.4 Laudo Técnico em Edificações Residenciais

Os prédios, ao longo de sua vida útil, tendem a apresentar falhas, nem sempre devidas a vícios construtivos provenientes da execução, muitas das vezes, a maioria dos problemas tem origem na manutenção preventiva ineficiente ou inexistente.

É de vital importância aos proprietários dos imóveis, em especial aos administradores ou síndicos, deter o conhecimento sobre a funcionalidade do edifício, saber quais os pontos de perigo iminente e quais as medidas a serem adotadas para minimizar os danos. No caso de prédios residenciais ou comerciais de múltiplas unidades, onde historicamente se encontram os maiores problemas, os administradores ou síndicos podem ser responsabilizados civilmente (e até criminalmente), caso seja constatado que o motivo das eventuais falhas seja devido à negligência ou omissão.

O ramo de atuação da perícia predial na verdade é um pouco mais amplo do que a maioria dos síndicos e administradores de imóveis conhece. A área mais conhecida é o levantamento de defeitos construtivos do edifício, para que o condomínio consiga junto à construtora, a solução definitiva do caso. O laudo técnico dos defeitos serve de poder de negociação com a construtora. E, se não houver um acordo entre a construtora e o condomínio, o laudo pericial funciona para instruir uma ação judicial.

O objetivo da perícia é levantar defeitos também em locais pouco visitados pelo síndico ou zelador, como o topo do prédio ou a casa das máquinas da piscina. O projeto arquitetônico às vezes inviabiliza uma manutenção, e o perito detecta esses pontos. Outra frente de atuação da perícia é na análise de orçamentos para realização de obras no condomínio.

Um laudo funciona para o síndico como um anteparo técnico que justifica suas ações. O perito é neutro. Ele indica os problemas, mostra as causas e o que precisa ser feito para saná-los. Durante a obra ele pode dar pareceres sobre os serviços. Isso alivia a carga do síndico que, com o laudo, pode se defender de cobranças, reclamações e responsabilidades perante os condôminos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Em prédios residências, o laudo técnico considera itens como elevadores, instalações de GLP, fachada, estrutura de concreto armado/ protendido, instalações elétricas e hidrossanitárias, plano de prevenção contra incêndio e habitabilidade.

Principais patologias em sistemas

5.1 De vedações verticais internas e externas

Existem vários tipos de patologias, porém algumas são mais comuns e, dentre elas, destacam-se:

Trincas ou fissuras

Figura 4: Exemplo de trinca
Fonte: 100pepinos.com.br, 2017

Ocasionadas por tensões advindas de atuação de sobrecargas ou de movimentação de materiais, dos componentes da obra ou da obra na sua totalidade (THOMAZ, 1989).

As principais causas para Trincas (Figura 4) segundo o autor são:

- Movimentações provocadas por variações térmicas e de umidade.
- Atuação de sobrecargas ou concentração de tensões.
- Deformabilidade excessiva das estruturas.
- Recalques diferenciais das fundações.
- Retração de produtos à base de ligantes hidráulicos.
- Alterações químicas de materiais de construção. (THOMAZ, 1989, p.6)

b) Eflorescências

Figura 5: Eflorescência
Fonte: ecivilnet.com, 2017

As eflorescências são depósitos salinos formados na superfície de alvenarias, concretos, argamassa, etc., resultantes da exposição da água de infiltração e intempéries. São consideradas danos por modificarem a aparência do local ou levar à degradação profunda, conforme pode ser observado na imagem a seguir (Figura 5) (GRANATO, 2002).

As eflorescências, como aponta Granato, não ocasionam danos profundos em sistemas de vedação verticais, levando apenas aos danos estéticos, principalmente devido à formação de bolores.

ISBN: 978-85-65425-32-2

c) Oxidação de armaduras

Figura 6: Oxidação de armaduras
Fonte: www.construtoragenova.com.br, 2017

A causa da origem da oxidação de armaduras, vulgarmente conhecida como “ferrugem” é a penetração de umidade e oxigênio no concreto, atingindo a armadura, oxidando o aço presente e, por fim, rompendo o cobrimento do concreto armado que é expulso pelo aumento de volume do aço oxidado (Figura 6). Assim como a eflorescência, a oxidação também acontece devido à presença de umidade que infiltra nas peças das estruturas de concreto armado.

d) Umidade Ascendente

Figura 7: Umidade Ascendente
Fonte: http://superveda.com.br, 2017

A umidade ascendente é desencadeada pela capilaridade de umidade que está no solo e que é transferida por falhas ou pela falta de impermeabilização adequada no alicerce ou viga de fundação (Figura 7).

Ela pode se desenvolver, também, devido à destruição da camada impermeabilizante, acarretada pela presença de sal – tanto no ar quanto na água das cidades litorâneas.

Além dessa possibilidade, é preciso evidenciar que as cidades localizadas acima do nível do mar como esclarecem Silva e Torres (2015), sofrem influência direta da proximidade das fundações das edificações com o lençol freático.

De acordo com os autores, essa patologia pode influir na habitabilidade dos ambientes, pois geram manchas e pulverulências, além de deixar com aspecto estético desagradável.

ISBN: 978-85-65425-32-2

e) Mofo e Apodrecimento

Figura 8: Mofos e Bolores
Fonte: http://superveda.com.br, 2017

Os mofos e bolores (Figura 8), causados pela constante umidade nas vedações verticais, são fungos, cujas raízes penetram entre as trincas, destilando enzimas que prejudicam o material, provocando o escurecimento das superfícies e degradando toda a estrutura.

f) Lixiviação

Figura 9: Lixiviação
Fonte: Thomaz, 2009.

A lixiviação, segundo Thomaz (2009), é a remoção de sólidos, que faz com que diminua a resistência mecânica do material e acarrete uma abertura para entrada de gases e líquidos hostis na armadura e no concreto (Figura 9). Além disso, resulta em uma corrosão de armaduras em peças de concreto armado e pretendido.

d) Sobrecarga

Figura 10: Sobrecarga na Alvenaria
Fonte: http://forumdaconstrucao.com.br

Thomaz (1989) descreve que as alvenarias, tais como pilares, vigas e paredes, que recebem sobrecargas, podem gerar fissuras (Figura 10). Essas fissuras que caracterizam a sobrecarga são exemplificadas de duas maneiras:

a) trincas verticais advindas da deformação transversal sob tensão de compressão e; b) trincas horizontais vindas de rupturas por compressão dos componentes da alvenaria ou da argamassa de assentamento.

Essa sobrecarga pode ser gerada por erro de projeto estrutural ou falha na execução da obra.

ISBN: 978-85-65425-32-2

5.2 De sistemas estruturais em edifícios

Degussa (2003) entende patologia como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis. Terapia, para o autor, consiste na faculdade de estudar a correção e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles provenientes do envelhecimento natural.

A construção civil, apesar de todos os avanços técnicos e tecnológicos dos últimos anos, ainda está muito aquém do demandado. Arraigada no legado de uma indústria tradicional, com práticas ainda utilizadas nos dias atuais e que já não atendem às necessidades das estruturas construídas, do ponto de vista prático, a construção civil – na maior parte dos empreendimentos – vivencia uma grande inércia nas alterações, métodos de gestão ultrapassados e resistência a inovações tecnológicas. Há uma tolerância com problemas crônicos, como, por exemplo, a baixa qualidade no processo e a baixa qualidade do produto final, as edificações, que apresentam inúmeras não-conformidades e patologias. Os fatores podem ser vários, sendo o principal o desleixo quanto à necessidade de manutenção e a presunção de que uma estrutura de concreto duraria ilimitadamente, dispensando manutenções.

Por muito tempo, o concreto foi considerado um material extremamente durável, devido a algumas obras muito antigas ainda encontrarem-se em bom estado, porém, a deterioração precoce de estruturas recentes remete aos porquês das patologias do concreto (BRANDÃO & PINHEIRO, 1999).

Segundo Piancastelli (20??), só quando o desempenho da estrutura está ameaçado ou comprometido é que ficam caracterizadas as enfermidades do concreto ou da sua estrutura, que podem ser congênitas ou adquiridas ao longo de sua vida.

A fim de um correto diagnóstico, é fundamental iniciar todo o processo de averiguação a partir dos sintomas do fenômeno patológico. A fase mais importante desse processo é o correto diagnóstico sendo que, se for equivocado, implicará em intervenções inúteis, gastando dinheiro em vão e dificultando estudos futuros.

No Brasil, são grandes os avanços nas pesquisas como, por exemplo, as Normas Técnicas para construção, especificação de materiais e de desempenho, nos materiais e nas técnicas construtivas, com o objetivo de aumentar a qualidade final do produto e reduzindo, ao máximo, os custos. Helene (2001) indica que os mecanismos mais importantes de deterioração da estrutura de concreto são:

Mecanismos de deterioração relativos ao concreto: lixiviação (águas puras e ácidas), expansão por sulfatos ou magnésio, expansão por reação álcali-agregado, reações superficiais deletérias.

Mecanismos de deterioração relativos à armadura: corrosão por causa da carbonatação e corrosão por elevado teor de íon cloro (cloreto).

Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita: ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas (fadiga), deformação lenta (fluência), relaxação, e outros considerados em qualquer norma ou código regional, nacional ou internacional, mas que não fazem parte de uma análise de vida útil e durabilidade tradicional.

Outro fator importante que deve ser considerado é o ambiente em que a estrutura está inserida. A NBR 6118 destaca que a agressividade do meio ambiente está relacionada às

ISBN: 978-85-65425-32-2

ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. Para Lima (2005), como as estruturas estão inseridas em diversos ambientes, esses devem ser analisados, com o objetivo de que, na fase de projeto da estrutura, todas as ações de degradação sejam previstas.

Um ponto muito importante é evitar o contato da água com a estrutura. A grande inimiga do concreto pode ser a causa principal ou coadjuvante dos processos de degradação do concreto. Assim, afastar a água das estruturas pode ser a diferença entre o sucesso e o insucesso da durabilidade da estrutura.

As estruturas de concreto, ao apresentar patologias, manifestam algumas características visuais que são de suma importância para que se faça o diagnóstico como, por exemplo:

Fissuras e trincas
Desagregação do concreto
Erosão e desgaste
Segregação
Manchas
Flechas exageradas
Porosidade

A prática de um cuidadoso levantamento para encontrar as prováveis causas da patologia é de suma importância, para que se possam combate-la de forma efetiva, evitando assim, a reincidência do problema. As principais origens das enfermidades do concreto são: defeitos do projeto; defeitos de execução; erosão e desgaste; má qualidade dos materiais utilizados; acidentes, inundações, incêndios, etc.; uso inadequado da estrutura; manutenção imprópria; entre outros.

Entende-se então, que o processo de correção de patologias contempla a compilação de vários fatores passando pela análise do diagnóstico, pelo modo como será tratada a patologia e o parecer final. Sendo assim, é possível a realização de um bom reparo, garantindo que ela não volte a ocorrer.

5.3 De Acústico/ Térmico

Define-se como “conjunto de elementos / componentes, dispostos no topo da construção, com as funções de assegurar estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger demais sistemas da edificação habitacional ou elementos e componentes da deterioração por agentes naturais, e contribuir positivamente para o conforto termo acústico da edificação habitacional.”.

A norma classifica também todos os tipos de telhados, pelo seu formato, pelo número de águas. E detalha o nome de todas as partes de materiais e peças dos telhados.

ISBN: 978-85-65425-32-2

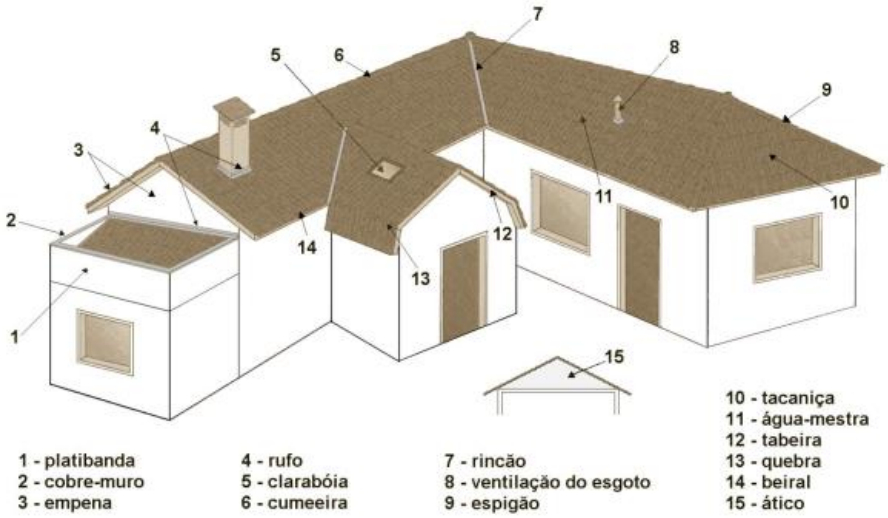


Figura 11: Detalhamento do Telhado
Fonte: NBR 15575-5, 2013.

Para a execução de um sistema de cobertura, a NR também prevê atendimento das premissas de projeto, tais como: qual o tipo será implantado; platibanda, duas águas, etc. Avaliar a relação custo-benefício para a escolha do telhado também é de grande importância.

A norma é bem detalhada quanto à fabricação e instalação de um sistema de cobertura, dando suporte desde a contratação da mão-de-obra, onde devem ser analisados os insumos, até o risco de arrancamento pela ação do vento.

A execução deve ser acompanhada, ensaiada, analisada as cargas, obedecer às premissas de projeto.

Quanto à manutenção, devem-se propiciar condições seguras para sua montagem e manutenção, bem como para a operação de dispositivos instalados sobre ou sob o sistema de cobertura.

Quanto às premissas de projeto, é preciso:

Mencionar as Normas Brasileiras dos componentes para os SC ou, na inexistência de Normas Brasileiras, as indicações do fabricante do componente telha ou de normas estrangeiras ou internacionais;

Detalhar, quando exigível ou previsto, a presença de barreiras:

Barreiras à radiação solar devem atender ao limite de emissividade (ε = 0,2), conforme método ASTM C 1371;

Barreira isolante térmica deve possuir resistência térmica igual ou superior a 90 % da resistência térmica informada pelo fabricante, quando determinada, segundo o método constante na ABNT NBR 15220-5;

Barreira ao vapor deve apresentar permeabilidade ao vapor menor ou igual a 11,4 x 10–8 g /Pa.s.m2, conforme método ASTM E 96;

Detalhar a forma de aplicação e fixação da subcobertura;

ISBN: 978-85-65425-32-2

Detalhar as sobreposições e tamanhos das emendas;

Detalhar os acessórios necessários

Indicar as sobreposições das peças (longitudinal e transversal);

Dimensões dos panos;

Indicar declividade do SC face aos componentes especificados;

Indicar acessórios necessários;

Materiais e detalhes construtivos dos arremates, de forma a prevenir avarias decorrentes de movimentações térmicas e assegurar a estanqueidade;

Indicar a forma de fixação dos componentes;

Indicar a ação do vento no local da edificação habitacional, e que foi considerada no projeto. Ver ABNT NBR 6123.

Quanto ao Método de Avaliação:

Análise das premissas de projeto e verificação da compatibilidade entre as aberturas.

5.4 Premissas de projeto

O projeto deve:

Considerar as disposições da ABNT NBR 10844, no que diz respeito à avaliação da capacidade do sistema de captação e drenagem pluvial da cobertura;

Compatibilizar entre si os projetos de arquitetura do telhado, da impermeabilização, elaborado de acordo com a ABNT NBR 9575 e a NBR 9574, e deste sistema;

Especificar os caimentos dos panos, encontros entre panos, projeção dos beirais, encaixes, sobreposições e fixação das telhas;

Especificar os sistemas de impermeabilização de lajes de cobertura, terraços, fachadas e outros componentes da construção;

Especificar o sistema de águas pluviais;

Detalhar os elementos que promovem a dissipação ou afastamento do fluxo de água das superfícies das fachadas, visando prevenir o acúmulo de água e infiltração de umidade.

Por fim, a norma esclarece quanto à durabilidade, manutenção, desempenho lumínico, térmico e acústico, estanqueidade, saúde, higiene e qualidade do ar, e adequação ambiental.

Diagnósticos e recuperação de patologias

Quando aparecem alguns problemas ou “doenças” em uma edificação, são sinais que a estrutura possui algum defeito em sua integridade. Esses defeitos são como sintomas que vem de forma gradual e algumas vezes imperceptível, apontando sutilmente e direcionando a causa.

Os diagnósticos de patologias devem ser feitos por profissionais engenheiros ou arquitetos peritos, uma vez que eles podem dar um laudo e apoio de maior eficácia na correção do problema.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Inicialmente deve-se realizar a inspeção visual do local, recomenda-se também obter arquivos fotográficos para análises posteriores e documentação. Na generalidade essa inspeção já é suficiente para identificar a causa do problema, entretanto, às vezes se faz necessária a realização de coleta de dados com alguns ensaios, como "exames diagnósticos" e análises de projetos para auxiliar e embasar o laudo pericial.

A partir desta coleta, é feita uma análise, levando em conta os fatores que influenciam direta e indiretamente no problema. Após este, é possível fundamentar e explicar a causa da patologia e traçar um plano para reparar o problema. É de extrema importância que o profissional também forneça um prognóstico, caso a patologia não seja tratada.

Como visto, a maioria dos problemas encontrados em edificações resume a principalmente:

Projeto ineficiente;

Falhas de execução;

Má qualidade dos materiais empregados;

Má utilização dos edifícios pelos usuários.

Após a verificação e listagem dos tipos de patologia em uma construção deve-se escolher a melhor forma de resolvê-lo, levando em conta:

Tempo de retrabalho; principalmente se o local já for habitado, pois gera desconforto;

Custos; essa não é a melhor hora para se apegar a este ponto, patologias devem ser reparadas de forma eficiente e definitivas;

Mão de obra especializada; é primordial que seja capacitada e competente.

Para os diversos tipos de patologias, neste artigo é citado em específico alguns locais; sistemas de coberturas, pisos, vedação vertical e coberturas onde comumente pode-se notar a presença destas.

Quanto à reparação, não há uma regra a ser seguida, deve-se analisar rigorosamente cada caso, avaliando todas as partes do processo da "doença" ocorrida na estrutura, para poder corrigi-la.

No geral, quando os problemas são mais simples; como pequenas fissuras (até 1,5mm), infiltrações e estanqueidade; as correções são mais fáceis e rápidas de serem aplicadas.

No Brasil, atualmente, existem muitos produtos que vieram para auxiliar neste processo, materiais tecnológicos que são capazes de assegurar uma solução as patologias. Entretanto, muitas vezes esses materiais são caros e por isso, desprezados culturalmente.

7. Roteiro Prático para perícia em obras de edificações habitacionais

A avaliação do desempenho de edificações ou de sistemas deve ser realizada considerando as premissas básicas estabelecidas na NBR 15.575 -1 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.

A norma recomenda que a avaliação do desempenho seja realizada por instituições de ensino ou pesquisa, laboratórios especializados, empresas de tecnologia, equipes multiprofissionais ou profissionais de reconhecida capacidade técnica.

Para a execução de uma perícia em obras de edificações e habitacionais, foi desenvolvido o roteiro abaixo no qual segue as recomendações presentes na NBR 15.575 – 1, bem como nas demais normas referenciadas no documento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O roteiro estabelece quais são as informações mínimas exigidas para a elaboração do documento pericial, mas não limita a elas. Cabendo ao profissional responsável pelo trabalho acrescentar aquilo que achar pertinente.

O relatório pericial deverá ser desenvolvido seguindo as recomendações para apresentação de documentação técnica pela ABNT.

7.1 Roteiro

CAPÍTULO 1: Detalhar Características da Edificação

Tipo da Edificação: Residencial, comercial, outro;

Grau de agressividade

Número de pavimentos;

Área construída;

Localização da Edificação;

Características da vizinhança da Edificação;

Idade aproximada da edificação;

Características especiais: Elevadores, reservatórios de Água, estacionamentos, outro;

Características estruturais;

Histórico de reformas ou adaptações.

CAPÍTULO 2: Levantamento Documentação da Obra

Documentação Administrativa (Regimento Interno do Condomínio, Auto de Conclusão, IPTU, Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros (AVCB), Alvará de Funcionamento, etc.);

Documentação Técnica (projetos de engenharia em geral)

CAPÍTULO 3: Resumo da vistoria

Data da vistoria;

Motivo da vistoria;

Pessoas presentes na vistoria;

Responsável pela vistoria;

Métodos empregados na vistoria: visual, utilização de equipamentos, outro;

Condições gerais para execução da vistoria.

CAPÍTULO 4: Sistemas Vistoriados

Breve introdução teórica do sistema vistoriado:

O objetivo da vistoria é identificar as patologias construtivas, patologias funcionais e falhas de uso e manutenção classificando as anomalias de acordo com o grau (critico, regular e mínimo) segundo a IBAPE (2012) os sistemas construtivos que devem ser vistoriados são:

Elementos estruturais aparentes;

Sistemas de vedação (externos e internos);

Sistemas de revestimentos, incluída as fachadas;

Sistemas de esquadrias;

ISBN: 978-85-65425-32-2

Sistemas de impermeabilização, através dos indícios de perda de desempenho como infiltrações;

Sistemas de instalação hidráulica (água fria, água quente, gás, esgoto sanitário, águas pluviais, reuso de água e esgoto etc.);

Sistemas Acústicos/ Térmicos;

Sistemas de instalação elétrica;

Geradores;

Elevadores;

Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (para-raios);

Sistema de combate a incêndio;

Sistema de coberturas (telhados, rufos, calhas etc.);

Acessibilidade;

Dentre outros. (IBAPE, 2012, pag. 17)

Indicação da unidade, cômodo ou áreas vistoriadas.

CAPÍTULO 5: Condições gerais da edificação e avarias a serem reparadas

Descrição detalhada dos itens vistoriados e as condições encontradas:

Para desempenho Térmico: atender o item 11 da NBR 15575 – 1:

Atender aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional conforme o item 11.2 da norma supracitada;

Exigências de desempenho no verão: atender os requisitos do item 11.3.1 da norma 15575-1;

Exigências de desempenho no inverno: atender os requisitos dos itens 11.4.1 e 11.4.2 da norma 15575-1;

Edificações em fase de projeto: atender os requisitos dos itens 11.5.1 e 11.5.2 da norma 15575-1;

Para desempenho Acústico: atender o item 12 da NBR 15575 – 1:

Isolação acústica de vedações externas: atender ao limite mínimo de desempenho conforme estabelecido nas ABNT NBR 15575-4 e 15575-5.

Isolação acústica entre ambientes: Os sistemas de pisos e vedações verticais que compõem o edifício habitacional devem ser projetados, construídos e montados de forma a atender aos requisitos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-3 e 15575-4.

Ruídos de impactos: atender aos requisitos e critérios especificados nas ABNT NBR 15575-3 e ABNT NBR 15575-5.

Para desempenho Estrutural: atender o item 7 da NBR 15575 – 1:

Analise do projeto estrutural sendo que devem ser atendidos todos os requisitos estabelecidos nas normas ABNT NBR 6118, para estruturas de concreto e ABNT NBR 6122, para fundações;

ISBN: 978-85-65425-32-2

Analise do projeto estrutural conforme ABNT NBR 15575-2 e ABNT NBR 15575-6

Devem ser consideradas em projeto as condições de agressividade do solo, do ar e da água na época do projeto, prevendo-se as proteções aos sistemas estruturais e suas partes;

O comportamento em serviço da edificação deve ser previsto em projeto, de forma que os estados-limites de serviço não causem efeitos estruturais que impeçam o uso normal da construção ou que levem o comprometimento da durabilidade da estrutura;

Deve-se considerar em projeto os estados-limites como perda de equilíbrio admitida a estrutura; ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais; transformação da estrutura em sistema hipostático; e instabilidade;

CAPÍTULO 6: Layout da edificação

Apresentar o layout da edificação com as indicações dos itens vistoriados e avarias encontradas

CAPÍTULO 7: Fotos comentadas

Anexar e enumerar quantidade suficiente de fotos para mostrar as avarias encontradas nas edificações;

Anexar e enumerar quantidade suficiente de fotos para mostrar resultados obtidos nos equipamentos de medição bem como sua localização no momento da medição.

CAPÍTULO 8: Soluções Técnicas

Propor soluções técnicas de reforma para as patologias identificadas, e definir um sistema de manutenção para evitar possíveis patologias.

CAPÍTULO 9: Conclusão e Considerações Finais

Deve constar o número de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), emitida pelo CREA, Data do Laudo, Recomendação do prazo para nova Inspeção Predial, assinatura do contratante.

Conclusão

A aplicação de inspeções periódicas nas edificações é uma das soluções viáveis para que a detecção de patologias possa ocorrer antes mesmo que seus efeitos danosos possam ser sentidos, evitando desta forma custos maiores com a recuperação e reabilitação dos empreendimentos.

Após a revisão bibliográfica do tema, não foi identificado um processo padrão e completo que abrangesse todos os procedimentos e verificações necessárias para perícias em edificações residenciais.

Diante disso, o trabalho propôs apresentar um modelo padrão atualizado, com base na norma de desempenho NBR 15575, recomendações do IBAPE, além das melhores práticas a serem seguidas, definindo assim um roteiro a ser utilizado.

Conclui-se então que o conhecimento na área de perícias em edificações se torna um fator importante na prevenção de futuras patologias. Atrelado a isso, o engenheiro é o profissional chave para a execução de um laudo pericial técnico e que, por ser uma atividade abrangente, uma metodologia padrão baseada nas normas brasileiras de

ISBN: 978-85-65425-32-2

desempenho para a execução da perícia é de suma importância para padronizar e garantir a qualidade do produto final.

Referências Bibliográficas

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-6118-Projeto de estrutura de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro ABNT, 2004.

_____. NBR-6123 - Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro ABNT, 1988.

_____. NBR-9574 – Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro ABNT, 2008.

_____. NBR-9575 – Impermeabilização. Seleção e projeto. Rio de Janeiro ABNT, 2010.

_____. NBR-10844 - Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro ABNT, 1989.

_____. NBR-13752 - Perícias de engenharia na construção civil. Rio de Janeiro ABNT, 1996.

_____. NBR-14653-1 - Avaliação de bens - Parte 1: Procedimentos gerais. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR-15575 - Norma de Desempenho. Rio de Janeiro ABNT, 2013.

BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto. Cadernos de Engenharia de Estruturas. EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

BRASIL. Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966. Regula o exercício das profissões de Engenheiro, Arquiteto e Engenheiro-Agrônomo, e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 27/12/1966, Página 14.892.

BRASIL. Lei N° 6.404, de 15 de dezembro de 1976. Dispões sobre as Sociedades por Ações. Diário Oficial da União - Seção 1 - 17/12/1976, P. 1.

BRASIL. Lei N° 6.496, de 07 de dezembro de 1977. Institui a “Anotação de Responsabilidade Técnica” na prestação de serviços de Engenharia, de Arquitetura e Agronomia, autoriza a criação, pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CONFEA, de uma mútua de assistência profissional, e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 9/12/1977, Página 16871.

BRASIL. Lei N° 8.078, de 11 de setembro de 1990. Dispões sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 12/09/1990, P. 1 (SUPLEMENTO).

BRASIL. Lei Nº 13.105, de 16 de março de 2015. Altera o Código de Processo Civil. Diário Oficial da União, Brasília, 16 de março de 2015.

ISBN: 978-85-65425-32-2

CONFEA. Resolução Nº 345, de 27 de julho de 1990. Dispõe quanto ao exercício do profissional de Nível Superior das atividades de Engenharia de Avaliações e Perícias de Engenharia. Diário Oficial da União – Seção I – 02/08/1990, Pág. 14.737.

COELHO, Gabriela Maciel Nunes; JUNIOR, Antônio Neves de Carvalho. Patologias do concreto: suas principais causas e como evitá-las. Disponível em: <http://blog.preconengenharia.com.br/patologias-do-concreto-suas-principais-causas-e-como-evita-las/>. Acesso em: 13 abr. 2017.

DEGUSSA. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. 2003. Ed. Red. Rehabilitar. São Paulo, 2003.

GRANATO. J.E. Patologia das construções. 2002. 250 pág. Disponível em: < http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf>. Acesso em: 08 mai.2017.

HELENE, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2ªed - São Paulo: PINI, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO - IBAPE/SP. Inspeção Predial a Saúde dos Edifícios. São Paulo. 2012. Disponível em: <http://www.ibape-sp.org.br/arquivos/CARTILHA-Inspecao-predial-a-saude-dos-edif%C3%ADcios.pdf>. Acesso em: 10 mai.2017.

LIMA, M. G. Ação do meio ambiente sobre as Estruturas de Concreto. In.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

MEDEIROS, Heloisa. Doenças concretas: Conheça as principais causas de patologias de concreto provocadas por elementos químicos presentes no ar e na água. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/160/artigo287763-2.aspx>. Acesso em: 13 abr. 2017.

MENDONÇA, Marcelo Corrêa. Engenharia Legal: teoria e pratica profissional. 3. Ed. São Paulo: PINI, 2016.

PELLI NETO, Antônio. Engenharia de Avaliações: metodologias científicas. (Apostila Módulo Básico). [S.l.]: Pelli Sistemas Engenharia; IBAPE-MG, nov. 2004.

PIANCASTELLI, Élvio. Patologia e terapia das estruturas: intervenções de reparo (restaurações). (20??). Disponível em: <http://docplayer.com.br/2595235-Patologia-e-terapia-das-estruturas.html>. Acesso em: 13 abr. 2017.

OLIVEIRA, Rogério Freitas de. Engenharia Legal: Interface Direito – Engenharia. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG. Belo Horizonte, 2009.

ISBN: 978-85-65425-32-2

THOMAZ, Ercio. Lixiviação x carbonatação. 2009. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/151/ipt-responde-lixiviacao-x-carbonatacao-285779-1.aspx>. Acesso em: 08. mai.2017.

_____. Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação. Editora: PINI. 1989.196 páginas

TORRES. A. S; SILVA. J. N. Patologias nos sistemas construtivos das edificações do início do século XX no sul do Rio Grande do Sul - Estudo de caso de residência na cidade de Rio Grande/RS. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Vol.10 - nº 2 (2015) Disponível: < https://www.revistas.ufg.br/reec/article/viewFile/32936/18992> Acesso em 08 mai. 2017.

SECOVI PR - Depto. Engenharia. http://www.admshangrila.com.br/laudo-tecnico-condominios acesso em 22: mar. 2017.

http://www.engesk.com/pagina/laudo-tecnico-de-inspecao-predial acesso em 22/03/2017.

http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006528.pdf

http://piniweb.pini.com.br/construcao/habitacao/esta-em-vigor-a-nbr-15575-norma-de-desempenho-292738-1.aspx

http://docplayer.com.br/19796611-O-processo-de-implantacao-de-normas-de-desempenho-na-construcao-um-comparativo-entre-a-espanha-cte-e-brasil-nbr-15575-2013.html

ISBN: 978-85-65425-32-2

PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS – UMA PROPOSTA METODOLÓGICA DE GESTÃO E CONTROLE

Pathology And Rehabilitation Of Structures - A Methodological Proposal Of Management And Control

Lilian M. M. SCHAFIRSTEIN [1], **Carlos** A. C. D´AVILA[2]
[1] IEC, Belo Horizonte, Brasil, lilianschafirstein@gmail.com
[2] PUC MINAS, Brasil, carlos.davila.pucminas@gmail.com

Resumo: Como solucionar os problemas patológicos e as anomalias que afetam as edificações, em um tempo exíguo e com a competência requerida? Muitas estruturas são feitas para durar indefinidamente e exemplos não faltam, como os monumentos históricos. Elas possuem uma vida útil regulamentada, que varia conforme a concepção e a norma técnica aplicável. Além disso, contam com uma série de procedimentos construtivos, que orientam os profissionais nas diversas fases de implantação de cada edificação. Não obstante, percebe-se uma elevada quantidade de problemas, que não somente afetam a durabilidade, como também o uso, a estabilidade e a segurança das edificações. São as anomalias e as patologias que ocorrem, decorrentes de uma série de fatores que interferem na vida útil de um sistema construído. Para solucionar essas deficiências, muito se tem evoluído com técnicas e tecnologias para melhorar as especificações e os métodos construtivos. Entretanto, pouco se percebeu de avanço no quesito gerenciamento e controle, necessários ao processo de análise e diagnóstico de uma patologia e reabilitação das estruturas. Cabe salientar, a busca pela solução dessas patologias, de forma eficiente, auxiliará na dissolução de um problema que é tanto social, quanto financeiro. O presente artigo propõe, como uma inovação, uma metodologia de gestão e controle dos processos de análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas. Ele permitirá uma visão holística do tema, além de organizar as principais atividades de gestão e controle. Além disso, entende-se que seu uso é aplicável em diferentes situações e momentos diversos. Para se ter uma melhor compreensão do assunto, antes de apresentar a metodologia, o artigo discorre o tema projeto e patologia. O artigo não contou com pesquisa de campo que fica como uma sugestão para próximos estudos.

Palavras-chave: Gerenciamento de projetos, Controle, Patologia em Edificação, Anomalias, Inovação.

Abstract: How to solve pathological problems and anomalies that affect constructions, in a short time with the necessary skills? Structures are made to last forever and so are the innumerous historical monuments. However, they do have a regulated lifespan that varies due to technical legislation as well as to the system. Furthermore, to achieve their lifespan there are technical quality standards to guide professionals in the several phases of a construction. Nevertheless there are still a great deal of construction problems that not only affect durability, but also resistance, stability and usage. They are the so called

ISBN: 978-85-65425-32-2

Pathologies in the Construction that occur on account of several factors, that impact on their lifespan. In order to solve those deficiencies many research have been provided such as technical procedures and technologies to enhance construction methods and techniques. Despite that, little research has been produced concerning management and control, related to pathologies analysis, diagnosis and rehabilitation. And, one might add, an efficiency structure anomaly diagnosis and rehabilitation shall be a very complex matter, by all means. This proposed methodology will allow professionals to have a holistic view of the theme that is known to be a social and financial matter. Thus, the objective of this article is to propose, as innovation, is a management and control methodology to be applied at the analysis, diagnosis and rehabilitation of structure pathology. In order to a better comprehension the subjects' project and pathology main definitions are also presented. The document ends with a conclusion and the used bibliography. There has not been made a field research which is a suggestion for a next study.

Keywords: Project Management, Control, Construction Pathology, Anomalies, Innovation.

1. Introdução

Edificações são estruturas feitas, em geral, para durar indefinidamente. Exemplos disso são os monumentos históricos que vão desde as pirâmides do Egito até as estruturas da atualidade. Não obstante elas poderem sobre-existir a gerações, em realidade essas edificações possuem vida útil regulamentada, que varia conforme o sistema em questão e a norma técnica instalada; Thomaz e Martins (2013). Uma estrutura, por exemplo, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 15575-1), deve~~ria~~ ter duração mínima de 50 anos, ao passo que um sistema de piso interno deve ter duração mínima superior a 20 anos, Thomaz e Martins (2013).

Há uma série de fatores que interferem na vida útil de um sistema construído e que ocorrem durante todas as suas fases, sendo elas: o projeto, a execução e a posterior manutenção do mesmo. Em se tendo tudo em conformidade às especificações e aos parâmetros testados, há uma probabilidade real de que a vida desse sistema seja, senão eterna, bastante duradoura. Entretanto, quando os conceitos essenciais relativos à durabilidade desejável não são utilizados, aparecem as anomalias e patologias, especialmente nas estruturas. Thomaz e Martins (2013) elencam alguns conceitos essenciais para a busca da durabilidade: os efeitos nocivos acarretados por uma anomalia, o grau de dificuldade de manutenção ou do reparo em caso de falha de desempenho e o custo da correção dessa deficiência.

No mundo contemporâneo, prazo e competitividade são fatores chave que impactam diretamente no sucesso de qualquer atividade. Percebe-se que a questão do tempo é fundamental, seja para não perder a oportunidade de um trabalho, seja para solucionar um problema. A fim de se tomar uma decisão com a devida eficiência, é de vital importância que se tenha um conhecimento adequado do problema em questão. Significa obter o resultado de uma análise apropriada para a solução, a partir dos dados disponíveis para o assunto, já que dados soltos, não devidamente alocados, significam o oposto do conhecimento, que é a desinformação. E tudo isso em um tempo exíguo. Considerando as inúmeras variáveis que ocorrem quando de uma análise da patologia

ISBN: 978-85-65425-32-2

existente em uma edificação, do diagnóstico e da alternativa de intervenção mais apropriada advém o seguinte problema: **Como gerenciar essas variáveis em um tempo exíguo com a competência requerida?**

Por conseguinte, com o propósito de se alcançar os resultados com a eficiência requerida, no prazo, custo e escopo planejados, é de suma importância que um processo de *análise e diagnóstico de uma patologia e reabilitação das estruturas* obedeça lógica própria, a qual possa ser adaptada às mais diversas situações. Logo, **o propósito do presente artigo é propor uma inovação que é uma metodologia de gestão e controle dos processos de análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas**. É uma inovação que melhora o processo (LEMOS, 2009) e sua sustentabilidade. Cabe destacar que o movimento da busca pela sustentabilidade é um fator em destaque na atualidade, Barbieri *et al*. (2010). Esse procedimento proposto tem como objetivo apresentar uma visão holística do tema, incluindo a forma de coleta e o tratamento de dados. Além disso, mostra a configuração para obtenção das informações necessárias ao desenvolvimento das atividades e, finalmente, aponta as principais ações de gestão e controle. Entende-se que essa metodologia não só pode ser utilizada nas mais diferentes situações, mas também em momentos diversos. Por exemplo, é possível que um profissional a utilize do início ao fim do processo ao passo que outro se valha de parte da mesma.

Para o alcance do objetivo, este trabalho está estruturado em outras três seções. A primeira contém o contexto no qual o assunto está inserido, seguindo-se à próxima que propõe uma metodologia para gestão e controle de um processo de *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas* e, finalmente, a última apresenta a conclusão sobre o tema, que inclui propostas de estudos futuros, necessárias à melhoria do conhecimento desse assunto.

2. Contextualização

Para melhor compreensão do tema é importante que se entenda, inicialmente, sua origem conceitual. A palavra patologia é descrita no Novo Dicionário da Língua Portuguesa de Aurélio Buarque de Holanda como o “ramo da medicina que se ocupa da natureza e das modificações estruturais e / ou funcionais produzidas por doença no organismo”. Adotando essa definição e utilizando-a no universo da construção, pode-se afirmar que organismo seria a própria edificação ou a estrutura de concreto armado, por exemplo, como uma de suas partes. As doenças seriam aqui definidas como anomalias, podendo citar, entre outras, a corrosão e as fissuras. Já as modificações estruturais ou funcionais seriam as anomalias que ocorrem na edificação. Tais deficiências podem afetar a durabilidade, o uso, a estabilidade ou mesmo a resistência e a segurança das edificações.

Ainda no campo da conceituação, o termo deficiência, por sua vez, tem origem no latim – *deficientia* – que significa falta, falha, carência, imperfeição ou mesmo defeito. Já anomalia se origina do grego – *ανωμαλία* (*anomalia)* – pelo lat. – *anomalia* – e significa irregularidade, anormalidade. E quanto à palavra reabilitação, tem-se o conceito de ser “o ato ou efeito de reabilitar-se”, ou seja, restituir-se ao estado anterior, aos primeiros direitos, prerrogativas.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Nesse contexto, pode-se dizer que a expressão *análise e diagnóstico da patologia e reabilitação das estruturas* deve ser entendida como sendo o processo pelo qual há a recuperação de uma edificação ou estrutura, ou mesmo parte dela, que, anteriormente, foi acometida de uma ou mais anomalias, que fazem parte de um conjunto de possíveis patologias as quais, por sua vez, necessitam terapias específicas. Essas anomalias, caso não sejam tratadas com o método apropriado, podem afetar as edificações quanto à durabilidade e ao uso, à estabilidade e à segurança. São dezenas, quando detalhadas, as possibilidades de patologias que ocorrem em uma edificação. Podem ser simples, ou seja, afetando somente sua aparência, como complexas, com consequências sobre a resistência da estrutura e, em última instância, chegando ao colapso.

A RED REHABILITAR, Helene e Pereira (2003), que faz parte do subprograma de corrosão e impacto ambiental sobre materiais e se compõe de 13 delegados representantes de países iberoamericanos elaborou um manual de reabilitação de estruturas de concreto, reparo, reforço e proteção. Nele as patologias são classificadas em seis tipos mais comuns, apresentados nessa ordem de relevância: manchas superficiais (22%), fissuras ativas ou passivas (21%), corrosão de armaduras (20%), ninhos (10%), flechas (10%) e degradação química (4%). A figura 1 apresenta esse resultado na forma gráfica.

Figura 1 – Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto arquitetônico (Helene e Pereira (2003), PG 23)

As patologias e a reabilitação das estruturas se configuram como um problema antigo e de grande importância, tanto do ponto de vista econômico, quanto do ponto de vista social. Pan e Thomas (2013) afirmam que a eliminação dos defeitos e a busca pela qualidade nas construções são um importante benefício para a sociedade. Os altos valores são uma realidade, sendo que Houston *et al.* (1972), Vu e Stuart (2000) e Lima e Lencioni (2016) afirmam, por exemplo, que os custos de manutenção para reforço e recuperação de pontes, *decks* e *piers* são imensos. As construções aumentaram em todo o mundo. Um forte influenciador disso tem sido o elevado uso do cimento Portland, desde a revolução na metodologia para projeto e construção (MEHTA, 1999) com a utilização da água na mistura do concreto, tornando seu manuseio mais fácil.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O crescimento da quantidade das construções trouxe o aumento das patologias e das anomalias, com o aparecimento de problemas sérios na durabilidade do concreto, especialmente nas estruturas exposição ao meio ambiente fortemente mais agressivo, Mehta (1999). De forma a combater essas patologias, há estudos e pesquisas que tornaram as especificações mais evoluídas para garantir a qualidade dos projetos e da sua execução. Exemplo disso é o uso de misturas de concreto altamente fluida, Mehta (1999), com relativa baixa adição de água, baixa porosidade e alta durabilidade, resistência e rapidez. Outra melhoria nas especificações tem sido a utilização de concretos com cimento com alta quantidade de alumina que possuem curvas de resistência superiores às curvas de concreto que utilizam cimento Portland, Kolek *et al.* (2003). Também houve não só a busca pela seleção de materiais com tecnologias que objetivam durabilidade e resistência, Mehta (1999) como também o desenvolvimento de concretos de alto desempenho, que oferecem maior resistência mecânica, Sugama (1999).

Não obstante a procura de meios para incrementar a qualidade dos projetos, as patologias e suas intervenções continuam sendo uma realidade. Pan e Thomas (2013) definem que o universo no qual ocorrem as principais anomalias abrange as fases: de projeto, das especificações e da execução. Já o manual da RED REHABILITAR, Helene e Pereira (2003), classifica as origens dos problemas patológicos em cinco fases, sendo que a maior incidência de erros ocorre na fase de projetos (40%), seguida da fase de execução (28%), materiais (18%), uso da edificação (10%) e planejamento (4%). A figura 2 apresenta esse resultado na forma gráfica.

Figura 2 – Origem dos problemas patológicos em relação às etapas de produção e uso das obras civis (Helene e Pereita, 2003, PG 25)

Independentemente da anomalia e de sua localização, para ela seja recuperada é necessário que antes seja efetuada análise e diagnóstico do problema instalado. Esses, por sua vez, tiveram como base uma avaliação crítica da situação encontrada. A avaliação crítica e a organização dos subsídios adequados e necessários para a análise, o diagnóstico e a solução de uma anomalia são complexas.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A análise e o diagnóstico de uma patologia são difíceis, uma vez que ocorrem várias anomalias provenientes de uma mesma fonte causadora, ou o inverso, Helene e Pereira (2003). Isso pode ser visto em Houston *et al* (1972) que mostraram estudos relacionados à deterioração da superfície do concreto na forma de lascas, de escamas ou em pedaços, em rodovias. Tais deteriorações foram associadas a diversas causas que variavam entre a tecnologia do concreto, a seleção e a mistura de materiais, concretagem e a ação do meio ambiente. Assim como na fase de análise e diagnóstico, a de definição da melhor alternativa de intervenção é difícil. A explicação é simples, já que um processo de reabilitação não é nem rápido, tampouco fácil.

Percebe-se que há estudos relativos à utilização de tecnologias que buscam aprimorar os processos de prevenção e de reabilitação de estruturas, no que tange ao tema *análise e diagnóstico de patologia e reabilitação das estruturas.* Cabe destacar De Muylder e Carvalho (2010) que declaram que "a tecnologia não provoca somente mudanças como é uma reação a mudanças", De Muyder (2010, p.11-12).

Entretanto, as análises do gerenciamento e do controle do processo que envolve o, problema do início ao fim, permanecem ainda precárias nos meios acadêmico e científico. Crawford (2005) que diz haver poucas pesquisas que atribuem as práticas de condução das atividades ao desempenho de um processo. Essas atividades, não obstante, merecem um acompanhamento mais estruturado, de forma a possibilitar aos agentes uma metodologia mais linear de atuação. Nessa circunstância, o próximo tópico visa propor uma metodologia de acompanhamento de um processo de inspeção, diagnóstico e escolha da alternativa mais adequada de intervenção, no que se refere à gestão e ao controle desse processo.

3. Metodologia proposta para gestão e controle

Para se alcançar o sucesso de uma *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas,* deve-se, inicialmente, percebê-lo como um projeto. Por sua vez, este deve ter suas principais atividades constituídas previamente. O propósito dessa estruturação é a organização, que permite o ganho de tempo e de produtividade, mesmo que se tenha que adaptar uma ou outra atividade, ou utilizar o processo como um todo ou em partes. Tudo isso visa, em última instância, a uma gestão e um controle mais eficientes. A proposição metodológica está subdividida em três subseções: justificativa, projeto e a metodologia para gestão e controle. A primeira demonstrará a importância de se estruturar o processo. A segunda, projeto, permitirá ao leitor ter uma visão global sobre o constructo projeto, já que uma análise e diagnóstico deve ser entendida como tal. Finalmente, a última subseção, apresenta a metodologia proposta, que é um modelo idealizado na observação, ou ainda uma ideia ou conceito resultante da síntese de um conjunto de ideias e ações. Essa metodologia proposta é uma inovação incremental, Lemos (2009), o que significa uma melhoria no processo.

3.1 Justificativa

A análise de uma patologia instalada em uma edificação modifica de acordo com o agente em questão. Agentes são conhecidos como *stakeholders,* que são indivíduos,

ISBN: 978-85-65425-32-2

conforme conceito de Bal *et al.* (2014), em uma organização, os quais de alguma forma têm seus interesses relacionados.

Conforme o envolvimento, além de objetivos diferentes, o critério de verificação variará, conforme Schafirstein (2015), uma vez que cada um dos agentes tem uma visão diferenciada do mesmo assunto, Krane *et al.* (2012). Os riscos mudam conforme o ângulo em questão. A título de exemplo, tome-se a anomalia "oxidação do aço", ou "corrosão de armaduras", localizada em uma viga de um apartamento, adquirido por um indivíduo denominado aqui como cliente. Ainda no mesmo contexto, destacam-se, também, os seguintes atores: o fornecedor do aço, o construtor da edificação, ou o responsável pela reabilitação, onde se encontra o apartamento e o investidor que financiou a construção para venda. Para cada agente, haverá uma percepção diferenciada, que poderá ser vista como um risco, se negativa, ou como uma oportunidade, se positiva. No primeiro caso, o construtor, o agente deverá se preparar para uma perda, seja ela financeira, de prazo ou outra. No segundo, na reabilitação, haverá o ganho, também financeiro, por exemplo. Cabe salientar que o fornecedor e construtor da edificação têm co-responsabilidade na anomalia – NBR 15575- e o agente reabilitador, mesmo que seja o próprio construtor, só verá a oportunidade positivamente em outra circunstância, somente após terminada a garantia.

Ao analisar o exemplo dado, para o fornecedor e o construtor, a visão tende a ser negativa, de risco. O fornecedor do aço poderá ver o diagnóstico sob o ponto de vista do risco da substituição do material sem cobrança, caso seja verificado que a causa tenha sido o fornecimento de material inadequado. Risco de perda financeira. Também o construtor poderá ver a anomalia como prejuízo, se for configurado que a corrosão ocorreu devido a alguma falha construtiva, como estocagem indevida do material. Entretanto, caso seja o construtor o agente que resolverá o problema, ele possivelmente verá a anomalia como uma oportunidade de negócio. Ganho financeiro. Se, por outro lado, o agente em questão for o cliente, ele, com certeza, verá a patologia como um problema, que pode ou não gerar perda financeira, mas com certeza já está causando desconforto e prejuízos. Finalmente há o investidor, o qual ou pode não estar envolvido diretamente no problema. Isso porque se o apartamento ainda está em processo de venda, há a probabilidade de que os custos da recuperação recaiam em sua responsabilidade, o que gerará perda financeira. Percebem-se, portanto, diferentes expectativas sobre um mesmo fato, podendo gerar riscos ou oportunidades a partir de sua análise e seu envolvimento.

Riscos variam conforme seu impacto e sua probabilidade, em um projeto ou uma organização, conforme também é o entendimento dos autores Bal *et al.* (2014). Krane *et al.* (2012). Em sua pesquisa, verificaram que há uma dominância de riscos operacionais (82%), sendo esses os que afetam diretamente o resultado. Um risco operacional pode ser a falta de comunicação, é o que diz Schafirstein, (2015), por exemplo, com a não disponibilização das informações necessárias ao longo de um processo.

Para uma mesma anomalia, verifica-se, pode haver várias visões, com diferentes consequências, as quais geram riscos diferentes, Krane *et al.* (2012). Isso se soma ao fato de que as anomalias podem ter várias causas, ou vice-versa, Helene e Pereira (2003). Esse somatório de variáveis, que devem ser resolvidas em um tempo exíguo e, normalmente, com recursos enxutos, é que torna o processo de análise e diagnóstico

ISBN: 978-85-65425-32-2

de patologias e reabilitação das estruturas complexo e nada fácil. Por tal, justifica-se estabelecer uma metodologia de gestão e controle do mesmo, objetivando estruturá-lo, de forma a facilitar as diversas ações requeridas. Para a estruturação desse método, é imprescindível que se veja esse assunto como um projeto, com início, meio e fim, mesmo que em alguns casos não o seja efetuado completamente. Nesse contexto, antes de se seguir com a metodologia propriamente dita, será apresentada uma visão do constructo do projeto.

3.2 Projeto

Um projeto pode ser conceituado como uma idiossincrasia, Pádár *et al.* (2011), que se caracteriza por ter um comportamento peculiar, especialmente diante de certas suscetibilidades. Não obstante os grandes projetos chamem a atenção, como o túnel do Canal da Mancha, Eurotúnel, que liga a França e a Inglaterra, em seus quase 51 km de extensão, estudos mostram que projetos não são tão singulares, tampouco são grandes. Meredith e Mantel (2003) afirmam que projetos têm a características de serem complexos, multidisciplinares e com estágios parecidos, do início à conclusão, independentemente de seu tamanho. Vargas (2005) conceitua projetos como empreendimentos constantes, com objetivos previamente definidos e que possuem uma característica similar que é a de não serem repetitivos. Assim como Meredith e Mantel (2003) e Vargas (2005), Schafirstein (2015), também percebe uma coerência nas atividades, com uma “sequência lógica e clara de eventos, além de delimitados quanto ao tempo, com início, meio e fim”.

Os empreendimentos denominados como projetos possuem a característica de terem uma maior concentração de atividades na fase de desenvolvimento, Meredith e Mantel (2003). Desse modo, é importante que o gerente de projeto tenha um planejamento das fases que compõem o gerenciamento de projetos, que são as práticas e atividades de planejar, executar e controlar as atividades interligadas, é o que afirma Schafirstein (2015). Cabe salientar que o gerenciamento de projetos, é conhecido como um fenômeno mundial, Engwal (2003), que proporciona inúmeros benefícios sobre outras formas de gestão, Vargas (2005).

Visando ao alcance do sucesso nos projetos têm-se os fatores críticos de sucesso, Milosevic e Patanakul (2005), que devem ser observados no decorrer do mesmo. São, na forma clássica, como dito também por Schafirstein (2015) os critérios de prazo, custo e escopo, mais comumente conhecidos como os componentes do triângulo de ferro (Atkinson (1999); Meredith e Mantel (2003); Mantel (2003); Kerzner (2006); Krane *et al.*(2012); Schafirstein (2015)). Atkinson (1999) trouxe a expectativa do cliente como critério, embora mencionasse a dificuldade de se sair do trio limite (*triple constraint*, tradução livre). Atualmente foi incorporado o critério da expectativa do cliente (Meredith e Mantel (2003), Schafirstein (2015)), de segurança e “sem defeitos”, Krane *et al.* (2012).

Qualquer que seja a patologia identificada, haverá uma forma coerente de atividades. Elas se constituirão na análise e identificação do problema, que se configurarão como o diagnóstico, seguido da avaliação crítica e do estabelecimento da melhor alternativa de intervenção, para a reabilitação da estrutura com problema. Todas essas atividades precisam de um planejamento prévio. Portanto, verifica-se claramente um projeto instalado, que tem princípio, meio e fim, assim como uma sequencia lógica de

ISBN: 978-85-65425-32-2

atividades. Sua complexidade variará conforme o grau de dificuldade e tipicidade da patologia, a qual com certeza terá uma análise e resultado únicos. Essa singularidade, entretanto, não interferirá na reutilização dessas mesmas práticas em outras situações e momentos.

É importante que se busque o atendimento ao planejado quanto ao prazo, ao custo e ao escopo propostos, Qualquer que seja a patologia, independentemente de suas particularidades e complexidades. Tudo isso visando atender às expectativas dos envolvidos, seja para gerar lucro, no caso dos prestadores de serviço, seja para evitar maiores prejuízos, no caso do cliente, ou contratante. É importante planejar, executar e controlar, o que traduz na forma de um gerenciamento de projeto eficiente. Portanto, pode-se entender que o processo de *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas* se compõe na forma de um projeto e deve ser tratado como tal, independentemente de se utilizar todas as suas fases ou parte delas. Para exemplificar, um trabalho nesse campo da patologia pode se iniciar na análise e se findar no diagnóstico, bem como pode, a partir de um diagnóstico, ter como escopo somente a intervenção. É possível também que seu objeto abranja somente o descritivo escrito e detalhado das atividades a serem realizadas, com o respectivo planejamento e esquemas (projetos construtivos). Qualquer que seja a situação e o contexto é necessário um gerenciamento adequado. O próximo tópico apresenta uma proposta de metodologia de gerenciamento de projetos para o processo de *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas.*

3.3 Metodologia proposta

Como dito por Vargas (2005) e por Schafirstein (2015) as ferramentas gerenciais adotadas em um gerenciamento de projetos são fator-chave para o alcance dos objetivos. Nesse contexto é fundamental que os agentes responsáveis por atividades de análise, diagnóstico e intervenção em patologias disponham de fluxos estruturados para que tenham estratégias de sucesso em seus projetos. Estudos indicam, Vargas (2005) que uma das causas de insucesso ou falhas em projetos foram fatores externos que se tornaram obstáculos, e que não foram minimizados por um gerenciamento eficiente.

Para o gerenciamento da *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas*, a partir do conceito de gestão de projetos propõe-se um enfoque por fases Lenfle e Loch (2010; Schafirstein (2015), sendo elas: a de estruturação, a de execução e a de controle. A primeira abordará a organização do trabalho, a segunda o diagnóstico e a intervenção e a última consiste na verificação do atendimento ao plano. Na figura 3 há um macro-fluxo da metodologia proposta, com cada uma das fases, as quais estão apresentadas nos próximos tópicos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

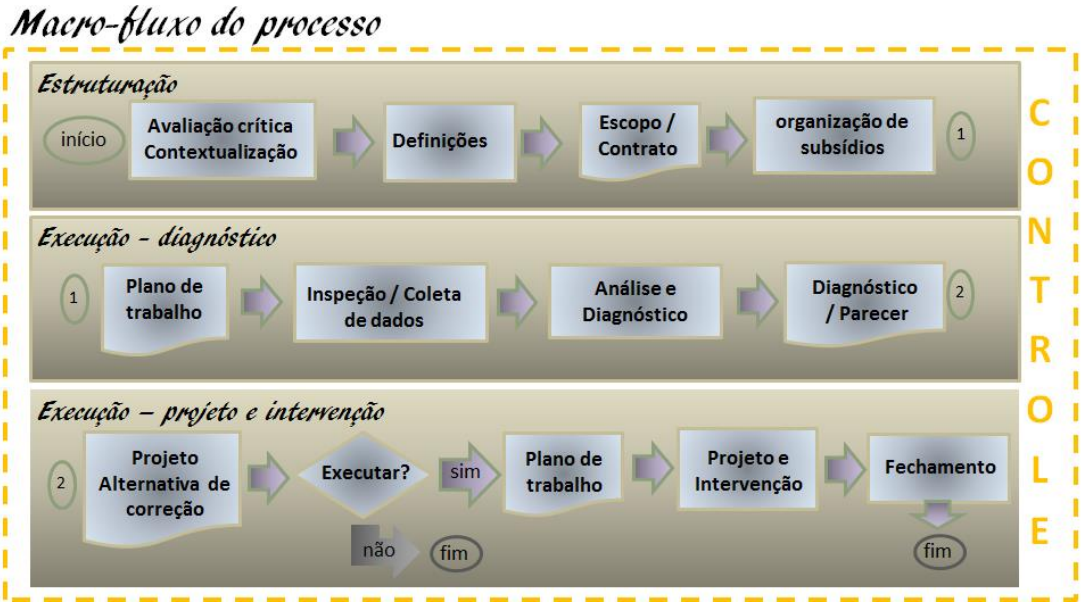


Figura 3 *– Macro-fluxo do processo gerenciamento da análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas,*

3.3.1 – Estruturação

Para se gerenciar um processo de *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas,* é necessário conhecer o problema, suas possíveis causas e as ações influenciadoras. Além disso, é fundamental que se estabeleçam os objetivos e o escopo do trabalho, bem como que se identifiquem os riscos e os agentes envolvidos e, finalmente, que se calculem os prazos e gerencie as expectativas. Essas atividades fazem parte da avaliação crítica e contextualização do assunto e são necessárias para a organização dos subsídios que serão o fundamento para o gerenciamento do referido processo. Parte dessas ações está na fase inicial do processo, parte na fase de execução e outras na fase de controle. É importante entender que as atividades se interligam e são flexíveis. Cabe salientar que as situações são diferentes e que o sucesso em um gerenciamento é dependente de circunstâncias e situações específicas, Engwal (2003).

A fase de estruturação é aquela que tem como objetivo a organização de subsídios para o processo. Essa organização se fundamenta no contexto ao qual o assunto está inserido e na avaliação crítica das possibilidades de trabalho. Inicialmente é necessário que se defina os principais conceitos de trabalho tais como o escopo, o prazo, os riscos, as premissas e restrições. A partir daí é preciso conhecer e relacionar as possíveis patologias que farão parte do universo. O produto final desta fase é um banco de dados, contendo o universo de patologias e suas possíveis intervenções, características técnicas, fatores influenciadores e possíveis causas. Ele deve ser constantemente subsidiado com informações e atualizações tecnológicas.

Definições

A primeira definição que os profissionais que atuam com esse tipo de atividade devem enunciar é a de um escopo de trabalho, de forma a não gerar expectativas erradas quando da execução de uma atividade. A empresa KPMG, Papke-Shields *et al.* (2009) elaborou um

ISBN: 978-85-65425-32-2

estudo, em 2005, sobre a relação de sucesso em um projeto e teve um resultado surpreendente, uma vez que 86% dos respondentes relacionaram falha no atendimento à expectativa. Isso *per se* demonstra a importância de se estabelecer um escopo compatível com o resultado almejado. Portanto, o conceito de escopo é o estabelecimento do objetivo do trabalho. Um escopo de trabalho normalmente vem segmentado em objeto e escopo detalhado. O primeiro define o objetivo propriamente dito. É a concepção, a ideia de aonde se quer chegar. O escopo detalhado, por sua vez, traz uma abertura das principais atividades que serão abordadas no decorrer de um trabalho. Por exemplo, para uma análise, um diagnóstico e uma intervenção o escopo detalhado terá a análise e coleta de dados, seguida do diagnóstico, incluindo a entrega do resultado e a intervenção, que é composta do projeto e da intervenção propriamente dita. Cabe salientar que cada trabalho terá seu escopo e que a função do referido banco de dados é fornecer tipos de trabalho que podem ou não serem ofertados.

O próximo significado importante é o estabelecimento do prazo de um trabalho. Esse prazo pode ser planejado de diversas formas, tendo em vista os dias, semanas, meses, por etapa. Em cada uma delas há uma nova necessidade de esclarecimento, que são, por exemplo, dias úteis e dias não úteis, semanas incluindo ou não o sábado e o domingo e meses incluindo ou não feriados. É necessário, ainda, que se defina a carga horária, que pode ser comercial ou diferenciada. Esses conceitos, caso não devidamente esclarecidos podem gerar uma ambiguidade, que por sua vez podem levar a uma falha na comunicação. Por exemplo, um trabalho de duas semanas, pode ser entendido como dez dias trabalhados ou doze dias, caso se considerem os sábados como dias úteis. E, por exemplo, o horário de trabalho aos sábados pode variar entre quatro e oito horas. Portanto, é preciso estabelecer previamente e com clareza o prazo da execução de um trabalho.

Em terceiro lugar, estão os riscos entendidos como a probabilidade de ocorrência de um determinado evento que, por sua vez, pode se mostrar positivo ou negativo. A primeira situação é conhecida como oportunidade, enquanto que a segunda como risco. como já anteriormente exemplificado nesse artigo. Um gerenciamento de riscos eficiente em um projeto pode minimizar o impacto de fatores externos ao controle, Vargas (2005) diminuindo a possibilidade de fracasso.

As últimas definições necessárias ao conhecimento de um gestor de projeto de *análise de patologia, diagnóstico e intervenção* são as premissas e restrições. As primeiras referem-se a uma condicionante para a execução dos trabalhos. Já restrições se referem a ponto ou ideia da qual se parte para armar um raciocínio. Um exemplo pode ser a premissa de que o horário de trabalho para qualquer que seja a intervenção é o horário comercial, sendo, portanto, uma restrição o trabalho fora do horário comercial. Quando o gestor já sabe de antemão quais as suas premissas e restrições fica mais fácil delimitar o mercado de atuação. Por exemplo, para um profissional que tem uma restrição de trabalhos noturnos o mercado de *shopping centers* é inviável, uma vez que somente se permite trabalhar com construções no período fora do horário comercial. Outros exemplos de premissas são: o recebimento de todas as informações necessárias como condicionante para início das atividades e a tempestividade e a fidedignidade das informações recebidas.

Cabe aqui salientar que foi destacado como importante de serem definidos os aspectos fundamentais para a execução de um trabalho de análise, diagnóstico e intervenção em patologias de edificações. Isso não quer dizer que outros constructos não devam ser

ISBN: 978-85-65425-32-2

definidos ou acompanhados pelo gestor do projeto, mas sim que os destacados são intrínsecos à execução do processo. Em se tendo as principais definições estabelecidas o gestor está pronto para elaborar seu banco de dados.

Banco de dados

O banco de dados nada mais é que o resultado da organização dos subsídios necessários a um processo de análise, diagnóstico e intervenção para uma patologia em edificações. Ele é composto pela relação das ações que influenciam o surgimento de patologias em edificações, as anomalias e os fenômenos que compõem um diagnóstico e as possibilidades de intervenção.

Toda e qualquer edificação está sujeita ao meio ao qual está inserido. Sua durabilidade e resistência são influenciadas pelas condições e ações desse ambiente a atmosfera, a poluição urbana, o ambiente industrial e o marinho, a água em suas diversas formas e a variação de pressão e de temperatura. Tudo isso incidirá sobre as edificações e influenciam diretamente as patologias Mehta (1993) e Silva Filho (1994). As ações podem ser classificadas segundo sua variabilidade no tempo, conforme as normas técnicas brasileiras ou segundo sua origem, Helene e Pereira (2003).

Pelas normas brasileiras, entre elas a ABNT NBR-8681:2004 - Ações e segurança nas estruturas, as ações se subdividem em permanentes, variáveis e excepcionais. As primeiras podem ser diretas, como o peso próprio da estrutura, os elementos construtivos permanentes, pesos de equipamentos fixos, empuxos devido ao peso próprio de terras não removíveis. As ações permanentes também podem ser classificadas em indiretas, como proteção, recalques e retração de materiais. As ações variáveis e as excepcionais são as cargas acidentais e a diferença entre elas é a probabilidade de ocorrência e tipo. Nas variáveis, estão as ações do vento e a variação de temperatura, o atrito de aparelhos de apoio e a pressão hidrostática e as cargas hidrodinâmicas. Quando a probabilidade de ocorrência é alta, são denominadas normais e devem ser consideradas nos projetos das estruturas. Quando têm baixa probabilidade as cargas são denominadas especiais tais como ações sísmicas ou cargas acidentais. Por fim tem-se as ações excepcionais do tipo: explosões, incêndios, enchentes e terremotos.

Pela RED REHABILITAR, Helene e Pereira (2003), as ações são classificadas segundo sua origem, podendo ser externas ou internas. As externas referem-se ao uso da edificação e cargas da estrutura, ao passo que as internas são as de mudança de volume e as induzidas.

As ações externas se subdividem em cargas funcionais, ambientais e excepcionais. As cargas funcionais, por sua vez se subdividem em estáticas e dinâmicas, sendo a primeira subdividida em móveis e constantes e a segunda em periódicas, não periódicas e instantâneas. São exemplos de cargas móveis os equipamentos, de cargas constantes o peso próprio, de cargas periódicas as máquinas, de cargas não periódicas os equipamentos não frequentes e de cargas instantâneas equipamentos como um bate-estaca. As ações ambientais estão relacionadas ao entorno – sólido, líquido e gasoso e equivalem a uma carga, estática quando em repouso, por exemplo a neve e dinâmica, quando em movimento, como o ar. Na figura 3 há um exemplo de cada uma das cargas externas, segundo a RED REHABILITAR, Helene e Pereira (2003).

ISBN: 978-85-65425-32-2

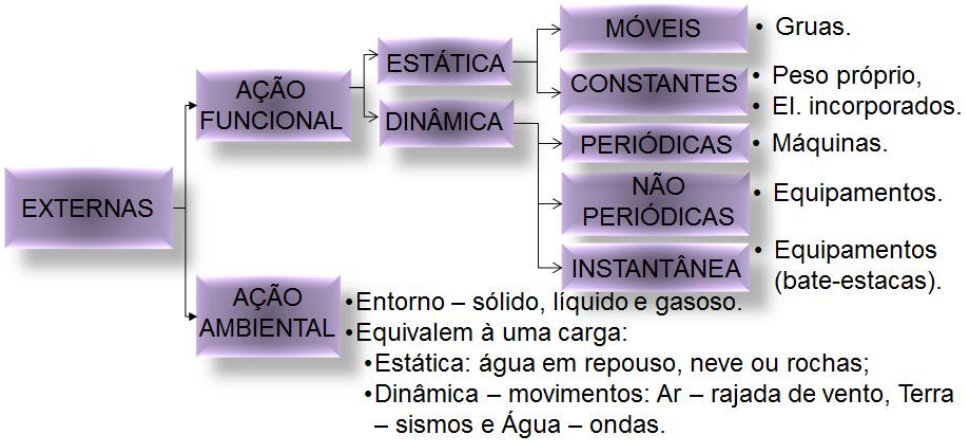


Figura 3 – Exemplos de ações externas (HELENE ET PEREIRA, 2003)

As ações internas são subdivididas em intrínsecas e induzidas, conforme a RED REHABILITAR, Helene e Pereira (2003). As primeiras podem ser os esforços ou tensões que costumam afetar a durabilidade e a resistência das estruturas, através de mudanças de volume com manifestações e características próprias. Outros exemplos são os assentamentos plásticos e a cura do concreto. As ações induzidas são os assentamentos, como a movimentação da fundação, as deformações impostas com a intenção de melhorar a capacidade portante das estruturas, como as técnicas de proteção, com suas tipicidades: as de aderência inicial para o caso das armaduras previamente tracionadas, as de aderência posterior para o caso das armaduras posteriormente tracionadas e as sem aderência também para o caso das armaduras posteriormente tracionadas.

Este artigo apresenta as propostas da RED REHABILITAR, Helene e Pereira (2003), que são: oxidação do aço / corrosão de armadura, fissuras pela ação de cargas externas, pela variação de umidade e de temperatura, desintegração do concreto e falhas típicas de um processo construtivo. Cabe salientar que não é consenso na literatura a relação das ações sobre as estruturas, Mehta (1993); Silva Filho (1994), ou seja, essas bases metodológicas não estão em harmonia, motivo pelo qual este artigo trouxe duas bases metodológicas sobre o tema.

Não obstante a uniformidade de pensamento, o motivo pelo qual é importante relacionar as ações influenciadoras, sejam elas pelo conceito das normas técnicas brasileiras ou por pesquisas internacionais, ou por outra fonte, é que essas ações tendem a gerar anomalias e tratamentos semelhantes, Helene e Pereira (2003). A fim de facilitar os diagnósticos, sugere-se que os bancos de dados sejam estruturados conforme a origem da ação ou resposta da estrutura, , Helene e Pereira (2003). Dessa forma, haverá uma relação de anomalias e patologias, a partir das ações influenciadoras. Para cada uma dessas “doenças”, haverá uma sequencia de dados, a saber: tipo de ação, exemplo, tipo de processo (químico, eletroquímico, mecânico, físico), fenômeno instalado, detalhamento e características do fenômeno, dano provável e fator causador provável.

Com base no banco de dados montado, contendo as possibilidades de escopo, de prazo e de risco, torna-se possível o alcance de um gerenciamento mais eficiente para o processo

ISBN: 978-85-65425-32-2

de *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas,* que é o próximo tópico, denominado aqui de execução.

3.3.2 – Execução

A fase de execução se compõe da avaliação crítica dos dados para composição e execução dos trabalhos. De posse do banco de dados devidamente elaborado, a análise e diagnóstico torna-se mais rápida, uma vez que os dados estarão alocados como geração de informação.

Os passos da execução das atividades contemplam a identificação das seguintes informações: a característica da anomalia, o diagnóstico e a proposta de intervenção. O primeiro passo significa a identificação das ações que interferem na edificação, os riscos envolvidos e as deficiências encontradas com suas características técnicas e visuais. O diagnóstico refere-se à identificação do tipo da patologia instalada e o terceiro passo seria a proposta de solução do problema. Esse último precisa conter um projeto executivo / esquema. Vale lembrar que uma patologia pode ter mais de uma causa, bem como sua terapia pode ter mais de uma solução.

A execução das atividades ocorrerá através da elaboração de um plano de trabalho que permita ao responsável identificar, previamente, os dados e os passos e confrontá-los com as informações do banco de dados, de forma a perceber quais as opções de diagnóstico que melhor se qualificam. Esse plano de trabalho precisa conter as seguintes informações: as atividades detalhadas, o cronograma, os envolvidos, as premissas, os riscos e a proposta de resultado.

Planejamento

As atividades e as premissas e restrições são as constantes do escopo aprovado. No entanto, na fase de planejamento da execução faz-se necessário que se detalhem as atividades, de forma a garantir um melhor entendimento, tanto da equipe, quanto do cliente. A partir desse detalhamento se calculam os prazos, bem como as interferências e dependências. Qualquer que seja o projeto, o caminho crítico deverá ser destacado. Caminho crítico é o conjunto das atividades desenvolvidas cuja sequencia e prazo têm influência direta no prazo total do trabalho. Com o estabelecimento das atividades, o orçamento deve ser elaborado, considerando cada fase.

A equipe do projeto deve ser estabelecida, disponibilizando aos atores suas principais responsabilidades, de forma a dirimir as possíveis dúvidas quanto ao seu papel no processo. É de suma importância o estabelecimento e o acompanhamento das pessoas envolvidas em um projeto, uma vez que são elas e não os sistemas que influenciam diretamente o sucesso do mesmo, Cooke_Davies (2002). Ainda no que diz respeito à equipe, é importante que se estabeleçam os produtos de cada um, o que diminui o risco de mal-entendidos como duplicidades ou lacunas nas funções ou mesmo informações indevidamente trocadas.

Trata-se de boa prática que se defina previamente, juntamente com o cliente, o modelo e a forma da entrega do resultado do trabalho.

Estabelecidas as atividades, os prazos e a equipe é o momento de elaborar o orçamento do projeto, somado com o cronograma financeiro. Vale salientar que essas ações funcionam quase que concomitantemente, sendo que todas se retroalimentam. Outro

ISBN: 978-85-65425-32-2

aspecto a se destacar é que, embora essas atividades estejam aqui apresentadas no campo da execução, elas podem ser entendidas como a fase do planejamento, no momento da execução. Ou seja, a fase de planejamento aqui apresentada comporta a estruturação do processo como um todo e não de um único trabalho de análise, diagnóstico e intervenção em patologias em edificações. Portanto, é necessário que se entenda que, ao executar um projeto haverá a fase de planejamento, que comportou as ações supracitadas.

De posse de um plano de trabalho devidamente estabelecido é o momento de se obter suas validações. Um plano de trabalho deverá ser submetido aos envolvidos para que estes entendam o processo e os objetivos e certifiquem-se de que as atividades do projeto representam seus objetivos, no tempo e na forma proposta. Uma vez validada, parte-se para a execução do plano.

Execução

A fase de execução compreenderá a coleta e análise dos dados, o diagnóstico do problema e a intervenção, caso essa também faça parte do escopo do trabalho. Na coleta, o propósito é conhecer e obter os documentos, a história e as informações necessárias à análise da anomalia instalada. Ainda na fase de coleta de dados, é importante que se registre as ações da visita e da obtenção das informações através de um documento, que pode ser nomeado como “Registro de anomalias”. Com esses dados em mãos parte-se para a análise dos dados, que consistirá em confrontar a situação e informações disponibilizadas com o banco de dados elaborado. A partir daí será possível estabelecer o diagnóstico do problema. Caso o projeto em questão aborde a fase de intervenção, dever-se-á esperar pela validação do diagnóstico para a análise e escolha da melhor alternativa de intervenção. Essa reabilitação normalmente precisa de um projeto ou de especificações detalhadas para um melhor entendimento das atividades.

Portanto, a fase aqui denominada execução compreende as atividades de planejamento dos trabalhos e execução propriamente dita, sendo que essa última ainda pode ser subdividida em diagnóstico, projeto e intervenção. O diagnóstico é oriundo do confronto entre a situação encontrada com o banco de dados elaborado na fase anterior, que é a de estruturação. Os dados serão tratados nessa fase e compreendem: o tipo e característica da anomalia, a localização, a abrangência, as possíveis causas e, em última instância as possibilidades de diagnóstico e de alternativas de correção. Surge, nesse momento, a seguinte pergunta: como garantir que o processo transcorra eficientemente? Portanto, um importante aspecto que deve ser considerado é o do controle, último tópico desta metodologia proposta.

3.3.3 – Controle

A última fase proposta para essa metodologia para *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas* é a do controle. Significa acompanhar o projeto, em cada uma das suas etapas, através da verificação do escopo, do prazo, do resultado dos valores e do atendimento ao sucesso. Seria o controle do alcance dos objetivos propostos no plano de trabalho. Além disso, é importante estar atento ao atendimento às necessidades dos envolvidos, para um alinhamento adequado das expectativas,

ISBN: 978-85-65425-32-2

Schafirstein (2015), uma vez que a avaliação do sucesso seja um assunto ambíguo (Baccarini (1999; Engwall (2003); Schafirstein (2015).

É importante que se estabeleçam indicadores de desempenho, que deverão ser acompanhados. Esses indicadores serão compostos por parâmetros previamente estabelecidos. Eles devem abordar, pelo menos, os aspectos do triângulo de ferro (Atkinson (1999); Meredith e Mantel (2003); Kerzner (2006); Krane *et al.* (2012)) que são: prazo, custo e escopo. É importante que se tenha um registro das informações, devidamente protegidas, incluindo cópias de segurança e aspectos de confiabilidade e integridade. Nessa fase de controle que os gerentes do projeto precisam estar atentos ao alcance do sucesso e isso ocorre através do monitoramento dos fatores de sucesso, que representam as ações necessárias para tal, Collins e Baccarini (2004).

Portanto, entende-se que um processo de *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas,* devidamente estruturado, terá uma possibilidade maior de alcance de sucesso. Nesse mundo contemporâneo onde as informações são trocadas instantaneamente o tempo é fundamental e, por conseguinte, a organização fará a diferença. Essa lógica de trabalho previamente ordenada, trará aos profissionais da área um diferencial importante quando comparado aos seus competidores. Isso se explica porque estes profissionais conseguirão ver o assunto de uma forma global, o que facilitará a análise de um assunto já de si tão complexo.

3. Conclusão

Este artigo tem por objetivo apresentar uma metodologia para o processo de *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas*. Para sua compreensão incialmente foi abordado o tema “patologia das edificações”, propriamente dito, seguido do constructo do projeto. A metodologia é subdividida em três fases, a de estruturação, a de execução e a de controle.

Cabe salientar que, não só existem diferentes metodologias, técnicas e ferramentas de gerenciamento de projetos, bem como não se sabe o impacto delas sobre o gerenciamento dos mesmos. Outra consideração a ser feita é que, para se gerenciar um projeto, seja qual for, são necessárias as ciências, as metodologias, e os aspectos comportamentais. Não obstante, a disponibilização de dados e informações de maneira lógica e estruturada permite que o responsável trabalhe com maior agilidade e confiabilidade, possibilitando responder as questões com maior eficiência.

É importante frisar que ainda não foram realizadas pesquisas de campo com o objetivo de acompanhar esta proposta metodológica, permanecendo como sugestão para estudos futuros.

Finalmente, espera-se que essa metodologia contribua para que projetos de *análise e diagnóstico de patologias e reabilitação das estruturas* avancem quanto a sua eficiência em atendimento ao prazo, ao custo e ao escopo, de forma a melhorar esse processo que por si mesmo é complexo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Referências bibliográficas

ABNT, NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas. Procedimento. São Paulo, 2004.

ABNT, NBR 15575/1:2013 - Edificações habitacionais. Desempenho. Requisitos Gerais. São Paulo, 2013.

Atkinson, Roger. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, it's time to accept other success criteria. International Journal of Project Management, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 337-342, 1999.

Baccarini, D. The logical framework method for defining project success. Project Management Journal, [S. l.], p. 25-31, Dec. 1999.

Bal, Menoka; Bryde, David; Ochieng, Edward. A Critical Review of Integrated Project Management for Construction Sustainability. In: 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECONOMICS, MANAGEMENT AND DEVELOPMENT. Annals . [S. l: s. n], p. 53-61, 2014. Disponível em: <http://www.europment.org/library/2014/interlaken/bypaper/ECON/ECON-06.pdf>.

Barbieri, José Carlos *et al*. Inovação E Sustentabilidade: Novos Modelos E Proposições/Innovation And Sustainability: New Models And Propositions/Innovación Y Sostenibilidad: Nuevos Modelos Y Proposiciones. Revista de Administração de Empresas, v. 50, n. 2, p. 146, 2010

Collins, Adam; Baccarini, David. Project success - a survey. Journal of Construction Research, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 211-231, 2004.

Cooke_Davies, Terry. The "real" success factors on projects. International Journal of Project Management, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 185-190, 2002.

Crawford, Lynn. Senior management perceptions of project management competence. International journal of project management, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 7-16, 2005.

Ferreira, AB de H. Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa. Editora Positivo, 2004.

Helene, P.; Pereira, F. Manual de reabilitação de Estruturas de Concreto–Reparo, Reforço e Proteção. São Paulo: Red Rehabilitar, editores, 2003.

Houston, James T.; ATIMTAY, Ergin; FERGUSON, Phil Moss. Corrosion of reinforcing steel embedded in structural concrete. Center for Highway Research, University of Texas at Austin, 1972.

Engwall, Mats. No project is an island: linking projects to history and context. Research policy, [S. l.], v. 32, n. 5, p. 789-808, 2003.

Kerzner, Harold. Gestão de projetos: as melhores práticas. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Krane, H.; Olsson, N.; Rolstadas, A. How Project Manager-Project Owner Interaction Can Work Within and Influence Project Risk Management. Project Management Journal [serial online], [S. l.], v. 43, n. 2, p. 54-67, Apr. 2011. Available from: Business Source Elite, Ipswich, MA. Accessed April 7, 2014

Lenfle, S.; Loch, C. Lost Roots: How Project Management Came to Emphasize Control Over Flexibility and Novelty. California Management Review [serial online], [S. l.], v. 53, n. 1, p. 32-55, fall 2010. Available from: Business Source Elite, Ipswich, MA. Accessed April 7, 2014.

Lemos, Cristina. Inovação na era do conhecimento. Parcerias estratégicas, v. 5, n. 8, p. 157-180, 2009

De Lima, Maryangela Geimba; LENCIONI, Julia Wippich; DOS MATERIAIS AEROESPACIAIS, Química. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP CAMPUS GUARUJÁ.

Malhotra, V. Mohan; Carino, Nicholas J. Handbook on Nondestructive Testing of Concrete Second Edition. CRC press, 2003.

Meredith, Jack R.; Mantel JR., Samuel J. Administração de projetos: uma abordagem gerencial. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC EDITORA, 2003.

Mehta, P. Kumar. Advancements in concrete technology. CONCRETE INTERNATIONAL-DETROIT-, v. 21, p. 69-76, 1999.

Milosevic, Dragan; Patanakul, Peerasit. Standardized project management may increase development projects success. International Journal of Project Management, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 181-192, 2005.

Muyder, Cristina Fernandes de; CARVALHO, Fátima Marília Andrade de. Fatores Empresariais da Indústria Siderúrgica Brasileira: Cenário Recente. REUNA, [S. l.], v. 10, n. 1, 2010.

TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas-Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

Pádár, K.; Pataki, B.; Sebestyén, Z. A comparative analysis of stakeholder and role theories in project management and change management. International Journal of Management Cases [serial online], [S. l.], v. 13, n. 4, p. 252-260, Dec, 2011. Available from: Business Source Elite, Ipswich, MA. Accessed April 7, 2014

Pan, Wei; Thomas, Rhys. Defects of new-build dwellings constructed to building regulations and to the ‘code for sustainable homes. In: Smith, SD and Ahiaga-Dagbui, DD (Eds) Procs 29th Annual ARCOM Conference. 2013. p. 2-4.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Papke-Shields, Karen E.; Beise, Catherine; Quan, Jing. Do project managers practice what they preach, and does it matter to project success? International Journal of Project Management, [S. l.], v. 28, n. 7, p. 650-662, 2010.

Schafirstein, Lilian Mascarenhas Monteiro. FATORES DE ANÁLISE DE SUCESSO DE GERENCIAMENTO DE PROJETOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA SIDERÚRGICA. Projetos, dissertações e teses do Programa de Doutorado e Mestrado em Administração, v. 9, n. 1, 2015.

DA Silva Filho, Luiz Carlos Pinto. Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica. 1994. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. SUGAMA, Toshifumi *et al*. Chemically Bonded Cements from Boiler Ash and Sludge Wastes. 1999.

Thomaz, Ercio; MARTINS, José Carlos; BERTINI, Alexandre Araújo. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 20

Vargas, Ricardo Viana. Gerenciamento de Projetos. 6. ed. São Paulo: Brasport, 2005

Vu, Kim Anh T.; Stewart, Mark G. Structural reliability of concrete bridges including improved chloride-induced corrosion models. Structural safety, v. 22, n. 4, p. 313-333, 2000.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

AVALIAÇÃO DINÂMICA DA VARIAÇÃO DA RIGIDEZ DE UMA VIGA DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDA A PERDA DE MASSA

Dynamic Assessment Of The Stiffness Variation Of Reinforced Concrete Beam Subjected To Mass Loss

André Luiz CANDIAN[1], **José Luiz R.** PAES[2], **Gustavo S.** VERÍSSIMO[3], **Gustavo E. S.** LIMA[1], **Leonardo Gonçalves** PEDROTI[5]

[1] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, alcandian@gmail.com.br

[2] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, jlrangel@ufv.br

[3] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, gustavo@ufv.br

[4] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, gustavo.lima@ufv.br

[5] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, leonardo.pedroti@ufv.br

Resumo: Uma das possíveis consequências do desenvolvimento de manifestações patológicas nas estruturas de concreto é a perda de massa dos elementos estruturais. Esta perda leva à redução de rigidez da peça, e consequentemente a diminuição de sua capacidade de carga. A crescente preocupação com o desempenho das estruturas de concreto armado, e advento de normas técnicas que estabelecem parâmetros que visam o aumento da vida útil das edificações, tem criado uma demanda pelo desenvolvimento de técnicas de inspeção que permitam uma análise rápida, confiável e de baixo custo. Neste contexto, os ensaios não destrutivos (END) apresentam uma variedade de técnicas para a verificação de danos, permitindo obter informações quanto ao estado de deterioração do elemento estrutural. Para o desenvolvimento deste trabalho foi produzida uma viga de concreto armado de dimensões 9x18x180cm, cujo concreto possuía fator a/c = 0,60. O elemento foi submetido a sucessivas perdas de massa de concreto, extraídas com auxílio de uma serra circular. A cada nova extração de massa foi medida sua frequência natural fundamental com o auxílio de um acelerômetro tridimensional na condição apoiada-apoiada. Os resultados indicaram que a frequência natural diminuía a cada perda de massa causada na viga. Analiticamente foi determinada a rigidez (EI) da viga a cada passo. Também foi determinada a curva de variação do amortecimento através do método do decremento logarítmico. O método se mostrou eficaz para a avaliação de danos em elementos estruturais de concreto armado.

Palavras-chave: Concreto, Avaliação dinâmica, Perda de rigidez

Abstract: One of the possible consequences of the development of pathological manifestations in concrete structures is the mass loss of the structural elements.This leads to loss of part stiffness reduction, and consequently the reduction of its load capacity. The growing concern with the performance of reinforced concrete structures, and the advent of technical standards that establish parameters aimed at increasing the useful life of buildings, has created a demand for the development of inspection techniques that allow rapid analysis, reliable and low cost. In this context, non-destructive testing (NDT) present a variety of techniques to check for damage, including information about the state of deterioration of the structural element. For the development of this work has produced a

beam of reinforced concrete 9x18x180 cm dimensions, which had concrete factor a / c = 0.60. The element was subjected to successive concrete mass loss, extracted with the aid of a circular saw. Each new batch extraction was measured its natural fundamental frequency with the aid of a three-dimensional accelerometer-supported in the supported condition. The results indicated that the natural frequency decreased every mass loss caused on the beam. Analytically determined the stiffness (EI) of the beam at each step. It was also determined to change damping curve by the logarithmic decrement method. The method was very effective for the evaluation of damage to structural elements of reinforced concrete.

Keywords: Concrete, dynamic evaluation, loss of stiffness

1. Introdução

Os tipos de danos mais recorrentes nas estruturas de concreto, segundo Terra (2009) são as fraturas por fadiga, fissuras por movimentações ou solicitações excessivas, e as perdas de massa provocadas por desgaste ou corrosão das armaduras. Tais danos provocam nas estruturas perdas de rigidez localizadas, comprometendo o seu desempenho e colocando em risco a segurança dos seus usuários.

Diversos modelos matemáticos têm sido propostos para localização e quantificação do dano nos elementos de concreto, baseados na teoria da elasticidade, teoria da plasticidade, mecânica do dano, mecânica da fratura, dentre outros conforme citado por Nobrega (2004). De maneira geral, todos buscam considerar os efeitos do processo deterioração no comportamento mecânico da estrutura abordando o elemento de forma discreta ou contínua

O uso de dados vibracionais na avaliação dos danos estruturais pode fornecer bons resultados. É sabido que, com a evolução da danificação nos elementos de concreto armado existirá uma diminuição na frequência fundamental – frequência natural para o primeiro modo de vibração – e um aumento do fator de amortecimento. Essas variações dos parâmetros modais permitem obter os valores de rigidez equivalente para os diversos estágios de danificação da peça, podendo inclusive indicar a proximidade da ruina do elemento estrutural conforme citado por Almeida (2010).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo obter de forma experimental a frequência natural da uma viga de concreto armado submetida a sucessivas perdas de massa. De posse das frequências obtidas, foi possível determinar analiticamente a perda de rigidez (*EI*) para cada incremento de dano, bem como observar o comportamento do fator de amortecimento com a perda de massa da viga.

2. Fundamentação teórica

2.1 Estimativa da rigidez à flexão

A expressão para obtenção da vibração transversal de uma viga simplesmente apoiada nas duas extremidades, para os seus n modos de vibração e que atende as condições de Bernoulli-Euler, é dada por:

ISBN: 978-85-65425-32-2

$$f = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A L^4}} \quad \text{, em } (Hz) \qquad \text{(Equação 1)}$$

Partindo-se da Expressão 1, pode-se estimar a rigidez (EI) da vigas partir da frequência fundamental por meio de:

$$EI = \frac{4\rho A f^2 L^4}{\pi^2} \qquad \text{(Equação 2)}$$

2.3 Cálculo do amortecimento

Amortecimento é o fenômeno de dissipação da energia num sistema e pode ser determinado por diversas metodologias. No presente trabalho, para o cálculo do fator de amortecimento (ζ), foi adotado a metodologia do decremento logarítmico (Figura 1), conforme elucidado em Claugh *et al* (2003).

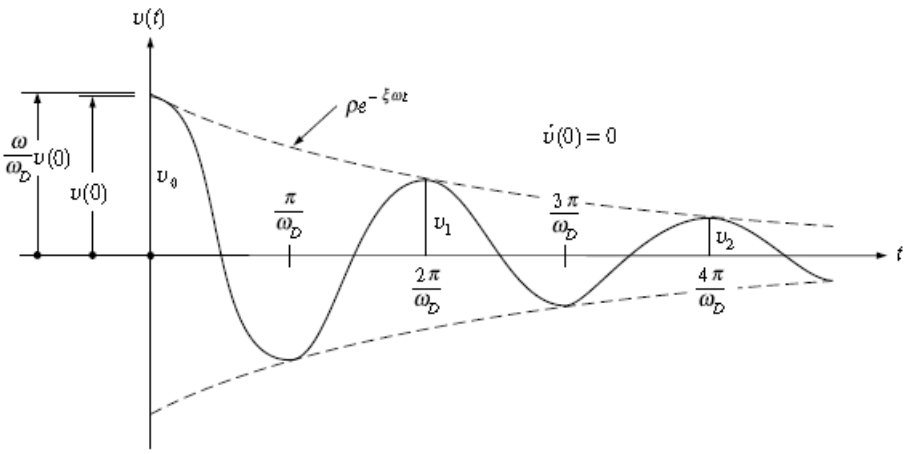


Figura 1: Resposta de vibração livre para um sistema subamortecido (CLAUGH *et al*.,2003).

O decremento logarítmico (δ) pode ser obtido pela equação:

$$\delta = \left[\frac{v_i}{v_{i+n}}\right] = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \qquad \text{(Equação 3)}$$

Do decremento logarítmico obtém-se o fator de amortecimento (ζ):

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 n^2 - \delta^2}} \qquad \text{(Equação 4)}$$

ISBN: 978-85-65425-32-2

3. Materiais e métodos

3.1 Modelo experimental

Para desenvolvimento do programa experimental foram fabricadas uma viga de concreto armado, conforme modelo apresentado na Figura 2. Os modelos experimentais possuem dimensões nominais de 9x18x180 cm, armadura longitudinal de tração composta por duas barras de diâmetro Ø8.0 mm e porta-estribos composto por duas barras de aço CA-60 com diâmetro Ø4.2 mm. Para a armadura transversal foram utilizados estribos de aço CA-60 com diâmetro Ø4.2 mm, espaçados a cada 9,0 cm e cobrimento da armadura de 1,5 cm.

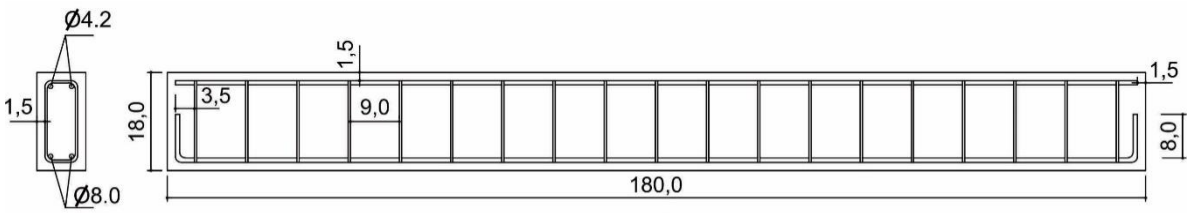


Figura 2 – Modelo de viga

Para produção dos modelos de vigas foi confeccionada uma forma de madeira compensada plastificada. Antes da concretagem a armadura e forma foram limpas e foi aplicado um desmoldante de base mineral nas formas. Também foram utilizados espaçadores plásticos modelo S (circular universal) nas armaduras, a fim de garantir o adequado cobrimento de concreto.

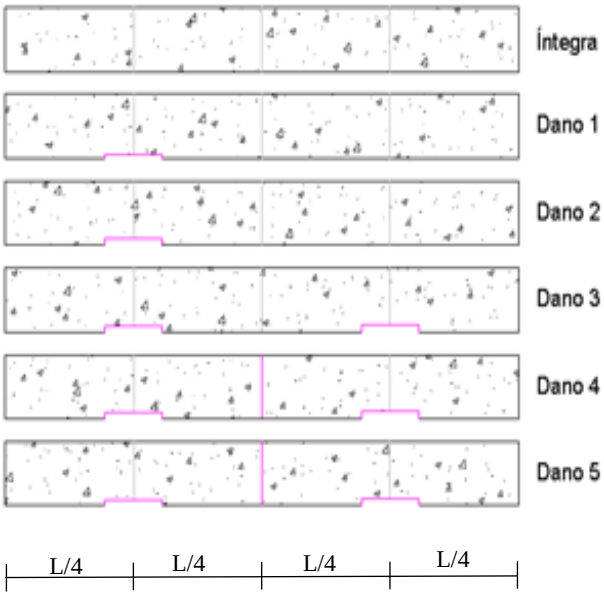
Durante as primeiras 24 horas após a moldagem, a viga foi mantida umedecida e coberta por uma lona plástica. Passado este período, a viga foi desformados e colocada em um tanque, no qual foi realizada cura por imersão durante 28 dias.

3.2 Aplicação do dano

A viga foi submetida a produção de danos de forma controlada, com auxílio de uma serra circular elétrica. A cada passo do ensaio, a massa da viga era medida e sua frequência fundamental determinada. Os danos provocados na viga foram identificados como dano 1, dano 2, dano 3, dano 4 e dano 5, onde os detalhes dos danos estão apresentados na Tabela 1.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 1 - Etapas de danificação na viga

	Dano 1: Corte com subtração de massa localizado em L/4 na viga Dano 2: Ampliação do dano 1, com corte e subtração de massa Dano 3: Corte e subtração de massa em 3L/4 da viga Dano 4: Corte em uma das faces laterais, em L/2, com profundidade de 10mm e sem atingir a armadura Dano 5: Dois cortes, um na face inferior e outro na superior, ambos com profundidade de 10mm, sem atingir a armadura

Já na Figura 3 apresenta-se o detalhe da produção do dano na viga com auxílio de uma serra circular elétrica.

Figura 3 – Detalhe da produção do dano na viga

3.2 Aplicação do dano

Para determinação experimental das frequências fundamentais da viga em cada estágio de danificação do experimento, foi utilizado um acelerômetro tridimensional da marca SENSR, modelo GP2x, com range de 200 Hz e taxa de aquisição de 50 milissegundos

ISBN: 978-85-65425-32-2

– configurável pelo usuário. O dispositivo conecta-se a um computador via porta USB, comunicando com seu software de aquisição de dados.

Os dados coletados são tratados pelo programa computacional *SENSRVIEW* que codifica, filtra e analisa os sinais emitidos transformando-os em aceleração versus tempo, para as três direções (x, y e z). O software de aquisição, *SENSRVIEW* possui implementado a FFT (fast Fourier trasform), algoritmo que converte o sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência, possibilitando a obtenção da frequência natural do elemento ensaiado (Figura 6).

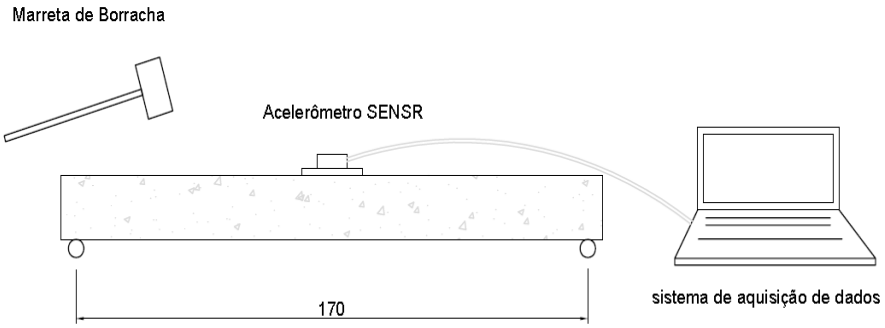


Figura 4: Esquema de montagem do ensaio

A viga foi apoiada em dois roletes de aço sobre piso de concreto armado, conforme esquematizado nas Figuras 4 e 5, de forma a garantir um elevada rigidez dos apoios. Para a excitação dos primeiros modos de vibração foram aplicados golpes com uma marreta de borracha direto na viga.

Figura 5 - Detalhe da montagem do ensaio

Na Figura 6 apresenta-se a tela do programa *SENSRVIEW*, utilizado para a aquisição e tratamento dos dados coletados pelo acelerômetro. Nesta tela é possível visualizar a aceleração no domínio do tempo e no domínio da frequência.

ISBN: 978-85-65425-32-2

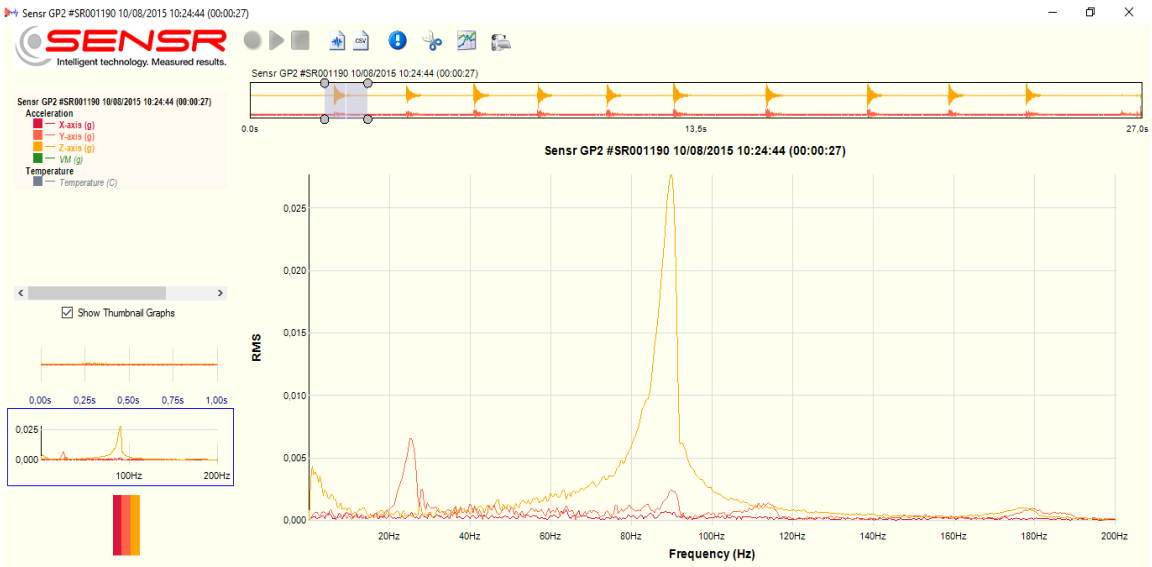


Figura 6 - Aspecto geral da interface do programa SENSRVIEW

4. Resultados e discussão

Primeiro foram determinadas as dimensões da viga no estado íntegro. Foram coletadas 7 medidas da largura (b), 7 da altura (h) e 3 do comprimento (L), conforme apresentado na Tabela 2 e calculado a média.

Tabela 2 - Dimensões da viga íntegra

	Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Leitura 4	Leitura 5	Leitura 6	Leitura 7	Média
b (mm)	91,56	89,18	87,71	87,9	88,35	89,66	90,59	89,3
h (mm)	183,95	183,43	184,56	185,79	184,89	184,36	185,39	184,6
L (cm)	180,0	180,1	179,9	---	---	---	---	180,0

Posteriormente, a sua massa íntegra foi determina. $M_{íntegra}$ = 70,980kg. De posse das dimensões e da massa íntegra da viga, foi calculada a massa específica da peça γ = 2392,365 kg/m³.

Na tabela 3 estão apresentadas as massas subtraídas e a massa final da viga após cada estágio de danificação.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 3 - Evolução da subtração de massa na viga

Estágio de danificação	Massa subtraída (kg)	Massa (kg)	% da massa íntegra
Íntegra	0,000	70,980	100,00%
Dano 1	0,392	70,588	99,45%
Dano 2	0,783	69,805	98,34%
Dano 3	0,956	68,849	97,00%
Dano 4	0,089	68,760	96,87%
Dano 5	0,035	68,725	96,82%

Para cada etapa do experimento, a frequência fundamental da viga, ou seja, a frequência relacionada ao seu primeiro modo de vibração foi obtida experimentalmente.

A *FFT* implementada no sistema de aquisição de dados do *software* SENSRVIEW possibilitou a visualização do sinal no domínio da frequência, conforme apresentado na Figura 7 para viga íntegra. O *software* também apresenta o sinal no domínio do tempo, conforme apresentado na Figura 8.

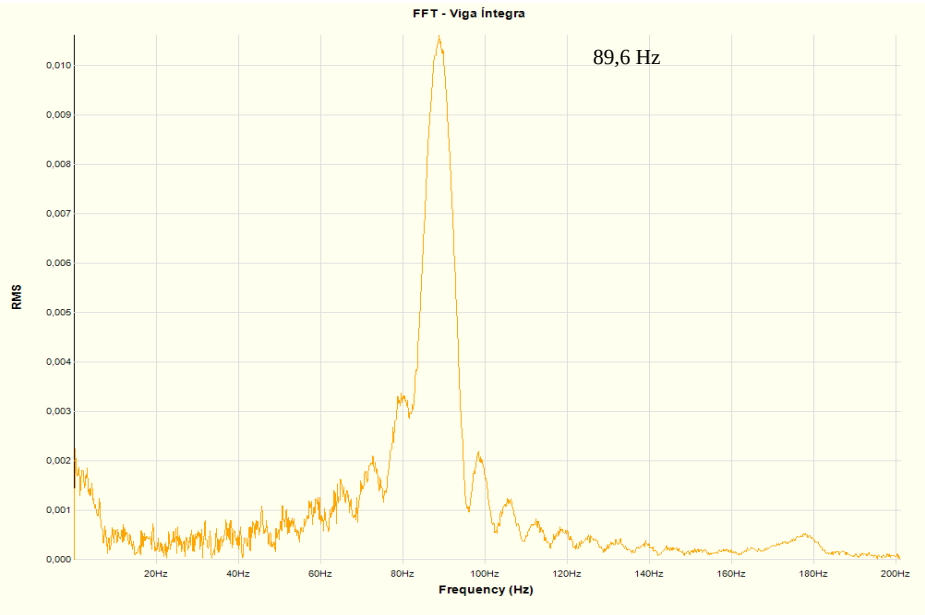


Figura 7 – Sinal no domínio da frequência para viga íntegra

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 8 – Sinal no domínio do tempo para viga íntegra

Na tabela 4 estão apresentados os valores de frequência fundamental obtidos no experimento, os valores da rigidez obtidos analiticamente e do fator de amortecimento (ζ), obtidos em função da evolução do dano na viga.

Tabela 4: Evolução da frequência fundamental, da rigidez e do amortecimento com a evolução do dano

Identificação do dano	**Massa (kg)**	**Frequência (Hz)**	**Rigidez (*EI* em kN.m²)**	**Fator de Amortecimento (ζ)**
Íntegra	70,980	89,6	1346,88	0,49%
Dano 1	70,588	87,5	1284,49	0,46%
Dano 2	69,805	87,3	1278,62	0,48%
Dano 3	68,849	85,6	1229,31	0,68%
Dano 4	68,760	82,1	1130,84	0,74%
Dano 5	68,725	73,5	906,33	0,84%

Pelos resultados contidos na Tabela 4, foi possível observar que houve um decréscimo da frequência e da rigidez com o aumento do dano provocado na viga. Já em relação ao fator de amortecimento, como era de se esperar, observou-se que à medida que o dano provocado na viga aumentava, também aumentava o fator de amortecimento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

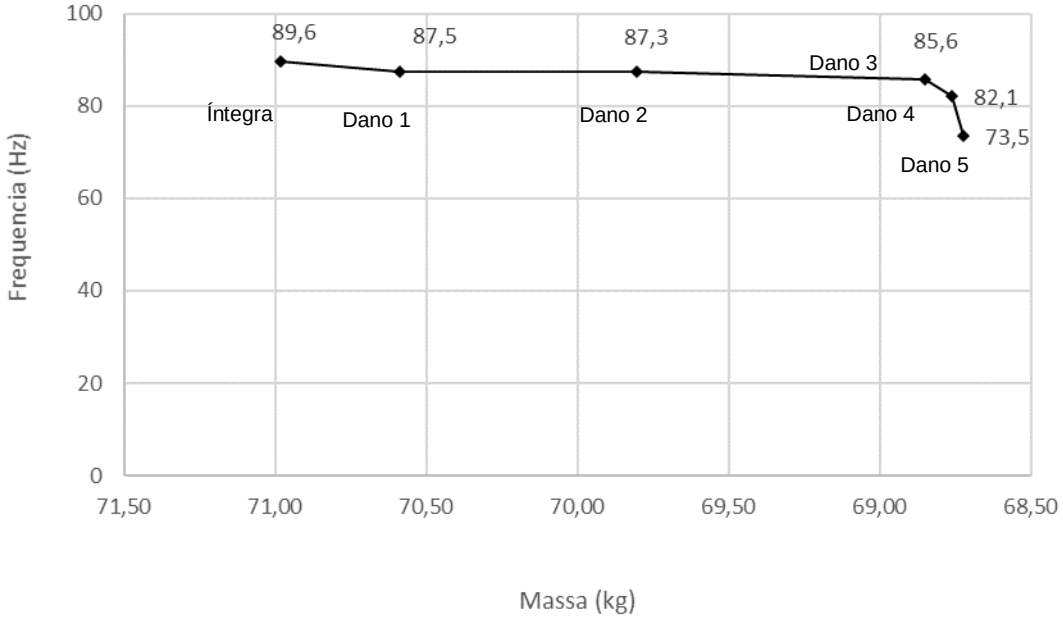


Figura 9: Evolução da frequência em função da perda de massa da viga

Por meio dos gráficos apresentados nas Figuras 9 e 10 é possível observar que os danos 4 e 5 provocados na viga, causaram acentuadas quedas na frequência e na rigidez. Tal fenômeno se dá pelo fato de que os danos 4 e 5 proporcionáram uma redução significativa da seção transversal, algo em torno de 20% de redução.

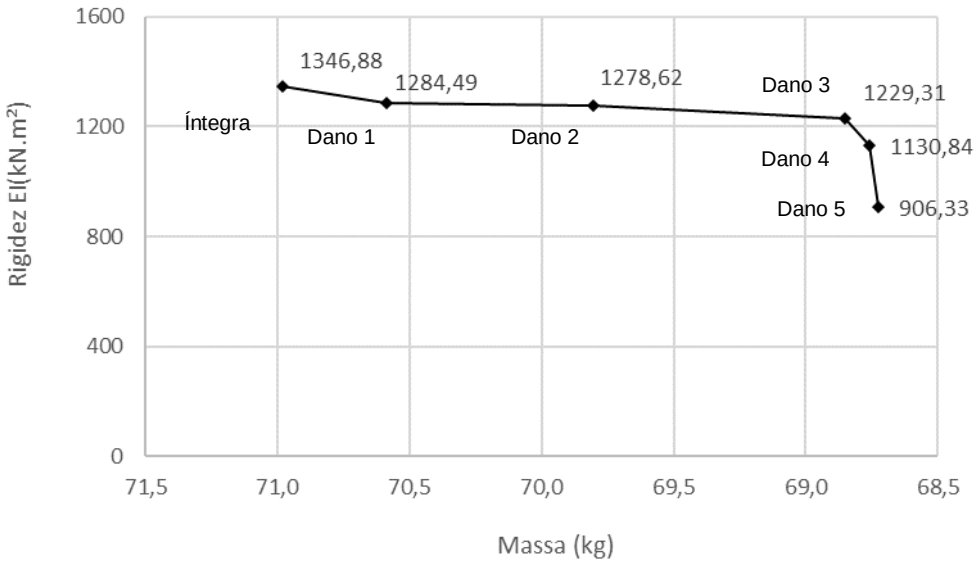


Figura 10: Evolução da Rigidez em função do acréscimo do dano

Como efeito inverso, os cortes na seção tranversal provocados nos danos 4 e 5 causaram um acentuado acréscimo no fator de amortecimento, conforme apresentado na Figura 11.

ISBN: 978-85-65425-32-2

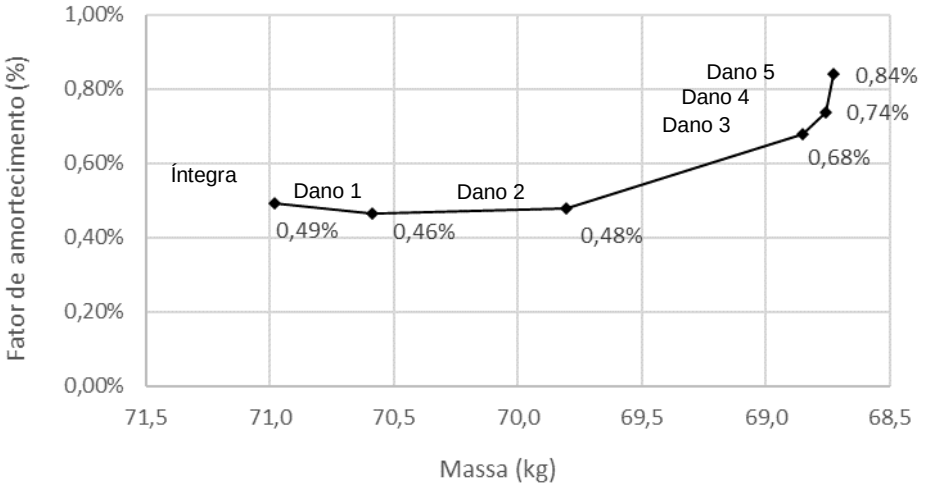


Figura 11: Evolução do fator de amortecimento em função do acréscimo do dano

5. Conclusões

Por meio do ensaio dinâmico realizado na viga de concreto, foi possível verificar que o incremento do dano introduziu uma redução da frequência fundamental e uma perda gradual da rigidez da peça. Já para o outro parâmetro analisado, verificou-se que o fator de amortecimento aumentou com o acréscimo do dano.

O ensaio dinâmico se mostrou uma ferramenta eficaz na identificação da variação dos danos na viga, tendo em vista que o incremento do dano no elemento ensaiado causa variações na sua frequência natural. O ensaio também se mostrou sensível a pequenas variações da danificação, visto que a massa subtraída em cada estágio foi percentualmente pequena, em relação a massa sua integra.

Outro aspecto relevante obtido com a realização do ensaio é a possibilidade da obtenção da rigidez em cada estágio da danificação, a qual pode-se denominá-la de rigidez residual do elemento. Com tal parâmetro é possível estimar o comportamento estrutural do elemento de forma mais realista.

O objetivo do trabalho foi alcançado, no que diz respeito a execução dos procedimentos experimentais e na obtenção dos parâmetros modais de um elemento estrutural. Os dados encontrados se mostraram coerentes com os referenciados na literatura.

Agradecimentos

Os autores registram seus agradecimentos à Universidade Federal de Viçosa, em especial a Pró-Reitoria de Administração pelo apoio logistico no desenvolvimento deste trabalho.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, S. F., Análise dinâmica experimental da Rigidez de elementos de concreto submetido à danificação progressiva até a ruptura. Dissertação (mestrado), escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006

CLOUGH R. W.; PENZIEN J. Dinamics of structures. 3nd ed. Singapore: McGraw-Hill International editions, 2003.

NOBREGA, P. G. B. Análise dinâmica de estrutura de concreto: Estudo experimental e numérico das condições de contorno de estruturas pré-moldadas. Tese (doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004

TERRA, M. F. S. P., Estudo de métodos numéricos baseados nas características modais para identificação de danos em vigas. Dissertação (mestrado), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2009.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO CLIMÁTICAS COMO REQUISITOS NORMATIVOS PARA DURABILIDADE DE FACHADAS

Review Of Facade's Durability Normative Requirements For Climatic Exposure Conditions

Rafael RIOS [1,a], **Vanda** ZANONI [2,b]
[1 e 2] Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de Brasília – UnB
[a] rafaelb.rios@gmail.com , [b] vandazanoni@unb.br

Resumo: As condições de exposição dos sistemas de fachadas estão fortemente relacionadas às características climáticas e ambientais que agem sobre o edifício. Constituem-se em um conjunto de ações que afetam diretamente a durabilidade e desempenho das fachadas. A identificação dos agentes de degradação é fundamental para orientar intervenções a serem realizadas nas diversas etapas do ciclo de vida, desde a fase projetual até as diversas fases de uso e manutenção. Esse entendimento é importante para balizar projetistas e profissionais que buscam melhorar o desempenho das edificações e minimizar sua degradação. Este trabalho visa apresentar e analisar conceitos e requisitos sobre condições de exposição com base em normas e estudos, nacionais e internacionais, verificando sua aplicabilidade no cenário nacional. Neste universo de análise estão inclusas a NBR 15.575 (Desempenho), a NBR 13.755 (Revestimento de Fachada), a NBR 6.118 (Obras e Projeto de Concreto Armado) e a BS ISO 15.686 (*Building and Constructed Assets - Service Life Planning*). Os resultados mostram que os critérios sobre as condições de exposição, contemplados pela norma de desempenho são insuficientes para os estudos de degradação dos sistemas de fachadas.

Palavras-chave: Condições de Exposição, Agentes Climáticos, Fachadas, Durabilidade, Desempenho.

Abstract: The façade's in-use conditions are directly related to the outdoor environment and the climactic conditions. Those conditions are composed by agents that acts on a building's durability and performance. The identification of those agents is essential to guide the interventions through the different phases on the life-cycle, from the design process to the maintenance and disposal processes. So, this comprehension is important to guide designers and professionals, and guarantee the best performance and reduction of the ageing processes. This paper present and analyze concepts and requirements about exposure conditions presented by standards and studies, from national and international perspectives. This analysis includes: NBR 15.575 (Performance); NBR 13.755 (Ceramic Tile Facades); NBR 6.118 (Reinforced Concrete) and BS ISO 15.686 (Building and Constructed Assets - Service Life Planning). As a result, in the NBR 15.575 was identified a lack of criteria about environmental classification on the facade's degradation studies.

Keywords: Exposure Conditions, Climatic Agents, Facades, Durability, Performance.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

As condições de exposição das edificações e seus componentes são constituídas por um conjunto de ações que afetam o seu desempenho e contribuem para o seu envelhecimento natural, por meio dos agentes e mecanismos de degradação. Em particular, as condições de origem climática afetam significativamente a durabilidade dos sistemas de fachadas devido a frequência cíclica e a sinergia dos agentes de degradação (ZANONI, 2015; JERNBERG *et al*., 2004; BS ISO, 2007).

Sendo assim, este artigo tem como objetivo identificar e relacionar requisitos normativos sobre as condições de exposição de origem climática dos sistemas de fachadas, de modo a estabelecer uma análise comparativa entre os diferentes escopos normativos.

Para esta abordagem, as normativas selecionadas, em âmbito nacional e internacional, apresentam diretrizes e conceitos relacionados às condições de exposição e durabilidade, e visam sistematizar procedimentos para a caracterização e atenuação dos principais agentes e mecanismos de degradação atuantes nos sistemas de fachadas.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013a; 2013b) estabelece requisitos e critérios relacionados à durabilidade e à vida útil aplicados às edificações, buscando atender as exigências dos usuários relativas à sustentabilidade. As normas prescritivas, como a NBR 6.118 (ABNT, 2014) de projeto de concreto armado e a NBR 13.775 (ABNT, 1996) para execução de revestimentos cerâmicos aderidos em fachadas, também foram analisadas. No âmbito internacional, a norma selecionada para as análises comparativas foi a BS ISO 15.686 - *Building and Constructed Assets - Service Life Planning* (BS ISO, 2011). Outras publicações científicas como as do CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*) foram tomadas como referencial teórico e conceitual para complementar as análises.

2. Condições de Exposição Climáticas

Os agentes climáticos devem ser considerados, na tomada de decisões na fase projetual, como representativos das condições de exposição climáticas que afetam fortemente a degradação dos elementos construtivos (BS ISO, 2007). Tais agentes atuam isoladamente ou de forma sinérgica, e para a avaliação de sua agressividade em relação aos sistemas, o conhecimento sobre cada um é fundamental, assim como os procedimentos de ensaio e de avaliação (DANIOTTI; CECCONI, 2010; HAAGENRUD, 2004).

Para a caracterização das condições ambientais, a definição da escala espacial é uma etapa importante, pois interfere na representatividade dos dados e na forma de sua coleta. A Figura 1 exemplifica diferentes escalas de análise do clima para a cidade de Brasília.

ISBN: 978-85-65425-32-2

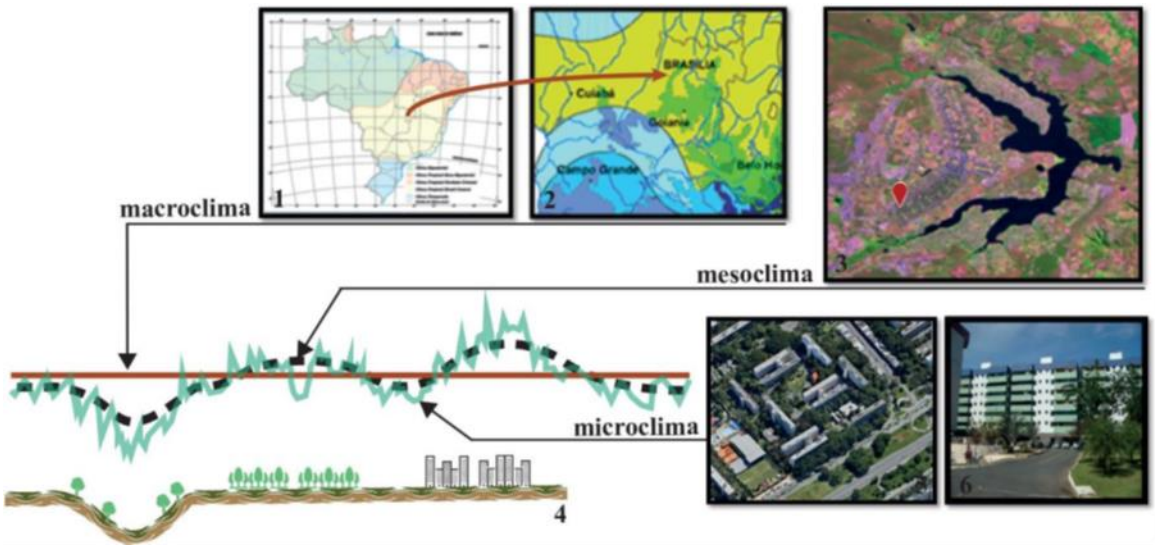


Figura 1 – Diferentes escalas de exposição ambiental (ZANONI, 2015)

As condições de exposição sofrem influência das características geográficas e ambientais, tais como latitude, distância de grandes corpos hídricos, composição urbana da área de análise, entre outros (JERNBERG *et al*.,2004; VAREJÃO–SILVA, 2005).

Os agentes de degradação podem oscilar entre as diversas escalas temporais, tais como dias, estações e ao longo dos anos. A escala temporal deve ser definida, pois afeta a análise dos procedimentos e ensaios para a avaliação da vida útil (WYPYCH, 2013; SILVA, 2009).

A degradação causada pela temperatura está relacionada ao comportamento cíclico-sazonal, que induz dilatação e retração dos materiais, promove tensões, e por meio desse processo repetitivo, ocorre a deterioração devido à fadiga; além disso a temperatura atua como catalizador de diversos processos de degradação, sejam eles físicos ou químicos (HAAGENRUD, 2004; WYPYCH, 2013).

A presença de água nos sistemas construtivos pode proporcionar variações de volume, lixiviação, além da difusão de agentes químicos, ou a reação entre a umidade e os compósitos do sistema (HAAGENRUD, 2004; SILVA, 2009).

A chuva dirigida é o resultado da sinergia entre o vento e a precipitação, promovendo a molhagem dos sistemas construtivos, responsável pelo desencadeamento de vários processos de envelhecimento relacionados à umidificação (BAUER,1987; ZANONI, 2015).

Para análise da ação da chuva dirigida no processo de molhagem, além do vento e da precipitação, são considerados diferentes fatores, tais como, rugosidade da fachada, altura e geometria da edificação, além de aspectos urbanos relacionados à densidade, topografia, entre outros (ZANONI, 2015; BLOCKEN *et al*., 2013).

O vento, além de atuar na chuva dirigida, também é determinante no processo de secagem e na geração de tensões na estrutura, ou até mesmo na erosão dos materiais de revestimento (HAAGENRUD, 2004; WYPYCH, 2013).

ISBN: 978-85-65425-32-2

A radiação solar influencia, não apenas a variação da temperatura do ar, mas também as temperaturas superficiais dos sistemas de fachadas. Além disso, a radiação solar é determinante na vida útil de materiais de base orgânica, como pinturas, rejuntes e selantes, pois a incidência solar afeta as propriedades físico-químicas, de modo a reduzir seu desempenho e alterar a aparência (HAAGENRUD, 2004; CHAI, 2011).

Por fim, apesar de não ser uma variável climátológica, a poluição no ambiente externo pode agir de forma sinergica com os agentes de origem climática, afetando os mecanismos de degradação que atuam nas fachadas (HAAGENRUD, 2004).

3. Normas Brasileiras

3.1 NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho

Esta norma estabelece requisitos e critérios de desempenho em edificações habitacionais, e a avaliação pode ser feita para um único sistema, bem como para os subsistemas que o compõem. Os itens segurança, habitabilidade e sustentabilidade são considerados exigências dos usuários, sendo que a durabilidade e manutenibilidade são fatores da sustentabilidade.

A estanqueidade às fontes de umidade externa é contemplada nas exigências de habitabilidade. A avaliação é feita por meio da verificação das condições de implantação descritas em projeto, que devem prever as ações de água de chuva e umidade ascendente. Para os Sistemas de Vedações Verticais Externas - SVVE, o projeto deve apresentar detalhes construtivos para as interfaces e juntas entre componentes que evitem a ação dos agentes de degradação atuantes (ABNT, 2013a).

Além disso, são definidos critérios e procedimentos de avaliação da estanqueidade das fachadas, por meio de ensaio de corpo de prova exposto a uma vazão continua de água, sob pressão pneumática, correspondente a uma das 5 regiões caracterizadas pela intensidade do vento. A partir do ensaio, são verificados o tempo para aparecimento de manchas, na face oposta à incidência de água, e a porcentagem da área manchada, após 7 horas de ensaio (ABNT, 2013b).

Quanto à análise do desempenho térmico, a norma define dias típicos de verão e inverno que são dias reais, segundo a média do período dos últimos 10 anos para os dias mais quente e mais frio do ano, caracterizados pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal.

A norma remete à NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) que define o zoneamento bioclimático brasileiro e suas diretrizes de desempenho térmico. São 8 zonas bioclimáticas baseadas nas estratégias de condicionamento interno propostas por Givoni (1992), a partir da umidade relativa e temperatura do ar.

O requisito de durabilidade é avaliado pela vida útil, definida como o período no qual um produto é capaz de cumprir com suas funções, de forma a atender o desempenho requerido, desde que realizadas as manutenções necessárias.

A norma apresenta o conceito de vida útil de projeto (VUP) que é a vida útil de referência, majorada ou minorada pelos fatores externos ao controle do projetista, como as ações de origem climáticas, entre outras condicionantes do projeto.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Para a definição da VUP mínima de cada sistema que compõem a edificação, a norma alerta para os efeitos das falhas no desempenho, a manutenibilidade do sistema e o custo de manutenção.

Para avaliar o requisito de durabilidade quanto ao deslocamento, fissuração e falhas nas paredes externas é feito um ensaio laboratorial de desempenho, no qual o corpo-de-prova é exposto a 10 ciclos de aquecimento e resfriamento – aquecido, até aproximadamente 80ºC. Após 45min da estabilização da temperatura de 80ºC, é verificado o deslocamento horizontal e, após 1 hora mantido nesta condição, o corpo de prova é resfriado com jatos de água até atingir 20ºC. A partir disso, são registradas as fissuras, deslocamentos ou quaisquer outras anomalias que surjam no decorrer do ensaio. Assim, caso não haja o aparecimento de anomalias ou deslocamentos significativos, é concedido o nível de desempenho mínimo.

Para os requisitos relacionados à manutenibilidade, a avaliação é feita a partir da análise do manual de operação, uso e manutenção. O sistema construtivo deve permitir ou favorecer as inspeções prediais, assim como as manutenções rotineiras, preventivas e corretivas, quando necessárias.

3.2 NBR 13.755 – Projeto e execução de revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante

A NBR 13.755 (ABNT, 1996) estabelece requisitos para fiscalização, execução e recebimento de serviços relacionados ao revestimento de paredes externas com placas cerâmicas assentadas com argamassa colante. Esta norma está em fase de revisão, por meio do projeto de norma CE 189.000-03 (ABNT, 2017).

A norma vigente prescreve o uso de juntas de dilatação afim de permitir a movimentação causada pelas variações de temperatura e umidade do sistema (ABNT, 1996). Para o assentamento das placas cerâmicas, deve-se evitar a execução logo após chuvas, devido à saturação do emboço, assim como evitar a molhagem em seguida ao assentamento. A temperatura do ar deve ser observada na execução do revestimento, os serviços devem ser executados entre +5ºC e +40ºC, e seus componentes a uma temperatura de +5ºC a +27ºC, prevenindo deformações imediatas (ABNT, 1996).

A NBR 13.755 enfatiza a temperatura do ar como variável a ser considerada no processo executivo, já o projeto de revisão da norma (ABNT, 2017) considera que, durante a execução do revestimento, devem ser evitadas certas temperaturas como aquelas já citadas na norma vigente. Porém, além disso, a umidade relativa, no período de aplicação, não deve estar abaixo de 25%.

A aplicação da argamassa colante deve considerar as condições climáticas para estipular o tempo em aberto para assentamento, pois caso seja identificado insolação, temperaturas ou ventos elevados, este tempo para assentamento é reduzido (ABNT, 1996).

O projeto de norma CE 189.000-03 (ABNT, 2017) amplia as exigências da NBR 13.755 e acrescenta algumas diretrizes em relação à composição e propriedades do sistema de fachada. São definidas propriedades quanto à absorção máxima dos revestimentos cerâmicos de 6% para condições normais e, caso haja temperaturas iguais ou inferiores a 0ºC, esta absorção não deve superar os 3%. Além disso, os selantes utilizados em juntas

ISBN: 978-85-65425-32-2

devem apresentar resistência aos agentes químicos, às intempéries, à radiação ultravioleta, à temperatura e aos demais agentes que possuam potencial de degradação.

Em sua revisão a norma determina que os dados de entrada na fase projetual levem em consideração a variação térmica, especificamente as condições climáticas de curto e médio prazo, a insolação das fachadas e as temperaturas na época de assentamento (ABNT, 2017).

3.3 NBR 6.118 – Projeto de estruturas de concreto

A NBR 6.118 estabelece requisitos básicos para um projeto em estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídos alguns casos em que são aplicados concretos especiais. Nas fachadas em concreto aparente, as estruturas podem estar expostas (ABNT, 2014).

A norma de estruturas de concreto determina requisitos de durabilidade. A estrutura deve possuir a capacidade de resistir às ações ambientais previstas, dentre estas, as de origem climática. Deste modo, dentre as diretrizes proposta para atender às exigências de durabilidade deve-se cumprir os requisitos de vida útil, por meio da preservação do desempenho, seja estético ou estrutural, sem que haja intervenções significativas não previstas.

A NBR 6.118 (ABNT, 2014) descreve os principais mecanismos de degradação das estruturas de concreto, como a lixiviação, que dissolve e carrega os compostos hidratados dos compósitos de cimento pela ação das águas; para prevenir a ação deste mecanismo, a norma recomenda restringir a fissuração e proteger as superfícies expostas com produtos hidrófugos, como argamassas aditivadas e pintura, de modo a reduzir a infiltração de água.

Para o aço, a norma lista os processos de despassivação, que podem ser por carbonatação ou pela ação de cloretos. Deste modo, a prevenção está relacionada à porosidade, ao cobrimento e à composição do concreto, pois estas características determinam o grau de interação entre o aço e seus agentes de degradação.

Os principais mecanismos de degradação do sistema estrutural estão relacionados às ações mecânicas, impactos, ações químicas e retrações, além das ações cíclicas (como as movimentações de origem térmica). Para a preservação da estrutura, a norma determina que estas ações devem ser combatidas por meio de medidas preventivas, de acordo com sua exposição, tais como, o uso do isolamento térmico em lajes de cobertura para prevenir os danos causados pelas variações térmicas.

Diante da preocupação com a durabilidade da estrutura, a NBR 6.118 (ABNT, 2014) apresenta uma classificação da agressividade ambiental, e diretrizes baseadas nesta classificação, conforme a Tabela 1.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 1 - Classificação de Agressividade Ambiental e suas Diretrizes para Concreto Armado (adaptado da ABNT, 2014).

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura	Exigências Relativas à Fissuração	Cobrimento Nonimal (mm)		
					Laje	Viga/ Pilar	Elementos em Contato com o Solo
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante	≤ 0,4mm	20	25	30
II	Moderada	Urbana [a,b]	Pequeno	≤ 0,3mm	25	30	30
III	Forte	Marinha [a] Industrial [a,b]	Grande	≤ 0,3mm	35	40	40
IV	Muito Forte	Industrial [a] Respingos de Maré	Elevado	≤ 0,2mm	45	50	50

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

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

4. Normas Internacionais

A BS ISO 15.686 determina diretrizes para o planejamento da vida útil na construção civil, baseadas nas condições de exposição de origem climática e seus impactos à durabilidade, entre outros (BS ISO, 2011).

A estrutura da norma consiste em onze partes:

- BS ISO 15.686-1: *General Principles and Framework*.
- BS ISO 15.686-2: *Service Life Prediction Procedures*.
- BS ISO 15.686-3: *Performance Audits and Reviews*.
- BS ISO 15.686-4: *Service Life Planning Using Building Information Modelling*.
- BS ISO 15.686-5: *Life-Cycle Costing.*
- BS ISO 15.686-6: *Procedures for Considering Environmental Impacts*.
- BS ISO 15.686-7: *Performance Evaluation for Feedback of Service Life Data from Practice.*

ISBN: 978-85-65425-32-2

- BS ISO 15.686-8: *Reference Service Life and Service-Life Estimation*.
- BS ISO 15.686-9: *Guidance on Assessment of Service-Life Data*.
- BS ISO 15.686-10: *When to Assess Functional Performance*.
- BS ISO 15.686-11: *Terminology*.

4.1 BS ISO 15.686 – *Buildings and Constructed Assets – Service Life Planning Part* 1 – *General principles and Framework*

Em sua primeira parte, a BS ISO 15.686 (BS ISO, 2011) apresenta os princípios do planejamento da vida útil e procedimentos sistemáticos para que uma edificação trabalhe de forma satisfatória ao longo de sua vida útil. Por conseguinte, o planejamento deve dispor de informações suficientes sobre a vida útil estimada; os projetos e a execução devem respeitar as limitações de custos e de impactos ambientais ao longo do ciclo-de-vida. Do mesmo modo, o uso e ocupação da edificação devem respeitar as premissas de projeto, os prazos para manutenções, trocas e reparos para garantir o desempenho adequado.

Outro aspecto importante da referida norma é a integração do planejamento da vida útil às fases de projeto, pelo fato de as decisões tomadas em projeto afetarem consideravelmente a vida útil da edificação.

A norma toma a etapa de levantamento de dados como fundamental para aprimorar a estimativa de vida útil. Para tanto, considera a forma de coleta de dados, principalmente em relação à sua qualidade, decisiva para os resultados a serem produzidos. Neste contexto estão incluídos os dados relativos às condições de exposição de origem climática, junto à diversos outros fatores, como a qualidade da construção, a manutenção e o uso.

A BS ISO 15.686-1 (2011) descreve a obsolescência, adaptação e reuso como etapas do ciclo de vida, e tais etapas estão diretamente relacionadas à durabilidade e às exigências dos usuários. A partir da degradação, ou da mudança das exigências do usuário, são necessárias intervenções para a reabilitação ou demolição da edificação.

Em seus anexos, a BS ISO 15.686-1 (2011) define a forma como a previsão de vida útil deve ser feita durante a fase de projeto. Dentre as etapas descritas, a caracterização do ambiente é fundamental. O projeto deve considerar os agentes de degradação, seja por intensidade, concentração ou frequência. Sua caracterização deve ser feita de forma particular para cada projeto, devido as variações entre os diferentes microclimas.

4.2 BS ISO 15.686 – *Buildings and Constructed Assets – Service Life Planning Part* 2 - *Service Life Prediction Procedures*

A BS ISO 15.686-2 (BS ISO, 2012) determina os procedimentos para previsão de vida útil de sistemas e sub-sistemas de edificações. Uma das etapas prevê a identificação de agentes e mecanismos de degradação com base nos sistemas construtivos utilizados.

Após a identificação desses agentes e mecanismos de degradação, é analisado o comportamento do sistema quando exposto a tais condições de exposição ou condições representativas desta exposição, para que seja definido o método de obtenção dos dados de envelhecimento natural, que podem ser ensaios acelerados de curta duração ou exposição em campo, de longa duração.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Este levantamento dos agentes de degradação é fundamental. Deve-se abordá-los de maneira mais abrangente possível. Em casos onde não seja possível, pode-se buscar ponderações fundamentadas.

São quatro os métodos de exposição de longa duração: de campo aberto, de inspeção predial, de exposição em edifícios experimentais e de uso. Para a exposição em campo aberto, os corpos de provas são expostos às condições atmosféricas e são monitoradas as intensidades dos agentes e o envelhecimento do sistema em estudo. A coleta de dados, por meio da inspeção predial, deve contemplar um número de edifícios suficiente para que haja significância estatística. Os procedimentos que devem ser seguidos estão descritos na BS ISO 15.686-7 (2007). A exposição em edifícios experimentais monitora a durabilidade dos componentes da edificação em edifícios específicos ao teste dos componentes. Para a exposição em uso, é feita a avaliação da vida útil dos componentes em um edifício ou estrutura em operação usual.

Nos ensaios de curta duração, as amostras são expostas às condições pré-definidas, e são monitorados os dados de desempenho do sistema. Ao final, são relacionados os agentes de degradação e anomalias decorrentes.

Independentemente do tipo de ensaio, deve-se verificar se os resultados encontrados são representativos dos sistemas existentes; se os agentes de degradação identificados são suficientes, e se está sendo considerada a sinergia entre eles. Por fim, são propostas as relações de desempenho ao longo do tempo, ou seja, as relações de dose-resposta.

Outro método descrito para determinação da vida útil é o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), que se inicia a partir da identificação de uma falha, seja estrutural ou funcional. A partir disso, o sistema é analisado como um todo, desde os motivos da falha, até as suas consequências nos sistemas e subsistemas, e assim são propostas as soluções. Para a análise de vida útil, este método pode propor sluções para combater ou atenuar os agentes de degradação a partir de sua identificação e da forma como atuam.

4.3 BS ISO 15.686 – *Buildings and Constructed Assets – Service Life Planning Part* 7 – *Performance Evaluation for Feedback of Service Life Data from Practice*

A BS ISO 15.686-7 (2007) descreve uma base referencial para a avaliação e coleta de dados sobre a vida útil em edificações existentes. Isto inclui a definição de termos e de procedimentos a serem seguidos.

Esta avaliação baseia-se no Método Fatorial, detalhado na BS ISO 15.686-8 (2008), que lista os principais fatores de análise para estimativa da vida útil, verificadas as variações de desempenho no decorrer do tempo, considerando as intervenções efetuadas durante este período (qual etapa do ciclo de vida que a edificação se encontra).

Neste âmbito, é fundamental a caracterização do ambiente externo. Assim, a BS ISO 15.686-7 (2007) apresenta diferentes modos de caracterização e classificações ambientais, como o utilizado pela *European Organization of Technical Approvals* – EOTA, conforme as *Tabela* 2 eTabela 3.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 2 - Subdivisão relacionando temperatura e radiação ultravioleta (adaptado da BS ISO, 2007)

Parâmetro	Clima Moderado	Clima Severo
Radiação Horizontal Anual (GJ/m²)	<5	≥5
Temperatura diária média no mês mais quente do ano (ºC)	<22	≥22

Tabela 3 - Subdivisão Europeia de Temperatura (adaptado da BS ISO, 2007)

Zona	Condições de Inverno	Condições de Verão
A	Invernos frios Meses com temperatura raramente acima de 0ºC Temperatura diária média menor que 0ºC Temperaturas Mínimas podem ser menor que -30ºC	Temperaturas Máximas raramente acima de 30ºC
B	Invernos Moderados Neve frequente Temperatura diária média entre 0ºC e 5ºC Temperaturas Mínimas podem ser menor que -20ºC	Temperaturas Máximas ocasionalmente acima de 30ºC
C	Inversos quentes Pouca frequência de neve Temperatura diária média acima de 5ºC	Temperaturas Máximas frequentemente acima de 30ºC. Ocasionalmente acima de 40ºC
Regiões Montanhosas acima de 1000m	Idem Zona A	Idem Zonas B ou C

Para a caracterização do ambiente, a EOTA considera algumas condições especiais como a maresia, a poluição e a alta intensidade de chuvas e ventos.

Outro modelo proposto pela BS ISO 15.686-7 (2007) é a classificação climática global que considera dois fatores principais: a temperatura e a chuva e/ou umidade, descritas na Tabela 4, além de propor um modelo de classificação de poluição ambiental.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 4 - Classificações de Temperatura e Umidade da BS ISO 15.686 (adaptado da BS ISO, 2007)

	Classificação	Condições
Chuva/ umidade	Seco	Precipitação anual de 400mm ou Umidade relativa média anual às 9:00 am <50%.
	Sub-úmido	Precipitação anual entre 400 e 800mm ou Umidade relativa média anual às 9:00 am entre >50% e <70%.
	Úmido	Precipitação anual entre 800 e 1300mm ou Umidade relativa média anual às 9:00 am entre >70% e <80%.
	Muito úmido	Precipitação anual acima de 1300mm ou Umidade relativa média anual às 9:00 acima de <80%.
Temperatura	Frio	A Temperatura mensal mínima é <-5ºC por mais de 2 meses ao ano Ou a temperatura mensal máxima para o mês mais quente é menor que 10ºC
	Temperado	A Temperatura mensal mínima é <-5ºC por não mais que um mês ao ano E a temperatura mensal máxima é >35ºC para no máximo um mês do ano.
	Quente	A temperatura mensal máxima é >35ºC para mais de um mês do ano.

Na análise do microclima, a norma propõe um modelo de chuva dirigida que está descrito na ISO 15927 *Hygrothermal performance of buildings - Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data* (ISO, 2009). Para sua quantificação, são considerados a rugosidade, a topografia, o nível de obstrução e a geometria da fachada de estudo.

Além da caracterização ambiental, o processo de avaliação do desempenho de edificações existentes contempla a análise documental, como normas, especificações de materiais e sistemas construtivos, projetos e documentos específicos.

Deve-se definir o nível de inspeção, em função do grau de detalhamento, qualificação do inspetor e métodos utilizados. As informações devem constar em relatório, cujo formato é por ela normatizado.

4.4 BS ISO 15.686 – *Buildings and Constructed Assets – Service Life Planning Part* 8 – *Reference Service Life and Service-Life Estimation*

Os procedimentos e os fatores de análise para a definição da vida útil de referência e estimativa de vida útil estão descritos na BS ISO 15.686-8 (2008). A primeira etapa da definição da vida útil de referência é a coleta de dados, estes dados são fornecidos pela experiência prática e pelos métodos de exposição, como os citados na BSI ISO 15.686-2 (2012).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Para a vida útil de referência, é feita a avaliação da qualidade dos dados e sua composição. A norma determina que os dados contenham uma descrição básica sobre os materiais e componentes, e informações sobre a vida útil, que indiquem as condições de uso, as propriedades críticas e o desempenho desejado.

Para a utilização do Método Fatorial devem ser caracterizados os fatores de análise descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Classe dos Fatores (BS ISO, 2008)

Fator	Designação do Fator
A	Qualidade dos Materiais e Componentes
B	Qualidade do Projeto
C	Qualidade Executiva
D	Características do Ambiente Interior
E	Características do Ambiente Exterior
F	Condições de Serviço (Uso e Operação)
G	Nível de Manutenção
RSLC	Vida Útil de Referência
ESLC	Vida Útil Estimada

A partir desta caracterização dos fatores são propostos valores para que se estime a vida útil de um sistema especifico (t_{ESL}), relacionando-o a uma vida útil de referência (t_{RSL}). Esta ponderação pode ser feita em um modelo multiplicativo, como a equação 1, ou definida uma função Φ, conforme a equação 2.

$t_{ESL} = t_{RSL}$ x Fator A x Fator B x Fator C x Fator D x Fator E x Fator F x Fator G (Eq. 1)

$t_{ESL} = t_{RSL}$ x Φ(Fator A x Fator B x Fator C x Fator D x Fator E x Fator F x Fator G) (Eq. 2)

A partir disso, é feita a análise estatística do resultado, para verificar as probabilidades de ocorrência e os intervalos de confiança. Em caso de significância, o modelo pode ser utilizado.

5. Análise

Para a análise da degradação de fachadas, a coleta de dados climáticos é um processo complexo, devido a sua imprevisibilidade e a significância dos dados em diferentes escalas (JERNBERG *et al*., 2004). Esta dificuldade de coleta remete ao uso de caracterizações simplificadas, como a classificação climática global proposta pela BS ISO 15.686 (2007) que estabelece a severidade ambiental com base na temperatura e umidade. O zoneamento bioclimático brasileiro também se baseia nestas variáveis - temperatura e

ISBN: 978-85-65425-32-2

umidade. A própria NBR 15.575 (ABNT, 2014a) apresenta os parâmetros de dia típico como referência das condições climáticas. Nas normas prescritivas, pela delimitação do escopo de análise, a caracterização dos agentes de degradação induz a um maior detalhamento, embora nem sempre se verifique.

Apesar de diversos estudos nacionais e internacionais sobre agentes e mecanismos atuantes sobre as fachadas, como a variação térmica, a intensidade de chuva dirigida e a radiação solar incidente na superfície (ZANONI, 2015; SILVA, 2009; CHAI, 2011; MORELLI, 2008) a norma de desempenho não define um modelo de avaliação da degradação causada pelas condições de exposição climáticas em fachadas (ABNT, 2013a; 2013b).

Dentre as normas prescritivas, embora abordada na revisão da NBR 13.755 (ABNT, 2017), não foi criada uma classificação de agressividade ambiental para definição de diretrizes normativas de fachadas. Já na NBR 6.118, esta classificação da agressividade ambiental e suas diretrizes são determinadas (ABNT, 2014).

A NBR 15.575 (ABNT, 2013b) faz a verificação da estanqueidade dos sistemas de fachadas que se baseia na aplicação de água submetida a uma pressão pneumática de acordo com as diferentes intensidades de vento nas regiões do Brasil. Este ensaio se assemelha à incidência de chuva dirigida, e conforme abordado em normas internacionais, há a influência de outras variáveis, além do vento e da precipitação, dentre elas a densidade urbana e a geometria da edificação (ISO, 2009). Apesar de o ensaio de estanqueidade avaliar o comportamento mediante a molhagem das fachadas, não é feita uma análise em relação à sua perda de desempenho ao longo do tempo, devido aos processos cíclicos de molhagem e secagem, tampouco um método para avaliar a degradação decorrente da exposição do edifício ao envelhecimento natural.

Para a avaliação de desempenho do sistema mediante as variações térmicas abruptas e os ciclos de aquecimento e resfriamento por molhagem, é feito o ensaio da verificação do comportamento do SVVE exposto à ação de calor e choque térmico. Entretanto, alguns autores defendem o aprofundamento dos estudos dos ciclos de degradação e a ampliação do número de variáveis, pois uma gama maior de resultados e uma definição mais precisa dos ciclos aumentaria a representatividade e a contribuição para os estudo da vida útil (DANIOTTI; CECCONI, 2010; KAZMIERCZAK *et al*., 2016).

No procedimento proposto pela NBR 15.575, para a definição da VUP, não constam diretrizes sobre as condições de exposição climáticas (ABNT, 2013a). Diferentemente do exposto na BS ISO 15.686, que além de incluir as condições de exposição na estimativa da vida útil, determina que haja a identificação dos agentes e mecanismos de degradação nas diversas etapas de estudo (BS ISO, 2007; 2008; 2011; 2012).

6. Conclusões

A preocupação com a durabilidade dos sistemas de fachadas é abordada por meio de diretrizes do campo normativo. Assim, os agentes de degradação de origem climática tem papel determinante nas tomadas de decisões, seja na fase projetual, pela escolha de materiais e dimensionamento, ou na verificação do desempenho do sistema.

Com base na BS ISO 15.686, foi feita a análise das diretrizes propostas pelas normas nacionais, relacionando os procedimentos metodológicos para a avaliação de desempenho e estimativa de vida útil de sistemas de fachadas. A partir disso, concluiu-se que:

ISBN: 978-85-65425-32-2

- A norma de desempenho NBR 15.575 não considera as condições de exposição ambientais nos procedimentos para a avaliação do envelhecimento natural dos sistemas da edificação. Ou seja, não estabelece parâmetros ou critérios sobre modelos de degradação.
- Na norma de fachadas (NBR 13.755), apesar de diversos estudos relacionados à degradação de sistemas de revestimento de fachadas causada pelas condições de exposição, não se apresenta uma classificação de agressividade ambiental.
- Foram identificadas classificações ambientais na NBR 15.575, como o zoneamento bioclimático brasileiro e o mapa de exposição ao vento, porém são insuficientes para os estudos sobre durabilidade e vida útil.
- A norma de desempenho utiliza ensaios para a avaliação de critérios quanto à durabilidade. Entretanto, tais ensaios podem ser ampliados para que haja uma maior compreensão dos processos de degradação ao longo da vida útil, inclusive aqueles relacionados à umidade e ao comportamento higrotérmico, na fase de envelhecimento natural das edificações.

Agradecimentos

O autor Rafael Rios agradeçe a oportunidade no programa Ciência sem Fronteiras financiado pela CAPES.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1996). ABNT. NBR 13.755 - Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2005). ABNT. NBR 15220-3 - Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2013a). ABNT. NBR 15575-1 - Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2013b). ABNT. NBR 15575-4 - Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2014). ABNT. NBR 6118 - Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2017). Projeto CE 189:000-03 - Projeto e execução de revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante — Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Bauer, E. (1987). Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS. Porto Alegre, Brasil.

Blocken, B.; Derome, D.; Carmeliet, J. (2013). Rainwater runoff from building facades: A review. In: Building and Environment, v.60, p. 339 - 361.

British Standard Institution. (2007). BS. ISO 15686-7 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice. Londres.

_____. (2008). BS ISO 15686-8 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 8: Reference service life and service-life estimation. Londres.

_____. (2011). BS ISO 15686-1 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General Principles and Framework. Londres.

_____. (2012). BS ISO 15686-2 Buildings and constructed assets — Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures. Londres.

Chai, C. (2011). Previsão da vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. 276 p.

Daniotti, B.; Re Cecconi, F. (2010). Prediction of service life of building component and materials. Accelerated laboratory test procedures and correlation between laboratory tests and service life data. CIB W080, Milão, Itália.

Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. In: Energy and Buildings, v.18. Los Angeles, EUA. p. 11-23.

Haagenrud, S. (2004). Factors Causing Degradation: Part II. In: Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components. CIB Publication 295, p.1.2-104. CIB, Rotterdam.

International Organization for Standardization – ISO (2009). EN ISO 15927-3 - Hygrothermal Performance of Buildings - Calculation and presentation of climatic data – Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data. Geneva.

Jernberg, P.; Sjöström, C.; Lacasse, M. A.; Brandt, E.; Siemes, T. (2004). Service life and Durability research. In: Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components. CIB Publication 295, p.11-59. CIB, Rotterdam.

Kazmierczak, C.; Kulakowski, M.; Brehm, F.; Sentena, J.; Marquetto, L. (2016). Considerações sobre a Avaliação da Durabilidade de Revestimentos de Argamassa com Incorporação de

ISBN: 978-85-65425-32-2

Resíduos por Meio de Ensaios Acelerados com Ciclos Térmicos. In: Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade. 147-175 p.

Morelli, F. (2008). Aplicações de sistemas de informações geográficas ao ambiente construído: mapeamento dos agentes de degradação dos materiais e sistemas de construção. Tese (Doutorado). ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil.

Silva, A. (2009). Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. 171 p.

Varejão–Silva, M. A. (2005). Meteorologia e Climatologia. Instituto Nacional de Meteorologia, 2.ed. Brasil. 515p.

Wypych, G. (2013). Handbook of Material Weathering. 5. ed. Toronto, Canada.

Zanoni, V. (2015). Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasil. 293 p.

ISBN: 978-85-65425-32-2

DETECÇÃO E RECUPERAÇÃO PATOLÓGICA NA FUNDAÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EM RECIFE-PE

Detection And Pathological Recovery In The Foundation Of Reinforced Concrete Structure In Recife-PE

Bruno DE SOUSA TETI[1], **Iago** SANTOS CALÁBRIA[2], **Amâncio** DA CRUZ FILGUEIRA FILHO[3]
[1] Universidade de Pernambuco - UPE, Recife-PE, Brasil, Bruno_Teti@hotmail.com
[2] Instituto Brasileiro de Educação Continuada - INBEC, Recife-PE, Brasil, Iago_SC@hotmail.com
[3] Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Recife-PE, Brasil, Amânciofilgueira@hotmail.com

Resumo: A atividade de recuperação das estruturas é de suma importância para a comunidade da construção civil, pois grandes desgastes são prevenidos e evitados atenuando assim problemas com dimensões catastróficas. Porém, a sociedade também se beneficia com o avanço dessa ciência, pois servida por ela encontra maneiras de driblar seus problemas e continuar se desenvolvendo. Com o crescimento das estruturas em concreto armado, cresceu também os problemas gerados pela manipulação de um material ainda pouco conhecido. Foi como consequência dessa causa que originou o surgimento dos estudos para, não apenas recuperar, mas prevenir os erros advindos desse processo construtivo após a o entendimento específico do comportamento desses materiais que estão em integração constante com o meio ambiente. Partindo das pesquisas realizadas em campo, foi verificada a necessidade da adequação da metodologia proposta para facilitar as descobertas de patologias que se desenvolvem silenciosamente, pois o significativo aumento dos custos, segundo a lei dos cinco, pode tornar as recuperações estruturais, financeiramente inviáveis. Portanto, o estudo de caso desenvolvido neste artigo descreve uma metodologia proposta para avaliar os possíveis erros de execução na obra estudada e que podem acontecer em qualquer processo construtivo que possua estruturas de concreto armado, mostrando também as ações prevencionista necessárias para a descoberta dos problemas e a solução tomada para a correção da estrutura estudada.

Palavras-chave: Construção. Prevenção. Patologia. Recuperação.

Abstract: The activity of recovering the structures is of paramount importance for the construction community, since large wear and tear are prevented and avoided, thus reducing problems with catastrophic dimensions. However, society also benefits from the advancement of this science, because it finds ways to overcome its problems and continue to develop. With the growth of structures in reinforced concrete, the problems generated by the manipulation of a still little known material grew. It was as a consequence of this cause that the emergence of studies not only to recover but to prevent the errors arising from this constructive process after the specific understanding of the behavior of these materials that are in constant integration with the environment. Based on the research carried out in the field, it was verified the need to adapt the proposed methodology to facilitate the discoveries of pathologies that develop silently, since the significant increase in costs, according to the law of the five, can make the structural recoveries, financially infeasible. Therefore, the case study developed in this article describes a methodology proposed to evaluate the possible

ISBN: 978-85-65425-32-2

errors of execution in the work studied and that can happen in any constructive process that has reinforced concrete structures, also showing the prevencionista actions necessary for the discovery of the problems and The solution taken for the correction of the studied structure.

Keywords: Construction. Prevention. Pathology. Recovery.

1. Introdução

O estudo e desenvolvimento dos metódos preventivos para precoce descoberta das patologias tem como finalidade alertar a toda essa comunidade como proceder para que os problemas dentro do canteiro possam diminuir, gerando um maior entendimento das situações vivenciadas no dia a dia e melhorando coletivamente todo o caos que advém dessas falhas, visto que toda a sociedade é afetada.

Na construção civil grande parte dos trabalhadores não possuem qualificações específicas para executar algumas tarefas que, inicialmente podem parecer simples, mas possuem um grau de complexidade elevado devido à importância do segmento para o equilíbrio das estruturas, como é o caso da utilização da concretagem. Isso pode acarretar problemas estruturais diagnosticados como patologias que podem ser visivelmente identificados ou aparentar um perfeito estado; neste último caso torna-se muito difícil erradicar as deficiências na área, pelo fato de não ser visto facilmente.

O estudo e conhecimento dessas patologias como consequência de execução traz a possibilidade de serem implantadas medidas de aprimoramento profissional proporcionando uma maior vida útil da estrutura e minimização de gastos, além de aperfeiçoamento pessoal do trabalhador.

A figura 1 mostra estimativamente o quanto é gasto se forem negligenciadas as boas práticas construtivas, segundo Sitter (1983).

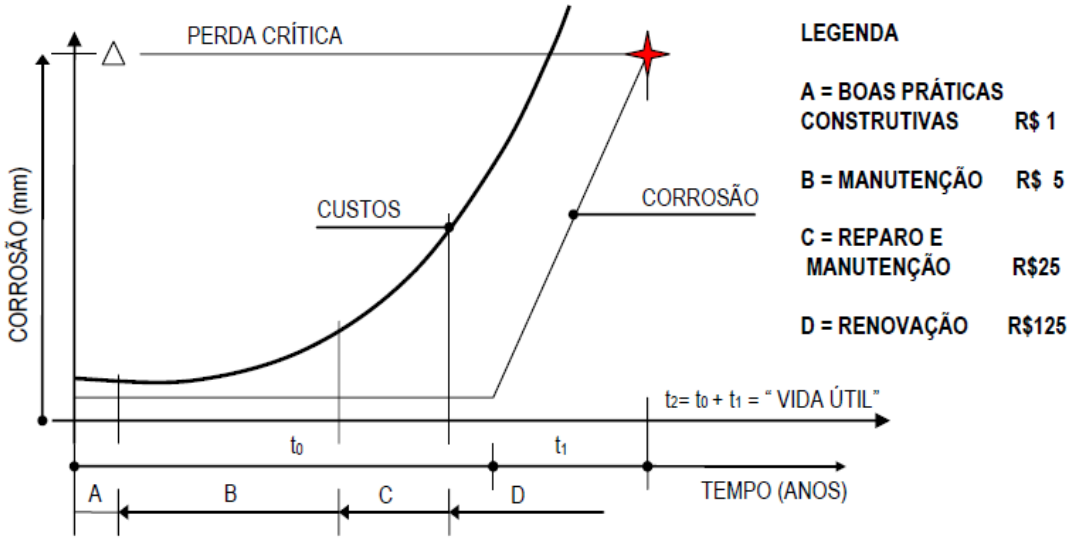


Figura 1 – Gráfico da lei dos cinco. (Sitter, 1983).

ISBN: 978-85-65425-32-2

O foco da atenção deve ser concentrado nas fases de projeto e construção (A) e na manutenção preventiva (B) para obtenção da durabilidade das estruturas de concreto. A manutenção preventiva, na maioria das vezes, não está relacionada diretamente à estrutura de concreto, mas aos subsistemas que interagem com a estrutura, como: manutenção em instalações hidro sanitárias, em impermeabilizações em lajes, em revestimentos externos, em juntas de dilatações, etc. Com o objetivo de impedir ou dificultar o contato da água com a estrutura de concreto.

2. Investigação patológica

A cada concretagem realizada em uma estrutura no canteiro de obra, são retirados três corpos de prova para detectar se a resistência característica alcançada é igual ou superior a resistência característica requerida. No caso da concretagem da fundação da casa de máquinas da subestação elétrica, foi reprovada.

Para certificar a patologia encontrada nos corpos de prova coletados no campo e rompidos em laboratório foi contratada uma empresa para a retirada do testemunho, pois as resistências encontradas foram inferiores à requerida.

Helene (1984) mostra as correlações dos métodos de avaliação dos testemunhos com as caracteriscas que podem ser avaliadas de acordo com a sua estrtura.

Método	Características básicas que podem ser avaliadas
Extração de testemunhos de concreto	. resistência característica a compressão (f_{ckest}) . módulo de deformação longitudinal (E_c) . diagrama tensão x deformação específica (σ_c x ε_c) . resistência característica à tração (f_{tk})
Extração de testemunhos de aço	. resistência característica à tração (f_{yk}) . módulo de deformação longitudinal (E_s) . diagrama tensão x deformação específica (σ_c x ε_c) . ductilidade (alongamento e estricção)
Provas de carga	. Comportamento elástico de componentes estruturais
Ultra-som	. uniformidade da resistência do concreto . uniformidade do módulo dinâmico de deformação longitudinal do concreto . defeitos não visíveis . eventual avaliação da resistência à compressão do concreto
Gamagrafia	. defeitos visíveis
Esclerometria	. uniformidade da resistência do concreto . eventual avaliação da resistência à compressão do concreto

Figura 2 – Métodos avaliativos das propriedades das estruturas acabadas. (Vieira Filho, 2007)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Segundo Vieira Filho (2007), Os cilindros padronizados para moldagens de corpos-de-prova têm altura igual ao dobro do diâmetro, mas, no caso de testemunhos extraídos do concreto já endurecido, de uma peça, o diâmetro depende da coroa de corte, enquanto a altura depende muitas vezes da espessura da laje ou do elemento em exame e da presença de armaduras no local da extração. Se o testemunho for muito longo, pode ser cortado antes do ensaio até chegar-se a relação altura/diâmetro, denominada esbeltez, igual a dois, que é a considerada ideal. Mas, se for muito curto, será necessário estimar a resistência que teria o mesmo concreto, se determinada, com um corpo-de-prova na citada relação padronizada. Daí a necessidade do estabelecimento de fatores de conversão, estabelecidos em estudos experimentais de vários pesquisadores como Tobio, Neville, Petersons, Petrucci, entre outros, constante de diversas normas; citando-se a americana ASTM C-42168, a inglesa BS-1881, a espanhola UNE 7242 e a brasileira NBR 7680:1983, as quais apresentam valores bastante semelhantes.

Cremonini apresenta tabela-resumo dos coeficientes de correção obtidos por pesquisadores e normas de diversos países, que mostram que a variação dos mesmos não é linear, diminuindo de intensidade ao se aproximar de 2,0.

Pesquisador ou Norma	Relação h/d						
	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50
Petrucci	1,00	0,98	0,96	0,94	0,85	0,70	0,70
Neville	1,00	0,97	0,93	0,90	0,85	- -	- -
Tobio	1,00	1,00	0,97	0,91	0,87	- -	- -
Petersons	1,00	0,97	0,95	0,89	0,83	0,77	0,71
Bungey	1,00	- -	- -	- -	0,77	- -	- -
Sangha & Dhir	1,00	- -	0,95	- -	0,83	- -	- -
BS 1881	1,00	0,97	0,92	0,87	0,80	- -	- -
ASTM C – 42	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	- -	- -
UNE 83302	1,00	0,98	0,96	0,94	0,90	- -	- -
JIS A1107	1,00	0,98	0,96	0,94	0,89	- -	- -
NBR 7680	1,00	0,97	0,93	0,89	0,83	0,70	0,50

Figura 3 – Correção devido a relação altura/diâmetro (h/d). (Vieira Filho, 2007)

Todos os estudos comprovam que quanto menor a relação altura / diâmetro, maior é a resistência à compressão obtida e consequentemente numericamente menor é o coeficiente, ou fator de correção, pelo qual se multiplica o resultado para se obter o equivalente a um testemunho de esbeltez igual a 2. Esses coeficientes são também influenciados pela própria resistência do concreto, conforme os estudos realizados por Murdock e Kesler (1957), variando inversamente ao nível de resistência. Os concretos de resistência elevada são menos influenciados pelas variações das proporções dos corpos-de-prova, e também pela forma dos corpos-de-prova, fato este registrado nos estudos Swamy & Al-Hamed (1984). Essa influência da resistência no fator de conversão tem significado prático, no entanto, segundo Neville (1997), quando se ensaiam corpos-de-prova extraídos com relação altura/diâmetro menor que 2. Bauer *et al* (2001). explicam, com base em resultados experimentais e nos trabalhos do professor Seiichi Okushima, que o fator de maior influencia com relação a correção altura/diâmetro (h/d) é o atrito dos topos

ISBN: 978-85-65425-32-2

do corpo-de-prova com os pratos da prensa de ensaio, acrescentando que quando a relação h/d se aproxima de 2, praticamente não existe influência desse atrito no resultado, sendo esta influencia tanto maior quanto menor é a relação h/d.

Observando-se a figura 3, verifica-se que a NBR 7680:1983 apresenta coeficientes de correção para relações altura/diâmetro menor do que 1, coeficientes estes não referidos nas demais normas estrangeiras. Destaca também que a aplicação dos coeficientes de correção nela indicados se referem a concretos com massa especifica entre 1600 e 3200 kg/m3. A propósito dessa influência da massa específica do concreto, cita Cremonini (1994), com base nos trabalhos Swamy & Al-Hamed, que os concretos produzidos com agregados leves, necessitam de menores coeficientes de correção que os concretos comuns. Quanto ao diâmetro do corpo de prova brocado, as normas ASTM C42-90 e a NBR 7680;1983 recomendam que o mesmo seja, no mínimo, igual a três vezes a dimensão máxima característica do agregado graúdo. Sabe-se que em testemunhos extraídos de diâmetros reduzidos, podem ser grandes os danos causados pela sonda nos mesmos, ao se realizar a extração e, portanto menor será o valor da resistência obtida. No entanto, Neville, se refere a trabalhos experimentais com testemunhos de diâmetro de 50 mm, em concretos com agregados de tamanho inferior a 20 mm, com resistência cerca de 10% mais baixa que para diâmetro de 100 mm, aos 28 dias, para concretos de 20 a 60 MPa.Também relata a obtenção de boa correlação entre as resistências de testemunhos com 28mm de diâmetro e de cubos em laboratório, com agregados de tamanhos máximos de 25mm e 30mm.

Utilizando o mesmo entendimento de Vieira Filho (2007), foi dada continuidade para a investigação da patologia através da retirada dos testemunhos, direto da fundação concretada.

Diante da importância de rastreamento da resistência do concreto obtida em campo, o estudo seguiu a partir dos relatórios dos ensaios de resistência a compressão do concreto, de acordo com a NBR-5739:2007. Após o rompimento dos testemunhos coletados direto fundação foi detectado que o Fck,est.= 14Mpa era inferior ao Fck,proj.= 25Mpa, logo a resistência das sapatas foi reprovada.

De pronto foram investigados os possíveis problemas que levaram à baixa resistência dessa estrutura de concreto armado e o único material que não veio com nenhuma certificação de qualidade foi a areia, o agregado miúdo. Entretanto, como o processo de fabricação do concreto foi feito no canteiro de obra e outras estruturas receberam concreto originado desse agregado e não tiveram suas resistências afetadas a possibilidade da baixa qualidade do miúdo foi descartada. Para ratificar o que já podia ser inferido enviou-se a areia para análise, e como resultado nada de relevante foi encontrado.

Segundo John (1987), existe vários fatores que podem contribuir para a baixa resistência à compressão de um concreto, alguns são: a má homogeneização, a dosagem, a relação água/cimento, etc.

A relação água/cimento significa a quantidade em litros de água por massa de cimento, ou seja, quanto maior for essa relação significa que a proporção de água é maior que a do cimento, logo a resistência será menor.

Segundo as recomendações de projeto em que dizia que a construção deverá seguir as normas brasileiras, a Associação Brasileira de Normas Técnicas segundo a Norma

ISBN: 978-85-65425-32-2

Brasileira Regulamentadora – ABNT NBR 12655:2006, especifica a relação água/cimento e os requisitos para o concreto em condições especiais de exposição, figuras 2 e 3, respectivamente.

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal	Mínimo valor de f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água.	0,50	35
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo	0,45	40
Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes	0,40	45

Figura 4 – Requisitos para o concreto em condições especiais de exposição. (ABNT NBR 12655:2006)

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,65	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≤ C20	≤ C25	≤ C30	≤ C40
	CP	≤ C25	≤ C30	≤ C35	≤ C40
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto (Kg/m³)	CA e CP	≤ 260	≤ 280	≤ 320	≤ 360
NOTA CA Componente e elementos estruturais de concreto armado; CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Figura 5 – Correspondência entre classes de agressividade a qualidade do concreto. (ABNT NBR 12655:2006)

2.1 Certificação da patologia

A fundação da estrutura que foi analisada possui oito sapatas em sua constituição (figura 4), como a NBR-5738 normatiza é necessária a coleta de corpos de prova durante a operação de descarga, após a retirada de 15% e antes de completar os 85% do volume total da betonada. Seguindo essas especificações, foram encaminhadas as amostras da concretagem da fundação para uma empresa acreditada pelo INMETRO e com experiências em grandes obras em serviços de ensaio, TECOMAT engenharia. O resultado de resistência estimado foi inferior à resistência mínima requerida em projeto, assim as sapatas foram reprovadas.

Como a patologia foi detectada no período de construção, após os 28 dias de cura da amostra de concreto coletada, não houve manifestação de danos aparentes, essa ocorrência ratifica a importância das ações preventivas investigativas, aumentando o conhecimento prévio do estado da estrutura trabalhada.

ISBN: 978-85-65425-32-2

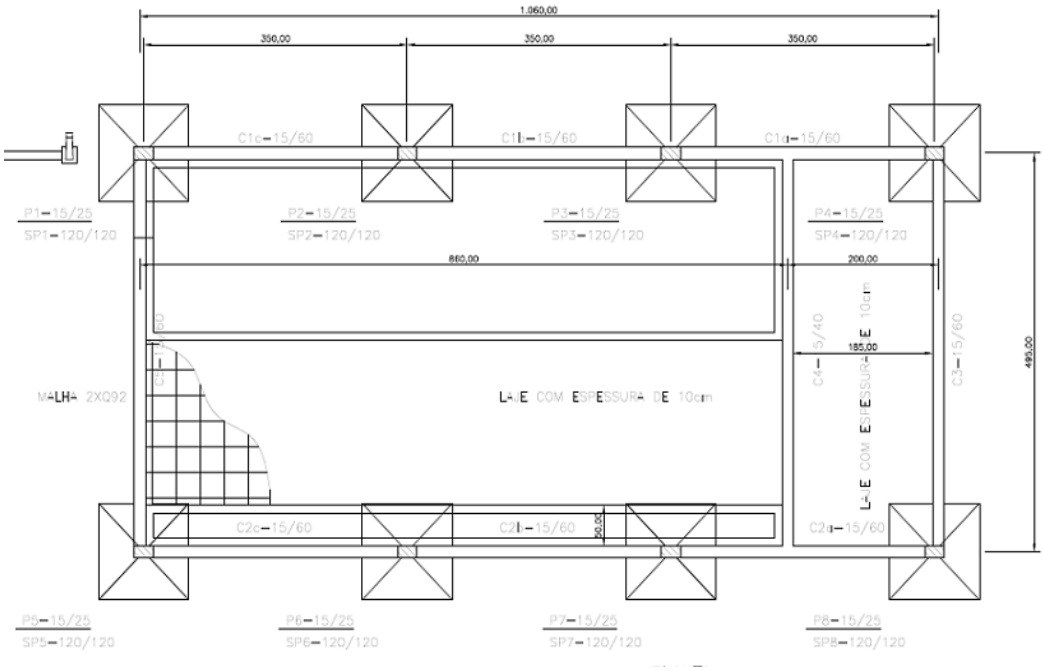


Figura 6 – Fundação da casa de máquinas. (Projeto civil subestação elétrica, 2014).

A parte estrutural da casa de máquinas não sofreu avarias, pois toda a sua fundação estava ‘amarrada’ nos pilares e na viga baldrame, vulgarmente conhecida como cinta de amarração, e a mesma estava escorada no solo dividindo os esforços, ainda mínimos, pois a construção não estava concluída.

Os prejuízos causados por essa patologia foram de ordem financeira e do cronograma de obra. Após a descoberta dessa negativa vertente foram estudadas duas situações para a resolução do problema: a primeira foi o reforço das sapatas, porém o alto custo desse procedimento fez com que a segunda opção fosse escolhida. Esta sugeria o refazimento delas, que mesmo demandando mais tempo era mais viável.

3. Processo de recuperação estrutural

Os trabalhos iniciais para a construção de novas sapatas se deram pela escavação do solo manualmente utilizando a pá, picareta, cavadeira articulada e alavanca. Foi adotado este método, pois se tratava de uma fundação rasa de apenas 1,30 metros de profundidade, como indica o projeto. Após a escavação do solo foi iniciada uma nova fase. Com a ajuda do martelete dois operários, munidos de equipamentos de proteção individual, foram selecionados para quebrar as sapatas, de maneira alternada, SP1-SP7, SP4-SP6, SP5-SP3 e SP8-SP2 (ver figura 4). Concomitantemente com essa fase, tem-se a concretagem de cada sapata que tem a produção do concreto no próprio canteiro de obra.

Para o equilíbrio de uma construção, a compactação de um solo é tratada com muito cuidado em qualquer situação, pois sua má execução pode trazer patologias complexas e de difícil reversão na estrutura. O recalque e o atrito negativo são dois exemplos pontuais que trazem como consequências graves problemas estruturais, podendo levar até a condenação do empreendimento construído.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Na obra que está sendo exemplificada, a compactação realizada no solo foi do tipo à percussão, como mostra a figura 7. Os trabalhos iniciais para a construção de novas sapatas se deram pela escavação do solo manualmente, utilizando a pá, picareta, cavadeira articulada e alavanca.

Figura 7 – Compactação do solo. (Arquivo Pessoal,2014)

O traço de concreto usado no canteiro teve a proporção de 1:2:3:0,5, isso significa que para cada saco de cimento de 50kg, tem 100kg de areia (agregado miúdo), 150kg de brita (agregado graúdo) e 25 litros de água, como informa a tabela 1. A fabricação do concreto teve uma maior supervisão para evitar eventuais problemas futuros. Os componentes: areia e brita eram colocados em padiolas; para cada componente uma padiola diferente foi construída com as medidas fornecidas pelo engenheiro, de acordo com a massa unitária dos agregados, como informa as tabelas 2 e 3.

Tabela 1 - Traço de concreto

Traço de concreto		
Cimento (kg)	50	1
Areia (kg)	100	2
Brita (kg)	150	3
Água (kg)	25	0,5

(Arquivo pessoal, 2016)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 2 – Volumes dos recipientes

Materiais	Cimento	Areia	Brita	Água
Massa material seco (kg)	50	100	150	25
Massa unitária dos agregados (kg/l)	X	1,5	1,5	1
Vol_{Recip} (l)	1 saco	V_a=100/1,5= 66,67	V_b=150/1,5=100	V_{H2O}= 25/1=25

(Arquivo pessoal, 2016)

Tabela 3 – Dimensão das padiolas

Padiola de Brita		**Padiola de Areia**
Comprimento = 45 cm		Comprimento = 45 cm
Largura = 35 cm		Largura = 35 cm
Altura = 63 cm		Altura = 42 cm

(Arquivo pessoal, 2016)

Após os 28 dias o corpo de prova foi rompido e sua resistência foi bem superior ao $Fck_{,proj.}$≥25 Mpa, chegou a $Fck_{,est.}$= 35 Mpa, o teste foi aprovado. Ficou constatado que houve falha técnica na fabricação do concreto, pois os materiais utilizados para a fabricação foram mantidos e a resistência aumentou utilizando as mesmas proporções no traço.

4. Conclusões

Em análise a este artigo, percebe-se que o campo de pesquisa estudado é bem extenso, pois a todo instante surgem novas vertentes a serem consideradas e novas técnicas desenvolvidas como forma de aprimoramento do assunto. Segundo Souza & Ripper (1998), as várias origens dos problemas com relação às etapas de produção e uso das construções são identificadas como: projeto, execução, materiais, uso e planejamento.

Fica evidente e em congruência com Helene (1988), que no estudo de caso acima apresentado as patologias devido à execução são bastante comuns e geram graves transtornos para a sociedade. Porém, vale ressaltar, que a fiscalização diária das obras foi fundamental para identifica-las brevemente.

Para os parâmetros utilizados nesta investigação, é possível inferir que ao adotar os métodos normativos propostos sobre o controle de qualidade dos trabalhos executados no canteiro, um impacto econômico foi gerado diretamente nos custos das obras, segundo a

ISBN: 978-85-65425-32-2

lei dos cincos. Sitter (1983), diz que: os custos crescem em uma razão geométrica de ordem cinco (1, 5, 25, 125), significando que pode se gastar 125 vezes mais em uma intervenção, do que se medidas simples tivessem sido adotadas na fase de projeto e execução.

Assim esse projeto buscou direcionar metódos simples, produtivos e já existentes para identificar as causas patológicas encontradas cotidianamente nos canteiros, devido à execução e disponibilizar para os interessados, com o intuito de reforço e aprendizado. Conscientizando-os da necessidade de desenvolvimento de um sistema de controle mais rígido de qualidade na execução da obra, aumento da fiscalização do poder público nas obras irregulares e implantação de cursos de aperfeiçoamento de técnicas construtivas para o profissional que trabalha no campo.

Referências Bibliográficas

ASSOCIÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738:2015 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739:2007 Concreto – Ensaio de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7680:1983 Extração, preparo, ensaio e análise de testemunho de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 12655:2006 Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

BAUER, R. F. *et al*. Influência da resistência do concreto à compressão simples com relação a dimensão máxima do agregado e dimensão do corpo-de-prova. 2001.

CREMONINI, R. A. Análise de estruturas acabadas: contribuição para determinação da relação entre as resistências potencial e efetiva do concreto. 1994. 195p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

HELENE, P. R. L. Avaliação da resistência a compressão de estruturas através de testemunhos cilíndricos de concreto. In: III SIMPÓSIO SOBRE NORMALIZAÇÃO DE CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS. 1984, São Paulo. Anais... São Paulo: ABNT/CB – 18. 1984.

HELENE, P. R. L. Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto. São Paulo. PINI. 1988.

JOHN, V. M. Durabilidade de materiais, componentes e edifícios. Dissertação (Mestrado). CPGEC/UFRGS, Porto Alegre/RS, 1987.

MURDOCK, J. W. and KELSER, C. E. Effect of lenght to diameter ratio of specimen on the apparent compresive strength of concrete. ASTM – Bulletin, p.68-73, apr, 1957.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Trad. Salvador E. Giammusso. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1997.

ISBN: 978-85-65425-32-2

SITTER, W. R. Costs for Service Life Optmization the “Law of Fives”. Comite Euro International du Beton – CEB. Boletim Técnico. Copenhagen, Denmark, n. 152, p. 131 - 134, 1983.

SOUZA, V. C. M., RIPPER, Thomaz. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto, 1ª edição. PINI, 1988.

SWAMY, R. N. & AL – HAMED, A. H. Evaluation of small diameter core tests to determine *in situ* strength of concrete. American Concrete Institute. *In situ* nondestructive testing of concrete. Detroit. ACI, (1984).

VIEIRA FILHO, J.O. Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento. Volume 1, São Paulo, 2007.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO DE UMA CONSTRUÇÃO PÚBLICA EM RECIFE – PE.

Analysis Of The Case Study Of A Public Construction On Recife-PE.

Iago SANTOS CALÁBRIA[1], **Bruno** DE SOUSA TETI[2], **Amâncio** DA CRUZ FILGUEIRA FILHO[3]

[1] Instituto Brasileiro de Educação Continuada, Recife-PE, Brasil, Iago_SC@hotmail.com1

[2] Universidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, Bruno_Teti@hotmail.com2

[3] Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE, Brasil,amanciofilgueira@hotmail.com3

Resumo: A resistência das estruturas de concreto armado é um fator preponderante para a durabilidade da mesma. Essa resistência é afetada por diversos fatores dos quais a execução é um dos mais corriqueiros dentro da construção. Estudos mostram que ela está entre os dois fatores mais comuns em patologias ocorridas em obras civis. Esse artigo se propõe a analisar as patologias, e suas causas, encontradas em uma construção de um empreendimento público em Recife-PE. Os resultados encontrados visam potencializar as diversas maneiras de trabalho dentro da construção civil, enfatizando a execução. Trazendo alternativas que gerem um crescimento produtivo dentro da obra e consequentemente minimizando os erros advindos do desconhecimento. No artigo fala-se da fiscalização em uma obra pública, onde se usa a definição de obra pública da cartilha do Tribunal de Contas da União: “Obra púbica é considerada toda construção, reforma, fabricação, recuperação ou ampliação de bem público. Ela pode ser realizada de forma direta, quando a obra é feita pelo próprio órgão ou entidade da Administração, por seus próprios meios, ou de forma indireta, quando a obra é contratada com terceiros por meio de licitação. Sejam elas empreitadas por preço global, empreitadas por preço unitário, tarefa ou empreitada por preço integral.”

Palavras-chave: Patologia, Fiscalização, Estrutura. Obra.

Abstract: The strength of the reinforced concrete structures is a preponderant factor for the durability of the same. This resistance is affected by several factors of which execution is one of the most common within the construction. Studies show that it is among the two most common factors in pathologies occurring in civil works. This article proposes to analyze the pathologies, and their causes, found in a construction of a public enterprise in Recife-PE. The results found are aimed at enhancing the various ways of working within the construction industry, emphasizing execution. Bringing alternatives that generate a productive growth within the work and consequently minimizing the errors arising from ignorance. In the article we speak of the inspection in a public work, where we use the definition of public work of the booklet of the Court of Auditors of the Union: "Public work is considered all construction, reform, manufacture, recovery or expansion of public good. It can be carried out directly, when the work is done by the organ or entity of the Administration, by its own means, or indirectly, when the work is contracted with third parties by means of bidding. Whether they are contracted by global price, contracted by unit price, task or contract for full price. "

Key words: Pathology, Surveillance, Structure.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

No ramo da construção civil, grande parte das dificuldades são consequências da falta de conhecimento técnico dos trabalhadores. Muitas vezes tarefas que perecem simples possuem um elevado grau de dificuldade, como é o caso da realização da concretagem. No qual sua complexidade está localizada no equilíbrio de suas estruturas, pois caso seja mal elaborada pode ocasionar sérios problemas estruturais, ocasionando diversas patologias que podem ser visíveis ou disfarçadas, que se tornam mais difíceis de analisar, pois a estrutura aparenta estar em boas condições. Por conta disso, é importante a fiscalização dos órgãos competentes nos empreendimentos do ramo da construção civil. Nesse artigo mostra-se o que foi encontrado quando houve a fiscalização em um empreendimento público, localizado em Recife.

2. Caracteristicas do caso

O caso estudado foi em obra pública situada em Recife, Pernambuco. É um caso que mostra o quanto a fiscalização da execução de uma obra se faz necessária, pois foram encontradas diversas irregularidades patológicas na alvenaria estrutural sendo necessária a intervenção do Tribunal de Contas para providências serem tomadas a fim de evitar problemas maiores no futuro. É uma obra constituída por 12 blocos, com 32 unidades habitacionais em cada um deles. Os 384 apartamentos possuem uma área de 39,98 m².

Figura 1 - Vista geral da obra. (Trindade, 2013).

Na figura 1, mostrada acima, é possível ver os blocos sendo construídos até o dia datado e os materiais alojados de maneira equivocada, expostos às intempéries.

Foram encontradas algumas irregularidades em cinco blocos que já haviam sido construídos. As irregularidades patológicas apontadas se originaram devido à falta de controle e qualidade da obra, que apresenta divergências entre as especificações do projeto

ISBN: 978-85-65425-32-2

de alvenaria estrutural e a forma de execução, possuindo vários problemas técnicos e utilizando materiais em desconformidade com as normas da ABNT (NBR 5738, NBR 5739, NBR 7211 e NBR 6118). Alguns desses problemas foram: falta de prumo e planicidade das paredes; falta de alinhamento das fiadas; falta de uniformidade na espessura das juntas horizontais de argamassa; inexistência das juntas de argamassas verticais; blocos quebrados e com descontrole dimensional; rasgos nas paredes de alvenaria estrutural. Também houve uma inconsistência no resultado do único ensaio de prisma disponibilizado – a resistência do prisma resultou num valor superior à resistência do bloco do qual o mesmo é feito. A única possibilidade técnica de ocorrência deste comportamento seria no caso de a argamassa de assentamento dos blocos apresentarem resistência à compressão superior à resistência dos blocos, aspecto que contaria o princípio da alvenaria estrutural; alguns ensaios de compressão do concreto demonstraram que a resistência do concreto só atingiu a resistência característica à compressão especificada aos 60 dias, o que novamente contraria as normas técnicas que determinam que a resistência característica do concreto deva ser alcançada aos 28 dias.

Figura 02 – Juntas verticais não preenchidas e alvenaria rasgada. (Trindade, 2013).

Na figura 02, é possível detectar que as juntas verticais não foram preenchidas com argamassa, bloco quebrado e preenchido com argamassa e alvenaria estrutural rasgada para passagem de tubos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 03 – Parede fora do prumo e desnivelada. (Trindade, 2013).

Na figura 03, foi observada a parede fora de prumo e esse erro de execução expôs o desnivelamento entre o pavimento térreo e o superior.

3. Consequências do caso

Diante das irregularidades patológicas encontradas na obra foi solicitada pelo Tribunal de Contas do Estado, além da paralisação da obra, a contratação de um especialista em alvenaria estrutural para a emissão de um parecer técnico. No parecer, foram apresentadas algumas desconformidades encontradas nos cinco primeiros blocos já construídos, como ligação laje-parede; juntas não preenchidas em paredes externas; blocos fraturados e descolamento da argamassa de assentamento; rasgos efetuados para colocação de tubulação; fissuras de retração na junta de bloco substituído; fragilização de parede devido à falta de rejuntamento vertical; fragilização de montante devido à má execução; tentativa de abertura e preenchimento de juntas verticais; trincas em parede.

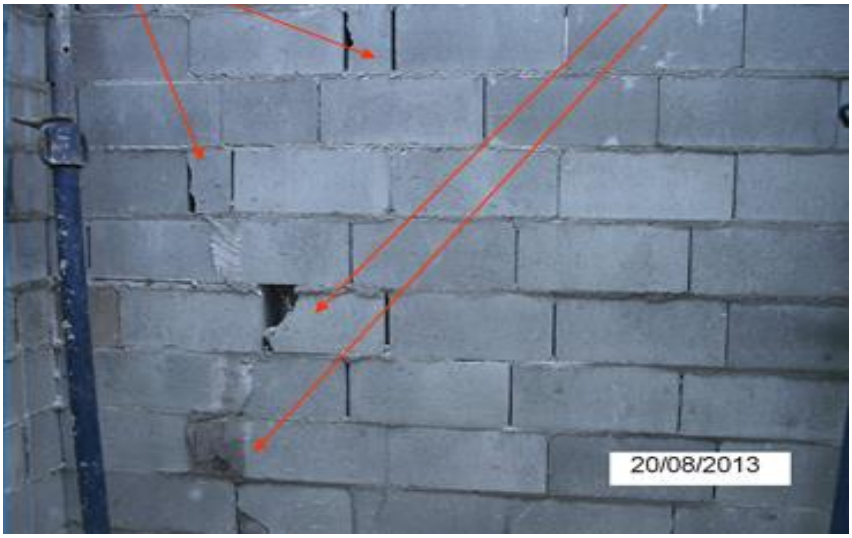


Figura 4 – Bloco de concreto cortado e preenchido com argamassa. (Trindade, 2013).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Na figura 4, ficam explícitos os blocos de concreto cortados para compor a alvenaria, em descumprimento com a paginação, os blocos quebrados sendo utilizados na alvenaria e os respectivos buracos sendo preenchidos com argamassa. Essas ações produzidas causam sérios riscos à saúde da estrutura.

Figura 5 – Bicheira em viga e blocos perfurados. (Trindade, 2013).

Percebe-se irregularidades, na figura 5, como o adensamento da viga de concreto, causando 'bicheira' e blocos da fachada perfurados para a sustentação de barrotes de madeira.

4. Procedimento de inspeção

Após o laudo dado pelo engenheiro especialista em alvenaria estrutural foi acatada a decisão de se fazer um ensaio de prova de carga no edifício já construído. Para a realização do ensaio foi contratada uma empresa especializada. Até o momento do estudo foi realizado o ensaio no bloco número 5. Para o ensaio foram cumpridos os seguintes passos: de 23 suportes/relógios comparadores nas alvenarias do pavimento térreo e mais 8 relógios comparadores nas lajes de teto do pavimento térreo do bloco 5.

Figura 6 - Detalhe do relógio do deflectômetro. (Trindade, 2013).

ISBN: 978-85-65425-32-2

A figura 06 exibe o relógio do deflectômetro instalado para a realização do ensaio de prova de carga nos blocos já construídos.

Figura 7 - Montagem deflectômetros para ensaio. (Trindade, 2013).

Em seguida deve-se realizar leituras nos relógios sem carregamento durante 24h para avaliar a influência da variação térmica nas leituras de deformação. Após esse procedimento, foi efetuado o carregamento total da laje de cobertura com duas camadas de saco de cimento de 50Kg em paletes de madeira, que foi feito com 461 sacos de cimento, e assim foi efetuada a medição das deformações, através das leituras dos relógios comparadores, até a sua estabilização.

Figura 8 - Carregamento da laje (manta e água). (Trindade, 2013).

ISBN: 978-85-65425-32-2

A figura 08 mostra o carregamento da laje com manta e água, onde foram acrescentadas três camadas de água com uma espessura de 8,5 centímetros cada.

Para o carregamento do primeiro, segundo e terceiro pavimento foi usada uma manta e acrescentadas três camadas de água de 8,5cm, sendo realizadas leituras a cada camada colada, a cada 30 minutos, até a sua estabilização e em seguida foi feito um monitoramento a cada 1h durante 37h. Após esse procedimento foi realizado o descarregamento, tendo início pelo terceiro pavimento até o primeiro, sendo feito igual ao carregamento, retirando por camadas e sendo realizadas leituras a cada 30 minutos até a estabilização, sendo feito por ultimo o descarregamento da laje com realização das leituras até a estabilização. O ensaio durou do dia 24/08/2015 até 29/08/2015. As leituras feitas pelos relógios do deflectômetro seriam enviadas para a empresa do engenheiro calculista para que ele desse um parecer técnico sobre as providências a serem tomadas. E esse ensaio será repetido em todos os outros blocos (do 01 ao 04) em que foram encontradas as irregularidades patológicas. Esse ensaio mostra o quanto uma fiscalização do núcleo de engenharia é importante para a realização de obras públicas para ajudar a encontrar patologias e averiguar a execução das obras para não haver um prejuízo no futuro.

5. Conclusões

Analisando o estudo de caso apresentado é possível inferir que suas ocorrências são quase que em totalidade evitáveis. Os acontecimentos explicitam a maneira equivocada de instruir os trabalhadores da área. Evidencia-se que com o auxílio da literatura e do estudo prático utilizado nesse projeto, as pesquisas sobre as causas patológicas do concreto armado minimizam os problemas corriqueiros dentro de uma obra trazendo uma conscientização e potencialização na realização do trabalho. Todas essas ações trazem como consequência a possibilidade de implantação de medidas de aprimoramento profissional, partindo do planejamento até a execução da obra, proporcionando uma maior qualificação dos operários e consequentemente um grande declínio nos problemas construtivos. Porém é notório que ainda não foi encontrado em nenhuma área, por mais qualificações que sejam feitas, o rendimento completo de todos os trabalhadores. Esse fato reforça a necessidade da utilização de métodos preventivos investigativos aumentando o conhecimento prévio do estado da área trabalhada, abrigando maiores informações para posteriores medidas necessárias. Logo, é possível considerar que a fiscalização das atividades em execução e já executadas é primordial para a identificação de erros não aparentes dentro da construção.

Referências Bibliográficas

ASSOCIÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738:2015 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739:2007 Concreto – Ensaio de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211:2009 Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ASSOCIÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118:2014 Projetos de estruturas de concreto – procedimento. Associação Brasileira de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 2014.

TRINDADE, J. C. Irregularidades patológicas encontradas na fiscalização de obras públicas. Pernambuco, 2013.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

RESERVATÓRIOS BASEADOS EM CONCRETO ARMADO: PROCEDIMENTOS E ESTRATÉGIAS PARA A MINIMIZAÇÃO DE OCORRÊNCIAS PATOLÓGICAS EM EMENDAS

Reservoirs Based On Reinforced Concrete: Procedures And Strategies To Minimize Pathological Occurrences In Amendments

Nathan B. Lima[1], Romilde O. Almeida[2] e Nathalia B.D. Lima[3,*]

[1] Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, e-mail: limanathan7@gmail.com

[2] Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil , e-mail: romildealmeida@gmail.com

[3] Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, e-mail: nathalia.lima@pq.cnpq.br

Resumo: Neste trabalho foram avaliados os aspectos dos procedimentos realizados tanto para a construção quanto para a impermeablização em três tipos de reservatórios: (i) um reservatório inferior de água potável, (ii) uma estação de tratamento de esgoto e (iii) e uma piscina. A metodologia empregada consistiu, principalmente, em etapas de concretagem dos componentes dos reservatórios. Por sua vez, os procediementos de impermeabilização dos reservatórios foram realizados a partir do uso de dois tipos de materiais: manta asfáltica para os reservátorios dos tipo (i) e (ii) na parte da tampa superior e argamassa polimérica para o compartimento interno do reservatório do tipo (i) e aos reservatórios tipo (ii) e (iii). Todos os procedimentos empregados e discutidos neste trabalho foram realizados nos condomínios Blue Ville e Praia de Piedade, ambos localizados no Município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, Brasil. É importante ressaltar que é comum haver em tais regiões a ocorrência de problemas relacionados ao período chuvoso e ao nível do lençol freático. Portanto, os procedimentos adequados tanto em termos da construção dos reservatórios quanto de sua impermeabilização podem ser considerados de extrema importância para a minimização de manifestações patológicas nas estruturas de componentes destas edificações. A partir dos aspectos observados durante as etapas de execução dos reservatórios, foi constatado que o período da etapa de concretagem das paredes destes sistemas foi o principal responsável pelo surgimento de emendas estruturais entre as mesmas, as quais resultaram na ocorrência de juntas frias durante o procedimento de execução do reservatório inferior de água potável. Finalmente, foi constatado que as etapas de impermeabilização foram realizadas com sucesso, sendo, portanto, uma estratégia para a minimização de futuras manifestações patológicas nos reservatórios considerados neste trabalho.

Palavras-chave: Reservatórios; concreto armado; emendas; impermeabilização.

Abstract: In this work it was evaluated the aspects for the construction, and waterproofing procedures to obtain three types of reservoirs: (I) a lower reservoir for potable water, (ii) a sewage treatment plant, and (iii) a swimming pool. The methodology employed to obtain these reservoirs was based on concreting steps of the precursor components of them. In this sense, the procedures of waterproofing of the reservoirs were realized from two types of materials: asphalt blanket for reservoirs of the types (i) and (ii) and polymeric mortar for

ISBN: 978-85-65425-32-2

the reservoir of the type (iii). All procedures employed and discussed in this study were carried out in the Blue Ville condominium, and Praia de Piedade condominium, both located in the municipality of Jaboatão dos Guararapes, in Pernambuco, Brazil. In this region it is frequent the occurrence of problems related to the rainy season, and at groundwater level. Therefore, procedures both in terms of the construction of the reservoirs and their waterproofing are significant for the minimization of pathological occurrences in their structures. From the aspects observed during the execution of steps of the reservoirs, it was verified the presence of structural amendments between the concreted walls. These structural amendments seem to occur due differences in terms of the period of the concreting step. It was also verified the occurrence of cold joints during the procedure of execution of the lower water reservoir. Thus, the waterproofing procedures were successfully performed as a strategy for the minimization of pathological manifestations in the reservoirs considered in this work.

Keywords: Reservoirs; reinforced concrete; amendments; waterproofing.

1. Introdução

A versatilidade na moldagem de estruturas que são baseadas em concreto armado, como, por exemplo, a concretagem dentro de um canteiro de obras, torna o sistema competitivo na questão da adapitação às varias formas e condições de execução. A utilização desta metodologia construtiva pode ser considerada um potencial atrativo na elabroração de projetos que não tenham uma linha de produção repetitiva no sistema construtivo. Neste sentido, a utilização de peças de concreto pré-fabicadas, onde a repetição da linha de produção é um fator decisivo na escolha do investimento. Desta forma, a aplicação do sistema construivo baseado em concreto armado *in loco* é competitivo por questões de adapitação a necessidade do projeto, como, por exemplo, as quantidades e os dimensionamentos das formas utilizadas.

Segundo Nevile e Brooks (2013), a durabilidade do concreto é uma de suas propriedades mais importantes, porque é essencial que ele seja capaz de suportar as condições para as quais foi projetado durante a vida da estrutura. Neste sentido, a NBR 6118 (ABNT, 2014), item 5.1.2.2, define a durabilidade de uma estruruta, como sendo a capacidade da mesma resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante.

A excução das etapas de concretagem em datas destintas podem ocasionar a formação de emendas em determinados locais que foram concretados em datas diferentes. É importanre ressaltar que nestes pontos de emendas, as quais são formadas pela interação das duas camadas de concreto, pode resultar na ocorrência de manifestações patólogicas em estruturas deste tipo. Neste sentido, as emendas de concreto em estruturas abaixo do solo, como, por exemplo, reservatórios de água e estações de tratamento, podem ocasionar a infiltração de agentes agressores na estrutura. Desta forma, pode ocorrer a contaninação destes reservatórios. Como resultado das contaminações, é possível o aparecimento das seguintes manifestações patológicas: oxidação das armaduras construtivas e ataque a estrutura por sulfatos e cloretos.

A infiltração de agentes agressivos na estrutura proporcionada pela execução de emendas onde também pode ser chamada de juntas frias de concreto. Estas juntas frias de concreto

ISBN: 978-85-65425-32-2

quando mal executadas possibilitam a entrada de tais agentes agressivos, onde podem ao longo do tempo comprometer a integridade do concreto, bem como das armaduras construtivas da estrutura. Desta forma, pode haver o aparecimento de manifestações patológicas. Neste contexto, um exemplo de manifestação patológica em estruturas pode ser considerada a corrosão do material. Onde, de acordo com Smith e Hashemi (2012), a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, resultado de ataques químicos proveniete do ambiente. Já que a corrosão é causada por reação química, a taxa de quanto à corrosão acontece depende também da temperatura e da concentração dos reagentes e dos produtos. Outros fatores como tensão mecânica e a erosão também podem contribuir com a corrosão.

A partir da possibilidade de contato de agentes químicos nas aberturas ocasionadas por emendas na estrutura de sistemas baseados em concreto armado, é importante a realização procedimentos que resultem em uma proteção da mesma. Neste contexto, uma estratégia para tal proteção consiste na impermeabilização da estrutura. É importante ressaltar que a impermeabilização tem uma grande importância dentro da construção civil, uma vez que impede a degradação do concreto armado causada pela água, como foi reportado por Joffily (2013). Portanto, para se obter uma vida útil da estrutura é importante a existência de uma impermeabilização de qualidade. Neste contexto, a NBR 15575 (ABNT, 2013-1), no item 14.2.1, estabelece o valor teórico de uma vida útil de projeto (VUP) mínima de projeto de 50 anos para os elementos estruturais. Enquanto a impermeabilização que irá protegê-la deve ser projetada para um período mínimo 20 anos.

Em relação à escolha de qual material deverá ser usado em procedimentos de impermeabilização de estruturas, segundo Gabrioli e Thomaz (2002), tal escolha vai depender de diversos fatores, como a geometria das peças, a facilidade de acesso, o nível do lençol freático e a qualificação da mão-de-obra. Peças com pequenas dimensões ou superfícies muito recortadas devem, a princípio, ser impermeabilizadas com membranas moldadas *in loco*. Cortinas com possibilidade de acesso à face que resultará em contato com o solo são plenamente aptas ao tratamento com mantas asfálticas pré-fabricadas (impermeabilização positiva). Quando esse acesso é impossível, pode-se partir para paredes duplas ou uma solução combinada de rebaixamento de lençol (diminuição da pressão neutra) com impermeabilização negativa (face oposta à pressão de água) à base de cimentos poliméricos ou cristalizantes.

Em termos de materiais empregados para a impermeabilização de em sistemas baseados em concreto armado, por exemplo, de reservatórios inferiores, é possível citar a manta asfáltica. Neste contexto, segundo Gabrioli e Thomaz (2002) as mantas asfálticas são produtos impermeabilizantes pré-fabricados, à base de asfalto modificado com polímeros, estruturadas com filme de polietileno, véu de fibra de vidro ou não-tecido de filamentos contínuos de poliéster. Geralmente, a fabricação deste tipo de material se dá por dois processos: calandragem ou laminação.

Outro exemplo de material que pode ser usado em etapas de impermeabilização de reservatórios é a argamassa polimérica. Neste contexto, a NBR 9575 (ABNT, 2010), item 3.10, diz que a utilização de argamassa aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros, formando assim um revestimento com propriedades impermeabilizantes. Segundo Gabrioli e Thomaz (2002) o

ISBN: 978-85-65425-32-2

cimento polimérico é um revestimento impermeabilizante, semiflexível, composto por um sistema bi-componente (componente na forma de pó e de parte líquida) à base de cimentos especiais, aditivos minerais e resina acrílica. O cimento polimérico aplicado sobre superfícies de alvenaria, concreto ou argamassa confere excelente aderência sem a necessidade de chapisco ou primer, resistindo a pressões hidrostáticas consideráveis, tanto negativas quanto positivas. Possui baixo grau de elasticidade, suportando, assim, as movimentações normais da estrutura.

Assim, é objetivo deste trabalho mostrar estratégias que sirvam como tratamentos em pontos de emendas. Neste contexto, foram avaliados aspectos de procedimentos realizados tanto para a construção quanto para a impermeablização em três tipos de reservatórios: (i) um reservatório inferior de água potável, (ii) uma estação de tratamento de esgoto e (iii) e uma piscina. Os procediementos de impermeabilização dos reservatórios foram realizados a partir do uso de dois tipos de materiais: manta asfáltica para os reservátorios dos tipo (i) na parte da tampa superior e argamassa polimérica para o compartimento interno do reservatório do tipo (i) e aos reservatórios tipo (ii) e (iii). Todos os procedimentos empregados e discutidos neste trabalho foram realizados nos condomínios Blue Ville e Praia de Piedade, ambos localizados no Município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, Brasil.. É importante ressaltar que é comum haver em tal região a ocorrência de problemas relacionados ao período chuvoso. Portanto, os procedimentos adequados tanto em termos da construção dos reservatórios quanto de sua impermeabilização podem ser considerados de extrema importância para a minimização de manifestações patológicas nas estruturas de componentes destas unidades habitacionais.

2. Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho consistiu, inicialmente, na construção dos seguintes tipos de reservatórios: i) um reservatório inferior de água potável, (ii) uma estação de tratamento de esgoto e (iii) uma piscina. Os procedimentos realizados consistiram em realizar etapas de concretagem, as quais podem resultar em emendas. Assim, para evitar futuras manifestações patológicas nestas emendas, foram realizados procedimentos de impermeabilização via manta asfáltica na parte superior para os reservatórios inferiores e na parte superior da estação de tratamento e impermeabilização via argamassa polimérica para o interior dos reservatórios inferiores, para a estação de tratamento e para a piscina. A escolha pela manta asfáltica na tampa do reservatório inferior tipo (i), considerado neste trabalho, se deu por conta deste material ter a potencialidade de suportar com alta eficiência fatores externos, como, por exemplo, a pressão ocasionada pelas camadas superiores aos reservatórios inferiores. Já a piscina passou por processos de impermeabilização, a partir do uso de argamassa polimérica. Por ser uma estrutura abaixo da superfície do solo para os reservatórios tipos (i), (ii) e parciamente abaixo do solo no reservatório tipo (iii), a escolha pela argamassa polimérica utilizada no interior do reservatório de água potável, na estação de tratamento e na piscina se deu pelo dos fatores externos que podem interferir na eficiência desta estratégia de impermeabilização. Onde se considera a pressão atuante nas paredes de concreto pelas águas subterraneas para dentro dos reservatórios e na pressão exercida pela água estocada dentro do reservatório nas paredes e na base de

ISBN: 978-85-65425-32-2

concreto da estrutura. É importante ressaltar que a NBR 9574 (ABNT, 2008), item 5.5, diz que o substrato a ser impermeabilizado não deve apresentar cantos e arestas vivas, os quais devem ser arredondados com raio compativél com o sistema de impermeabilização a ser empregado. E isto foi levado em consideração nos procedimentos de impermeabilização dos reservatórios considerados neste trabalho. A NBR 9574 (ABNT, 2010), item 5.6 diz que após a execução da impermeabilização, recomenda-se ser efetuado ensaio de estanqueidade com água limpa, com duração mínima de 72 horas para verificação de falhas na execução do tipo de impermeabilização utilizado. Assim, tal procedimento foi realizado para as três situações propostas neste trabalho.

A seguir serão descritos os principais aspectos constatados durante os procedimentos realizados para a construção de cada tipo de reservatório considerado. Onde, em seguida, serão apresentados e discutidos os aspectos das estratégias de impermeabilização, ou por manta asfaltica ou por argamassa polimérica de cada um dos reservatórios considerados neste trabalho.

3. Resultados e Discussão

3.1 O reservatório inferior de água potável

Inicialmente, a concretagem da estrutura definida no projeto original foi serarada por etapas, como mostra a figura 1. Neste sentido, a utilização de formas, de madeiras ou metalicas, permitem a moldagem no local de aplicação do concreto. Assim, a montagem das armaduras construtivas das paredes são mostradas na figura 2. Esta etapa de montagem das formas é realizada para a preparação das paredes de um reservatório inferior que deverá atuar abaixo do nível do solo. Após a montagem das formas foi realizada a etapa da concretagem, em que o reservatório foi preparado em três etapas. A primeira etapa consistiu na concretagem da base, já a segunda etapa foi o posicionamento das armações de aço das paredes dos reservatórios.

Figura 1 – Montagem das armaduras construtivas do reservatório inferior de água potável.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 2 – Montagem das formas de madeira.

A figura 3 mostra a armadura construtiva da parede de um reservatório inferior onde é possível notar que as armaduras apresentaram sinais de oxidação pela exposição ao ar. Neste contexto, as barras de aço apresentadas na Fig. 3, embora com sinais de oxidação, só estariam com as suas propriedades mecânicas comprometidas se apresentassem sinais de escamamento por corrosão.

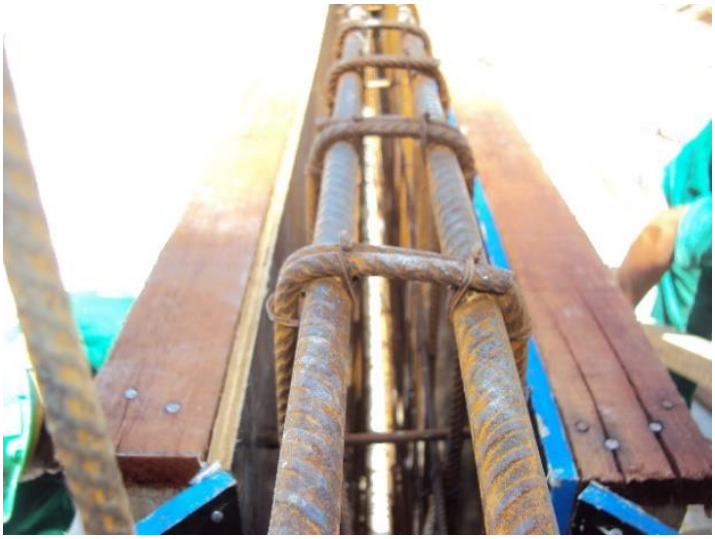


Figura 3 – Detalhe construtivo da armação das paredes do reservatório inferior de água portável.

Por sua vez, a terceira etapa constitui na montagem das formas em posição vertical para a execução das paredes. Após a fixação das formas das paredes, foi realizada a segunda parte da concretagem do reservatório, como mostra a figura 4.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 4 – Concretagem das paredes do reservatório inferior de água potável.

A partir da retirada das formas das paredes e da realização dos posionamentos dos escoramentos da parte superior do reservatório, foi realizada a concretagem da terceira etapa da estrutura. O adençamento manual do concreto é fundamental para a qualidade da estrutura, quando o concreto utilizado não é o auto-adensavel. Neste contexto, segundo Nevile e Brooks (2013), a trabalhabilidade do concreto pode ser definida como a quantidade de trabalho interno útil necessário à obtenção do adensamento total. A etapa seguinte foi a concretagem da tampa de um reservatório inferior, como mostra a figura 5.

Em situações onde o nível do lençol freático é próximo do nível da cota onde está sendo ralizada a concretagem se faz necessario a ultização de rebaixamento de lençol freático para a realização de todos os serviços de execução dos reservatórios. Assim, a necessidade da utlização de rebaixamento de lençol freatico para a execução dos reservatórios indica a pressão externa que as paredes de concreto do revervatório deverão suportar. Neste contexto, a ocorrência de falhas neste processo construtivo pode ocasionar infiltrações nos reservatórios. A figura 6 mostra a

Figura 5 – Concretagem da tampa do reservatório inferior de água potável.

ISBN: 978-85-65425-32-2

No segundo reservatório, foi realizada a concretagem de uma camada de concreto magro antes da excução da base do reservatório, como mostra a figura 6.

Figura 6 – Execução do concerto magro.

A partir da aplicação de uma camada de concreto magro do concreto magro foi executada a base do reservatório. Em seguida foi aplicada a montagem de formas para a fixação de armações das paredes do reservatório. Nesta etapa de concretagem, existe a possibilidade de ocorrência de uma emenda de concreto entre o encontro das paredes e da base do reservatório. Desta forma, pode ocorrer o aparecimento de infiltrações de origem do lençol freático para dento do reservatório, e, portanto, ocasionar a corrosão de armaduras presentes nas emendas. Assim, a NBR 6118 (ABNT, 2014), item 2.6, diz que o projeto de execução de uma junta de concretagem deve indicar de forma precisa o local de configuração de sua superfície. Sempre que não forem asseguradas a aderência e rugosidade entre o concreto novo e o existente, devem ser previstas armaduras custura, devidamente ancoradas em regiões capazes de resistir aos esforços de tração. Por sua vez, Araújo (2014) diz que as tensões do tipo tração podem ser elinimadas quando há uma compressão transversal à barra ancorada, como ocorre nos apoios das vigas. Entretanto, nos locais onde essa compressão não existe ou é insatisfatória, deve-se prever uma armadura capaz de resistir ao esforço de tração transversal. Desta forma, a figura 7 mostra o posicionamento das juntas frias no reservatório inferior. Por sua vez, a figura 8 mostra a concretagem da base do reservatório inferior com as armaduras construtivas das paredes do reservatótrio ancorados sobre a base do reservatório, onde estas duas paredes são concretadas em etapas diferentes. Em seguida, as bases do reservatório foram concretadas a partir da aplicação e das formas metálicas nas paredes dos reservatórios por um período de 48 horas, como mostra a figura 9.

ISBN: 978-85-65425-32-2

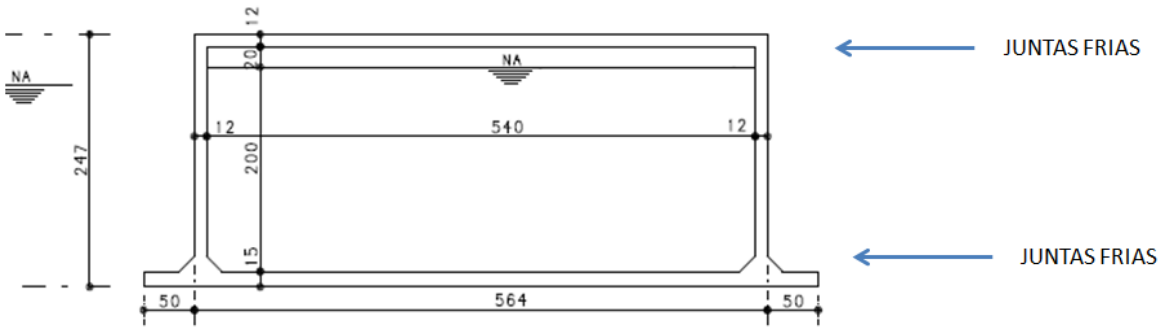


Figura 7 – Juntas frias do reservatório inferior de água potável.

Figura 8 – Concretagem da base do reservatório inferior de água potável.

Figura 9 – Paredes dos reservatórios inferiores concretadas.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A interrupção da concretagem já deve ser definida no projeto, em que a ausência deste procedimento na excução da obra pode ocasionar o aparecimento de junstas frias. Assim, antes de etapas de concretagem é necessário o conhecimento prévio de que não existe outro material além do concreto na estrutura antiga. Isto é importante porque a interferência de outros materiais, como, por exemplo, a areia pode ocasionar uma maior dificuldade de aderência do concreto novo sobre o antigo na região de interface sobre eles. Assim, antes da concretagem pode ser aplicada uma lavagem para a retirada de qualquer material que possa dificultar a aderência mecânica do concreto. Na terceira etapa foi adicionada a tampa do reservatório, a partir da aplicação de escoramentos para a concretagem desta peça estrutural. É importante ressaltar que nesta estapa pode ocorrer uma emenda de concreto entre as paredes dos reservatórios e na sua parte superior como mostrado na figura 10.

Figura 10 – Execução da tampa do reservatório inferior de água potável.

3.2 A estação de tratamento de esgoto

A primeira etapa para a construção da estação de tratamento de esgoto consistiu no rebaixamento de lençol freático, como mostra a figura 11. Esta estação de tratamento encontra-se no mesmo empreendimento do reservatório inferior mostrado na figura 9. A presença de água na execução da montagem das armasduras construtivas representou uma dificuldade. Para resolver esta situação foi necessario a utlização de quatro bombas de rebaixameto de lencol freático. Neste contexto, a figura 12 mostra execução das armaduras construtivas da base e das paredes da estrutura.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 11 – Execução da base da estação de tratamento de esgoto.

Figura 12 – Montagem das armaduras construtivas da estação de tratamento de esgoto.

A concretagem das paredes da estação de tratamento de esgoto foi realizada de forma similar ao caso do reservatório inferior de água potável. Após a realização desta etapa foram constatados dois pontos de emedas de concreto nas interfaces tanto da base-parede quanto da parede-tampa da estação de tratamento.

A figura 13 mostra as paredes da estação de tratamento concretadas. Nesta etapa de concretagem houve a ocorrência de mais um ponto de emenda como é possível constatar pode no centro da parede apresentada na figura 13. Estas emendas surgiram devido ao fato da concretagem das paredes ter sido realizada em períodos diferentes.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 13 – Parede da estação de tratamento de esgoto concretada com surgimento de emenda.

Outro aspecto importante foi o aterro realizado ao lado das peredes da estação de tratamento, como mostrado na figura 14. Neste sentido, foi constatada a presença de água na parte interna da estrutura. Indicando, desta forma que a água estava infiltrando na estrutura da estação de tratamento. É possível inferir que a entrada de água ocorreu pelas emendas de concreto formadas entre a base-parede da estação de tratamento. Pode-se notar também a presença de água ao lado da estação de tratamento. Assim, as bombas de rebaixamento foram retiradas para a execução do aterro lateral as paredes de concreto da estação de tratamento como mostra a figura 14.

Figura 14 – Aterro lateral da estação de tratamento de esgoto.

Após a retirada da água da parte interna da estrutura, o aterro lateral das paredes foi concluído. Assim, executou-se a montagem de escoramentos para a concretagem da parte superior da estação de tratamento, como mostrado na figura 15. É importante ressaltar que

ISBN: 978-85-65425-32-2

o tempo de cura do concreto deve ser respeitado para a realização da etapa de impermeabilização.

Figura 15 – Etapa de montagem de escoramentos para a concretagem da parte superior da estação de tratamento.

3.3 A Piscina

As etapas para a construção do reservatório do tipo piscina consistiram em: concretagem; montagem de formas e de montagem de armaduras construtivas. Neste sentido, a base em concreto armado foi fixada acima de duas vigas de concreto armado em forma de cruz, de forma a resultar em uma maior estabilidade à estrutura em contato com o solo, como apresenta a figura 16.

Figura 16 – Execução da base da piscina

ISBN: 978-85-65425-32-2

A execução da base da piscina foi definida a partir da interface de base-parede para absorver os esforços de tração. Após a excução da base aplicou-se as formas de madeira para a programação da concretagem das paredes de concreto, da piscina. Neste tipo de estrutura pode haver a ocorrência de emendas entre a base-parede da piscina. Tais emendas ocorrem, por exemplo, a partir da etapa de concretagem ser realizada em períodos diferentes. Assim, a possibilidade de agentes agressivos entrarem em contato com a estrutura de concreto armado é alta. Neste contexto, a figura 17 mostra a montagem das formas para a concretagem das paredes da piscina.

Figura 17 – Montagem das formas de madeira da piscina

3.4 A impermeabilização dos reservatórios

A etapa de impermeabilização da parte superior tanto da estação de tratamento de esgoto quanto do reservatório inferior de água portável foi realizada com a mesma estratégia. No caso, A estratégia consistiu no uso do material baseado em manta asfáltica. Esta etapa é apresentada na figura 18. Após esta etapa foi realizada a proteção mecânica da estrutura, a partir da utilização de um piso de concreto. Desta forma, a manta asfáltica aplicada não sofreu efeitos de avaria. Posteriormente, no caso da conclusão da estação de tratamento de esgoto, foi realizado um aterro para a construção de uma área de estacionamento, como mostra a Figura 18.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 18 – Etapa de impermeabilização por manta asfáltica do reservatório inferior de água potável.

É importante ressaltar que a execução da manta asfáltica deve ser aplicada em situações onde a impermeabilização deverá receber uma proteção mecânica evitando o rompimento ou descolamento da manta no substrato. Neste sentido, a aplicação da manta não pode ficar exposta ao desgaste da luz solar devido à possibilidade de comprometimento do sistema de impermeabilização. Após regularizar a superfície de aplicação, ocorreu a etapa de secagem por 48 horas. Em seguida, foi realizada a imprimação da área de aplicação, bem como a aplicação do material impermeabilizante com o maçarico, como apresentam as figuras 19 e 20. Em relação ao dimensionamento para a aplicação da manta asfáltica, a mesma foi confeccionada a partir da utilização dos padrões de mercado. No caso, as mantas foram fornecidas em bobinas com as seguintes dimensões: 10mx1mx2-5 mm.

Figura 19 – Impermeabilização do reservatório inferior de água potável por manta asfáltica.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 20 – Impermeabilização por manta asfáltica.

Após a etapa de impermeabilização por manta asfáltica, tanto da parte superior do reservatório inferior de água portável quanto da estação de tratamento de esgoto, ambos foram concluídos. Neste sentido, as figuras 21, 22 e 23 mostram o reservatório de água potável e a estação de tratamento concluídas. No caso da estação de tratamento e do reservatório mostrado na figura 22, a sua finalização ocorreu a partir da excução da pavimentação e excução das vagas de estacionamento acima da estação de tratamento.

Figura 21 – Garagem acima do reservatório de água potável concluído.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 22 – Finalização do reservatório inferior de água potável.

Figura 23 – Finalização do reservatório de estação de tratamento de esgoto.

Por outro lado, as figuras 24 e 25 mostram a etapa de impermeabilização do reservatório tipo piscina a partir da aplicação da argamassa polimérica.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 24 – Aplicação de argamassa polimérica no reservatório do tipo piscina.

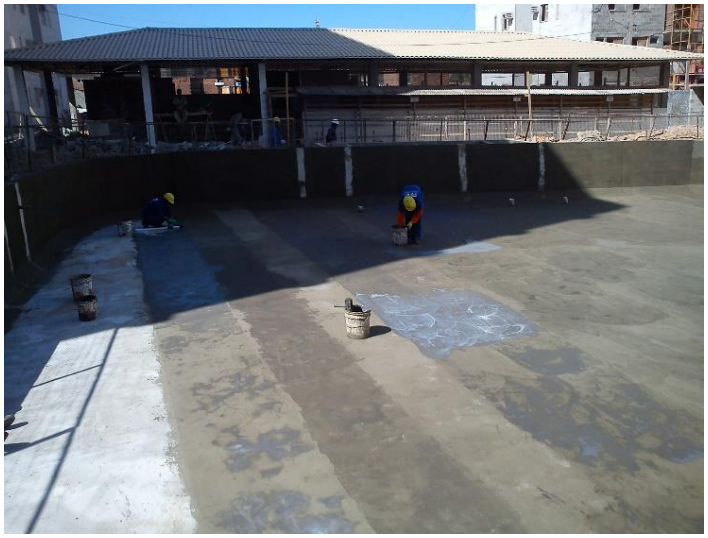


Figura 25 – Aplicação de argamassa polimérica no reservatório do tipo piscina.

Em seguida, foi realizado o teste de estanqueidade no reservatório tipo piscina. Neste contexto, realizou-se a proteção mecânica com um contra piso e em seguida aplicou-se a camada de revestimento cerâmico na piscina.

Finalmente, após a devida aplicação da argamassa polimérica como estratégia de impermeabilização da piscina, a mesma foi concluída com sucesso, como mostra a figura 26.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 26 – Piscina totalmente executada.

4. Conclusões

Foram avaliados os procedimetnos de construção e estratégias de impermeabilização para minimização de ocorrências de manisfestações patológicas nas estruturas baseadas em concreto armado dos seguintes tipos de reservatórios: (i) um reservatório inferior de água potável, (ii) uma estação de tratamento de esgoto e (iii) e uma piscina. A partir dos aspectos observados durante as etapas de execução dos reservatórios, foi constatado que o período da etapa de concretagem das paredes destes sistemas foi o principal responsável pelo surgimento de emendas estruturais entre as mesmas. Também foi constatada a ocorrência de juntas frias durante o procedimento de execução do reservatório inferior de água potável, na estação de tratamento e na piscina. Assim, como estratégia para a minimização de manifestações patológicas nos reservatórios considerados neste trabalho, foram realizados, com sucesso, procedimentos de impermeabilização via manta asfáltica para o caso dos reservatórios dos tipos (i) e (ii) na parte superior da estrutura com a execução de uma proteção mecânica e via argamassa polimérica para o caso do reservatório tipo (i),(ii) e (iii) na parte interna das estruturas, devido a pressão interna e externa pelo qual o sistema deverá se submetido.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e à FACEPE.

Referências Bibliográficas

A.M.Nevile, J.J Brooks. Tecnologia do concreto, 2ª edição Ed.Bookman, Porto Alegre, 2013.

A.M.Nevile. Propriedades do concreto, 5ª edição Ed.Bookman, Porto Alegre, 2016.

Associação Brasileira de Novas Técnicas. NBR- 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ISBN: 978-85-65425-32-2

José M. Araújo. Curso de Concreto Armado, Rio Grande do Sul. Ed. Dunas, 2014.

_____.NBR-6118: Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 2014.

Manoel H.C. Botelho e Osvaldemar Marchetii. Concreto Armado eu te amo Vol 1. Ed.Blucher, São Paulo, 2013.

Vicente Gentil. Corrosão , 6ª edição, Editora LTD, Rio de Janeiro, 2013.

Wiliam F.Smith e Javad Hashemi. Fundamentos de engenharia e ciência de materiais, 5ª edição AMGH Editora Ltda, Porto Alegre, 2012.

I. A. L. Joffily. Análise comparativa da temperatura nas mantas asfálticas em diferentes condições de exposição. Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 2013.

J. Gabrioli e E. Thomaz. Impermeabilização de fundações e subsolos, Revista Téchne Edição 67, site: http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/67/artigo287243-1.aspx, 2002, acessando em 22/05/2017 às 13:20h,

ISBN: 978-85-65425-32-2

PROCEDIMENTO PARA IMPERMEABILIZAÇÃO COM USO DE MANTA ASFÁLTICA EM UM CONDOMÍNIO NA CIDADE DE TERESINA – PI: UM ESTUDO DE CASO

Procedure For Waterproofing With The Use Of Asphalt Blanket In A Condominium In The City Of Teresina - PI: A Case Study

Samuel Campelo DIAS[1], **Antônio Sobrinho** SOUSA [2], **Allyson Paulino da** SILVA[3], **Diego Silva** FERREIRA[4]

[1] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI, Brasil, samuel.c.dias@hotmail.com

[2] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI, Brasil, sobrinho.antonio@hotmail.com

[3] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI, Brasil, allyson_paulino@hotmail.com

[4] Coautor, Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI, Brasil, diegof.engenheiro@gmail.com

Resumo: As patologias da construção civil estão diretamente ligadas às falhas de execução, processo ou serviço, por não cumprir normas regulamentadoras, por especificidade do meio, características climáticas, não cumprir as especificações do fabricante, falta de revisão ou não realização do estudo e da reflexão de ações do meio e como combatê-las. O trabalho apresentado tem como objetivo a proposta de correção de impermeabilização em um condomínio residencial, situado na zona leste de Teresina, Piauí. Sendo a impermeabilização a ferramenta que busca garantir a estanqueidade da estrutura protegendo da ação de fluídos, quando problemática, é a maior responsável pelo surgimento de patologias. Neste estudo de caso utilizou-se manta asfáltica, impermeabilização do tipo flexível, pois o local sofre grandes variações por conta de sua extensão. Aplicou-se como metodologia um estudo de caso com embasamento em referencial teórico. Ao final verificou-se a importância da execução da impermeabilização, pois a correção é feita com a retirada total da impermeabilização existente.

Palavras-chave: Patologias. Impermeabilização. Infiltração. Manta Asfáltica.

Abstract: The pathologies on constructions are connected at the execution failures or by the services, by no greeting at the regulatory norms, weather behavior, making against manufacturer's norms, revision failures or the lack studies of behavior modifications of interference waterproof system in a residential complex, placed on east zone on the Teresina city, Piauí, Brazil. The waterproof systems are fundamental tool to prevent against the actions of fluids, the main cause by the pathologies. Can be rigid, plastic or laminar, your utilization are connected by the main structure, the project use asphalt sheet, because the place suffers big variations of your size. The methodology a case study based on a theoretical framework. So, at the close, can be verified the how important is the correct execution of waterproof system already that correction are made by the withdrawal of the all sheet.

Keywords: Pathologies. Waterproofing. Infiltration. Asphalt Blanket.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

Há uma nítida oposição na construção civil, fortemente caracterizada pela relação existente entre o custo e o benefício quando se considera a qualificação da mão de obra na execução de processos que merecem demasiada atenção em canteiros. Até que ponto o gestor da obra está disposto a investir em qualificação ou até onde ele deseja custear o reparo de um processo é um eterno dilema. Há normas que permeiam a obrigatoriedade da responsabilidade técnica acerca de serviços, normas estas que ditam também prazos de validade sobre essas responsabilidades. Assim, terminam sendo acionados judicialmente os responsáveis técnicos para realizarem as devidas correções a fim de sanar os problemas causados por patologias.

As patologias na construção civil são causadas principalmente pela má execução de um processo ou serviço, basicamente por não cumprir normas regulamentadoras ou por essas normas não atenderem às exigências de especificações do meio, características climáticas, especificações do fabricante ou falta de revisão, por outro lado, quando não é feito um estudo específico de destinação das águas pluviais, ela acaba assumindo o papel de meio mais degradante de estruturas, quando se combina com elementos agressivos e poluidores que estão dispersos no meio, deve-se procurar a maneira mais eficaz de combater sua degradação (PIRONDI, 1979).

O Sindicato de Compra e Venda de Imóveis de São Paulo – SECOVI-SP – em levantamento de aproximadamente 50 obras de oito construtoras, constatou que aproximadamente 90% das patologias que surgiram após a entrega de chaves estava ligada à apenas 5 itens, a impermeabilização encabeçava a lista, vale ressaltar que a SECOVI-SP não forneceu a porcentagem de cada um (BOCCHILE, 2009).

Em uma obra, o processo de combate à degradação por conta da água é essencialmente a impermeabilização, processo este que consiste inicialmente em aplicar um material não permeável, para impossibilitar a passagem da água de um meio para outro, evitando assim que estruturas que não tenham estanqueidade prevista em projeto venham a ser comprometidas (PIRONDI, 1979).

Portanto, desenvolveram-se processos diversos de impermeabilização durante a evolução da construção civil que buscavam sempre unir seu desejo de dar estanqueidade à estrutura e ainda assim não elevar exacerbadamente o custo da obra.

Segundo Porcello (1998), os custos de impermeabilização de uma obra tangem valores de 1% a 3% do custo total da obra, em uma primeira avaliação, um leigo definiria que o custo não é tão elevado e talvez não devesse receber uma atenção especial já que não resulta num montante de capital tão grande se comparado com o total investido ou capitalizado.

Em um mesmo estudo, Porcello (1998), também considerou que caso a execução seja realizada de maneira indevida e surja uma necessidade de conduzir um processo de reparo, levando em consideração que é preciso existir o acesso ao meio de impermeabilização necessário. Na hipótese de ser escolhido, por exemplo, uma manta asfáltica ou argamassa polimérica sobre a superfície da estrutura, há todo um custo de chegar ao ponto a ser analisado, somado com o reparo na impermeabilização ou até mesmo refazer todo este processo e por fim concluir novamente todo o acabamento, o custo pode subir de 5% a 10%, em relação ao custo total do início da obra.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Segundo a norma de desempenho para edificações habitacionais, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15575-1/2013: Requisitos Gerais, anexo C, o custo de correção de falha de uma impermeabilização pode resultar na substituição de todo o sistema existente e seu revestimento, tendo um custo resultante superior ao custo inicial da própria impermeabilização feita no período de execução da obra.

Este estudo tem como objetivo delinear de maneira reflexiva um caso, específico, de patologia no sistema de impermeabilização em um ambiente residencial coletivo em determinada área de uso comum pelos condôminos que se apresentou isoladamente, não interferindo nas unidades habitacionais propriamente ditas.

2. Referencial Teórico

2.1 Impermeabilização de estruturas

A seleção do sistema de impermeabilização e o projeto são definidos de acordo com a ABNT NBR 9575/2010: Impermeabilização – Seleção e Projeto que, para garantir a estanqueidade das estruturas devem ser adotados um conjunto de elementos e serviços para proteger as construções das ações de fluídos, de vapores e da umidade, bem como os requisitos de salubridade, segurança e conforto do usuário, mostrando a importância da elaboração de um projeto de impermeabilização, assim como os materiais e procedimentos adequados, a fim de evitar atrasos, reconstruções e danos nas estruturas.

Dinis (1997) afirma que os sistemas de impermeabilização existentes possuem diferenças de concepção, princípio de funcionamento, materiais, técnicas de aplicação entre outros.

De acordo com a ABNT NBR 9574/2008, que fixa as condições para execução de impermeabilização, toda obra sujeita à impermeabilização o executante deve adotar medidas no que diz respeito à preparação do substrato, aplicação da impermeabilização e proteção mecânica.

Yazigi (2009) orienta que a proteção mecânica só é prescindível quando o sistema de impermeabilização adotado for autoprotegido, caso contrário o uso é indispensável para que torne o sistema de impermeabilização durável e que suas funções não sejam comprometidas ao longo do tempo.

Schlaedfer e Cunha (2001) afirmam que os projetos de sistemas de impermeabilizações em estruturas são de acordo com o tipo de estrutura, sua rigidez, fluxos d'água, dentre outros fatores.

2.1.1 – Tipos de impermeabilização

Cunha e Neumann (1979) afirmam que em relação à forma e os materiais usados na execução das impermeabilizações existem três principais tipos de impermeabilização:

a) Rígidas

São os concretos e os revestimentos com argamassa que por meio da inclusão de aditivos se tornam impermeáveis.

b) Plásticas ou elásticas

Impermeabilizações feitas com mantas pré-fabricadas ou com elastômeros dissolvidos e aplicados no local.

ISBN: 978-85-65425-32-2

c) Laminares

São sistemas de impermeabilizações executadas com asfalto ou elastômeros, armadas ou estruturadas com materiais rígidos, feltros asfálticos. Também denominadas de pinturas armadas, feita *in loco*.

Schlaedfer e Cunha (2001) referem-se ao sistema de impermeabilização quanto à rigidez ou flexibilidade da estrutura na área impermeabilizada, podendo ser classificadas em:

a) Sistemas rígidos

São impermeabilizações que devem ser aplicadas em estruturas onde exista a menor variação possível de temperatura, vibração e/ou exposição solar. Normalmente empregadas em piscinas enterradas, galerias em geral, reservatórios inferiores; geralmente em locais naturalmente rígidas.

A ABNT NBR 9575/2010 diz que a impermeabilização do tipo rígida deve ser de argamassas impermeabilizantes, membrana epoxídica e cimentos modificados com polímeros ou cimento cristalizante.

b) Sistemas flexíveis

Estruturas onde tenham variações de temperaturas, grandes vibrações, cargas dinâmicas, recalques e/ou exposição solar. Normalmente empregadas em jardins suspensos, coberturas, lajes em balanço, piscinas suspensas, terraços e mezaninos.

A seleção do tipo de sistema de impermeabilização depende de como a estrutura irá resistir a cargas dinâmicas e estáticas, dilatação e retração do substrato, as solicitações dos fluidos, visando garantir a estanqueidade das estruturas. Tendo como principais fatores que devem ser levados em consideração são: pressão hidrostática, frequência de umidade, exposição ao sol, exposição a cargas, movimentação da base e extensão da aplicação (SABBATINI, 2006).

2.1.2 – Patologias devido a não impermeabilização ou falha de execução

Segundo Ripper (1996), a patologia na construção civil pode ser entendida como o baixo ou fim do desempenho da estrutura.

Antonelli *et al*. (2002) afirma em seu estudo que em 42% dos problemas de impermeabilização se dá devido à falta de projeto específico.

Os defeitos no sistema de impermeabilização, de acordo com Moraes (2002), podem ser devido a deficiências no projeto, especificação inadequada dos materiais, incompatibilidade dos projetos auxiliares com o projeto de impermeabilização ou a própria ausência de projeto.

Para Godóy e Barros (1997), os defeitos que podem ser causados pela falha na aplicação, destacam-se:

Caimento inadequado do contrapiso, onde será executado a impermeabilização;

Possibilidade de perfuração da impermeabilização para passagem de tubulações não previstas em projeto;

Não execução de arredondamento dos cantos e arrestas;

Execução da imprimação asfáltica em substrato não adequado, comprometendo sua aderência;

ISBN: 978-85-65425-32-2

Falha nas emendas dos sistemas pré-moldados de impermeabilização;

Segundo Farina e Granatto (1991) as principais origens das manifestações patológicas em impermeabilização são:

Manifestações patológicas originárias de infiltração de água provocadas por falhas;

Manifestações patológicas originárias do processo construtivo que podem provocar o rompimento ou degradação da impermeabilização.

2.2 Manta asfáltica

É um produto feito à base de asfaltos modificados com polímeros e armados com estruturantes especiais, são consideradas membranas flexíveis pré-fabricadas. De acordo com a ABNT NBR 9952/2014, existem quatro tipos de mantas (Tipo I, II, III e IV), de acordo com a resistência a tração e alongamento. Com relação à flexibilidade a baixa temperatura são classificadas em três classes (Classe A, B e C).

Ainda segundo a ABNT NBR 9952/2014, a escolha do tipo deve ser em função dos locais e estruturas a serem impermeabilizadas, da carga atuante sobre a manta, grau de fissuração previsto, flecha máxima admissível, exposição às intempéries e forma de aplicação aderida ou não ao substrato.

As espessuras das mantas podem variar de 3 mm até 4 mm tendo seu desempenho diretamente ligado à sua espessura, porém seu acabamento é inversamente proporcional à espessura, a grosso modo, quanto maior for o número de recortes necessários para executar em determinada aplicação, recomenda-se a utilização de uma manta menos espessa.

Segundo Mello (2005), as principais vantagens da manta asfáltica são:

Menor tempo de aplicação;

Espessura constante;

Fácil controle e visualização;

Não é necessário aguardar secagem;

Aplicação do sistema de uma só vez;

Adequa-se melhor ao cronograma das obras, liberação rápida da área para utilização;

Existência de armadura em toda a superfície.

2.2.1 – Preparação e aplicação da impermeabilização

Para a aplicação das mantas asfálticas deve-se certificar de algumas condições para não comprometer o desempenho do sistema de impermeabilização. Segundo a ABNT NBR 9574/2008, Condições Específicas, item 5, os procedimentos para aplicação de manta asfáltica, sendo a preparação do substrato, imprimação asfáltica da base, aplicação do rolo de manta asfáltica na base, o biselamento das emendas e o teste de estanqueidade estão apresentados detalhadamente no Quadro 1.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 1 – Procedimentos para execução de manta asfáltica

Procedimento	Execução
Preparação do substrato	A superfície a ser impermeabilizada deve estar regularizada, limpa, seca e isenta de desmoldantes e sistemas impermeabilizantes anteriores. A preparação deve ser feita através do caimento em direção aos ralos, arredondamento dos cantos e arestas vivos com raio compatível com o sistema de impermeabilização a ser empregado, acabamento de juntas de dilatação, rebaixo dos ralos, passagem de tubulações, ancoragem.
Imprimação asfáltica da base	Deve ser aplicada uma emulsão asfáltica na superfície limpa e regularizada e aguardar sua cura para que, quando for aplicada a manta asfáltica, haja boa aderência.
Aplicação da manta asfáltica	Desenrolam-se as bobinas, alinhando no local de aplicação. Aplicando a chama do maçarico ou a colagem com asfalto derretido e evitando a formação de bolhas de ar. As emendas devem ser sobrepostas em no mínimo 10 cm entre as mantas ou nos cantos e arestas.
Biselamento das emendas	Para garantir a eficiência é feito o biselamento nas emendas tornando a colagem entre uma manta e outra mais seguras.
Teste de estanqueidade	Após a aplicação da manta asfáltica é feito o teste de estanqueidade com uma lâmina d'água sobre ela, para verificar a ocorrência de alguma infiltração por percolação, por no mínimo de 72 horas.

Fonte – Adaptado ABNT NBR 9574/2008, 2016.

2.2.2 – Proteção mecânica

De acordo com a ABNT NBR 9574/2008 deve ser feito a proteção mecânica estruturada com tela de fios de arame galvanizado ou plástico nas áreas verticais. Nas horizontais, a proteção mecânica, deve ser executada nos locais onde exista a possibilidade de agressão mecânica.

Para a impermeabilização com manta que tem sua superfície autoprotegida, como por exemplo, a manta asfáltica com filme de alumínio na sua superfície exposta, não há a necessidade da execução da proteção mecânica.

3. Metodologia

A pesquisa constituiu um estudo de caso, pois foi avaliada uma situação real de substituição de toda a impermeabilização em um condomínio, através de discussão com referencial teórico e acompanhamento da execução.

Inicialmente em algumas áreas, principalmente do estacionamento do térreo, ocorreram infiltrações e o consequente aparecimento de patologias, devido às áreas de piscina e

ISBN: 978-85-65425-32-2

jardins ficarem no mezanino, ocasionando transtornos para os condôminos. Com isso, foram contratadas duas empresas, uma especializada em impermeabilização, que já tem experiência no mercado, principalmente em caso de reparos e outra de paisagismo, para analisar e solucionar o problema.

4. Estudo de Caso

4.1 Análise do problema

Com a recorrente reclamação dos condôminos devido às infiltrações que estavam ocorrendo em diversos pontos do estacionamento, gerou-se um histórico de abertura de fichas de vistorias que geravam ordem de serviços por parte da incorporadora envolvida, assim, iniciou-se a observação do vício construtivo. A Figura 1 (a) e (b) mostram as patologias encontradas no local devido às infiltrações dos jardins e piscinas do mezanino.

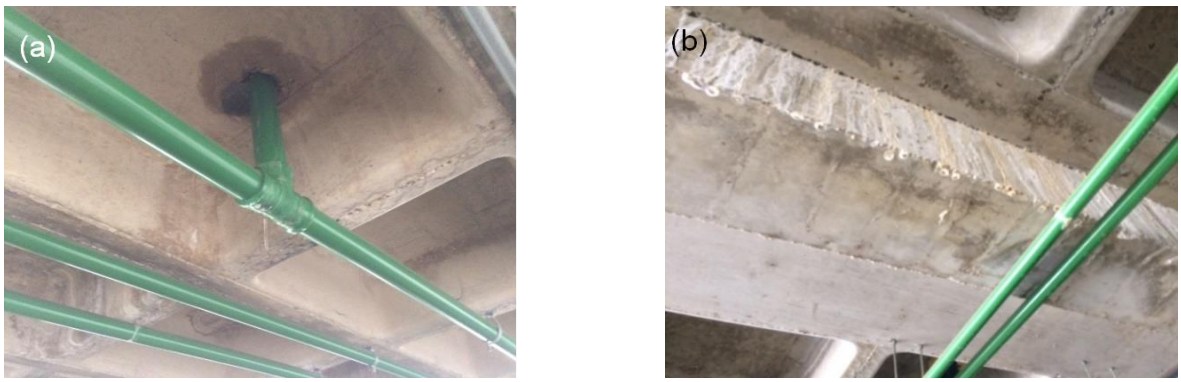


Figura 1 – Patologias surgidas nas superfícies devido às infiltrações em (a) presença de infiltração em torno das tubulações e em (b) formação de eflorescências nas lajes de concreto

Fonte – O autor, 2016.

Foram analisados os prováveis pontos que estariam causando as infiltrações nas lajes do estacionamento do pavimento térreo. Conforme análise foram demolidos alguns trechos do Mezanino, conforme a Figura 2 (a), (b), (c) e (d), onde se verificou que o sistema de impermeabilização com manta asfáltica não estava de acordo com a ABNT NBR 9575/2010 e que poderiam causar mais danos para a estrutura.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 2 – Impermeabilização executada incorretamente em (a) má execução da proteção mecânica em (b) inexistência de proteção mecânica em (c) inexistência de manta asfáltica em mureta e em (d) existência de água sob a manta

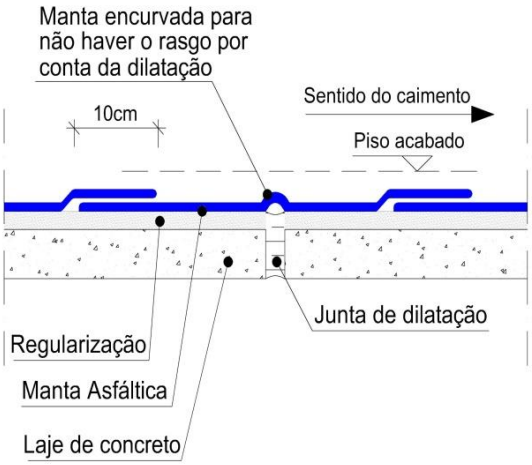
Fonte – O autor, 2016.

Segundo a ABNT NBR 9575/2010, deve ser previsto nos planos verticais, frisos para embutir a impermeabilização a uma altura de 20 cm do piso acabado ou 10 cm do nível máximo que a água possa atingir, possuir uma inclinação mínima em direção aos coletores de água e arredondamento nos cantos e arestas. As Figuras 3 e 4 ilustram detalhes construtivos para a aplicação da manta asfáltica.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 3 – Sobreposição, raio mínimo em

Figura 4 – Emendas, sentido do caimento e cantos e friso para encaixe de manta asfáltica encurvamento de manta em juntas de dilatação



Fonte – Adaptado ABNT NBR 9575/2010, 2017.

4.2 Sequenciamento das atividades

Devido à grande área de ocorrência e em diferentes pontos, a incorporadora decidiu pela substituição total da manta asfáltica, de acordo com projetos e especificações. Com isso, a contratada elaborou um sequenciamento das atividades que seriam realizadas como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Sequenciamento das atividades

CÓDIGO	ATIVIDADE
Planejamento	
A	Projeto executivo
B	Levantamento de quantitativos
C	Planilha orçamentária
D	Contratação de empresa especializada
E	Compra dos materiais
Serviços Preliminares	
F	Retirada de impermeabilização existente
G	Retirada de entulho

ISBN: 978-85-65425-32-2

Execução	
H	Regularização da superfície
I	Aplicação de emulsão asfáltica (primer)
J	Aplicação da manta asfáltica (4mm)
K	Teste de estanqueidade por 72 horas
L	Proteção mecânica da manta
M	Assentamento de revestimentos
Encerramento	
N	Vistoria de entrega dos serviços

Fonte – O autor, 2016.

4.3 Execução dos serviços

Após o aceite da administradora do condomínio, em relação ao sequenciamento proposto pela empresa, foi dado início ao isolamento da área para início das atividades e a retirada da impermeabilização existente. A Figura 5 (a) e (b) mostra a retirada da impermeabilização existente das áreas comuns do mezanino, onde se inclui jardins suspensos, piscina e espelho d'água.

Figura 5 – Retirada da impermeabilização existente em (a) retirada de impermeabilização de muretas e em (b) retirada de impermeabilização de piso

Fonte – O autor, 2016.

Após a retirada da impermeabilização existente e do entulho que foi gerado durante os serviços, foi feito a regularização das superfícies que iriam receber a manta asfáltica – Figura 6 (a) e (b). Alguns detalhes devem ser observados nessa etapa, como o caimento de 1%, arredondamento de cantos vivos, rebaixo dos ralos, o friso para engaste da impermeabilização na vertical.

ISBN: 978-85-65425-32-2

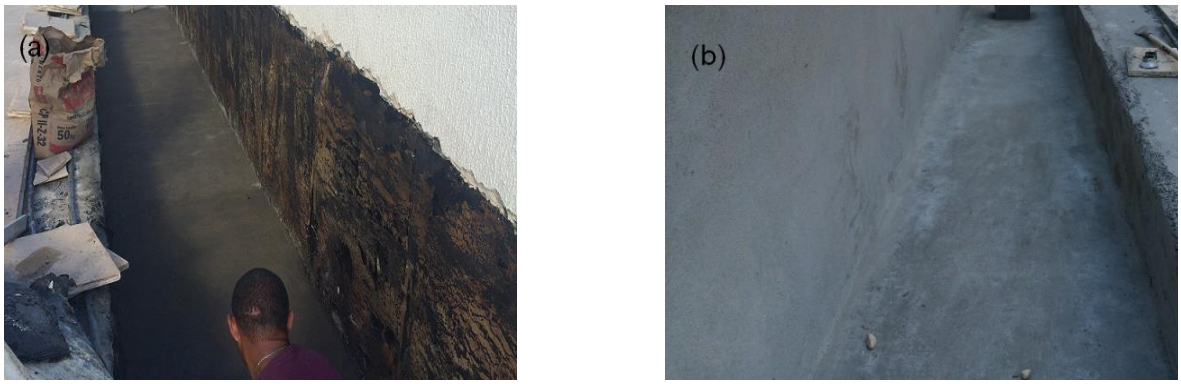


Figura 6 – Regularização das superfícies em (a) execução de regularização, ainda no estado fresco e em b) regularização com cura total

Fonte – O autor, 2016.

Após o período de cura da argamassa utilizada para a regularização, foi feito uma limpeza do local e iniciou-se a imprimação da superfície utilizando emulsão asfáltica – Figura 7 (a) e (b). Esta etapa consiste na melhoria da superfície quando levado em conta a aderência da manta ao substrato.

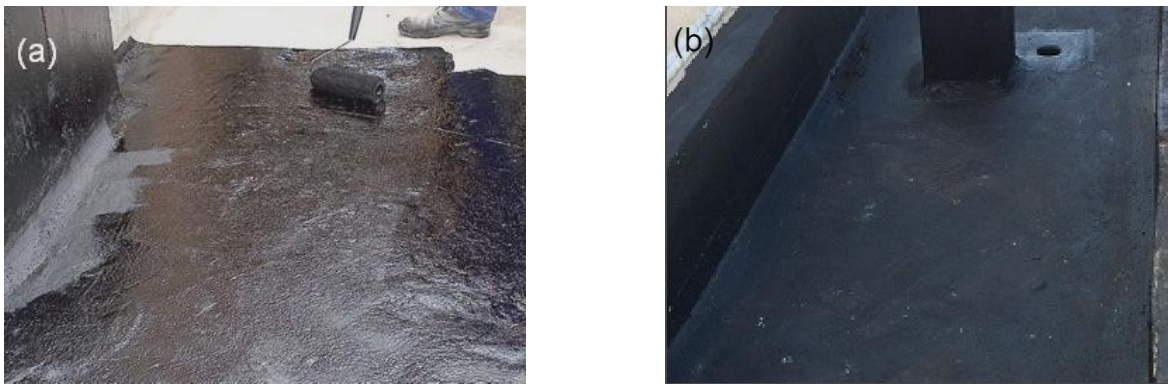


Figura 7 – Utilização de emulsão asfáltica em (a) a aplicação com rolo e em (b) a emulsão já seca para execução de manta asfáltica

Fonte – O autor, 2016.

A Figura 8 (a), (b), (c) e (d) mostra a aplicação da manta com os detalhes construtivos. Segundo a ABNT NBR 9575/2010 nos planos verticais deve ser previsto encaixe para embutir a impermeabilização a 20 cm do piso acabado.

Para a aplicação da manta utilizou-se a chama do maçarico direcionada de forma a aquecer o substrato e a face de aderência da manta, com sobreposições entre as mantas de 10 cm e o biselamento das emendas com colher de pedreiro. Deve-se também retirar qualquer impureza presente na superfície para evitar que a adesão aconteça de maneira superficial, segundo a ABNT NBR 9575/2010, também é recomendado planejar previamente a execução, deixando todo o material a ser utilizado próximo ao colaborador, para evitar que a adesão da manta após sua queima ultrapasse o tempo necessário para o resfriamento

ISBN: 978-85-65425-32-2

do material, evitando assim que seja preciso realizar um novo aquecimento e fazendo com que exista estresse no material ocasionado por uma nova queima da superfície, podendo tornar o local frágil, prejudicando sua aderência e tornando mais suscetível a possíveis falhas.

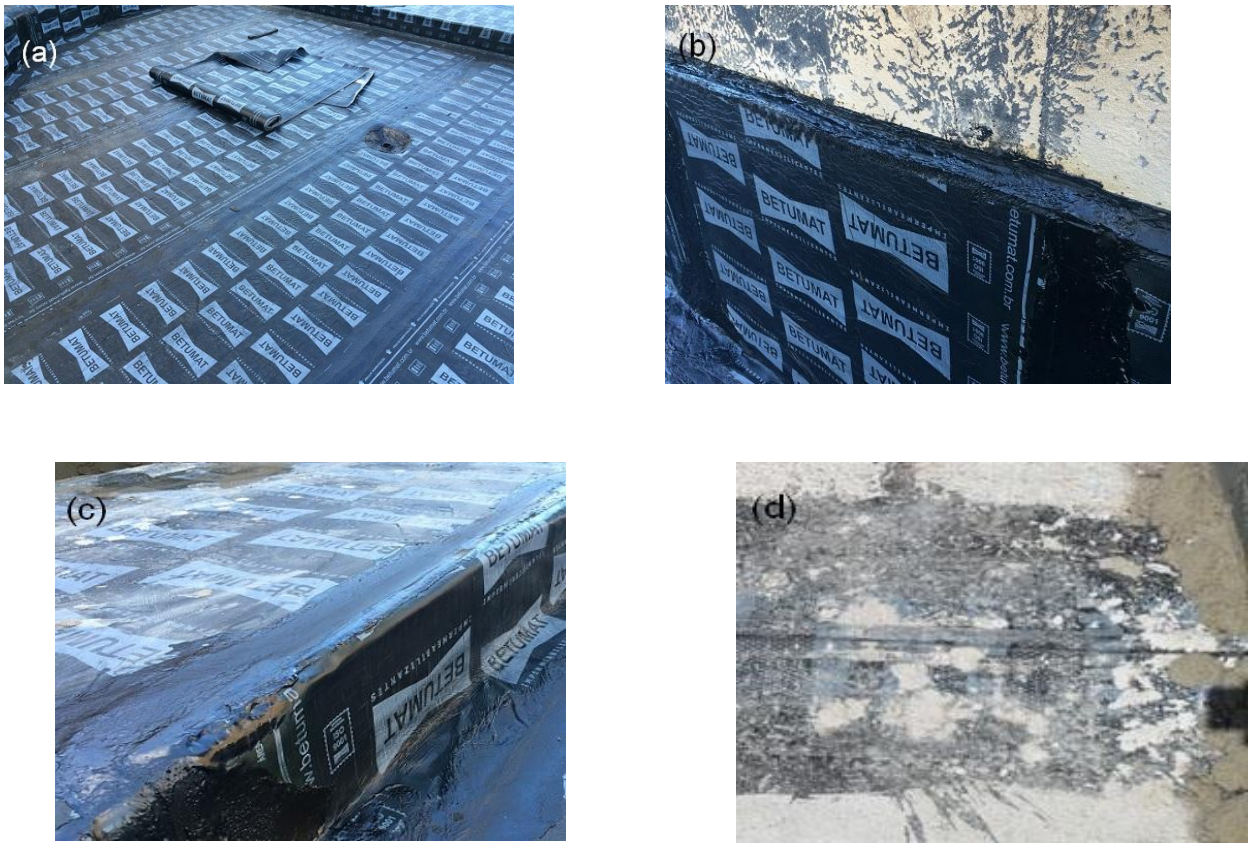


Figura 8 – Manta asfáltica após aplicada em (a) superposição de emenda, biselamento e rebaixo do ralo em (b) friso na horizontal para fixação da manta (c) arredondamento de cantos e arestas e em (d) encurvamento de manta em junta de dilatação

Fonte – O autor, 2016.

Depois de aplicada a manta, os ralos foram isolados e procedeu-se o teste de estanqueidade por 72 horas para verificar a presença de algum vazamento, como mostrado na Figura 9 (a) e (b). O teste de estanqueidade consiste da inundação controlada do local no qual foi preparada a impermeabilização, seguido do monitoramento do local com o objetivo de observar pontos onde ocorreram falhas. Para isso, é monitorada a presença de bolhas partindo da manta para a superfície ou queda brusca no volume de água.

ISBN: 978-85-65425-32-2

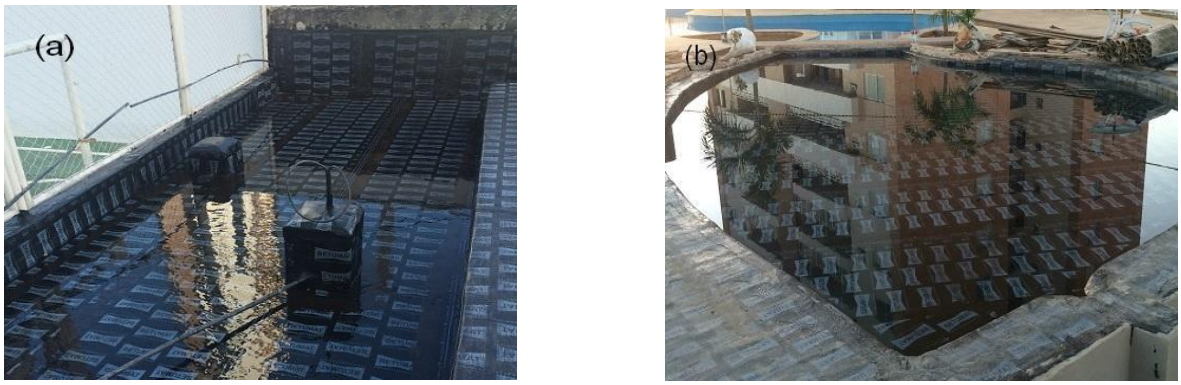


Figura 9 – Teste de estanqueidade em (a) teste feito em jardim e em (b) teste feito em piscina
Fonte – O autor, 2016.

A Figura 10 (a) e (b) mostra a proteção mecânica executada, que serve para isolar a manta e para proteção contra intempéries e ações mecânicas prejudiciais à integridade da manta asfáltica.

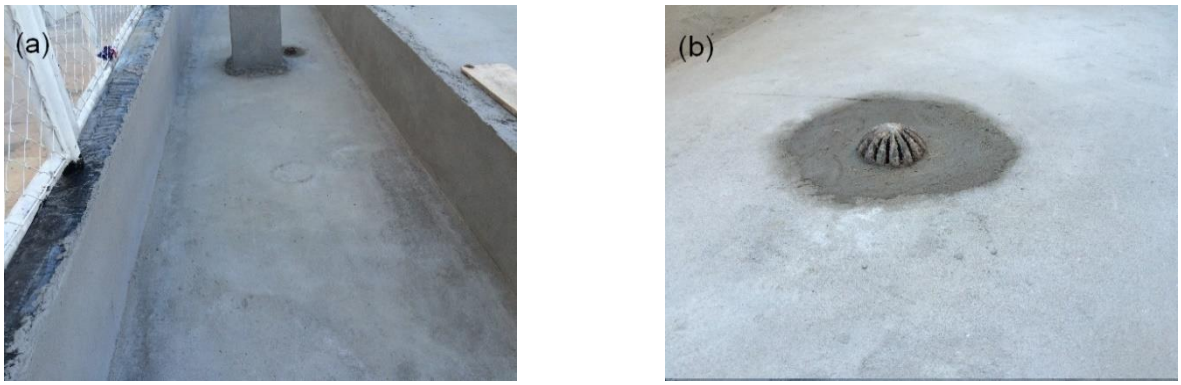


Figura 10 – Proteção mecânica após aplicada em (a) proteção mecânica sobre a manta asfáltica e em (b) proteção ao redor do ralo acompanhando o rebaixo
Fonte – O autor, 2016.

Logo após a cura da proteção mecânica da manta asfáltica, foram executados os revestimentos e refeito o plantio, como mostrado na Figura 11 (a) e (b). É importante conduzir corretamente a cura da superfície da proteção mecânica, evitando possíveis fissuras que tornem o acesso à manta facilitado, é importante também adicionar, quando necessário, as juntas de dilatação, evitando assim, possíveis fissuras já após a cura e todo o restante do processo de acabamento superficial da região.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 11 – Finalização dos serviços em (a) execução de revestimento da piscina e em (b) execução de plantio em jardins suspensos

Fonte – O autor, 2016.

5. Conclusões

Medidas que buscam a prevenção de possíveis problemas extrínsecos à impermeabilização, mas que podem interferir futuramente causando outras patologias que se relacionam intrinsecamente, devem ser adotadas com o intuito de evitar um segundo surgimento em decorrência de medidas e execução não condizente com a estanqueidade da estrutura (GODÓY E BARROS,1997).

Assim, medidas como a prevenção do entupimento de ralos e dutos de escoamento por meio de entulho proveniente do reparo, retirada de materiais perfurocortantes que venham a transpassar a proteção mecânica da manta asfáltica, evitar exposição prolongada da manta asfáltica ao sol e outros, ainda permanecem como imprescindível à uma boa execução.

A seleção do material que será utilizado na execução do serviço deve estar de acordo com a norma vigente para que não surja margem para definir o serviço executado como ineficiente, hora que há a necessidade de que o material atenda a necessidade de requisitos mínimos tendo sua eficiência minorada (CUNHA E NEUMANN,1979).

No caso em questão, a área comum do condomínio ficou interditada durante seis meses, impossibilitando o uso por parte dos condôminos. Diante disso, projetos e a correta execução da impermeabilização são importantes para que transtornos para os clientes sejam minimizados e o retrabalho reduzido, já que aumenta o custo devido ao processo de substituição da impermeabilização.

6. Referências

ANTONELLI, G.R; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Levantamento das manifestações patológicas de lajes impermeabilizadas em edifícios habitados de Goiânia-GO. IX Encontro Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 9574: Execução de Impermeabilização. Rio de Janeiro, 2008.

ISBN: 978-85-65425-32-2

_____. NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 9952: Manta Asfáltica para Impermeabilização. Rio de Janeiro, 2014.

BOCCHILE, Cláudia. Construção Mercado: Dinheiro pelo ralo. Texto extraído de Construção Mercado. 8º edição, 2009. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/8/artigo283546-1.aspx>. Acesso em: 24 set. 2016.

CUNHA, A.; NEUMANN, W. Manual impermeabilização e isolamento térmico. Rio de Janeiro: Texsa Brasileira, 1979.

DINIS, H. A impermeabilização e o usuário – Proposta para classificação dos sistemas impermeabilizantes, segundo suas características físico-mecânicas e de aderência ao substrato. In: 10º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização. São Paulo, 1997.

FARINA, N.M.T; GRANATTO, J. A patologia na impermeabilização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 7., São Paulo, 1991.

GODÓY, E. H. P.; BARROS, M. B. A avaliação de desempenho dos sistemas de impermeabilização com argamassa polimérica. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, v. 10, p. 206-218, 1997.

MELLO, L.S.L. Impermeabilização – Materiais, procedimentos e desempenho. 2005. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005.

MORAES, C. R. K. Impermeabilização em lajes de cobertura: levantamento dos principais fatores envolvidos na ocorrência de problemas na cidade de Porto Alegre. 2002.

PIRONDI, Zeno. Manual Prático de Impermeabilização e de Isolação térmica. SBR Editora e Artes Gráficas Limited, 1979.

PORCELLO, E. C. Impermeabilização. Porto Alegre: PUCRS, 1998.

RIPPER, E. Como evitar erros na construção. 3. ed. Pini. São Paulo, 1996.

SABBATINI, F. el al. Impermeabilização – Sistema e execução. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SCHLAEDFER, C. B. R.; CUNHA, R. Impermeabilização e Recuperação Estrutural. Rio de Janeiro, Sika do Brasil, 2001.

YAZIGI, W. A Técnica de Edificar. 10. ed. Pini. Sinduscon. São Paulo, 2009.

ISBN: 978-85-65425-32-2

UMA REVISÃO SOBRE A EFICIÊNCIA DA REALCALINIZAÇÃO QUÍMICA E ELETROQUÍMICA EM CONCRETOS CARBONATADOS

A Review About The Efficiency Of Chemical And Electrochemical Realkalization In Carbonated Concretes

Igor MACHADO DA S. PARENTE[1], **Marianna** LUNA SOUSA RIVETTI[2], **Daniel** VÉRAS RIBEIRO[3]

[1] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, igor_parente@hotmail.com

[2] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, maryluna1207@hotmail.com

[3] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, verasribeiro@hotmail.com

Resumo: A corrosão causa deterioração das estruturas de concreto armado e, apesar dos estudos desenvolvidos para diagnosticar e remediar os problemas ocasionados, ainda há muitas lacunas existentes, sobretudo quanto às formas de prevenção e reabilitação das estruturas de concreto armado. A realcalinização é uma alternativa para recuperar estruturas carbonatadas, visto que restabelece a alcalinidade do concreto, entretanto, não há um consenso na literatura quanto à repassivação da armadura para diferentes níveis de corrosão. O presente estudo visa verificar, por meio de uma revisão da literatura, a eficiência da realcalinização química e eletroquímica de concretos carbonatados, para vários tipos de concreto e soluções utilizando técnicas eletroquímicas (potencial de corrosão e espectroscopia de impedância eletroquímica), assim como verificar em quais condições o processo de realcalinização é mais eficiente, além da durabilidade da técnica quando exposta a novo ciclo de carbonatação. O estudo da realcalinização é de suma importância para que essa técnica seja utilizada de forma apropriada, proporcionando a efetiva restauração das estruturas de concreto carbonatadas, prolongando, assim, sua vida útil.

Palavras-chave: concreto armado, eficiência, realcalinização, carbonatação, corrosão.

Abstract: Corrosion causes deterioration of reinforced concrete structures and although of studies developed to diagnose and remedy the problems caused, there are still many existing gaps, especially in the prevention and rehabilitation of reinforced concrete structures. The realkalization is an alternative to recover carbonated structures, since it reestablishes the alkalinity of the concrete, however there is no consensus in the literature regarding the repassivation of the reinforcement for different levels of corrosion. This study aims to verify the efficiency of the chemical and electrochemical realkalization of carbonate concretes for various types of concrete and solutions using electrochemical techniques (corrosion potential and electrochemical impedance spectroscopy). As well, to verify the conditions in which the process of realkalization is more efficient and the durability of the technique when exposed the carbonation again. The study of the realkalization is of paramount importance for this technique to be used of appropriate way, providing the effective restoration of the carbonated concrete structures, thus extending its useful life.

Keywords: reinforced concrete, efficiency, realkalization, carbonation, corrosion.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

O concreto armado é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, mas, diversos fatores têm ocasionado a sua deterioração ao longo dos anos. A corrosão das armaduras é umas das principais causas da deterioração das estruturas de concreto, sendo ocasionada, principalmente, pela contaminação do concreto por cloretos (Cl^-) ou pela carbonatação. Segundo Ribeiro *et al.* (2010a), nos ambientes urbanos e sem elevada concentração de cloretos, a carbonatação é, geralmente, o principal fenômeno responsável por desencadear a corrosão.

A corrosão das armaduras em geral apresenta um processo lento até ocasionar o colapso de estruturas, mas, infelizmente, tem acarretado acidentes fatais e gerado prejuízos. Segundo Grochoski e Helene (2008), a parcela dos gastos com reparos e manutenção, em relação ao total gasto pela indústria da construção civil, é, em muitos países, superior a 15%, podendo chegar a superar o montante gasto com novas construções, como ocorre na Itália, onde a parcela dos gastos com manutenção e reparo chega a 57% dos investimentos totais (UEDA; TAKEWAKA, 2007). O mercado mundial de reparo e proteção de estruturas de concreto armado vem crescendo, o que demonstra, de forma indireta, que os custos econômicos e sociais da corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado e protendido consomem parcelas significativas dos recursos financeiros dos países, sejam eles desenvolvidos ou em desenvolvimento (GROCHOSKI; HELENE, 2008), principalmente porque as estruturas de concreto armado estão se deteriorando precocemente, com intervenções corretivas ocorrendo antes do previsto e resultando, consequentemente, em perdas para a sociedade.

A corrosão pode ser definida como um processo de deterioração do material devido à ação química ou eletroquímica do meio ambiente, resultando em perda de massa do material (RIBEIRO *et al*., 2014). A corrosão da armadura de aço de uma estrutura de concreto armado é um processo eletroquímico e ocorre quando há diferença na concentração de íons dissolvidos no interior do concreto, criando células de potenciais eletroquímicos. Segundo Ribeiro *et al.* (2014), a presença de diferentes potenciais eletroquímicos que formam as células de corrosão é devida à ocorrência de heterogeneidades físicas e/ou químicas na superfície do metal. Nas armaduras de aço, estas heterogeneidades são causadas principalmente por diferenças na concentração de íons na vizinhança do aço, tais como álcalis, cloretos e oxigênio. Como resultado, parte do metal torna-se anódico e o outro, catódico, formando uma pilha eletroquímica. A propagação do fenômeno e sua velocidade e intensidade são função da umidade e da temperatura.

A estrutura de concreto armado que sofreu carbonatação, despassivando a armadura, estar suscetível ao processo de corrosão e uma das técnicas para reabilitar estas estruturas é a realcalinização. Esse método não destrutivo combate a corrosão e proporciona o restabelecimento da camada passivadora das armaduras, melhorando, assim, a durabilidade e ampliando a vida útil das estruturas carbonatadas. A avaliação da eficiência desse método é realizada utilizando-se técnicas eletroquímicas, como o potencial de corrosão e a espectroscopia de impedância eletroquímica.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2. Concreto Armado

O concreto é um elemento originalmente alcalino, possuindo pH na ordem de 12,5. Essa elevada alcalinidade é responsável pela formação de uma película fina e aderente ao aço que o protege da corrosão, sendo denominada de película de passivação. Sua formação ocorre por meio da reação química entre o íon ferro do aço e a portlandita (hidróxido de cálcio) presente na fase líquida dos poros do concreto (HELENE, 1986) e responsável por seu elevado pH (REUS *et al.,* 2015).

As estruturas de concreto armado, ao longo do tempo, podem ter seu pH alterado para valores menores, em um processo conhecido como carbonatação, ocasionando a destruição da camada passivadora e propiciando o início do processo de corrosão. A carbonatação ocorre, principalmente, em áreas urbanas, que usualmente possuem grande quantidade de CO_2 emitidos por veículos e parques industriais (GONZÁLEZ *et al*., 2011).

A carbonatação é um processo no qual o dióxido de carbono (CO_2) penetra no interior do concreto por difusão, reagindo com a água presente nos poros, formando ácido carbônico. O ácido carbônico reage com os elementos alcalinos, como o hidróxido de cálcio ou portlandita, $Ca(OH)_2$, formando carbonato de cálcio ou calcita ($CaCO_3$) (Equação 1), originando elementos menos alcalinos e reduzindo, assim, o pH para um valor em torno de 8 (RIBEIRO *et al*., 2014). O diagrama de *Pourbaix* possibilita observar as regiões de imunidade, passivação e corrosão em um sistema ferro-água a 25°C (Figura 1).

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O \qquad (1)$$

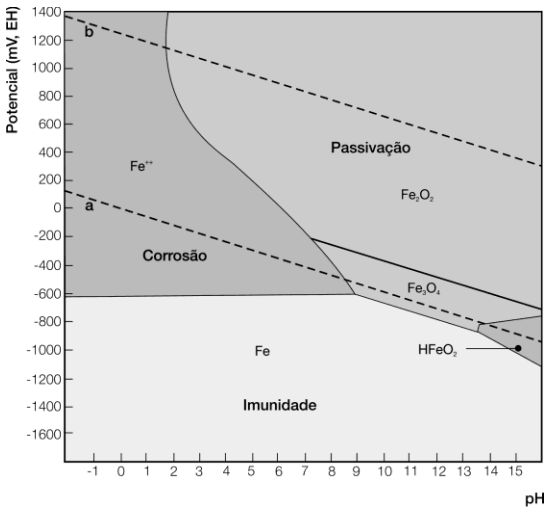


Figura 1 – Diagrama de *Pourbaix* (Ribeiro *et al.* (2014)).

3. Realcalinização

O processo de realcalinização visa restabelecer o pH do concreto, elevando sua alcalinidade e, consequentemente,e proporcionando a proteção da armadura da estrutura, porém, ainda não há um consenso quanto à efetividade da recomposição do filme passivador, pois, este dependerá, entre outros fatores, dos íons alcalinos introduzidos durante o processo como, por exemplo, as hidroxilas (DUARTE *et al.*, 2012).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Segundo Araújo (2004), existem três processos principais de aplicação da técnica de realcalinização. O primeiro é baseado na absorção e difusão de solução alcalina (eletrólito) para o interior do concreto, por ação capilar e de forças hidráulicas atuantes nos poros do concreto, sendo independente de campo elétrico e de fluxo de corrente aplicada, ao contrário do segundo, que se baseia na reação catódica na superfície das armaduras, utilizando um campo elétrico formado por corrente elétrica induzida. O terceiro método é caracterizado pelo transporte de solução alcalina para o interior dos poros capilares do concreto através do fluxo eletrosmótico, ou seja, sob a aplicação de um campo elétrico (MOREIRA, 2006).

A realcalinização pode ser usada tanto de maneira corretiva quanto preventiva, quando ainda não ocorreram grandes diminuições do pH ou a quando a frente de carbonatação ainda não atingiu a armadura, reduzindo os custos de intervenções e prolongando a vida útil do concreto (REDAELLI, 2011). A técnica possui a vantagem de ser um tratamento temporário, cessando após o restabelecimento da alcalinidade e não necessita de remoção do concreto para que seja feita a reabilitação da estrutura, sendo um método não destrutivo, com exceção de situações em que as camadas de concreto estão mal aderidas, com defeitos de concretagem ou degradadas, necessitando de reparos prévios ao tratamento (ARAÚJO, 2009).

3.1 Tipos de Realcalinização

3.1.1 – Realcalinização Química (RAQ)

A realcalinização química ocorre através da absorção e difusão de soluções alcalinas para o interior do concreto carbonatado através da ação capilar e de forças hidráulicas, não necessitando de campo elétrico e de fluxo de corrente (REUS *et al*., 2015). Segundo esse mesmo autor, a realcalinização química ocorre nos capilares dos poros do concreto, onde, por meio de forças hidráulicas, a solução alcalina é absorvida para o interior do concreto. Desta forma, os íons alcalinos contidos na solução reagem com os produtos contidos na água dos poros, formando novos produtos e propiciando a elevação do pH do concreto, assim como a fixação de álcalis no interior do mesmo até atingir a armadura, possibilitando sua repassivação.

Uma vantagem da RAQ em relação à realcalinização eletroquímica (RAE) está na simplicidade da técnica, não precisando de mão de obra especializada e nem equipamentos sofisticados para a medição e controle da corrente elétrica aplicada (ARAÚJO, 2009).

Um esquema do processo que ocorre na realcalinização química por absorção e difusão é apresentado na Figura 2.

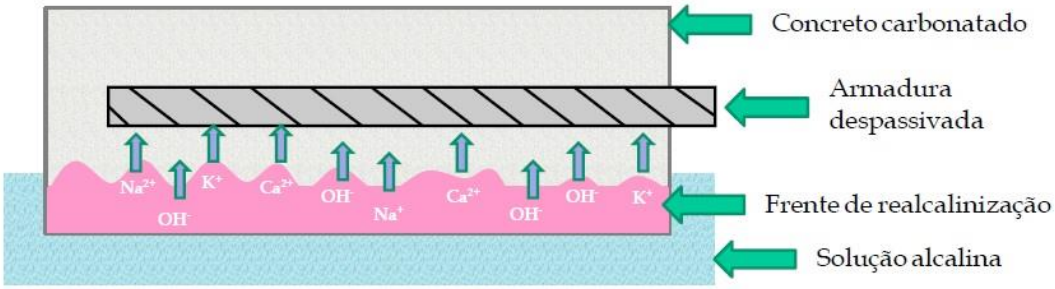


Figura 2 – Representação da realcalinização química (ARAÚJO, 2009).

ISBN: 978-85-65425-32-2

A realcalinização química acontece da superfície externa para a parte interna do concreto (REUS *et al*., 2015), pois, a solução alcalina penetra na face externa em direção à armadura. A Figura 3 ilustra a evolução da realcalinização química no concreto carbonatado.

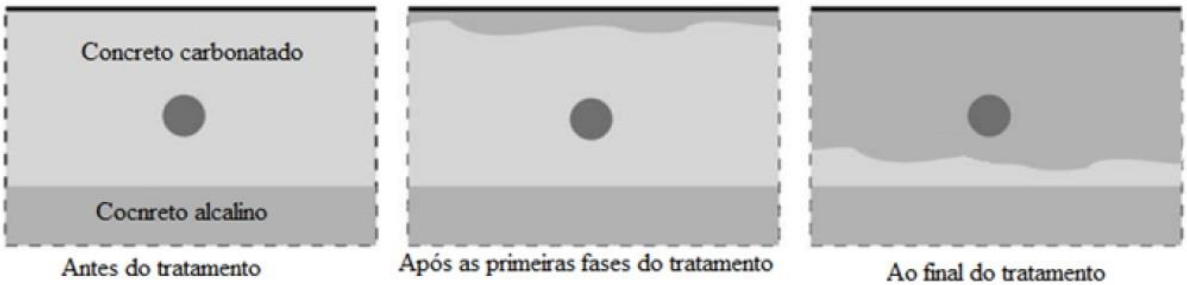


Figura 3 – Evolução da realcalinização química da estrutura de concreto armado ao longo do tratamento (REUS *et al*., 2015).

3.1.2 – Realcalinização eletroquímica (RAE)

A realcalinização eletroquímica é um sistema anódico temporário, em que é instaurado um campo elétrico para a indução do transporte de íons através da migração, na presença de uma solução alcalina (BERTOLINI *et al.*, 2008). A RAE baseia-se, então, na aplicação de um campo elétrico entre a armadura da estrutura (cátodo) e um ânodo externo colocado sobre a superfície do concreto, imersa numa solução alcalina (RIBEIRO *et al*., 2010).

Para a melhor compreensão da técnica é necessário esclarecer o mecanismo eletrosmótico que acontece no interior dos poros do concreto (RIBEIRO, 2010b). Nos poros capilares existe uma dupla camada de água aderida às paredes, sendo a camada interna fortemente aderida e a camada mais externa não tão aderida. Quando se aplica o campo elétrico, a água da camada menos aderida move-se para o polo, reduzindo, desta forma, a quantidade de água livre presente nos poros. Como a concentração iônica da água contida nos capilares é baixa e o coeficiente eletrosmótico é inversamente proporcional à concentração iônica, o transporte eletrosmótico tende a elevar a alcalinidade do concreto carbonatado (GONÇALVES *et al.*, 2003), pois, os íons alcalinos são transportados para o interior do concreto por meio do fluxo eletroquímico osmótico, elevando o pH do concreto. A velocidade de transporte desse fenômeno é significativamente maior do que nos fenômenos de absorção e difusão. Por isso, durante o tratamento de realcalinização eletroquímica sugere-se que a eletrosmose seja o mecanismo de transporte predominante na penetração da solução alcalina (RIBEIRO, 2009).

Segundo Ribeiro (2009) devido à diferença de concentração, durante o tratamento também ocorre a penetração da solução alcalina por difusão e, por se tratar de um processo lento, a quantidade de material transportado neste processo é muito pequena. O eletrólito também entra na estrutura a partir absorção capilar, porém, atinge poucos milímetros da camada de cobrimento, uma vez que há um curto intervalo de tempo do tratamento.

O titânio é um material utilizado como ânodo e, por se tratar de um metal nobre, seu consumo se dá lentamente, resultando em um produto de corrosão pouco expansivo, entretanto, por questões de custo, geralmente adota-se a malha de aço. Os eletrólitos mais

ISBN: 978-85-65425-32-2

usados são o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e o carbonato de potássio (K_2CO_3), no entanto, Ribeiro (2009) e González *et al*. (2011) indicam o hidróxido de lítio (LiOH) como melhor eletrólito, pois, segundo estes autores, o LiOH mantém o pH em torno de 10,5, além da vantagem de seus íons permanecerem por mais tempo na estrutura e de haver uma menor tendência de ocorrência de reação álcalis-agregado (RAA).

Outro ponto importante de ser mencionado na RAE, diz respeito às reações catódicas (GROCHOSKI; HELENE, 2008). As equações 2 e 3 mostram que há a formação de íons hidroxila junto ao cátodo (armadura), auxiliando no restabelecimento das condições de passivação das armaduras. Conforme verifica-se nas equações, devido à passagem da corrente elétrica pela armadura, a água é reduzida a íons hidroxila, ou seja, ocorre a eletrólise da água, aumentando o pH em torno da armadura.

$$1/2O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- \quad (2)$$

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^- \quad (3)$$

Antes de iniciar a RAE, é necessário remover toda pintura ou revestimento existente, bem como reparar o concreto danificado, fissurado ou com ninhos de concretagem, para que a passagem de fluxo de corrente seja uniforme e não comprometa o tratamento (MOREIRA, 2006). O processo de realcalinização eletroquímica é exposto na Figura 4.

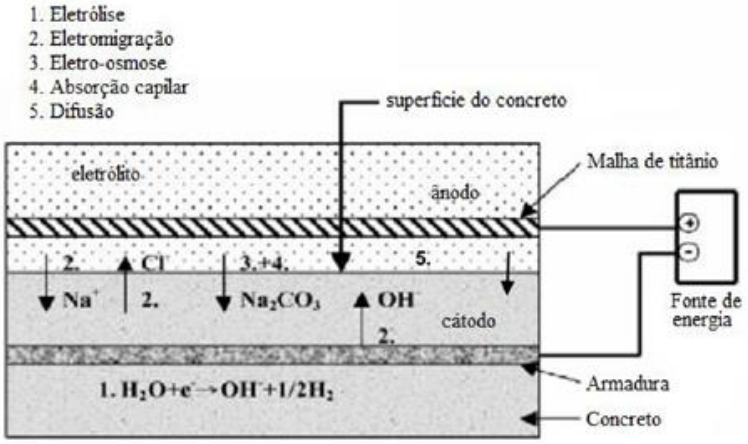


Figura 4 – Representação esquemática da realcalinização eletroquímica (REUS *et al.*, 2015, adaptado de YEIH; CHANG, 2005).

Na realcalinização eletroquímica, a elevação do pH ocorre simultaneamente na face externa do concreto, devido à penetração do eletrólito, e na região da armadura, em função da eletrólise da água. Nesse processo, o pH é elevado, nos primeiros instantes, ao redor das armaduras e na superfície do concreto.

Devido à diferença de potencial, os íons de carga negativa (cloretos e hidroxilas) migram na direção do ânodo e os íons de carga positiva (sódio e potássio) deslocam-se para o interior do concreto, formando correntes elétricas, cuja intensidade é função da quantidade e facilidade de migração dos íons. Cerca de 80% das hidroxilas formadas no entorno do

ISBN: 978-85-65425-32-2

aço, movem-se em direção ao eletrólito (RIBEIRO, 2009). A evolução do processo de realcalinização eletroquímica é apresentada na Figura 5.

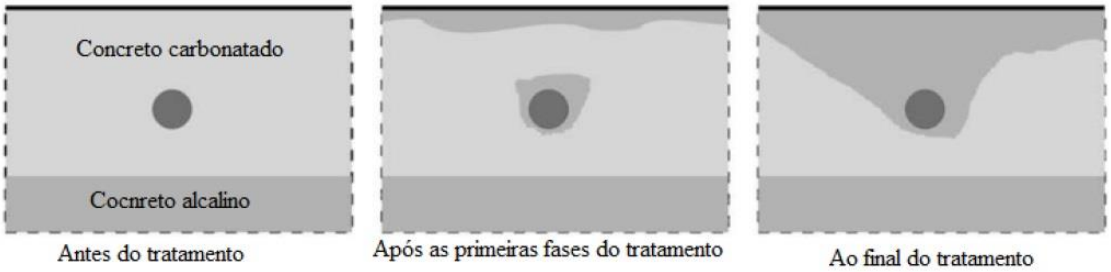


Figura 5 – Evolução da realcalinização eletroquímica da estrutura de concreto armado ao longo do tratamento (REUS *et al.*, 2015, adaptado de BERTOLINI *et al.*, 2008).

A realcalinização pode provocar alguns efeitos colaterais nas estruturas de concreto armado, tais como aumentar a potencialidade da reação álcali agregado, reduzir a aderência do revestimento externo ao substrato realcalinizado, alterar as propriedades físicas e químicas do concreto, entre outros (ARAÚJO, 2009). Segundo Gonçalves *et al.* (2005), essas alterações estão relacionadas com a porosidade e distribuição destes no concreto, devido à movimentação iônica das espécies contidas nos poros, provocando sua diminuição. Pode ocorrer, também, um pequeno aumento de resistividade do concreto devido ao aumento de corrente aplicada no tratamento, a partir da formação de bicarbonato de sódio nos poros do concreto, e uma leve redução da absorção de água devido ao aumento de densidade desse material (YEIH e CHANG, 2005).

3.1.2.1 – Fatores influenciadores

Segundo Ribeiro (2009) existem mais alguns fatores que influenciam a realcalinização, que são: a profundidade de carbonatação, a distribuição da armadura de aço e de corrente, o tipo de cimento, o uso de adições, além da solução utilizada como eletrólito. Ribeiro *et al.* (2013), analisaram a influência das características do concreto na realcalinização eletroquímica, observando que concretos pozolânicos apresentam maior dificuldade para o restabelecimento de sua alcalinidade, exigindo mais carga para completar a realcalinização, pois, concretos que possuem adições minerais possuem uma menor reserva alcalina e, durante a carbonatação, atingem menores valores de pH, necessitando de uma maior densidade de carga para restabelecer a alcalinidade (RIBEIRO *et al*., 2013). A influência da relação água/cimento foi também estudada por Ribeiro *et al.* (2013) que concluíram que quanto menor a relação água/cimento maior a carga total exigida para completar o tratamento, em função de uma maior densidade da matriz. Também foi verificado que concretos com maior espessura de cobrimento precisam de mais carga para completar a realcalinização.

A existência de fissuras, concreto desagregado, ninhos de concretagem ou outros defeitos, pode comprometer a passagem uniforme do fluxo de corrente. Por isso, antes de realizar a realcalinização eletroquímica é importante fazer pequenos reparos na estrutura para eliminar esses defeitos além de limpar quaisquer vestígios de poeira e graxas que venham a impedir o fluxo do eletrólito para o interior do concreto (RIBEIRO 2009).

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.1.2.2 – Critérios de finalização

O tratamento é finalizado após a verificação do restabelecimento do pH necessário para a realcalinização em torno do aço, sendo que não há um critério normatizado. A corrente é suspensa quando se atinge a profundidade de realcalinização desejada, sendo a verificação realizada através de indicadores químicos (MOREIRA, 2006), como a solução de timolftaleína indicadora de pH, cujo ponto de viragem situa-se entre 9,3 e 10,5 (RIBEIRO, 2009). Segundo Ribeiro (2009), a norma NACE SP 0107:2007 e o CEN/TS 14038-1:2004 sugerem que o tratamento deve ser realizado com o mínimo de 200 Ah/m² de armadura e deve ser feito um teste de carbonatação em cada zona anódica.

4. Eficiência da realcalinização

A eficiência do tratamento de realcalinização depende do restabelecimento da alcalinidade do concreto e da reconstituição da camada passivadora ao redor da armadura, sendo de suma importância à obtenção de resultados conclusivos a esse respeito. Além dos aspectos mencionados, os efeitos secundários relacionados aos métodos, tais como a alteração das características microestruturais do concreto, bem como o comportamento do método em função de características do material, como o tipo de cimento e a relação água/cimento, também necessitam de mais estudos (YEIH; CHANG, 2005). Existe o risco de haver manifestações de reação álcalis-agregado (RAA) nos concretos realcalinizados e este varia de acordo com o tipo concreto, dependendo dos materiais empregados. Devido aos efeitos nocivos causados pela RAA, é prudente avaliar para cada estrutura a possibilidade da ocorrência deste fenômeno.

Segundo Zou *et al.* (2017) e Castellote *et al.* (2006a) os estudos desenvolvidos se concentraram em entender as características dos fenômenos envolvidos no método, tais como os mecanismos de transporte envolvidos (VELIVASAKIS *et al.*, 1998; MIETZ, 1995; ANDRADE *et al.*, 1999; CASTELLOTE *et al.*, 2006b; JAŚNIOK; ZYBURA, 2009), a eficiência na repassivação das armaduras (YEIH; CHANG, 2005; ARAÚJO, 2009; ZHANG *et al.*, 2013; MIRANDA *et al,.* 2006; GONZÁLEZ *et al.,* 2000), a eficiência de diferentes eletrólitos no realcalinização (MATSUMOTO *et al.*, 2003; GONZÁLEZ *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2013; BASTIDAS *et al.*, 2013; ARAÚJO, 2004), os efeitos colaterais sobre as propriedades do concreto (GLASS; BUENFELD, 2000), e os efeitos sobre propriedades de concreto (BANFILL, 1997; GLASS; BUENFELD, 2000; YEIH; CHANG, 2005; FRANZONI *et al.*, 2014). Existindo ainda poucos estudos que avaliassem a influência das características dos materiais (RIBEIRO *et al.,* 2013), inclusive com relação à eficiência na repassivação das armaduras e, apesar de alguns estudos indicarem uma tendência de repassivação, os resultados não foram conclusivos (YEIH; CHANG, 2005, REDAELLI, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2014). González *et al. (*2011) e Zhang *et al.,* 2013 afirmam que a realcalinização eletroquímica pode ser aplicada como técnica preventiva em concreto parcialmente carbonatado, assim como Miranda *et al.* (2006), confirmando que a realcalinização é eficiente em atrasar o início da corrosão se usado preventivamente. No entanto, se aplicados tardiamente, eles não asseguram a repassivação da armadura para níveis de corrosão avançados.

Trabalhos como os de Gonzalez *et al.* (2000), Araújo (2009), González *et al.* (2011) e Miranda *et al.* (2006) questionam os resultados do tratamento em relação à repassivação

ISBN: 978-85-65425-32-2

da armadura e sugerem que a eficiência do mesmo depende do nível de corrosão atingido pela armadura durante o seu período de atividade eletroquímica. Segundo Araújo (2009), nem sempre a técnica de realcalinização é eficiente na repassivação das armaduras, pois, nos casos onde a carbonatação já atingiu a armadura e a mesma se encontra em alto grau de corrosão, o tratamento pode não ter a eficácia desejada ou esperada.

Os estudos desenvolvidos não solucionaram as dúvidas relacionadas a eficiência da repassivação das armaduras em concretos carbonatados. Existindo ainda questões que são motivo de controvérsia, conforme Quadro1, que mostra que não existe consenso quanto a reconstituição da camada passivadora das armaduras.

Quadro 1 – Quadro indicativo do ponto de vista de diferentes autores sobre o restabelecimento da camada passivadora.

REPASSIVAÇÃO DAS ARMADURAS	
Indicam tendência de repassivação	**Questionam se ocorre repassivação**
Yeih; Chang (2005)	Gonzalez *et al.* (2000)
Redaelli (2011)	Miranda *et al.* (2006)
Ribeiro *et al.* (2013)	Araújo (2009)
Ribeiro *et al*. (2014)	González *et al.(*2011)

Segundo Ribeiro *et al.* (2010b), devido às peculiaridades e incertezas das técnicas eletroquímicas, se faz necessária a obtenção de uma série de valores indicativos de passivação para concluir a respeito da efetiva repassivação das armaduras, embora no estudo desenvolvido por Ribeiro *et al.* (2013) tenha concluído através da avaliação do potencial de corrosão que houve a repassivação das armaduras, no entanto, esta técnica, por si só, não é suficiente para afirmar com precisão se houve a repassivação.

A eficiência da realcalinização pode ser determinada em função do grau de corrosão das armaduras, a partir das técnicas de medidas eletroquímicas que são utilizadas para o monitoramento do processo corrosivo após o tratamento, tais como o potencial de corrosão e a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE). Segundo Ribeiro *et al.* (2014), o potencial de corrosão é uma técnica de fácil medida em laboratório, sendo bastante utilizada em pesquisas que avaliam o processo corrosivo em concreto armado. No entanto, não é possível avaliar a evolução do processo corrosivo ou mesmo a velocidade de corrosão das armaduras, sendo uma técnica que indica apenas as probabilidades de ocorrência da corrosão. A EIE parte do pressuposto que um determinado circuito elétrico mais ou menos elaborado pode representar o comportamento do aço dentro do concreto. Esse método permite caracterizar o estado da armadura e a morfologia da corrosão, assim como o acompanhamento da evolução do estado passivo ou ativo ao longo de tempo, entre outras informações sobre vários parâmetros (RIBEIRO; ABRANTES, 2016), sendo uma técnica promissora para avaliar a reconstituição da camada passivadora.

Diante do exposto, percebe-se que os estudos desenvolvidos não possibilitaram um consenso sobre a eficiência do processo de realcalinização química e eletroquímica, abrangendo os diferentes tipos de concretos e soluções, existindo lacunas também quantos

ISBN: 978-85-65425-32-2

aos efeitos causados à microestrutura do concreto, a durabilidade dos efeitos do tratamento após a estrutura sofrer nova carbonatação e, ainda, o grau de corrosão em que o tratamento se torna eficiente, entretanto através de técnicas de medidas eletroquímicas é possível avaliar o restabelecimento da camada passivadora de concretos carbonatados.

5. Conclusões

Com base neste trabalho, pode-se concluir que:

A carbonatação reduz a vida útil das estruturas de concreto armado, sendo necessárias intervenções, muitas vezes onerosas, para recuperar as estruturas;

A realcalinização pode restabelecer a alcalinidade do concreto e tem um grande potencial para aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado, visto que gera condições para que ocorra a repassivação das armaduras;

A realcalinização pode provocar alguns efeitos colaterais nas estruturas de concreto armado, como o aumento da potencialidade da RAA, a perda de aderência de revestimento externo com o substrato realcalinizado, as alterações das propriedades físicas e químicas do concreto, entre outros;

Na avaliação da eficiência da técnica de realcalinização utilizam-se os parâmetros eletroquímicos, como o potencial de corrosão, para verificar a condição de risco de corrosão, sendo a espectroscopia de impedância eletroquímica um método promissor para obtenção do grau de corrosão das estruturas, bem como o restabelecimento da camada passivadora;

A realcalinização é uma técnica de reabilitação para estruturas carbonatadas temporária e não destrutiva, mostrando ser uma alternativa viável e prática;

Ainda não há uma concordância quando a reconstituição da película passivadora, pois dependerá do nível de corrosão, das soluções alcalinas utilizadas, além de fatores relacionados às características dos materiais.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal da Bahia pelo conhecimento adquirido e pela estrutura, ao Laboratório de Ensaios em Durabilidade dos Materiais pelo suporte técnico e a agência financiadora CAPES.

Referências

Andrade, C., Castellote, M., Sarria, J., & Alonso, C. (1999). Evolution of pore solution chemistry, electro-osmosis and rebar corrosion rate induced by realkalisation. Materials and Structures, 32(6), 427-436.

Araújo, F.W.C. (2004). Contribuição à viabilização da técnica de realcalinização do concreto carbonatado através da absorção/difusão de soluções alcalinas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Araújo, F.W.C. (2009). Estudo da repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica e realcalinização química. Tese de Doutorado. Curso de Engenharia Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Banfill, P.F.G. (1997). Re-alkalisation of carbonated concrete—effect on concrete properties. Construction and Building Materials, 11(4), 255-258.

Bastidas, D. M., Cobo, A., Otero, E., & González, J. A. (2008). Electrochemical rehabilitation methods for reinforced concrete structures: advantages and pitfalls. Corrosion engineering, science and technology, 43(3), 248-255.

Bertolini, L., Carsana, M., Redaelli, E. (2008). Conservation of historical reinforced concrete structures damaged by carbonation induced corrosion by means of electrochemical realkalization. In: Journal of Cultural Heritage. Milan: Elsevier Science Ltd. p. 376-385.

Castellote, M., Llorente, I., Andrade, C., Turrillas, X., Alonso, C., & Campo, J. (2006a). In-situ monitoring the realkalisation process by neutron diffraction: Electroosmotic flux and portlandite formation. Cement and Concrete Research, 36(5), 791-800.

Castellote, M., Llorente, I., Andrade, C., Turrillas, X., Alonso, C., Campo, J. (2006b). Neutron diffraction as a tool to monitor the establishment of the electro-osmotic flux during realkalization of carbonated concrete. Physica B. v 385-386, Part 1, p. 526-528.

CEN/TS, European Committee for Stardadization. 14038-1. (2004). (Electrochemical Re-alkalization and chloride extraction treatments for reinforced concrete - Part 1: Realkalization, 2004, CEN, Brussels, Belgium.

Duarte, A.C.L., Araújo, T.T., Barbosa, M.T.G., Castanon, J.A. (2012). Análise de procedimentos para recuperação de estruturas de concreto armado corroídas. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC 2012, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2012.

Franzoni, E., Varum, H., Natali, M. E., Bignozzi, M. C., Melo, J., Rocha, L., & Pereira, E. (2014). Improvement of historic reinforced concrete/mortars by impregnation and electrochemical methods. Cement and Concrete Composites, 49, 50-58.

Glass, G.K., Buenfeld, N.R. (2000). The inhibitive effects of electrochemical treatment applied to steel in concrete. Corrosion Science. v.42, p. 923-927.

Gonçalves, A., Andrade, C., Castellote, M. (2003). Procedimientos de reparación de armaduras. Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón: reparación, refuerzo y protección. CYTED – XV – F. Cap. 7. p. 338-376.

Gonçalves, A., Andrade, C., Castellote, M. (2005). Procedimentos de reparo e proteção de armaduras. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. Red Rahabilitar e Degussa. Cap. 7. p. 331-336.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Gonzalez, J. A., Cobo, A., González, M. N., & Otero, E. (2000). On the effectiveness of realkalisation as a rehabilitation method for corroded reinforced concrete structures. Materials and corrosion, 51(2), 97-103.

González, F., Farjado, G., Arliguie, G., Juárez, C.A., Escadeillas, G. (2011) Electrochemical Realkalization of Carbonated Concrete: an Alternative Approach to Prevention of Reinforcing Steel Corrosion. Int. J. Electrochem. Sci. France, p. 6332-6349.

Grochoski, M., Helene, P. (2008). Sistemas de reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras. Boletim Técnico - Série BT/PCC, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo.

Helene, P.R.L. (1986). Corrosão em armaduras para concreto armado. 1ª. ed. São Paulo: PINI.

Jaśniok, M., & Zybura, A. (2009). Modelling the carbonated concrete realkalization. Journal of Civil Engineering and Management, 15(2), 159-168.

Matsumoto, K. I., Ueda, T., Ashida, M., & Miyagawa, T. (2003). Study on realkalization with electrolyte containing lithium ion. International Journal of Modern Physics B, 17(08n09), 1446-1451.

Mietz, J. (1995). Electrochemical realkalisation for rehabilitation of reinforced concrete structures. Materials and corrosion, 46(9), 527-533.

Miranda, J.M., Gonzalez, J.A., Cobo A., Otero, E. (2006). Several questions about electrochemical rehabilitation methods for reinforced concrete structures. Corrosion Science. v. 48, n. 8,p. 2172-2188.

Moreira, C. (2006). Realcalinização de estruturas de concreto carbonatado com utilização de gel saturado de solução alcalina. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás.

NACE, National Association of Corrosion Engineers. SP0107. (2007). (Electrochemical Realkalization and Chloride Extraction for Reinforced Concrete).

Odden, L. (1994). The repassivating effect of electro-chemical realkalisation and chloride extraction. In Proceedings of the Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete (Vol. 2, pp. 1473-1488). Battelle Columbus Laboratories, US Department of Transportation.

Redaelli, E., Bertolini, L. (2011). Electrochemical repair techniques in carbonated concrete. Part I: electrochemical realkalization. J. Appl. Electrochem., v. 41, pp. 817–827.

Reus, G.C., Becker, A.C.C., Raisdorfer, J., Souza, D.J., Cezario, H.C., Lenczuk, B.S.T., Nikkel, S.; Rodrigues, D.S., Medeiros, M.H.F. (2015). Aplicação de soluções alcalinas para realcalinização de concretos carbonatados: uma alternativa para pontes de concreto armado. 44ª Reunião Anual de

ISBN: 978-85-65425-32-2

Pavimentação (44ªRAPv) – 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), Foz do Iguaçu.

Ribeiro, P.H.L.C. (2009). Realcalinização eletroquímica de estruturas de concreto armado carbonatadas inseridas no meio urbano - Influência de características da estrutura no comportamento do tratamento. Dissertação de Mestrado. Curso de Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

Ribeiro, P.H.L.C., Meira, G.R., Ferreira, P.R.R., Barbosa, N.P. (2010a). Realcalinização Eletroquímica de Concretos Carbonatados – Eficiência do Tratamento. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC 2010, Rio Grande do Sul.

Ribeiro, P.H.L.C., Meira, G.R., Ferreira, P.R.R., Barbosa, N.P. (2010b). Realcalinização de concretos carbonatados – influência de características do material. Rehabilitación y refuerzo de estructuras. Congreso Internacional Sobre Patología y Recuperación de Estructuras - CINPAR 2010. Córdoba, Argentina; junio 2010.

Ribeiro, P.H.L.C., Meira, G.R., Ferreira, P.R.R., Perazzo, N. (2013). Electrochemical realkalization of carbonated concretes – Influence of material characteristics and thickness of concrete reinforcement cover. Construction and Building Materials, p. 280 – 290.

Ribeiro, D.V., Almeida, F.C.R.A., Cunha, M.P.T., Helene, P.R.L., Lourenço, M.Z., Sales, A., De Sousa, C.A.C. (2014). Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise. 1. ed. Rio de Janeiro, Elsevier Brasil. v. 1. 244p.

Ribeiro, D.V., Abrantes, J.C.C. (2016). Application of electrochemical impedance spectroscopy (EIS) to monitor the corrosion of reinforced concrete: A new approach. Construction and Building Materials, v. 111, p. 98-104.

Ueda, T., Takewaka, K. (2007). Performance-based Standard Specifications for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan. Structural Engineering International, v. 4, p. 359-366.

Velivasakis, E. E., Henriksen, S. K., & Whitmore, D. (1998). Chloride extraction and realkalization of reinforced concrete stop steel corrosion. Journal of performance of constructed facilities, 12(2), 77-84.

Yeih, W., Chang, J.J. (2005). A study on the efficiency of electrochemical realkalization of carbonated concrete, Construction and Building Materials, v. 19, n. 7, p. 516 – 524.

Zhang, J. X., Jiang, J., Yan, L. C., Lu, J. L., Qian, S. J., Wang, K., & Qu, W. J. (2013). Electrochemical realkalisation and combined corrosion inhibition of deeply carbonated historic reinforced concrete. Corrosion Engineering, Science and Technology, 48(1), 28-35.

Zou, Z., Wu, J., Yu, W., & Wang, Z. (2017). Influence of Mineral Admixtures on the Electrochemical Realkalization of Carbonated Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 29(9), 04017124.

ISBN: 978-85-65425-32-2

INVESTIGAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM UM MURO DE CONDOMÍNIO RESIDENCIAL LOCALIZADO NA CIDADE DO RECIFE-PE

Investigation And Recovery Of Pathological Problems In A Residential Condominium Wall Located In The City Of Recife-PE

Bruno DE SOUSA TETI[1], **Iago** SANTOS CALÁBRIA[2], **Amâncio** DA CRUZ FILGUEIRA FILHO[3]

[1] Universidade de Pernambuco - UPE, Recife-PE, Brasil, Bruno_Teti@hotmail.com

[2] Instituto Brasileiro de Educação Continuada - INBEC, Recife-PE, Brasil, Iago_SC@hotmail.com

[3] Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Recife-PE, Brasil, Amânciofilgueira@hotmail.com

Resumo: O diagnóstico e recuperação das estruturas é uma vertente que se renova cotidianamente na sociedade, solucionando as patologias originadas desde a fase de projeto até os processos de manutenção. Entretanto, sua contribuição vai além dos reparos. Os estudos dos acontecimentos e da interação dos materiais com o meio fazem surgir o desenvolvimento de novas técnicas para serem implantadas dentro da construção civil, evitando o aparecimento de problemas, desde a criação do projeto. Dessa forma, o desenvolvimento desse estudo descreve uma metodologia proposta para o entendimento dos investimentos econômicos em atividades de prevenção, evitando gasto futuros com recuperação; e um método de recuperação estrutural em um muro de condomínio residêncial que se encontra com sua capacidade comprometida. Diante das pesquisas realizadas em campo, observou a necessidade de adequar os estudos da metodologia proposta para melhor explicar os investimentos nas fases do processo construtivo e prevenir gastos excessivos, como o estudo de caso aqui apresentado.

Palavras-chave: Prevenção. Patologia. Recuperação. Economia. Estrutura.

Abstract: The diagnosis and recovery of structures is an aspect that is renewed in a society, solving as pathologies originating from a design phase to the maintenance processes. However, this contribution goes beyond repair. The studies of the events and the interaction of the materials with the environment create the development of new techniques to be implanted within the civil construction, avoiding the appearance of problems, from a creation of the project. Thus, the development of the study describes a methodology proposed for the understanding of economic investments in prevention activities, avoiding future expenditure with recovery; It is a method of structural restoration in a residential condominium wall that meets with its compromised capacity. The objective of the study is to evaluate the need to adapt the methodology studies for the development of exports in the process steps and to prevent excessive spending.

Keywords: Prevention. Pathology. Recovery. Economy. Structure.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

Para efeito de comparação, as estruturas se assemelham ao corpo humano, quando este se encontra doente. Os avisos são dados através de sintomas como: febre, dor de cabeça, dor no peito, perda da consciência, etc. No caso das estruturas: fissuras, infiltrações, descolamentos do concreto, corrosão de armaduras, etc.

Na construção civil, tudo isso ocorre devido ao processo de degradação. Segundo John (1987), esse processo ocorre quando há uma transformação dos materiais ao interagirem com o meio ambiente. Para essas descobertas, foi criada uma ciência que estuda a origem, os sintomas e o mecanismo de ação das doenças estruturais. A patologia trabalha de uma maneira coletiva com os métodos de correção e prevenção, pois reconhece a evolução dos problemas, estuda as suas causas e fornece informações para os trabalhos de reparo, manutenção e prevenção. Contribuindo de maneira significativa para o entendimento do processo de produção, reduzindo o acontecimento dos problemas. Para Helene (1992), patologia é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema. Esse diagnóstico deriva de quatro vertentes originárias: fase de projeto (congênitas), fase de execução (construtiva), agressividade do meio (adquiridas) e fenômenos atípicos (acidentais).

Por que as estruturas entram em colapso? Certamente, as respostas não são simples, pois possuem várias vertentes. Como forma preventiva, é necessário o planejamento de toda construção a ser feita. Como forma corretiva, a investigação e consequente estudo do caso desde sua origem se transformam em exigências para a descoberta dos problemas causadores do colapso e o avanço da construção civil como um meio de desenvolvimento na sociedade.

Dessa maneira, o objetivo desse estudo é abordar patologias originadas de falhas humanas encontradas em algum estágio construtivo, indicando os custos adicionais e algumas possíveis soluções, apresentada em um estudo prático.

2. Construção Civil

Helene (2006), afirma que as primeiras ações para prevenção dos problemas nas estruturas foram adotadas no Código de Leis de Hammurabi (1780 a.C.). Quatro artigos inseridos naquele código de leis dizem respeito a obras, em que falavam da responsabilização dos construtores sobre as consequências negativas que possam apresentar a terceiros. Dessa forma, olho por olho dente por dente, despertou a necessidade de construções duráveis, ou seja, aquela que conserva sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente.

2.1 Patologia das estruturas

Cotidianamente os problemas estruturais se apresentam de maneiras diversas, porém é possível seleciona-los em dois grupos: as patologias visíveis a olho nu e as silenciosas. É evidente que o primeiro grupo torna mais viável a descoberta da problemática, mas fica claro ao passar do tempo que as construções necessitam de manutenção.

O crescimento acelerado da construção civil por todo o mundo fez essa comunidade abrir as portas para um perigo inerente em todas as construções: as patologias nas estruturas. Quando o desempenho da estrutura é ameaçado ou comprometido a anomalia caracteriza

ISBN: 978-85-65425-32-2

uma doença. Portanto, a saúde das estruturas pode ser entendida como a capacidade delas desempenharem as funções para as quais foram idealizadas. Sendo doença falta de saúde e saúde das estruturas entendida como seu bom desempenho, pode-se definir como patologias das estruturas a ausência de saúde. Os problemas encontrados nesse meio são os mais diversos e, em alguns casos, o entendimento do assunto ainda é muito escasso e obscuro. Atualmente, verifica-se uma grande preocupação na tentativa de descoberta do exato momento, no processo construtivo, em que ocorre a falha que consequentemente leva aos diversos tipos de manifestações patológicas existentes. Segundo Aranha (1994), uma investigação pontual irá trazer como resultado um diagnóstico adequado que deve indicar em qual das etapas do processo construtivo o dano teve origem, informando que uma manifestação patológica pode ter origem em mais de uma causa.

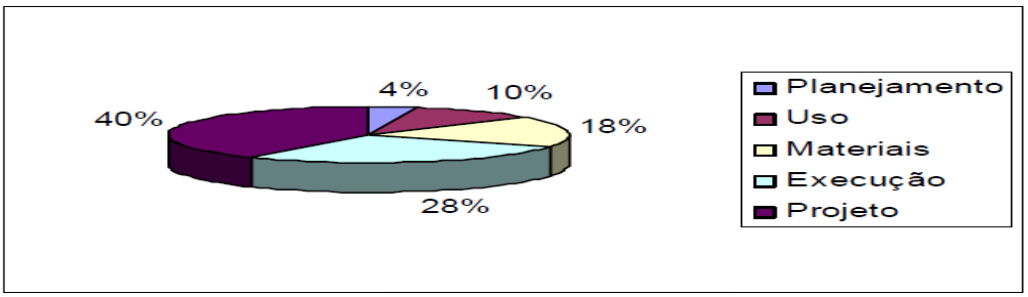


Figura 1 - Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das construções. (Grunau, 1981, *apud* Helene, 1992).

Na figura apresentada acima, é notório a incidência das causas serem por projeto e execução, que juntas somam mais de 50% do total e apenas 32% fica representado por uso, materiais e planejamento. O gráfico da figura 1 tem a finalidade de apresentar, em porcentagem, a incidência das causas patológicas nas estruturas de concreto armado.

Considerando as causas já descobertas, Helene (1988), norteia os próximos passos para a possível resolução do problema, são eles:

Terapia: as medidas terapêuticas de correção dos problemas tanto podem incluir pequenos reparos localizados, quanto às intervenções de restauração ou recuperação estrutural. É sempre recomendável que, após qualquer uma das intervenções citadas, sejam tomadas medidas de proteção da estrutura, com implantação de um programa de manutenção periódica. Este programa deve levar em conta a importância da obra, a vida útil prevista, as agressividades das condições ambientes de exposição e a natureza dos materiais e medidas protetoras tomadas.

Procedimento: a escolha dos materiais e da técnica de correção a ser empregada depende do diagnóstico do problema, das características da região a ser corrigida e das exigências de funcionamento do elemento que vai ser objeto da correção. Por exemplo, nos casos de elementos estruturais que necessitam ser colocados em carga após horas de execução da correção, pode ser necessário e conveniente utilizar sistemas de base epóxi ou poliéster. No caso de prazos mais dilatados pode ser conveniente utilizar argamassas e grautes de base mineral. Nas condições normais de solicitação (após vinte e oito dias) os materiais podem ser argamassas e concretos adequadamente dosados.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Escolha dos materiais: tendo em vista as condições específicas em cada caso, a escolha dos materiais e também da técnica de correção, depende do diagnóstico do problema. É fundamental uma orientação para a escolha racional dos materiais a serem utilizados para a correção de patologias. Em geral, os problemas são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, além de acarretarem outros associados ao inicial. Por exemplo: uma dobradiça defeituosa tende a fazer com que uma porta arraste, estragando os planos da mesma e provoque arranhões no piso. Ao mesmo tempo começa a danificar a fechadura que começa a travar por não estar alinhada com a fenda da lingueta. Pode ainda trazer problemas para o portal que fica sofrendo as pancadas da porta que está se movimentando fora de seu alinhamento normal.

De acordo com essas definições pode-se inferir que as correções terão uma maior facilidade, durabilidade e menor custo, quanto mais cedo forem detectadas e executadas. As medidas terapêuticas são definidas como medidas de correção, podendo ser parcial ou total e tem uma semelhança com os procedimentos e materiais a serem usados, ambos vão variar de acordo com o diagnóstico dado ao problema. A figura 2 ilustra de maneira sucinta a conclusão chegada.

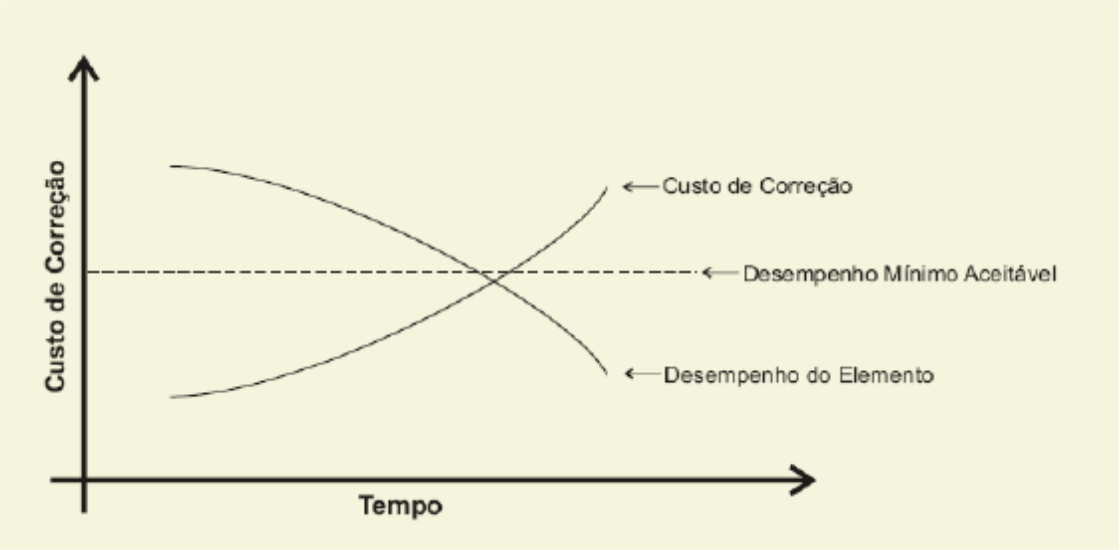


Figura 2 - Evolução dos custos de correções dos problemas patológicos no tempo. (Helene, 1988)

O Gráfico da figura acima mostra como o desempenho do elemento e o custo de correção trabalha quase que inversamente proporcional, pois quanto maior o tempo maior será o custo para corrigir uma patologia e consequentemente menor será o desempenho do material inserido nessa problemática.

Com o passar do tempo e o acumulo de ocorrências na área de construção, aos poucos foram se destacando as patologias mais recorrentes encontradas, devido à execução. As fissuras, a corrosão das armaduras e a disgregação do concreto são problemas encontrados com uma alta facilidade, pois vários fatores resultam nessas consequências.

ISBN: 978-85-65425-32-2

As fissuras são aberturas que se instalam na superfície da estrutura e facilitam a entrada de agentes nocivos. Para Thomaz (1989), os elementos e componentes construtivos se sujeitam a variações térmicas relacionadas às suas propriedades físicas diariamente, o que varia as suas dimensões por meio da dilatação e contração. A amplitude e a velocidade de tais movimentações térmicas devem ser consideradas para a análise das fissuras. Elas também podem surgir em consequência de alternância de ciclos de carregamento e descarregamento ou por solicitações alternadas de tração e compressão, bem como pela retração do concreto em função da rápida evaporação da água em seu processo de cura.

Segundo a NBR 6118, as fissuras são consideradas agressivas quando sua abertura na superfície do concreto armado ultrapassa os seguintes valores:

0,2 mm para peças expostas em meio agressivo muito forte (industrial e respingos de maré);

0,3 mm para peças expostas a meio agressivo moderado e forte (urbano marinho e industrial);

0,4 mm para peças expostas em meio agressivo fraco (rural e submerso).

A corrosão das armaduras é a destruição do material devido à interação que ocorre com o ambiente. Dois são os processos básicos que podem sofrer as armaduras de concreto armado: a oxidação e a corrosão propriamente dita. As causas mais comuns que resultam no aparecimento dessa patologia são as más execuções das peças estruturais, ambientes agressivos, cobrimento inadequado, falta de manutenção e presença de cloretos.

A disgregação do concreto se caracteriza pela queda de massa do mesmo em virtude dos esforços internos ou externos superiores a resistência

2.1.1 Gastos com correções patológicas

Para Andrade e Silva (2011), a cidade do Recife, capital pernambucana, é cortada por cinco rios e possui 105 km de canais, dessa forma é grande a necessidade por pontes para facilitar o deslocamento por dentro da cidade. Segundo Carneiro Filho (2004), em uma pesquisa realizada pela prefeitura da cidade nas 27 principais pontes, apenas cinco foram classificadas em bom estado de conservação. As demais possuíam diversas patologias, e salientou que em três delas foi recomendada a intervenção imediata.

O caso mais grave está em uma ponte com 28 anos de idade, lá foram detectadas patologias muito sérias em todos os seus blocos de fundação. A origem dessa patologia, inicialmente, foi por reações álcali/agregado, levando a uma série de problemas como: fissuração, corrosão de armaduras, ataques de sulfatos, (HELENE, 2002). Foram gastos, na época, para recuperação da ponte 5,5 milhões de reais.

ISBN: 978-85-65425-32-2

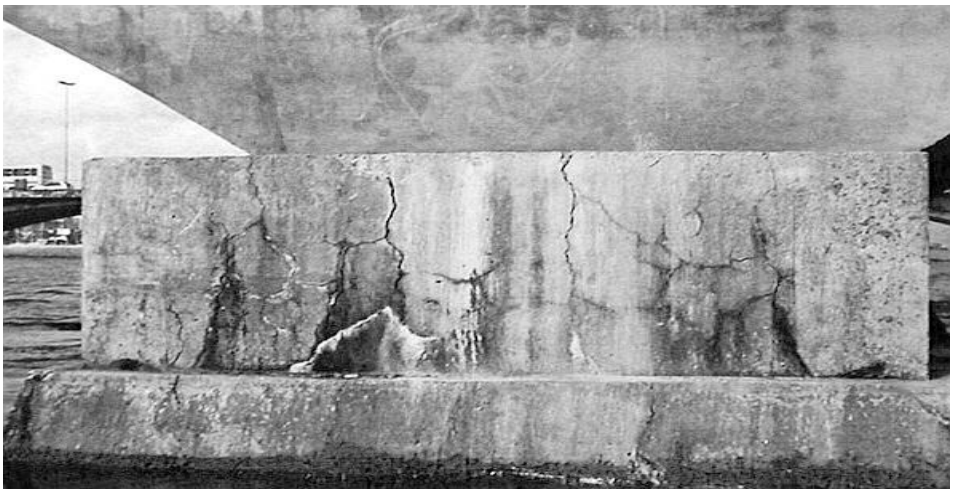


Figura 3 – Bloco de fundação com intensa fissuração e lixiviação induzida por RAA. (Helene, 2002).

É sabido que após um tempo as estruturas estarão necessitando de manutenção, porém a não aplicação das técnicas já desenvolvidas faz com que antes dos 20 anos exista a necessidade de intervenções corretivas generalizadas. Metha e Monteiro (1978), dizem que avaliações realizadas por especialistas estimaram que perdas pela corrosão, em estruturas de concreto, em países desenvolvidos e em desenvolvimento, estão entre 1,25% a 3,50% do Produto Nacional Bruto.

Sitter (1983), diz que: os custos crescem em uma razão geométrica de ordem cinco (1, 5, 25, 125), significando que se gastaria 125 vezes mais em uma intervenção, na fase mais avançada da corrosão, do que se medidas simples tivessem sido adotadas na fase A, quaisquer que sejam, projetos e especificações adequadas e boas práticas construtivas, para garantir uma determinada vida útil.

Para Andrade e Costa e Silva (2011), o maior legado da “Lei dos cinco” não são os valores em si, mas a conscientização da cadeia produtiva de que, o foco da atenção deve ser concentrado nas fases de projeto e construção (A) e na manutenção preventiva (B) para obtenção da durabilidade das estruturas de concreto. A manutenção preventiva, na maioria das vezes, não está relacionada diretamente à estrutura de concreto, mas aos subsistemas que interagem com a estrutura, como: manutenção em instalações hidrosanitárias, em impermeabilizações em lajes, em revestimentos externos, em juntas de dilatações, etc. Com o objetivo de impedir ou dificultar o contato da água com a estrutura de concreto.

ISBN: 978-85-65425-32-2

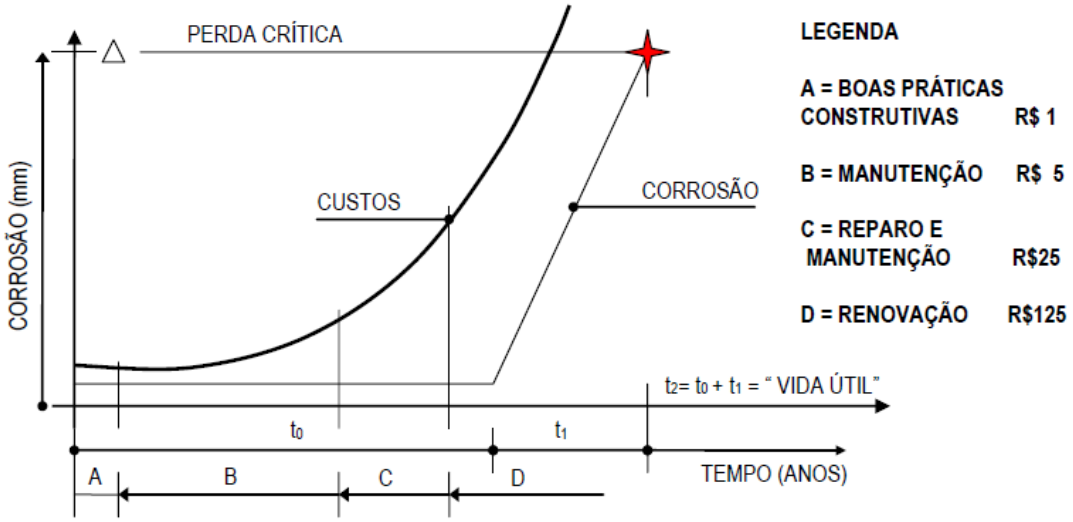


Figura 4 – Gráfico da lei dos cinco. (Sitter, 1983).

Abrangendo um pouco mais a situação de gastos estudados, Perez (1988)**,** enfatiza a importância de se pensar na atividade de manutenção desde a fase de projeto, quando as deficiências podem ser discutidas e corrigidas a custo praticamente nulo em se comparado com as intervenções que eventualmente sejam necessárias.

Na figura 5, a lei dos cinco deixa apenas de ser comparada com problemas corrosivos e passa a valer para toda a construção civil.

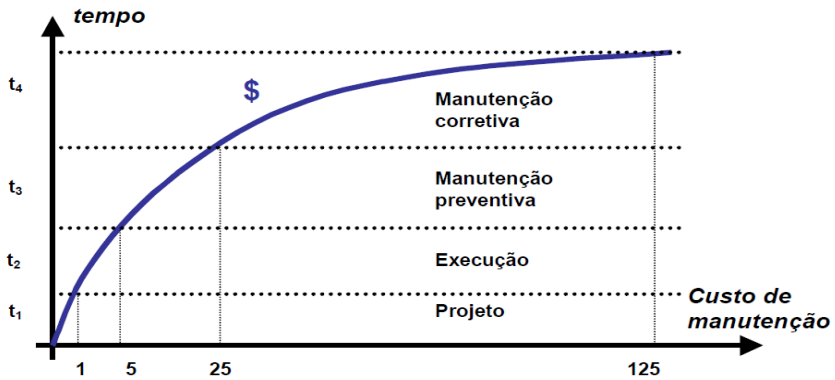


Figura 5 - Gráfico do aumento do custo com manutenção com o passar do tempo. (Costa e Silva, 2008).

3. Estudo de caso

Nesta etapa de trabalho, a parte prática trará o exemplo de patologias desenvolvidas devido às negligências, principalmente, nas etapas de projeto, execução da construção e manutenções preventivas. Posteriormente a identificação dos problemas será mostrada uma solução para contornar as patologias encontradas. Também terá a comparação com a lei dos cincos mostrando os gastos que poderiam ser evitados se seguido às normas desde o início.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.1 Descrição da obra

O caso prático apresentado relata o risco de desabamento do muro de um condomínio e o trabalho de reforço da estrutura para que a mesma possa continuar sendo utilizada em cumprimento com as suas funções. O caso fica localizado na cidade do Recife-PE, no bairro de Boa Viagem.

Figura 6 – Muro com risco de desabamento com área isolada. (Elaborada pelo autor).

Foi verificada pelos moradores do condomínio e de moradias próximas a movimentação do muro quando o mesmo sofria pequenos esforços solicitados: a ação dos ventos e utilização dos moradores e funcionários, como ‘escoro’ de algum objeto ou de seu próprio corpo.

Não houve problema em relação a utilização das dependências do edifício, apenas um pequeno espaço na parte interior e exterior foi interditado para evitar eventuais acidentes, caso o muro viesse a ruir.

3.1.1 Investigação do problema

A análise para diagnosticar as patologias apresentadas pelo muro detectou vários problemas construtivos que levaram a este fim. Foram encontrados: pilares até certa altura do muro, um pilar concretado com madeira no lugar do aço, cobrimento não conforme com a NBR 6118:2014 e a falta de uma cinta de amarração superior.

Figura 7 – Análise visual da estrutura corrompida. (Elaborada pelo autor).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 8 – Pilar concretado com madeira. (Elaborada pelo autor).

As figuras acima demonstram os erros construtivos diagnosticados como causadores do problema:

Cobrimento: O local da construção é uma cidade litorânea, próximo ao mar e classificado com uma classe de agressividade III, ambiente marinho e risco de deterioração grande, segundo NBR 6118:2014. Assim, é possível detectar uma não conformidade do cobrimento, que determina 40 mm para um pilar de concreto armado;

Pilares: Em alguns pilares, foi encontrado um processo de deterioração maior, devido a corrosão de armaduras. Em um a perda de seção foi maior que 10% e foi recomendada a troca total para que o pilar pudesse se comportar de maneira devida.

Outra situação não conforme encontrada, com os pilares, foi uma limitação do pilar. Todos só foram executados até a metade do muro, conversando com moradores antigos, foi possível descobrir que o crescimento foi feito para preservar a segurança dos moradores. Na figura 8, é possível perceber que a armadura usada para concretar, um pilar, foi a madeira. A avaliação da equipe indica que esse é o erro mais grave, devido a falta de conhecimento.

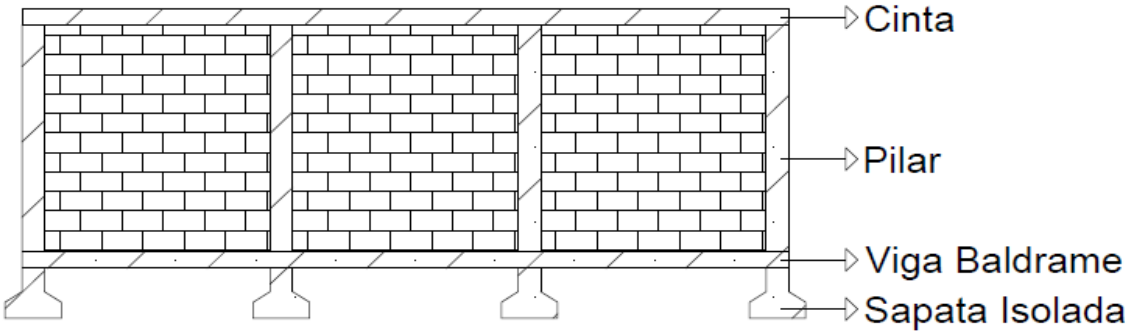
Cinta de amarração superior**:** Como consequência da alteração do muro, sem consulta prévia com profissionais especializados, ficou inviável o processo de amarração completa: fundação nos pilares, pilares nas vigas baldrames, bloco cerâmico nos pilares e o pilares na viga superior (cinta de amarração).

3.1.2 Recuperação da estrutura

Após a descoberta dessa negativa vertente foi estudado algumas situações para a resolução do problema. Como a necessidade do reforço ficou evidente, a equipe de trabalho decidiu por aproveitar as sapatas isoladas, viga baldrame e os blocos cerâmicos. Todos eles estavam em um estado de conservação aproveitável. O trabalho a ser feito era de substituir os pilares com seções consumidas pela corrosão, eleva-los por todo o seguimento

ISBN: 978-85-65425-32-2

do muro e adicionar a estrutura uma cinta de amarração superior. Deixando assim toda a estrutura ligada e trabalhando monoliticamente, como ilustra a figura abaixo.



.**Figura 9 –** Ilustração estrutural do muro recuperado. (Elaborada pelo autor).

Inicialmente foi detectado que apenas um pilar teve a seção consumida acima dos 10%, logo a sua substituição completa foi feita. Posteriormente a isso foi definido a maneira de emenda para armadura tracionada e foi adotado o método por transpasse que está descrito na NBR 6118:2014. No caso de emenda por transpasse de barras tracionadas, a emenda é feita pela simples justaposição longitudinal das barras num comprimento de emenda bem definido. A NBR 6118 (item 9.5.2) estabelece que a emenda por transpasse só é permitida para barras de diâmetro até 32 mm. Tirantes e pendurais também não admitem a emenda por transpasse. As barras a serem emendadas devem ficar próximas entre si, numa distância não superior a 4φ. Barras com saliências podem ficar em contato direto, dado que as saliências mobilizam o concreto para a transferência da força.

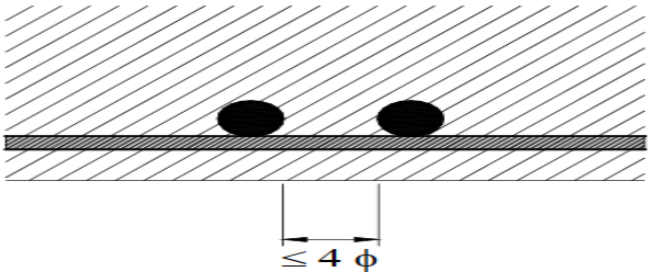


Figura 10 – Espaçamento máximo entre as duas barras emendadas por transpasse. (Bastos, 2015).

Para o pilar concretado com madeira, foi retirada toda a parte estrutural e refeita com a emenda da ferragem da viga baldrame. Após todo reforço e recuperação concluída, para finalizar o processo construtivo, foi efetuada a colocação da cinta de amarração superior.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 11 – Reconstrução do pilar. (Elaborada pelo autor).

Na fase de acabamento, foi usado o chapisco em todo o muro e a camada de argamassa massa única.

4. Conclusões

De acordo com o que foi observado é possível inferir que a durabilidade das estruturas depende de alguns fatores: projeto bem elaborado, execução bem feita e manutenção periódica. Caso esses fatores não sejam cumpridos, invariavelmente com o tempo toda construção apresentará defeitos. Se o problema acontece por ausência de manutenção preventiva, é bem possível que a gravidade seja menor do que em relação a uma defasada execução e/ou um projeto mal elaborado. Diante disso é preciso adotar uma cultura de um trabalho bem feito desde a implantação da ideia até a conservação de sua materialização.

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível perceber o gasto desnecessário utilizado para a recuperação de uma estrutura. Observando os parâmetros de custo, segundo Costa e Silva (2008), a situação se enquadra no caso de manutenção corretiva, que eleva o capital de reparação em até 125 vezes. Situação que não ocorreria se houvesse um projeto coerente, execução congruente e manutenções preventivas.

Por tanto, esse artigo tem o objetivo de colaborar com a construção civil de forma a sugerir um método de recuperação para muros de condomínios residenciais que se encontrem em estado crítico, através do estudo de caso; e conscientizar pelo estudo e divulgação da lei dos cinco, a economia dos gastos estratosféricos que é possível ser feita com o cumprimento de cada fase corretamente.

Entretanto, é importante ratificar a necessidade da continuidade dos estudos para aperfeiçoamento de novas técnicas e conscientização de manutenção das estruturas, trazendo uma nova visão da construção civil através de métodos cada vez mais atualizados.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, T., COSTA E SILVA, A. J. Considerações sobre durabilidade, patologia e manutenção das estruturas. Recife, PE. 2011.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ASSOCIÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118:2014 Projetos de estruturas de concreto – procedimento. Associação Brasileira de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 2014.

ARANHA, P.M.S. Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

BASTOS, P.S.S. Ancoragem e Emenda de Armaduras. São Paulo, 2015. Apostila de aula, UNESP - Campus de Bauru/SP.

CARNEIRO FILHO, A. Inspeção nas pontes da cidade do Recife. Relatório Técnico – Prefeitura da cidade do Recife. Recife-Pe, 2004. 228p.

COSTA E SILVA, A. J. Método de gestão de obras de manutenção de fachadas. São Paulo, 2008. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

HELENE, P. R. L., LEVY S. M. Evolução Histórica da Utilização do Concreto como Material de Construção. 2006.

HELENE, P. R. L. *et al*. Inspeção e Diagnóstico dos Apoios e dos Blocos de Fundação da Ponte Paulo Guerra. Relatório Técnico – Prefeitura da Cidade do Recife, Recife-PE, 2002.

HELENE, P. R. L. Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto. 1ª edição. São Paulo. PINI. 1988. P 15.

HELENE, P. R. L. Manual prático reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2ª edição. São Paulo. PINI. 1992.

JOHN, V. M. Durabilidade de materiais, componentes e edifícios. Dissertação (Mestrado). CPGEC/UFRGS, Porto Alegre/RS, 1987.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. Pini, São Paulo, 1978.

PEREZ, A. R. Manutenção dos edifícios. Tecnologia das Edificações. PINI, São Paulo. 1988. p611-614.

SITTER, W. R. Costs for Service Life Optmization the “Law of Fives”. Comite Euro International du Beton – CEB. Boletim Técnico. Copenhagen, Denmark, n. 152, p. 131 - 134, 1983.

THOMAZ, E. Trincas em Edifícios: causas, prevenções e recuperação. São Paulo: Editora Pini: IPT: EPUSP, 1989.

ISBN: 978-85-65425-32-2

RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE RESERVATÓRIO ELEVADO EM AMBIENTE MARINHO

Structural Recovery Of Elevated Reservoir In The Marine Environment

Aretuza ALMEIDA[1], Fábio PEREIRA[2]
[1] Universidade Potiguar, Natal, Brasil, aretuza-almeida@hotmail.com
[2] Centro Universitário do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, engecal.fabio@gmail.com

Resumo: Toda estrutura possui uma vida útil, entretanto existem aspectos que podem estender este prazo. A elaboração do projeto e sua execução de maneira adequada, incluindo a qualidade dos materiais utilizados, mão-de-obra qualificada, as circustâncias e localização em que a obra está sendo construída, além da manutenção preventiva contribuem de modo favorável.

Apesar da evolução das tecnologias no setor da construção civil, ainda se tem um número elevado de estrutruras apresentando manifestações patológicas de variadas tipologias, reduzindo dessa forma sua vida útil e sua durabilidade com pouco tempo de utilização.

O fenômeno de degradação das estruturas localizadas em ambientes marinhos ocorre com frequência devido as ações de reações físico-químicas potencializadas por ser tratar de uma zona que apresenta grande grau de agressividade ambiental segundo a NBR 6118 (2014).

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso de um reservatório elevado de concreto armado, pertencente ao condomínio Portal de Tabatinga, localizado na praia de Tabatinga, litoral sul do estado de Natal/RN, expondo as suas patologias, a análise realizada através de ensaios qualitativos de suas estruturas (pilares,vigas e lajes) e as metodologias executivas dos serviços de recuperação estrutural e de impermeabilização. O resultado após a realização dos serviços é o aumento da vida útil e a durabilidade das estrurturas de concreto armado do reservatório, atingindo os anseios do proprietário do imóvel.

Palavras-chave: Carbonatação.Cloretos.Durabilidade.

Abstract: Every structure has a useful life, however there are aspects that can extend this deadline. The preparation of the project and its execution in an appropriate manner, including the quality of materials used, skilled labor, the circumstances and location in which the work is being built, and preventive maintenance contribute in a favorable way.

Despite the evolution of technologies in the civil construction sector, there are still a large number of structures presenting pathological manifestations of varied typologies, reducing their useful life and durability with a short time of use.

ISBN: 978-85-65425-32-2

The phenomenon of degradation of structures located in marine environments often occurs due to the actions of physical and chemical reactions potentiated by being a zone that presents a big degree of environmental aggressiveness according to NBR 6118 (2014).

This work aims to present a case study of a elevated reservoir of reinforced concrete, belonging to the condominium Portal de Tabatinga, located on the beach of Tabatinga, southern coastline of the state of Natal / RN, exposing its pathologies, the analysis performed through qualitative tests of their structures (pillars, beams and slabs) and the executive methodologies of the structural recovery and waterproofing services. The result after the performance of the services is the increase in the useful life and the durability of the concrete structure of the reservoir, reaching the wishes of the owner of the property.

Keywords: Carbonation.Chloride.Durability.

1. Introdução

As estruturas de concreto armado devem apresentar um padrão de qualidade satisfatório de acordo com o tipo de construção e função durante a vida útil, garantindo assim a durabilidade da estrutura, ou seja, é indispensável o controle de qualidade, desde a sua execução, tendo como referência a NBR 6118 (2014), que exige requisitos básicos para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, além da realização da manunteção preventiva. Mesmo com adoção dessas cautelas, é comum que ao longo do tempo as estruturas apresentem manifestações patológicas. A sua degradação em muitas situações ocorre precocemente, devido a fatores como o meio de exposição, sendo o ambiente marinho uma das zonas mais agressivas, logo as inspeções preventivas após sua construção vêm com a finalidade de assegurar o comportamento da estrutura nesse ambiente.

A intensidade de deterioração das estruturas em ambientes marinhos varia de acordo com as ações agressivas existentes nesse meio de exposição em que estão sujeitas, sendo que a ação dos sais existentes na atmosfera diminui com o aumento da distância do mar.

Mesmo em casos em que as estruturas de concreto armado fixadas nessas zonas agressivas não estejam em contato direto com a água da maresia, estas estão passíveis das ações dos cloretos que são aspergidos e transportados pelo vento, ocasionando a corrosão das armaduras. Este fenômeno de degradação pode ainda ser intensificado se ocorrer a infiltração de água na estrutura de concreto armado, funcionando como um catalisador deste processo de corrosão. Caso não haja a presença de oxigênio, o fenômeno não acontece. Outro fator de degradação característico do ambiente marítimo é a umidade relativa, pois além de controlar o transporte de íons agressivos dentro do concreto armado, controla a resistividade e acesso a oxigênio, sendo o principal causador da taxa de degradação da estrutura.

Os principais fenômenos que intervém na despassivação das armaduras são a carbonatação e a penetração de cloretos. A carbonatação consiste na reação do dióxido de carbono do ar que penetra através dos poros do concreto armado, com os compostos cálcicos do concreto armado, sobretudo o hidróxido de cálcio. É um fenômeno inevitável, podendo ser retrocedido dependendo do teor de umidade.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Em relação as características do concreto, a NBR 6118 (2014) estabelece a resistência e o fator/água cimento de acordo com a classe de agressividade ambiental, como mostra o quadro 1 a seguir:

Quadro 1 – Reprodução do quadro que corresponde as classes de agressividade, fator água/cimento

Concreto [a]	Tipo [b, c]	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

[a] O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
[b] CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
[c] CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte – NBR 6118,2014.

2. Estudo de Caso

A metodologia utilizada para elaboração do estudo em questão baseou-se na avaliação da estrutura através da inspeção preliminar das áreas degradadas, realizando a caracterização da estrutura, verificação do histórico, análise visual para a identificação do tipo de anomalia, além dos ensaios qualitativos de presença de carbonatação no concreto e presença de cloretos no concreto.

2.1 Caracterização da estrutura

A estrutura em concreto armado analisada serve de apoio a dois reservatórios cilíndricos em fibra de vidro com 10.000 litros cada, sendo um situado na base da estrutura da caixa d'agua (apoiada na laje de baixo da estrutura) e outro na parte superior (apoiada na laje superior). Pertence ao condomínio residencial de chalés Portal de Tabatinga. O condomínio foi finalizado no ano de 2003, tendo portanto 14 anos de construídos sem nenhuma manutenção preventiva até os dias atuais, localizado na praia de Tabatinga a aproximadamente 450m do mar, no litoral sul da cidade de Natal-RN. Os reservatórios atendem aos 6 chalés construídos. De acordo com a NBR 6118 (2014), a estrutura em estudo é enquadrada na classe de agressividade ambiental III, pois como já citado, a mesma está localizada em área litorânea, ou seja, possui grande risco de deteorização da estrutura.

ISBN: 978-85-65425-32-2

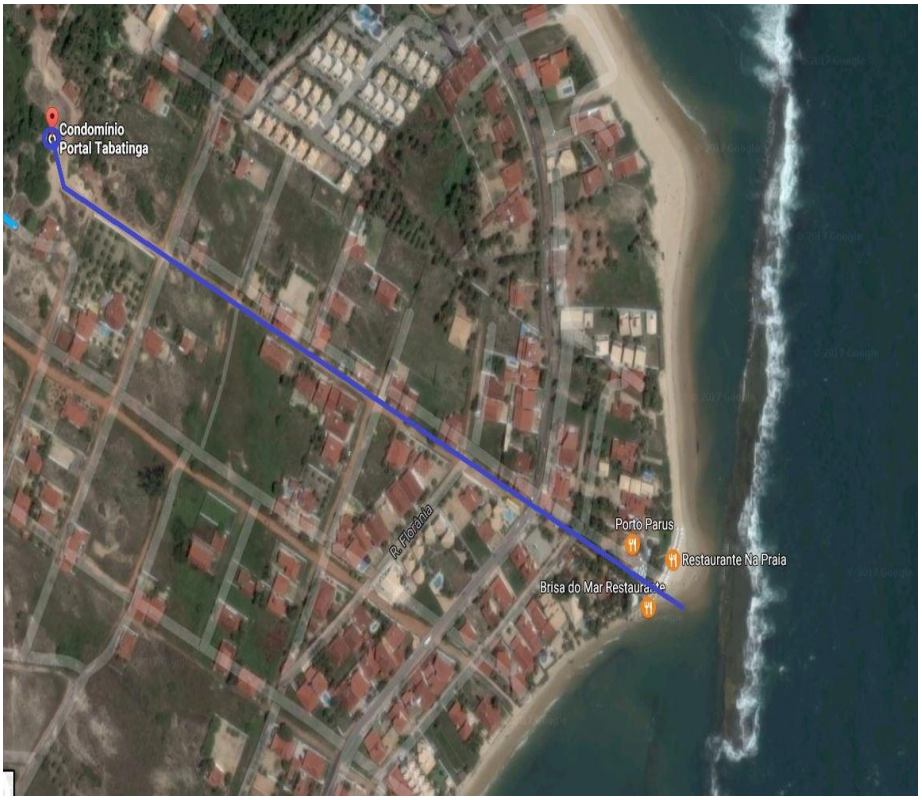


Figura 1 – Localização da estrutura estudada. Imagem via satélite
Fonte – Google Maps , 2017.

Quadro 2 – Reprodução das Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

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

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

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

Fonte – NBR 6118, 2014.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 2 – Vista Geral do Reservatório Elevado
Fonte – Autores, 2017.

2.2 Procedimentos de Avaliação

O primeiro procedimento antes da realização da recuperação estrutural foi diagnosticar as possíveis causas da deterioração, ou seja, o levantamento das patologias na estrutura do reservatório, através da inspeção preliminar, como mostra o esquema a seguir adaptado do livro de Geraldo Isaia (2005):

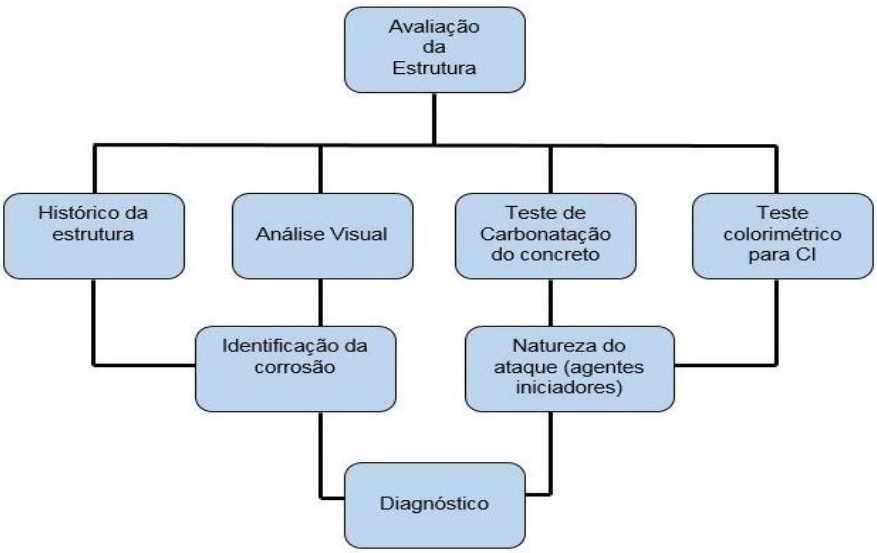


Figura 3 – Representação esquemática da inspeção e diagnóstico da estrutura estudada, adaptado do autor Geraldo Isaia
Fonte – Livro Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Editora Ibracon, 2005.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.2.1 – Histórico da estrutura

Desde sua construção, nenhum serviço de manutenção preventiva foi realizado nas estruturas do reservatório, conforme afirmação do Sr. Fleure, síndico do condomínio.

2.2.2 – Análise Visual

Uma empresa especializada em recuperação estrutural foi acionada e ao chegar no local constatou-se através da análise visual que a estrutura encontrava-se comprometida, apresentando fissuras distribuídas uniformemente nas vigas e pilares e infiltração na laje de fundo. Neste caso, foi verificado a princípio na inspeção visual que o tipo de fissura existente na estrutura pela sua característica poderia ter sido decorrente da corrosão da armadura, pois as mesmas aparecem ao longo da estrutura (figuras 4 e 5), além de apresentar infiltração na laje de fundo (figura 6).

Figura 4 – Vista de viga de concreto armado com apresentação de fissuras ocasionadas pela corrosão das armaduras. **Fonte** – Autores, 2017.

Figura 5 – Detalhe de viga de concreto armado com apresentação de fissuras ocasionadas pela corrosão das armaduras. **Fonte** – Autores, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 6 – Indicações de locais de infiltração de água na Laje do reservatório elevado
Fonte – Autores, 2017.

2.2.3 – Teste de Presença de Carbonatação no Concreto

Para comprovar a causa da fissura por corrosão, durante a análise visual foi realizado o teste de carbonatação, que verifica a existência ou não de carbonatação no concreto. A carbonatação é um fenômeno físico-químico que ocorre quando o CO_2 presente no ambiente penetra nos poros do concreto e reage com o $Ca(OH)_2$, formando a reação $CaCO_3 + H_2O$. Este processo é acompanhado pela redução da alcalinidade do concreto, ou seja, a carbonatação atravessa o recobrimento das armaduras, permitindo o início da sua corrosão, desde que exista H_2O e O_2, comprometendo assim a durabilidade do concreto.

A taxa de carbonatação varia de acordo com a permeabilidade do concreto (quanto mais permeável, maior será a taxa de carbonatação) e da umidade relativa do meio. O ensaio consistiu na verificação da existência de carbonatação no concreto através da aspersão do indicador químico Fenolftaleína na superfície recém fraturada de concreto. Segundo a DIN 14630 (2006) o ensaio é executado no concreto, realizando uma fratura ortogonal à armadura para exposição do material ao meio e livre da presença de qualquer pó. Em seguida, aplica-se a solução de Fenolftaleína diluída em 1% de álcool etílico. A carbonatação é identificada pela coloração do concreto, a cor violeta indica que a região é alcalina sem carbonatação com pH próximo a 12, e a ausência da cor indica que é uma região carbonatada, tendo pH inferior a 8. A fração do material ensaiado trouxe como resultado a mudança de coloração para um tom incolor, ou seja, uma reação química

ISBN: 978-85-65425-32-2

carbonatada (ácida). Sendo assim, constatou-se que uma das causas para a existência da corrosão nas armaduras foi a penetração do CO_2, ao longo dos anos principalmente advindo da atmosfera por se tratar de um ambiente marinho.

2.2.4 – Teste de Presença de cloretos no concreto

Os cloretos são agentes altamente agressivos às estruturas de concreto. Podem estar presentes na atmosfera de várias formas, principalmente na água do mar. Para identificar a presença de cloreto no concreto utilizou-se o teste colorimétrico. A norma italiana elaborada por Collepardi *et al*. UNI 7928 (1978), descreve um método para detectar a corrosão gerada por íons de cloreto (Cl-) através da aspersão da solução de nitrato de prata no concreto, tendo a função de indicador químico, havendo a possibilidade de obter um tom branco ou marrom. Se o concreto apresentar um tom marrom, significa que não possui cloreto (concreto saudável), caso o tom resultante seja branco significa que o concreto possui a presença de cloreto. Após respingar a solução de nitrato de prata na estrutura de concreto em estudo, a coloração obtida foi no tom esbranquiçado, comprovando assim a corrosão gerada pela presença cloretos, já esperada pela localização do imóvel. Vale salientar que os cloretos se localizavam da parte externa da estrutura até a região de recobrimento das armaduras, sendo retirados com a remoção do concreto nos serviços de recuperação estrutural.

2.2.5 – Diagnóstico

Através da avaliação da estrutura, constatou-se as manifestações patológicas de infiltração na laje de fundo e a corrosão uniforme da armadura, ou seja, as barras estavam em processo de oxidação em toda sua extensão, ocasionando perda uniforme da massa do aço. Apesar da redução de sessão da armadura, comprovado via paquímetro digital, a perda foi inferior a 10%, não sendo necessário o reforço na estrutura. Dessa forma, não houve necessidade de realizar ensaios mais detalhados. A anomalia surgiu devido os mecanismos de carbonatação do concreto e a penetração de íons de cloreto, tendo a presença de CO_2 e Cl, além da falta da manutenção preventiva.

2.3 Procedimento de Recuperação da Estrutura

Após a avaliação das estruturas (pilares,vigas e lajes) para identificar as causas das patologias existentes no reservatório elevado, foram determinadas as metodologias executivas a serem realizadas nos serviços de recuperação estrutural e de impermeabilização. As etapas realizadas foram as seguintes:

2.3.1 – Remoção dos fragmentos

O procedimento consistiu na retirada dos fragmentos de concreto deteriorados que envolve a estrutura corroída (parte externa até as armaduras) até que se obtivesse a exposição da superfície da armadura conforme mostrado na Figuras de 7 a 9:

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 7 – Detalhe da remoção dos fragmentos de concreto nos pilares até a exposição parcial da armadura

Fonte – Autores, 2017.

Figura 8 – Detalhe da remoção dos fragmentos de concreto até a exposição parcial da armadura no pilar figura (a) e viga figura (b)

Fonte – Autores, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 9 – Detalhe da remoção dos fragmentos de concreto nas vigas até a exposição parcial da armadura
Fonte – Autores, 2017.

2.3.2 – Limpeza das armaduras

O procedimento consistiu no uso da técnica de Hidrojateamento (figura 10), utilizando a areia para remover a corrosão na armadura e a água para remoção da areia e cloretos. Esse processo tem como intuito garantir a limpeza da superfície, realizando a preparação da área para receber a proteção e acabamento sem prejudicar a aderência.

Figura 10 –Vista da realização do Hidrojateamento de areia nas armaduras
Fonte – Autores, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.3.3 – Aplicação de pintura Anticorrosiva

Após a limpeza das áreas (figura 10), realizou-se a aplicação da pintura anticorrosiva de zinco (figuras 11 a 13), funcionando como um inibidor de corrosão, recobrindo e oferecendo proteção a armadura, formando uma película impermeável de grande aderência. Foi utilizado o primer Anticorrosivo Armatec Zn da Vedacit.

Figura 11 – Detalhe da aplicação de pintura Anticorrosiva nas armaduras de pilares
Fonte – Autores, 2017.

Figura 12 – Vistas da aplicação de pintura Anticorrosiva nas armaduras dos pilares
Fonte – Autores, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 13 – Vistas da aplicação de pintura Anticorrosiva em pilares

Fonte – Autores, 2017.

2.3.4 – Acabamento com Grauteamento

Para o procedimento de acabamento utilizou-se uma argamassa composta por uma mistura de aglomerantes e aditivos que apresenta alta resistência em um espaço curto de tempo, denominada de graute. No mercado existem vários tipos, neste caso o graute utilizado na recuperação do reservatório elevado foi a MacX/Grout do tipo Tixotrópico da MacX/Cola que possui baixa permeabilidade e ótima aderência, recomendado para reparos em estruturas sem a necessidade de utilização de fôrma. O material é encontrado pronto para uso, sendo necessário apenas a adição da quantidade de água, aliado ao procedimento adequado da mistura, ambos informados pelo fornecedor. As figuras 14 e 15 exibem o acabamento com o graute.

Figura 14 – Detalhe do graute aplicado na base do reservatório

Fonte – Autores, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 15 – Detalhe do graute aplicado em pilares e iniciado nas vigas
Fonte – Autores, 2017.

2.3.5 – Impermeabilização da Laje de Fundo

Para solucionar a manifestação patológica de infiltração da laje de fundo será realizada a impermeabilização da área do reservatório no total 16m² com manta asfáltica 3 mm e aplicação de proteção mecânica composta de cimento e areia com traço 1:3. O serviço ainda será realizado.

3. Conclusões

O resultado do estudo realizado foi a recuperação das estruturas de pilares e vigas do reservatório, fundamentadas no levantamento e análise das manifestações patológicas efetivado, sendo neste caso, o diagnóstico de corrosão da armadura devido as reações físico-químicas devido à presença o CO_2 e Cl. O serviço de impermeabilização ainda será realizado.Vale salientar a importância da realização de ensaios antes dos serviços de recuperação estrutural ou de reforço estrutural em obras com existência de patologias, com o objetivo de se determinar as soluções corretas para as patologias encontradas, além da execução de manutenções preventivas, principalmente em estruturas que estão localizadas em ambiente marinho, pois são zonas que apresentam grande grau de agressividade ambiental, estimulando assim a aceleração de manifestações patológicas, como a deterioração das armaduras nas estruturas de concreto armado, evitando a necessidade

ISBN: 978-85-65425-32-2

da execução de serviços de recuperação e/ou reforço estrutural.. Não foi necessário neste caso o reforço nas armaduras, pois foi detectado que não houve perda de seção superior a 10%. Logo, através do procedimento de recuperação estrutural executado utilizando as metodologias descritas, se obteve um aumento de vida útil e de durabilidade das estruturas do reservatório elevado.

Agradecimentos

Á Deus, minha fonte de força e amor.

Ao meu orientador, Fábio Sérgio da Costa Pereira, pela atenção e parceria.

A empresa Engecal, pela oportunidade de acompanhar o desenvolvimento e realização do estudo de caso.

Ao Sr. Fleure, síndico do condomínio Portal de Tabatinga, pelo fornecimento de informações.

Referências Bibliográficas

DIN EN 14630 (2006) - Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method, German version.

ISAIA, GERALDO (2005). Aplicação de pintura Anticorrosiva na armadura do pilar. Concreto. “Ensino, Pesquisa e Realizações” – Volume 2 – São Paulo, editora IBRACON, 1105.

MacX/Cola. Disponível em:< http://www.macxcola.com.br/files_upload/2017/03/MacXGrout-TIX-Tixotr%C3%B3pico.pdf>. Acesso em 01 de julho de 2017.

NBR 6118 (2014) – Projeto de estruturas de concreto armado - procedimento, Rio de Janeiro.

UNI 7928 (1978) - Determination of Chloride Ion Penetration, Italian Standard, Rome.

Vedacit Impermeabilizantes. Disponível em:< http://www.vedacit.com.br/produtos/armatec-zn>. Acesso em 01 de julho de 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS VISANDO CONCEPÇÃO DE PLANO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA PARA O CENTRO DE CONVENÇÕES BENEDITO NUNES, EM BELÉM-PA

Analysis Of Pathological Manifestations Aiming At The Design Of A Corrective Maintenance Plan For The Benedito Nunes Convention Center In Belém, PA

Janelson MAFRA[1], Bruna BALTAZAR[2], Alan ARAÚJO[3], Raul GUSMÃO[4], Adler SOUZA[5]

[1] Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil,janelsonbrito@yahoo.com.br

[2] Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil,brunabaltazar2012@gmail.com

[3] Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil,alanmoraes.a@gmail.com

[4] Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil,raulrgusmao@gmail.com – Coautor

[5] Dynamis Techne/UFPA, Belém, Brasil, adler.teixeira@hotmail.com – Coautor

Resumo: As práticas inadequadas na execução de edificações, aliadas aos erros de projeto, falta de manutenção periódica e a agressividade ambiental, são os principais fatores para ocorrência prematura das manifestações patológicas nas construções. Consequentemente, além da diminuição da durabilidade e da vida útil da estrutura, ao longo do tempo há um incremento nas despesas com tratamentos dos problemas ocorrentes. O Centro de Convenções Benedito Nunes (CCBN) está localizado no campus da Universidade Federal do Pará (UFPa), na cidade de Belém. O CCBN sedia desde eventos regionais aos internacionais, como congressos, feiras, reuniões e solenidades, importantes por destacar a Amazônia no cenário nacional e mundial. É de fundamental importância a valorização deste patrimônio. Decidiu-se estudar as manifestações patológicas ocorrentes na edificação, a fim de propor medidas de tratamento e promoção de práticas cotidianas de conservação, visando contribuir para a preservação do centro e redução das despesas da UFPA com a conservação do espaço. Primeiramente, foi feita uma inspeção visual das manifestações patológicas presentes no prédio e também uma análise das possíveis causas, para auxiliar na sugestão de técnicas de tratamento adequadas e economicamente viáveis. Em seguida, aferiu-se uma estimativa de custo para o tratamento das manifestações patológicas encontradas. Os principais elementos com sinais de anomalias foram os forros, telhados, demais componentes de cobertura, esquadrias e revestimentos. Constatou-se que as problemáticas são causadas principalmente pela falta de manutenção periódica, erros de projeto e falha nos métodos de execução, agravadas pelas intempéries ambientais. Propôs-se medidas de reparo e apresentou-se uma estimativa de custo para a realização dos serviços. Por fim, ressaltou-se a importância das manutenções regulares conforme procedimentos técnicos recomendados pelas normas vigentes e verificou-se o incremento nos custos devido às revitalizações sugeridas, em função da ausência das manutenções periódicas.

Palavras-chave: Manifestações Patológicas; manutenção; patrimônio; preservação.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Abstract: Inadequate building practices, coupled with design errors, lack of periodic maintenance and environmental aggressiveness, are the main factors for occurrence of pathological manifestations in buildings. Consequently, besides the decreased durability and the decreased structure life, over time there's an increase in expenses with treatments of problems that occur. The Centro de Convenções Benedito Nunes (*Benedito Nunes Convention Center* - CCBN), is located on campus of Universidade Federal do Pará (*Federal University of Pará* - UFPa), in Belém city. The CCBN ranks from regional to international events, such as congresses, fairs, meetings and solemnities, important for highlighting the Amazon in national and world scenario. It's fundamental the valuation of this patrimony. It's been decided to study the pathological manifestations occurring in the building, in order to propose measures of treatment and promotion of daily practices of conservation, to contribute to the preservation of the center and reduction of UFPa's expenses with the conservation of space. Firstly, a visual inspection of pathological manifestations present in the building has been made, as well as an analysis of possible causes, to aid in suggestion of appropriate treatment techniques and economically viable. Next, It's been made an estimate cost for the treatment of pathological manifestations found. The main elements with signs of anomalies has been the linings, roofs, other cover components, frames and coatings. The mainly problems are caused by the lack of periodic maintenance, errors of design and failure in execution methods, aggravated by bad weather. Repair measures has been proposed and an estimate cost for the performance of the services has been presented. Finally, it's been emphasized the importance of regular maintenance according to the technical procedures recommended by the current regulations and has been verified the increase in costs due to the suggested revitalizations because the absence of periodic maintenance.

Keywords*: pathological manifestations; maintenance; patrimony; preservation.*

1. Introdução

A Universidade Federal do Pará, criada em 1957 no governo do Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira e tida como a maior universidade pública da Amazônia, é uma instituição de suma importância para o desenvolvimento da região norte e palco de diversos eventos que destacam a importância da Amazônia no cenário mundial, principalmente na preservação do meio ambiente; por muitos anos a universidade não apresentava um local adequado para a realização de eventos de grande porte, até a construção do Centro de Convenções Benedito Nunes (CCBN), com 2.162,82 m² e capacidade para mil pessoas, em 2009. O CCBN, popularmente conhecido na cidade universitária como "Hangarzinho", foi construído dentro do campus de Belém da UFPA, localizado na cidade de Belém, sendo o nome popular em alusão ao Hangar Convenções e Feiras da Amazônia; trata-se de uma estrutura mista em formato de cunha, composta de concreto armado, paredes em alvenaria e cobertura em estrutura metálica, munida de instalações audiovisuais modernas, salas de reuniões, auditório com capacidade para 1000 pessoas reversível em dois auditórios através de um sistema de divisórias móveis; comumente usado para a realização de congressos, seminários, solenidades e formaturas, tendo como função mais importante a atração de grandes eventos acadêmicos, nacionais e internacionais para promoção de um locus privilegiado de debate intelectual sobre a Amazônia e o mundo ao estado do Pará.

ISBN: 978-85-65425-32-2

As Figuras 1 e 2 apresentam a fachada do edifício e o auditório central, respectivamente, nas quais pode-se notar a extensão das instalações e a preocupação com a estética na concepção do projeto do centro de convenções. Pinto (2009).

Figura 1 - Centro de Convenções Benedito Nunes. Jornal Beira Rio (2009).

Figura 2 - Auditório do Centro de Convenções Benedito Nunes. Jornal Beira Rio (2009).

A durabilidade geralmente é usada como parâmetro para avaliação da qualidade das construções, busca-se aplicar inovações construtivas, referente a materiais e técnicas para garantir um desempenho satisfatório das obras, bem como torná-las cada vez mais duráveis; O desempenho define-se como o comportamento da edificação em uso, portanto, as edificações sofrem influência direta das exigências do usuário tanto na fase de concepção, dos cuidados no uso e realizações de manutenção. Também depende das condições de exposição do ambiente em que a edificação será construída, como temperatura, umidade, insolação, ações externas resultantes da ocupação, etc, segundo Possan e Demoliner (2013). Devido a esses fatores é natural que haja uma deterioração

ISBN: 978-85-65425-32-2

dos elementos que compõem um sistema construtivo ao longo do tempo, por isso a importância de executar manutenções periódicas para assim aumentar a vida útil de uma obra, conforme demonstrado na Norma de Desempenho das Edificações Habitacionais a NBR 15575-1:2013, conforme Figura 3. De acordo com a NBR 5674:2012, que preconiza os requisitos para gestão do sistema de manutenção das edificações, a fim de conservar ou recuperar o desempenho que inevitavelmente é reduzido ao decorrer do tempo, as manutenções prediais podem ser rotineiras, consistindo na execução de serviços cíclicos como limpeza e lavagem de áreas comuns; preventivas onde a manutenção é programada antecipadamente visando à preservação da durabilidade e por fim corretivas, onde geralmente são executadas em caráter emergencial para garantir a funcionalidade da edificação, evitando riscos e mitigando prejuízos patrimoniais e pessoais. O plano de manutenção eficaz é feito após a execução de inspeções prediais com a finalidade de avaliar as lesões presentes na edificação; segundo a Norma de Inspeção Predial Nacional do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE), as inspeções prediais são ferramentas que propiciam a avaliação sistêmica da construção, classificando não conformidades constatadas na edificação quanto a sua origem, grau de risco e indica orientações técnicas necessárias à melhoria da Manutenção dos sistemas e elementos construtivos; essas não conformidades, também denominadas de anomalias e falhas pela norma, prejudicam diretamente o desempenho dos elementos e dos sistemas construtivos, ocasionando em redução da vida útil, e se configuram através de manifestações patológicas.

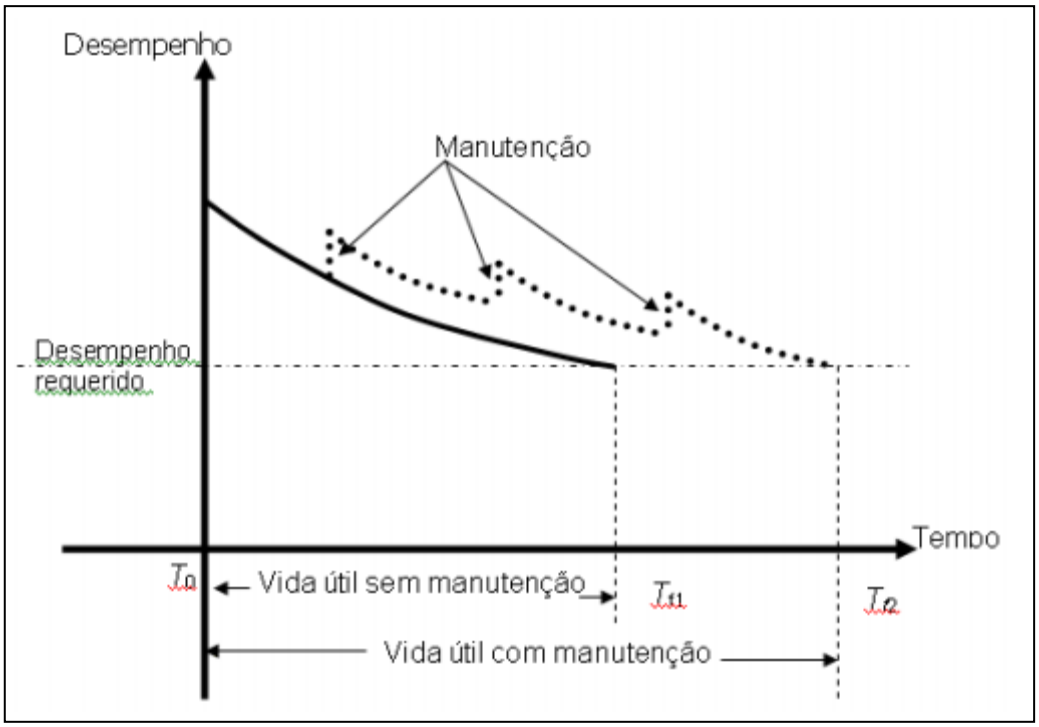


Figura 3 - Desempenho em função do tempo. NBR 15575-1 (2013).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Segundo Helene (1992), patologia consiste na área da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis; os sintomas decorrentes de problemas patológicos são denominados manifestações patológicas. A maioria das manifestações patológicas origina-se nas etapas de concepção da obra, de acordo com Andrade (1997) e Vitório (2003); boa parte dessas manifestações origina-se na fase de projeto, conforme é mostrado na Figura 4, onde são apresentados os percentuais das principais causas dos problemas patológicos em uma edificação; a detecção precoce dessas manifestações influenciará na redução do custo de recuperação das mesmas, pois evitará que problemas patológicos relativamente simples se desenvolvam ocasionando em manifestações patológicas complexas de solucionar. Para Helene (1992), as correções serão mais eficazes quanto mais cedo forem executadas, o autor ressalta a Lei de Sitter, evidenciada na Figura 5, a qual demonstra que os custos devidos às manutenções tardias, as ditas corretivas, em estruturas aumentam em razão geométrica de 5 (cinco) quando comparados com os custos das medidas preventivas.

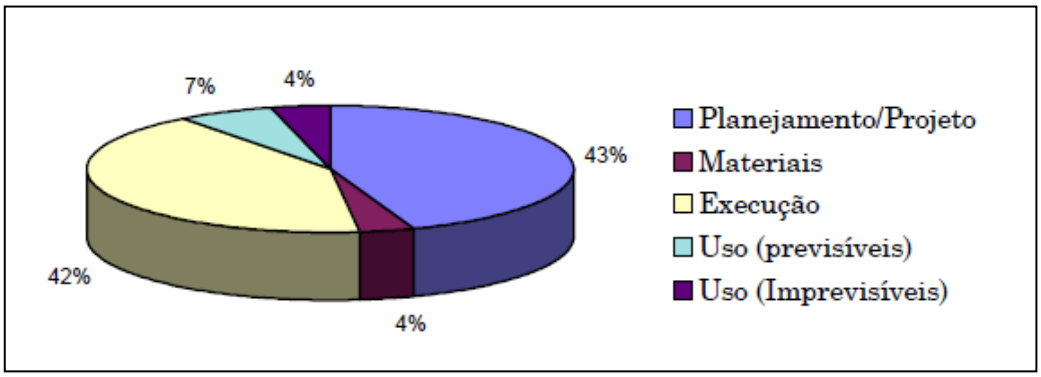


Figura 4 - Percentuais das causas das manifestações patológicas. Andrade (1997).

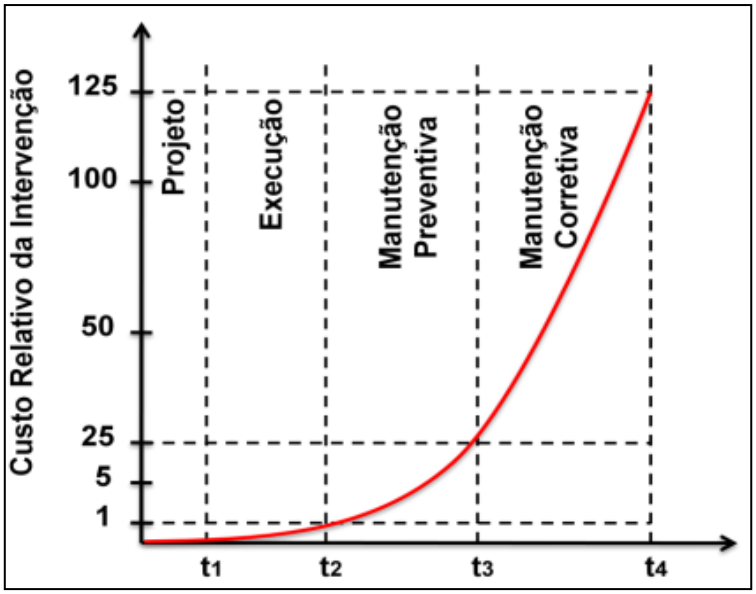


Figura 5 - Lei de Evolução de custos. Helene (1992)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Este trabalho tem como objetivo listar as principais manifestações patológicas identificadas na edificação, assim como estabelecer um plano de manutenção corretiva para estas ocorrências, pois o local recebe periodicamente um elevado número de pessoas, requerendo aptidão de suas instalações para atendimento a esta demanda, garantindo a segurança e a qualidade das atividades desenvolvidas nos limites desta edificação, bem como a durabilidade de seus elementos construtivos.

2. Metodologia

O levantamento das manifestação patológicas presentes no Edifício foi segmentada em etapas. Em princípio foi realizada uma inspeção visual da edificação, após, foi realizada uma análise de possíveis causas e proposição de tratamentos das patologias observadas e, por fim, realizou-se a quantificação das áreas a serem recuperadas e o levantamento dos custos dos serviços para a recomposição das áreas afetadas. Foram inspecionados todos os ambientes do prédio, internos e externos, sendo destacados os que obtiveram manifestações patológicas mais significativas.

2.1 Inspeção Visual

Esta atividade consistiu em um exame visual detalhado, a olho desarmado, de toda a área exposta da edificação, visando identificar a intensidade e gravidade das manifestações patológicas presentes no Edifício. Foi feito o registro fotográfico das ocorrências mais significativas.

2.2 Análise de possíveis causas e proposição de tratamentos

Consistiu na avaliação visando a identificação das causas possíveis das manifestações observadas, bem como a proposição de tratamentos adequados e economicamente viáveis.

2.3 Quantificação e levantamento de custos

Ocorreu com a utilização de métodos para quantificação áreas de recuperação previstas, a partir de instrumentos de medição específicos e, utilizou-se das bases de referência orçamentárias nacionais e regionais, além de aferições próprias de custos, para estimativa de valores necessários a execução do tratamento das áreas afetadas.

3. Resultados e Discussão

Para a facilitação da compreensão do estudo, o caso foi segmentado entre elementos que obtiveram manifestações patológicas mais significativas. Os principais elementos foram: Forros, telhados e outros elementos de cobertura, revestimentos da fachada e internos e esquadrias.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.1. Forros

Foram observados diversos pontos de queda dos forros, como mostram as Figuras 6 e 7, além de pontos de deterioração do forro pela ação de organismos, como cupins, e infiltração, como pode ser obervado nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

Diversos pontos de goteiras de águas pluviais, oriundas do telhado, são os principais causadores dos problemas de queda e infiltração nos forros. Atrelado a isto e, juntamente com um ambiente escuro, o forro se tornou propício a proliferação de organismos como cupins. Devido a falta de manutenção, estas manifestações patológicas comprometeram algumas partes do forro da edificação, causando um efeito visual extremamente desagradável aos participantes dos eventos realizados no centro de convenções.

Figura 6 – Queda do Forro na sala de apoio ao Auditório FONTE: Os autores (2017)

Figura 7 – Queda do Forro no Auditório Central FONTE: Os autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

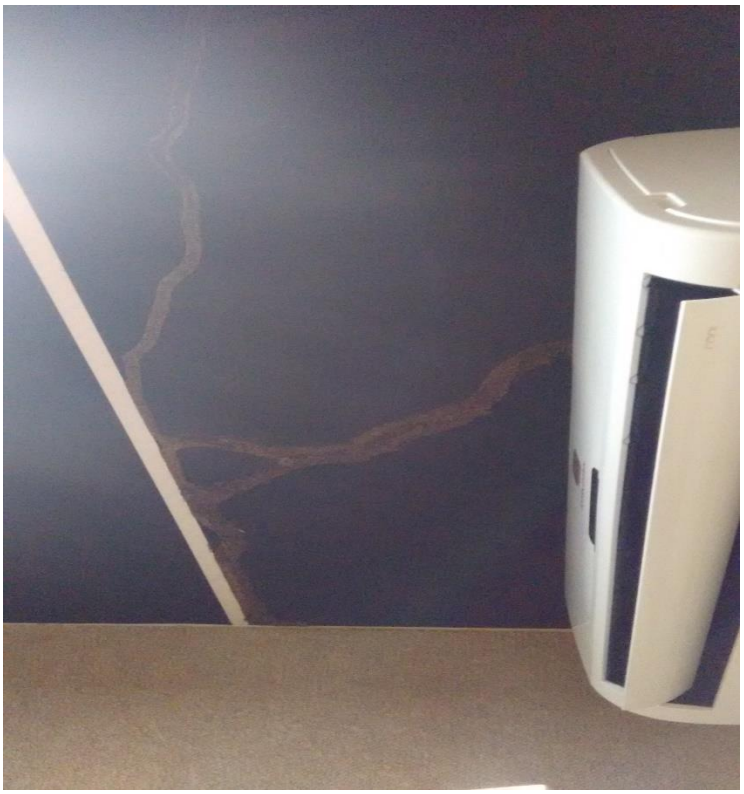


Figura 8 – Presença de Cupins no Forro da Cabine 1 FONTE: Os autores (2017)

Figura 9 – Queda e Infiltração no Forro na Sala de apoio ao Auditório FONTE: Os autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Para o tratamento dos problemas encontrados nos forros, deve-se atentar ao cuidado com a manutenção da estética e uniformidade dos mesmos no Centro de Convenções. Orienta-se que todo o forro com a ocorrência de infiltrações seja substituído, bem como os afetados pela ação dos cupins e que seja realizada a recomposição das peças de forro faltantes por peças identicas, tendo em vista a dificuldade de utilização de outros materiais para a manutenção da estética e homogeneidade dos tetos. De forma adicional, conforme sugerido por Ripper (1996), deve ser realizada a aplicação de uma demão de produto imunizante, pesticida e fungicida, incolor, a base de deltametrina, de forma preventiva, nas áreas de forro vulneráveis ao ataque de organismos como cupins e a realização de manutenção periódica através de nova aplicação do produto de acordo com as recomendações do fabricante. O tratamento dos problemas com águas pluviais na cobertura do Edifício será tratado a seguir.

3.2. Telhados e outros elementos de cobertura

Observaram-se alguns pontos de amassamento das telhas e soluções improvisadas para combate dos problemas com águas pluviais nos telhados, conforme está exposto nas Figuras 10 e 11. A Figura 12 exibe pontos de infiltração na laje de cobertura no lado externo do prédio e a Figura 13 exibe um problema de acúmulo de materiais no sistema rufo-calha do Edifício, presente em diversos pontos da cobertura do mesmo. Uma consequência dos problemas com águas pluviais nos telhados pode ser observado na Figura 14, em um ambiente de extrema importância para a realização dos eventos no Centro de Convenções.

Os danos apresentados pelo telhado se devem principalmente ao trânsito de pessoas realizado de forma inadequada sobre o telhado, além da queda de materiais e ferramentas utilizados durante a realização de diversos serviços de manutenção e instalação nas áreas dos telhados. O acúmulo de materiais nos sistemas Rufo-Calha se atribui a falta de limpeza periódica, contribuindo também para os problemas com águas da chuva nas telhas e nas lajes de cobertura, nos quais as infiltrações e danos nos revestimentos das lajes se devem ao acúmulo de água na face inferior das mesmas por tensão superficial, provocando gotejamento.

Figura 10 – Telhas amassadas e danificadas FONTE: Os autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 11 – Colocação de Lona para atenuação dos problemas com águas pluviais no telhado FONTE: Os autores (2017)

Figura 12 – Laje de cobertura da área externa com infiltrações e danos nos revestimentos FONTE: Os autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 13 – Obstrução de Rufo-Calha do telhado do Edifício FONTE: Os autores (2017)

Figura 14 – Alagamento de ambiente interno da edificação devido aos problemas com águas pluviais no telhado FONTE: Os autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Para a correção dos problemas existentes no telhado e outros elementos de cobertura, deve-se realizar a substituição das telhas amassadas, bem como a aplicação de mantas impermeabilizantes de base asfáltica e reparar os rufos do telhado. Além disso, devem ser utilizadas plateleiras para proteção do telhado quando houver a execução de serviços nos elementos de cobertura do Edifício, para proteção das telhas contra impactos de materiais e ferramentas, além da devida orientação dos colaboradores quanto aos cuidados necessários. Deve-se realizar a limpeza total dos sistemas Calha-Rufo do Edifício e realizar a aplicação, outrossim, de manta impermeabilizante de base asfáltica, além de instalação de grelhas hemisféricas na embocadura dos bocais (Saídas do sistema Rufo-Calha), instalação de buzinotes nas platibandas e realizar a manutenção periódica nos sistemas, conforme sugerido por Ripper (1996). O revestimento em pintura da laje da cobertura danificado deve ser totalmente removido e a pintura executada novamente, de forma a manter a estética e homogeneidade do elemento.

3.3. Revestimentos da fachada e Internos

Foram observados vários pontos de desplacamento de revestimentos, interna e externamente, no edifício, dentre esses, pode-se destacar várias áreas dos revestimentos da fachada nas Figuras 15 e 16, revestimento cerâmico interno nos banheiros, como mostra a Figura 17 e revestimento em fórmicas de madeira, como pode ser visto nas Figuras 18 e 19.

As manifestações patológicas observadas nas pastilhas da fachada se devem, principalmente, a execução insuficiente de juntas de movimentação do revestimento, as quais não foram previstas em projeto e as executadas foram feitas de maneira inadequada. As pedras de granito, desplacadas na parte inferior da fachada, tiveram como principal causa o preparo inadequado do substrato, bem como da argamassa para o assentamento, tal causa foi identificada também para os problemas com os revestimentos cerâmicos internos nos banheiros do prédio. Os danos e desplacamentos nas fórmicas de madeira são oriundos da presença de organismos como cupins nestes materiais, atrelados a falta de manutenção nos mesmos e choques mecânicos de pessoas e móveis durante a utlização do edifício.

Figura 15 – Desplacamento nas pastilhas da fachada do Centro de Convenções.
FONTE: Os autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 16 – Desplacamento nas pedras de granito, na parte inferior da fachada do Edifício
FONTE: Os autores (2017)

Figura 17 – Desplacamento nos revestimentos cerâmicos dos banheiros. FONTE: Os autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

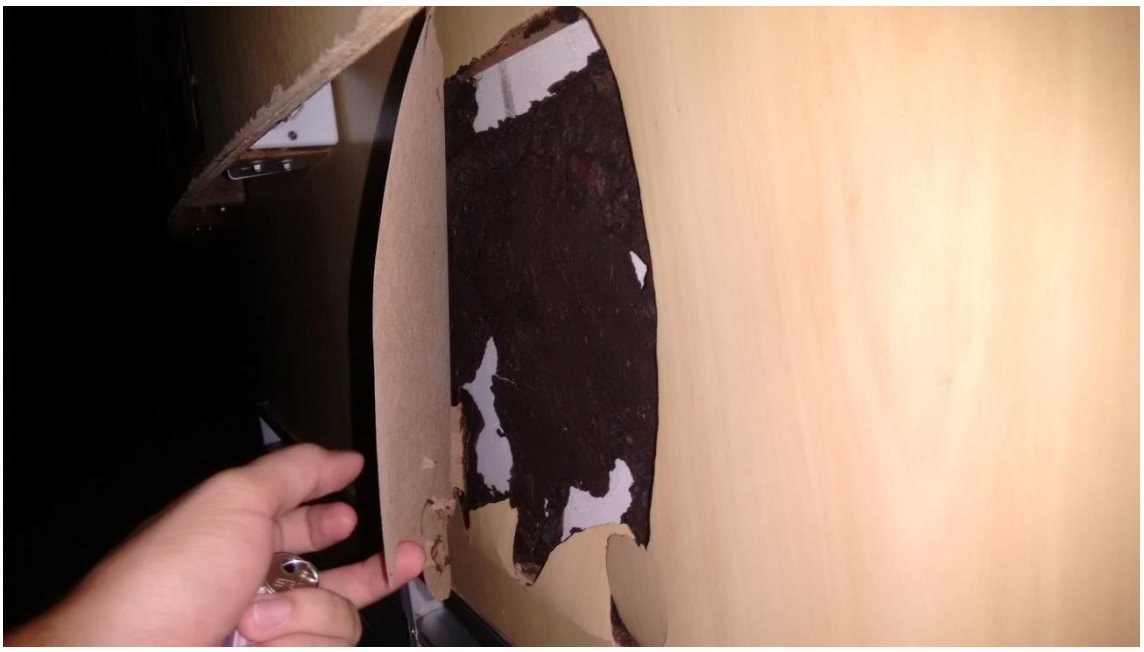


Figura 18 – Danos e desplacamento nos revestimentos da parte inferior do palco
FONTE: Os autores (2017)

Figura 19 – Danos e desplacamento nos revestimentos da parede da cafeteria
FONTE: Os autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Para a resolução dos problemas com os desplacamentos das pastilhas na fachada, deve-se realizar a execução de juntas de movimentação a cada 3 metros na horizontal e a cada 6 metros na vertical, com largura entre 10 e 15mm, retirando-se as pastilhas e a camada de emboço na região prevista para a junta e tratando-se o substrato para promover aderência entre os materiais, no qual internamente a junta será composta de massa plástica de boa aderência e plasticidade e, na parte externa, uma massa a base de silicone incolor, conforme recomenda Ripper (1996), mantendo a estética e homogeneidade do revestimento. Além disso, devem ser substituidas as placas de pastilhas cerâmicas faltantes. As pedras de granito e os revestimentos externos devem ser assentados novamente, realizando-se os tratamentos ao substrato e métodos executivos adequados, buscando reutilizar as placas cerâmicas e pedras de granito existentes para a redução dos custos. No que se refere as fórmicas de madeira da parte inferior do palco e das paredes da cafeteria, orienta-se que toda a parte afetada seja recomposta, tendo em vista a dificuldade de utilização de outros materiais de melhor qualidade na manutenção da estética e homogeneidade das paredes. Além disso, Ripper (1996) orienta a realização de aplicação de uma demão de produto imunizante, pesticida e fungicida, incolor, a base de deltametrina, de forma preventiva e a realização de manutenção periódica através de nova aplicação do produto de acordo com as recomendações do fabricante, bem como a conscientização dos usuários quanto a fragilidade dos materiais constituintes.

3.4. Esquadrias

Algumas portas de madeira apresentaram grave deterioração, como mostram as Figuras 20 e 21. Além disto, as portas de vidro da entrada do edifício demonstraram problemas em suas molas hidráulicas, causando desconforto aos usuários durante sua utilização

Os danos nas portas de madeira são oriundos da presença de organismos como cupins nos materiais constituintes, agravados pela falta de manutenção. As molas hidráulicas das portas de vidro atingiram sua vida útil mais rapidamente, devido ao seu uso constante.

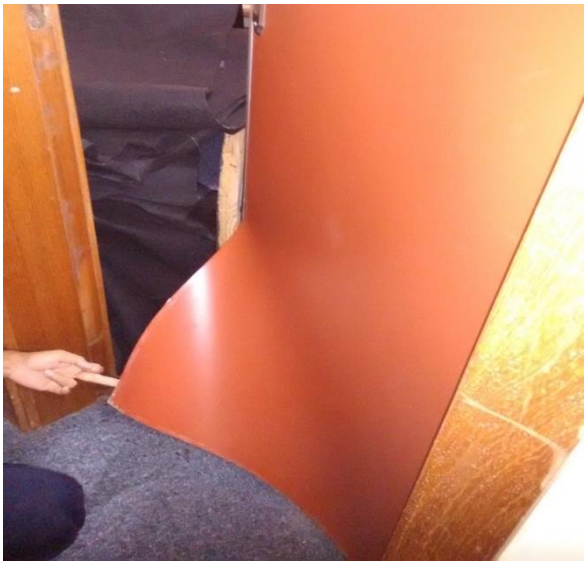


Figura 20 – Danos nas portas de madeira em função da ação de cupins.
FONTE: Os autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 21 – Ação dos cupins na porta de madeira FONTE: Os autores (2017)

Para o reparo das esquadrias de madeira, orienta-se que todas as esquadrias afetadas sejam substituidas. Além disso, deve ser realizada a aplicação de uma demão de produto imunizante, pesticida e fungicida, incolor, a base de deltametrina, de forma preventiva e a realização de manutenção periódica através de nova aplicação do produto de acordo com as recomendações do fabricante, conforme recomendação de Ripper (1996). Quanto as molas hidráulicas das portas de vidro, a resolução do problema deve ser feita através da substituição das peças defeituosas.

3.5. Custo estimado para execução dos serviços

Após a definição das áreas a serem recuperadas, dos tratamentos adotados levantamento dos custos para a realização dos serviços, obteve-se a estimativa de valor global de R$ 109.076,99 (Cento e nove mil, setenta e seis reais e noventa e nove centavos). A distribuição deste valor de acordo com os principais problemas encontrados está disposta na Figura 22, na qual pode-se observar que o maior custo para realização dos reparos será para o tratamento dos revestimentos da fachada e internos, sendo 33% deste valor e o menor, dentre os principais, será de manutenção das esquadrias. Ressalta-se, porém, que grande parcela deste montante total seria reduzido caso as manutenções periódicas e preventivas fossem executadas corretamente, tais reduções seriam observadas principalmente nos itens de Telhado e outros Elementos de Cobertura e Forros.

ISBN: 978-85-65425-32-2

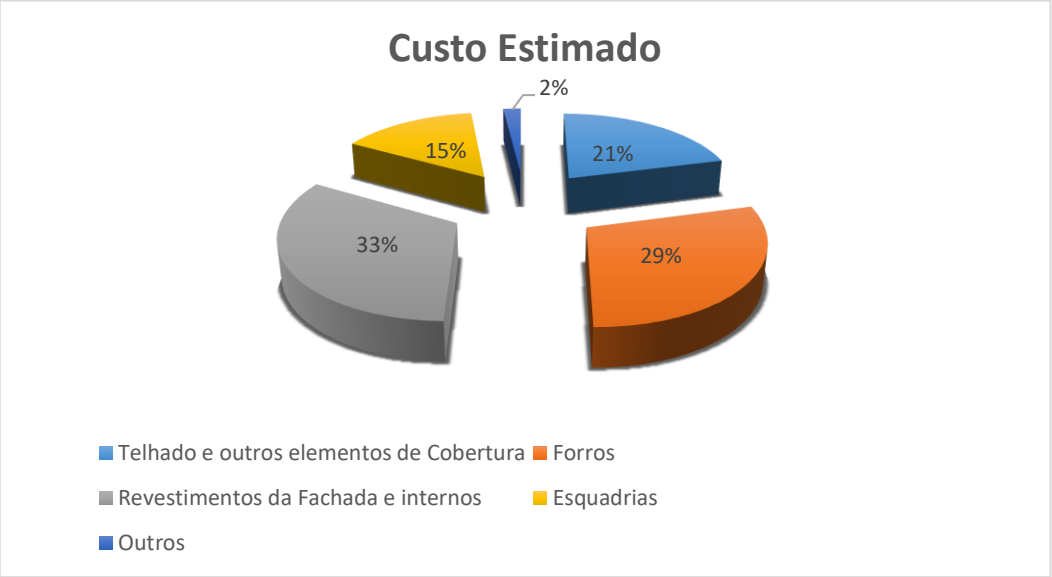


Figura 22 – Divisão dos custos para a realização dos serviços FONTE: Os autores (2017)

4. Conclusões

Ao final deste estudo, constatou-se a presença de várias manifestações patológicas no edifício, sem, contudo apresentar anomalias graves que comprometessem seu desempenho estrutural, no entanto, os problemas encontrados afetavam, de maneira significativa, o fator estético do Centro de Convenções. Ressalta-se a importância da realização dos serviços da reforma de maneira correta, seguindo os procedimentos técnicos recomendados para a resolução dos problemas encontrados.

Além disso, pode-se verificar também a influência da realização insatisfatória de manutenções periódicas e preventivas no aumento dos custos dos reparos na edificação, afetando também a segurança de todos que utilizam o edifício. Após a finalização dos serviços propostos, recomendam-se visitas periódicas para verificação dos estados de conservação dos elementos do prédio.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, J. J. O. Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio do Grande do Sul, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). NBR5674 — Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de Manutenção. Rio de Janeiro.

_____. (2013). NBR15575-1 — Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro.

ISBN: 978-85-65425-32-2

HELENE, P. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. Editora PINI, segunda edição. São Paulo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA (2012). Norma de Inspeção Predial Nacional. São Paulo.

PINTO, W. Um novo espaço para grandes eventos: Centro de Convenção será locus privilegiado para o debate intelectual. Jornal Beira Rio, Belém, ago. 2009. p. 03.

POSSAN, E; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: ABORDAGEM GERAL. Revista Técnico-Científica, v. 1, n. 1, 2013.

RIPPER, E. Como evitar erros na construção. Editora PINI, terceira edição – Dezembro de 1996. São Paulo.

VITÓRIO, A. Fundamentos da Patologia das Estruturas nas Perícias de Engenharia. Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia, Recife, 2003.

ISBN: 978-85-65425-32-2

MÉTODOS E ENSAIOS UTILIZADOS PARA VALIDAÇÃO DE PATOLOGIA ESTRUTURAL EM PILARES DE CONCRETO ARMADO COM BAIXA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.

Methods And Tests Used For Structural Pathology Validation In Reinforced Concrete Columns With Low Compressive Strength.

Robson Cunha[1], **Tatianny** Soares[2], **Ítallo** Mahatan[3], **Wdyelle** Matos[4], **Flavio** Fernandes[5], **Delio** Silva[6], **José** França[7], **Danilo** Lima[8]

[1] Instituto Federal do Piaui, Teresina-PI, Brasil, robsonvcunha@ifpi.edu.br
[2] Universidade Federal do Piaui, Teresina-PI , Brasil, tsaeng3@yahoo.com.br
[3] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI , Brasil, itallo.mahatan@hotmail.com
[4] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI , Brasil, wdyellecarvalho@gmail.com, co-autor
[5] Universidade Federal do Piaui, Teresina-PI , Brasil, flaviucesar@hotmail.com, co-autor
[6] Universidade Federal do Piaui, Teresina-PI , Brasil, delioleal@hotmail.com, co-autor
[7] Universidade Federal do Piaui, Teresina-PI , Brasil, zefilho@hotmail.com, co-autor
[8] Universidade Federal do Piaui, Teresina-PI , Brasil, olinadamil@hotmail.com, co-autor

Resumo: O concreto na sua composição natural pode apresentar diversas propriedades que podem ser alteradas em virtude do tipo e quantidade dos componentes envolvidos. Para identificar tais propriedades é necessário que seja feito experimentos utilizando métodos e equipamentos específicos para determinada finalidade. A resistência à compressão é a característica mecânica mais importante do concreto. Os pilares de concreto armado, por desempenharem um papel muito significativo no equilíbrio do conjunto da estrutura e por estarem submetidos predominantemente a compressão, é muito importante o correto diagnóstico dos problemas encontrados, sendo assim, é imprescindível o uso dos mais diversos ensaios para que se conheça a causa que facilite na melhor escolha da ação corretiva. Diante deste contexto, este trabalho tem a finalidade de fazer um estudo de caso para a obra Residencial Santa Thereza na cidade de Teresina - PI, com o objetivo de validar baixa resistência mecânica em pilares, constatada pelo ensaio de compressão, relatando o uso dos mais diversos métodos e recursos utilizados para auxiliar no diagnóstico e reabilitação, através dos ensaios de esclerometria, pacometria, resistência à compressão de corpos de provas submetidos à extração, ultrassonografia e módulo de elasticidade. Após análises e comparação dos resultados verificou-se que para todos os ensaios foi validado a resistência à compressão inferior à de projeto.

Palavras-chave: Concreto, ensaio e pilares.

Abstract: The concrete in its natural composition may present different properties that can be changed due to the type and quantity of the components involved. To identify such properties is necessary performing certain experiments using specific methods and equipment for a particular purpose. The compressive strength is the most important

ISBN: 978-85-65425-32-2

mechanical feature of the concrete. The reinforced concrete columns, which play a very significant role in the set structure balance and are predominantly subjected to compression, make a correct diagnosis of the problems encountered very important, therefore, the use of various tests is essential for the knowledge of the cause to facilitate the best choice of corrective action. In this context, this work aims to make a case study for the Residencial Santa Thereza work in the city of Teresina - PI, in order to validate the low mechanical strength on columns, found by the compression test, reporting the use of the most various methods and resources used to aid in the diagnosis and rehabilitation, through the scratch tests, pacometry, compressive strength of bodies of evidence submitted to the extraction, ultrasound and elastic modulus. After analysis and comparison of the results it was found that for all tests was validated compressive resistance lower than that designed.

Keywords: Concrete, essays and columns.

1. Introdução

O concreto é um material formado por cimento, agregados e água, sendo que em algumas vezes pode também ser composto por um outro elemento que são os aditivos, logo o defeito de um desses elementos possa influir, desfavoravelmente, sobre as características mais importantes do concreto: resistência mecânica, estabilidade e durabilidade.

As resistências mecânicas, a estabilidade e a durabilidade estão diretamente ligadas com a homogeneidade e a compacidade e, estas duas características dependem da qualidade da dosagem do concreto e da adequada tecnologia empregada em sua fabricação e manejo (CÁNOVAS,1988).

Dentre as manifestações patológicas em estruturas, a que merece destaque nesse estudo, são aquelas que afetam os pilares de uma determinada edificação. Os pilares estão predominantemente submetidos a esforços de compressão, sendo que a resistência à compressão simples, denominada fc, é a característica mecânica mais importante do concreto.

Os problemas patológicos nos pilares assim como qualquer outro elemento estrutural podem ocorrer durante a execução em uma ou mais etapas da construção, no controle de qualidade das atividades, na escolha errada dos materiais, assim como na má interpretação ou compatibilização de projetos.

Fatores diversos podem afetar a integridade dos pilares, no entanto a descoberta da origem de uma determinada manifestação patológica facilita na escolha do diagnóstico adequado para tal situação.

O concreto na sua composição natural pode apresentar diversas propriedades que podem ser alteradas em virtude do tipo e quantidade dos componentes envolvidos. Para identificar tais propriedades é necessário que seja feito experimentos utilizando métodos e equipamentos específicos para determinada finalidade.

Os ensaios para o concreto no estado endurecido, visam avaliar a integridade e capacidade resistente da estrutura que, dependendo do tipo, podem ou não ser empregados em qualquer idade do elemento a ser ensaiado. São classificados em destrutivos e não destrutivos, onde os ensaios destrutivos causam danos a estrutura

ISBN: 978-85-65425-32-2

sem que venha a causar seu colapso e os ensaios não destrutivos não causam danos às estruturas, assim como também não provocam perda na capacidade de carga.

O objetivo desse trabalho é fazer um estudo dos diversos tipos de ensaio para o concreto endurecido com a finalidade de validar a baixa resistência à compressão, fc, em pilares de concreto armado em uma determinada edificação, na cidade de Teresina – PI.

2. Materiais e métodos

Nessa parte inicial será feito uma validação da baixa resistência à compressão através de outros tipos de ensaios que tenham a mesma finalidade, para que seja confirmada a real necessidade do plano de ação para peças estruturais afetadas.

Para obra de estudo foi adotado pelo projetista um fck, resistência a compressão de cálculo, no valor de 30 Mpa, porém, pelo ensaio de compressão de corpos cilíndricos foram constatados valores inferiores ao de projeto, Tabela 1.

Na Tabela 1 abaixo é mostrado o número do lote de moldagem dos corpos de prova com seus respectivos valores da resistência à compressão. Para os pilares em estudo, P8 e P26, Figura 1, foram moldados e ensaiados corpos de provas correspondente ao lote 68, como está destacado em vermelho na figura abaixo.

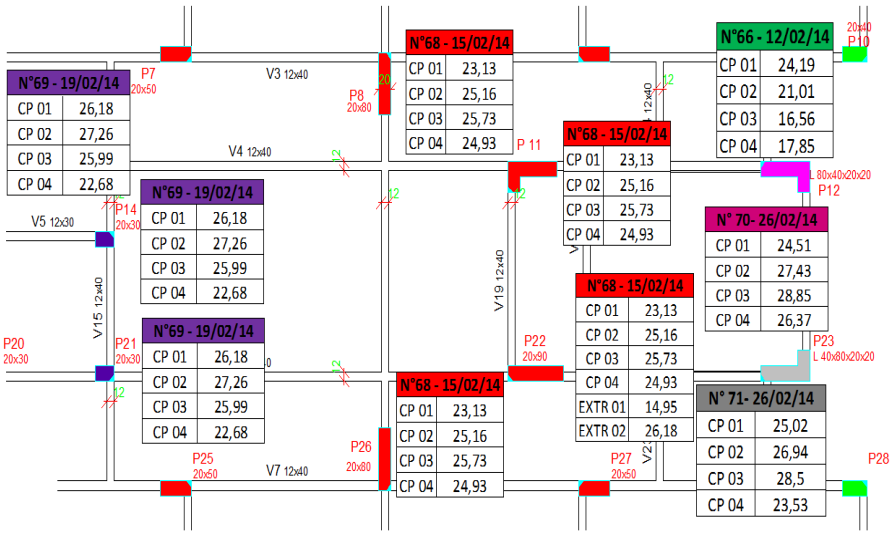


Figura 1 – Mapeamento de pilares afetados

Quadro 1 – Resultado do ensaio à compressão

LOTE Nº 68 - DATA: 15/02/2014

Nº de corpo de prova	Resistência à compressão com 28 dias (Mpa)
CP 1	23,13
CP 2	25,16
CP 3	25,73
CP 4	24,93

ISBN: 978-85-65425-32-2

Como é possível observar, a maioria dos pilares apresentaram valores de fck inferior ao valor adotado pelo projetista estrutural que seria de 30 MPA, baseado nesse mapeamento com numeração de lotes e datas de moldagem o próximo passo foi de reafirmar os resultados dos ensaios à compressão apresentando outros tipos de ensaios que tenha a mesma finalidade

2.2 Ensaios de validação da baixa resistência à compressão

2.2.1 – Esclerometria

O início dos ensaios de validação se deu com o método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, ensaio esse denominado de esclerometria.

O aparelho para execução do experimento é da empresa Soiltest, modelo CT-320AM, Figura 2. Foi adotado pela empresa responsável pelo ensaio o valor de K, fator de correção da aferição do aparelho, de 0,97. Os pilares escolhidos para ensaio foram os pilares centrais e simétricos P8 e P26, apresentando a mesma dimensão transversal de 20 cm de largura e 40 cm de comprimento.

Como nossa peça estrutural em estudo trata-se de um pilar, a posição do aparelho para execução do ensaio é de 0º, zero grau. A posição do aparelho será útil para escolha da curva no gráfico que determina a resistência pelo índice esclerométrico efetivo (IEef).

Foi efetuado 9 (nove) leituras para cada pilar de estudo, sendo que cada leitura corresponde a um único impacto, obedecendo a distância mínima de 3 (três) centímetros para cada impacto.

Figura 2 – Esclerômetro

2.2.2 – Pacometria

A pacometria vem com a finalidade de auxiliar na execução do ensaio de extração de corpos cilíndricos, na função de detectar ferros transversais e longitudinais do pilar, evitando assim corte de armadura. Usado para verificar a conformidade do executado com o projeto para que não comprometa os corpos de provas extraídos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O pacômetro ou scanner de parede, utilizado para investigação de armaduras, é da empresa BOSCH D-tect 150 com profundidade de detecção para ferros de armadura de 150 mm, Figura 3.

Figura 3 – Pacômetro

2.2.3 – Extração de corpos de provas cilíndricos

Após a pacometria, estabelecido o local onde será feito a retirada dos corpos de provas, inicia-se a execução do ensaio de extração de corpos cilíndricos.

A sonda para extração é da marca MERAX com coroa e cálice de 6', podendo chegar a perfurar diâmetro máximo de 205 mm, dependendo da broca, coroa e cálice a serem utilizados, Figura 4.

Figura 4 – Sonda para extração de corpos testemunhos de concreto

ISBN: 978-85-65425-32-2

Os pilares escolhidos para confirmação da baixa resistência à compressão são os mesmo que foram executados os ensaios de esclerometria, os pilares P8 e P26.

Figura 5 – Início da extração dos testemunhos cilíndricos

2.2.3.1 – Determinação da resistência à compressão dos testemunhos cilíndricos

Os testemunhos cilíndricos retirados dos pilares para ensaio devem estar íntegros não apresentando falhas de concretagem, fissuras, segregações e isentos à presença de materiais estranhos, Figura 6.

Figura 6 – Testemunho cilíndrico impróprio para ensaio

Antes de caracterizar os corpos de prova, estes são cortados, utilizando retifica da empresa Belton Pneumáticos com serra diamantada dotada de refrigeração à água, regularizando

ISBN: 978-85-65425-32-2

os topos para que seja feita a correção da relação altura/diâmetro, retirada de materiais estranhos e obtenção de paralelismo entre os topos e sua ortogonalidade com as geratrizes, conforme Figura 7.

Figura 7 – Retífica de testemunhos cilíndricos

Os corpos cilíndricos foram rompidos conforme o estabelecido na ABNT NBR 5739, Figura 8, pela prensa servo-hidráulica e microprocessada da EMIC, para ensaio de concreto modelo PC200CS, capacidade máxima 200 ton, sendo determinada sua resistência de ruptura à compressão axial. Os resultados dos ensaios obtidos, identificados como fci,ext,inicial, são descritos na Tabela 2.

Quadro 2 – Resistência inicial à compressão dos testemunhos extraídos

Nº do corpo de prova	fci,ext,inicial (Mpa)
P8 X	19,28
P8 Y	18,19
P26 X	17,78
P26 Y	21,31

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 8 – Preparação do ensaio à compressão dos testemunhos cilíndricos

Esses resultados foram corrigidos pelos coeficientes k1 a k4 e logo após a correção foi descoberto o fci,ext, ABNT NBR 7680.

O coeficiente k1 está ligado à relação altura/diâmetro, quando h/d = 2 não se aplica, o resultado deve ser corrigido, sendo usado o coeficiente na Tabela 3.

Como houve a correção das dimensões dos corpos de prova, através da retifica, Figura 7, para os quatro testemunhos cilíndricos a relação altura/diâmetro foi igual a 2 (dois), não foi necessário a correção quanto o coeficiente K1.

Para o coeficiente K2, deve ser considerado o efeito do broqueamento, que é em função do diâmetro do testemunho, quanto menor for o diâmetro o efeito é considerado maior. O efeito deve ser corrigido conforme Tabela 4.

Quadro 3 – Valores de K2 em função do efeito de broqueamento

Diâmetro do testemunho (dt) mm	≤ 25	50	75	100	≥150
K2	NÃO PERMITIDO	0,12	0,09	0,06	0,04

Como o diâmetro dos corpos cilíndricos é próximo de 100 milímetros, será adotado o coeficiente K2 igual a 0,06.

O responsável pela extração deve informar ao laboratório de ensaio sobre a direção de extração com relação ao lançamento do concreto. Os corpos de provas devem ser ensaiados no sentido do lançamento do concreto. No caso dos pilares, que é nossa peça estrutural de estudo, a extração é no sentido perpendicular ao lançamento, logo deve-se adotar k3 = 0,05.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O coeficiente k4 está diretamente ligado ao efeito da umidade. Como os testemunhos foram rompidos saturados, mantido numa câmara úmida, foi adotado k4=0.

Todos os coeficientes de correção são descritos na, Tabela 5.

Quadro 4 – Valores dos coeficientes de correção

Coeficiente	Valor de correção
K1	0
K2	0,06
K3	0,05
K4	0

O resultado individual para cada testemunho, corrigido pelos coeficientes, são encontrados pela equação:

$$f_{ci,ext} = [1 + (k1 + k2 + k3 + k4)] \times f_{ci,ext,inicial} \quad (1)$$

2.2.4 – Ultrassonografia

O ensaio de ultrasson é um ensaio não destrutivo para determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultra-sônicos, através de um componente de concreto, e tem como principais aplicações: verificação da homogeneidade do concreto, detecção de eventuais falhas internas de concretagem.

A aparelhagem necessária para ensaio é de um circuito gerador-receptor, que é um aparelho de pulso elétrico de baixa frequência ultrassônica, com alta estabilidade e precisão de leitura de pelo menos 0,1 µs e um transdutor-emissor, aparelho que possibilita a transformação do pulso elétrico em onda de choque numa faixa de 24 kHz a 500 kHz e um transdutor-receptor, Figura 9, que é um aparelho que possibilita a transformação da onda de choque em pulso elétrico, com amplificação adequada ao circuito gerador-receptor, assim como relata a NBR 8802.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 9 – Ultrassonagrafia de corpos de provas e concreto

2.2.5 – Ensaio de módulo de elasticidade

O conhecimento do módulo de elasticidade do concreto, onde o valor numérico está relacionado ao módulo de deformação tangencial inicial (Eci), possibilita o atendimento às exigências do projeto estrutural, com intuito de inferir o módulo de deformação em tensões usuais de projeto através de aproximações previstas nas normas técnicas.

O equipamento utilizado para ensaio foi a prensa servo-hidráulica e microprocessada da EMIC, para ensaio de concreto modelo PC200CS, capacidade máxima 200 ton e extensômetro mecânico EMIC.

Figura 10 – Extensômetro elétrico

3. Resultados e discussões

3.1 Esclerometria

ISBN: 978-85-65425-32-2

A Figura 11, mostram os resultados das respectivas leituras dos índices esclerométricos do pilar 8 para quantidade de 9 (nove) impactos.

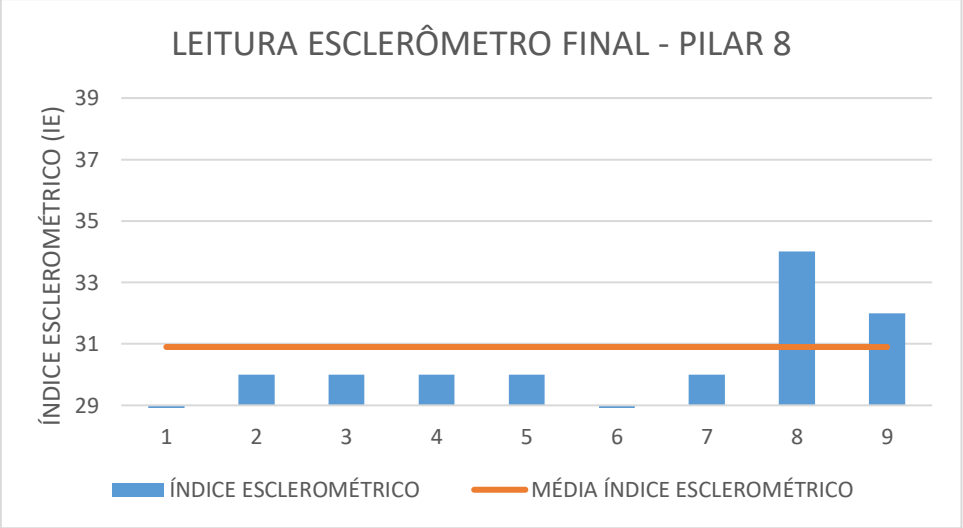


Figura 11 – Leitura dos índices esclerométricos remanescentes do pilar 8

No pilar 26, para a média aritmética, com os impactos remanescentes, tem-se o seguinte resultado, Figura 12 e Tabela 6.

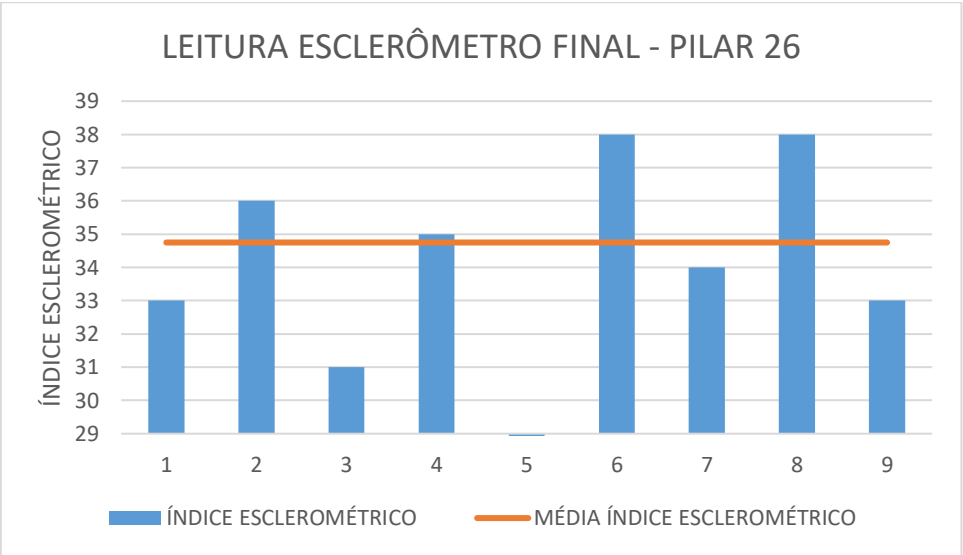


Figura 12 – Leitura dos índices esclerométricos remanescentes do pilar 26

Como a média final, para os dois pilares, não diferiu em 10% da média inicial, esse ensaio é valido para que se possa encontrar o índice esclerométrico médio.

Logo após encontrar o índice esclerométrico médio dos pilares, o próximo passo é encontrar o índice esclerométrico efetivo adotando o K, fator de correção da aferição do equipamento, de 0,97.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Índice esclerométrico efetivo para o pilar 8:

(2)

$$IEef = 0{,}97.30{,}9$$

$$IEef = 29{,}97$$

Índice esclerométrico efetivo para o pilar 26:

(3)

$$IEef = 0{,}97.34{,}75$$

$$IEef = 33{,}7$$

Com o resultado do IEef, índice esclerométrico efetivo, utilizar a curva, adotando a posição do aparelho a 0º, e enfim encontrar a resistência à compressão dos pilares ensaiados, Tabela 6.

Quadro 5 – Resistência à compressão

Pilar	IEef	Resistência à compressão (Mpa)
P8	29,97	23,46
P26	33,70	28,87

Como é possível observar, de acordo com a Tabela 6, os valores resultaram baixa resistência à compressão para as peças estruturais em função da dureza ao choque para ensaios com uso do esclerômetro.

3.3 Extração de corpos testemunhos

Para os corpos testemunhos extraídos, tem-se os resultados da resistência à compressão inicial ($\mathbf{fci, ext, inicial}$) e da resistência à compressão corrigida ($\mathbf{fci, ext}$), modificada pelos coeficientes, com intuito de corrigir as interferências nos resultados obtidos dos ensaios de resistência de testemunhos extraídos.

O valor da resistência à compressão corrigida ($\mathbf{fci, ext}$), é obtida pela expressão:

(4)

$$fci,ext = [1 + (k1 + k2 + k3 + k4)] \text{x } f_{ci,ext,inicial}$$

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tendo o valor dos coeficientes de correção e da resistência à compressão inicial ($\boldsymbol{fci, ext, inicial}$) o próximo passo é encontrar o valor de ($\boldsymbol{fci, ext}$) para cada corpo de prova.

Na Figura 13 é detalhada os valores das resistências iniciais e corrigidas.

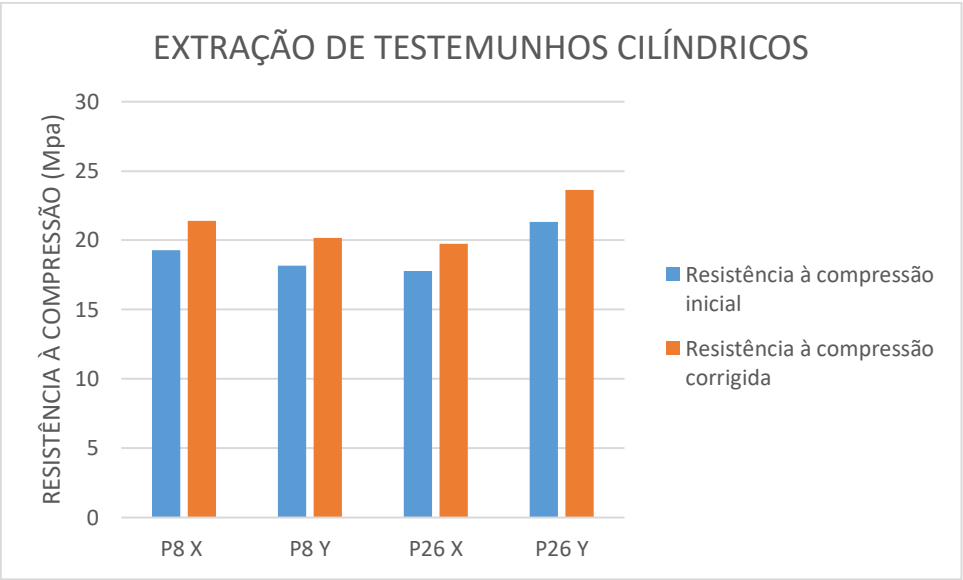


Figura 13 – Resistência à compressão de testemunhos cilíndricos

De acordo com os resultados da resistência à compressão dos corpos testemunhos extraídos, foram constatados valores inferiores à *fck* de 30 Mpa.

3.4 Ultrassonografia

Com intuito de verificar a integridade e homogeneidade dos corpos testemunhos extraídos, o ensaio não destrutivo de ultrassonografia forneceu dados conforme Tabela 7.

Quadro 6 – Velocidade do pulso magnético para os testemunhos em estudo

Nº do CP	Velocidade (m/s)	fci,ext,inicial (Mpa)
P8 X	3946	19,28
P26 X	4072	17,78

Segundo Popovics (2008), a velocidade de pulso para um concreto comum está entre 3.700 m/s a 4.200 m/s, parâmetro de velocidade que garante a integridade e homogeneidade do testemunho cilíndrico de concreto. Para os testemunhos em estudo, Tabela 7, as velocidades do pulso alcançadas, os comprovam aptos para os ensaios quanto ao módulo de elasticidade e resistência à compressão.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.5 Módulo de elasticidade

A Figura 14 mostra os resultados do módulo de elasticidade e de resistência à compressão para cada corpo de prova. As denominações para esta mesma figura de CP1, CP2, CP3 e CP4 correspondem respectivamente aos corpos de provas extraídos: P8X, P8Y, P26X e P26Y. Ao elevar a carga até a ruptura obtém a resistência efetiva (fc,ef). O primeiro corpo de prova ensaiado quanto a resistência à compressão (fc), CP1, é o parâmetro para os demais.

Corpo de Prova	Resistência Efetiva (MPa)	Modulo de Elasticidade (GPa)
CP 1	19.28	*
CP 2	18.19	18.5
CP 3	17.78	18.8
CP 4	21.31	19.5
Número CPs	4	3
Média	19.14	18.91
Mediana	18.73	18.77
Desv.Padrão	1.580	0.5025
Coef.Var.(%)	8.258	2.657
Mínimo	17.78	18.50
Máximo	21.31	19.47

Figura 14 – Resultado do ensaio de módulo de elasticidade

Como é possível perceber, nenhuma das resistência efetivas (fc,ef) difere em mais de 20% da tensão de ruptura de referência (fc), comprovando assim, segundo a ABNT NBR 8522, a validade do ensaio, Figura 14.

O módulo de elasticidade médio, demonstrado pela Figura 14, foi de 18,91 Gpa e que segundo NBR 6118, para um concreto com idade igual ou superior a 28 dias e *fck* de 30 Mpa, o valor do módulo de elasticidade estimado em função do *fck* do concreto seria de 27 Gpa.

4. Considerações finais

De acordo com os resultados dos ensaios de validação mostrado neste trabalho, foi possível confirmar a baixa resistência à compressão do concreto para os pilares da obra em estudo. Para todos os ensaios foram constatados a resistência à compressão do concreto inferior ao proposto pelo projeto estrutural. O módulo de elasticidade, sendo em função do *fck*, consequentemente apresentou valor abaixo do ideal, confirmando mais uma vez a necessidade de um plano de ação voltado à reabilitação estrutural dos pilares analisados neste trabalho.

ISBN: 978-85-65425-32-2

5. Referências

Almeida, I.M.F. (2008) Caracterização de Patologias. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7680. Concreto – extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 8522. Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 8802. Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2013.

Cánovas, M. F. Patologia e Terapia do Concreto Armado.1 ed. Tradução de M. C. Marcondes, C. W. F. Dos Santos, b. Cannabrava. São Paulo: ed. Pini, 1988. 522p.

Popovics, J. S. A study of static and dynamic modulus of elasticity of concrete. University of Illinois, urbana, il. Aci-crc final report. 2008.

Souza, V. C., Ripper, T. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. 1 ed. São Paulo: ed. Pini, 1998. 255 p.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE ENDURECEDORES DE SUPERFÍCIE NA DUREZA SUPERFICIAL DE CONCRETOS EMPREGADOS EM PISOS

Study Of The Influence Of The Use Of Surface Hardener On The Surface Hardness Of Concretes Applied In Floors

Francine PADILHA[1], **Cristina** VITORINO DA SILVA[2]

[1] Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, Brasil, francine.padilha1609@gmail.com

[2] Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, Brasil, cristina@uricer.edu.br

Resumo: Por ser o concreto um material altamente empregado pela indústria da construção civil, é de suma importância realizar novas pesquisas tecnológicas no intuito de buscar diretrizes seguras para o emprego e aproveitamento com qualidade deste material cimentício. Quando a aplicação se refere a pisos de concreto, devem ser consideradas algumas propriedades, como a dureza superficial e as resistências mecânicas. Entretanto, tais propriedades acabam muitas vezes comprometidas, principalmente, em decorrência de problemas vinculados ao projeto, à execução e à dosagem do concreto destas estruturas. Em virtude do exposto, podem ocorrer manifestações patológicas, dentre as quais encontram-se o desgaste superficial por abrasão e a fissuração do compósito. Considerando o exposto, o desenvolvimento de estudos que buscam avaliar a influência do proporcionamento e tipo de alguns materiais que constituem o traço de concreto comumente empregado em pisos, frente às propriedades mecânicas e à dureza superficial, é considerado extremamente relevante. Para tanto serão avaliados alguns fatores como a relação água/aglomerante (0,40; 0,50; 0,60), o tipo de endurecedor superficial (líquido; cimentício), e a idade de cura (28 e 63 dias) no cimento CP II-Z. Foram realizados ensaios de avaliação de resistência à compressão uniaxial, resistência à tração na flexão, exsudação e dureza superficial por esclerometria, onde os resultados indicam que o uso dos endurecedores superficiais cimentício e líquido tendem a aumentar a resistência superficial dos compósitos, fato este que pode minimizar o aparecimento de manifestações patológicas nessas estruturas.

Palavras-chave: pisos de concreto; dureza superficial; resistências mecânicas; manifestações patológicas; endurecedor superficial.

Abstract: Concrete is a material highly used by the construction industry, it is extremely important to carry out new technological research in order to seek safe guidelines for the use and quality of this cement material. When application refers to concrete floors, some properties, such as surface hardness and mechanical strength, should be considered. However, these properties can sometimes be compromised, mainly as the result of problems related to project, execution and dosage of concrete on these structures. Because of that, there may be some pathological manifestations among which are the surface abrasion wear and the cracking of the composite. Therefore, the development of studies

that aim to evaluate the influence of the proportioning and type of some of the materials that constitute the mixture proportions of concrete used on floors, facing the mechanical properties and the surface hardness, is extreme relevant. Therefore, this study aims to evaluate some factors such as the water/binder ratio (0.40; 0.50; 0.60), the use of surface hardener (cement and liquid hardener), and the age of cure (28 and 63 days) with CP II-Z cement. The tests of compressive strength, flexural tensile strength, bleeding and surface hardness by sclerometry are the form of evaluation and the results indicate that the use of cement and liquid surface hardeners tend to increase the surface resistance of composites. Which may minimize the appearance of pathological manifestations in these structures.

Keywords: concrete floors; surface hardness; mechanical strength; pathological manifestations; surface hardener.

1. Introdução

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados em todo o mundo, o que salienta a elevada importância de novas pesquisas tecnológicas nessa área. Devido a essa elevada empregabilidade, o concreto está sujeito a situações que podem gerar manifestações patológicas, capazes de prejudicar fatores muito importantes, como durabilidade e resistência, o que contribui para a redução da vida útil das estruturas (SENISSE, 2010).

Pisos de concreto são elementos de grande importância em obras de engenharia, o que ressalta a importância de algumas propriedades, como dureza superficial e resistência mecânica. No entanto, tais propriedades acabam muitas vezes comprometidas, principalmente em função de problemas vinculados ao projeto, à execução e à dosagem do concreto dessas estruturas (SILVA, 2011).

No ano de 2008, dos 35 milhões de m² de pisos e pavimentos de concreto produzidos no Brasil, em torno de 22,5 milhões de m² apresentaram alguma manifestação patológica vinculada a falhas, tanto no projeto de pisos como na execução destes. Portanto, aproximadamente 65% dos pisos e pavimentos de concreto produzidos em 2008 apresentaram algum tipo de manifestação patológica (SENISSE, 2010).

Segundo o manual americano ACI 302.1R (ACI, 2004), direcionado para pisos de concreto, geralmente uma manifestação patológica não está relacionada a um único fator, mas sim a diversos fatores, que podem influenciar no desenvolvimento de uma imperfeição, como condições de cura, fatores meteorológicos e propriedades dos materiais utilizados.

Segundo Almeida (2000), a resistência dos concretos ao desgaste por abrasão é regida por vários fatores, tais como a natureza do aglomerante, a relação água/aglomerante, as características do agregado graúdo, dosagem e aderência entre os agregados e a pasta de cimento. Interferem também as características do concreto no estado fresco (segregação, exsudação, trabalhabilidade e teor de ar incorporado), a compactação, a cura e o acabamento e tratamento superficial.

Considerando que o aspecto estrutural do dimensionamento de pisos não é tão problemático como o desempenho superficial, este estudo tem como objetivo principal buscar uma melhoria na qualidade dos compósitos e na dureza superficial a fim de minimizar a tendência do aparecimento de manifestações patológicas, como o desgaste

ISBN: 978-85-65425-32-2

por abrasão. Por conseguinte, avaliar a influência do uso de tratamentos superficiais com endurecedores e a influência de diferentes relações água/cimento (a/c), frente a ensaios mecânicos e de dureza superficial. Para isso serão avaliados dois tipos de endurecedores superficiais (líquido; cimentício), três relações água/cimento (0,40; 0,50; 0,60) em duas idades de avaliação (28 e 63 dias).

2. Programa experimental

Visando verificar a influência da relação a/c e uso dos endurecedores de superfície, essa pesquisa foi realizada sempre com a pretensão de reproduzir as condições usuais adotadas na produção de pisos de concreto. A escolha da relação água/cimento se deu devido à relação 0,5 ser comumente utilizada em projetos de pisos de concreto, portanto optou-se por avaliar características dos concretos com relação inferior (0,4) e superior (0,6) a esta.

O cimento utilizado será o tipo CP II-Z, o qual apresenta teores elevados de materiais pozolânicos e aumento do ganho de resistência à compressão em idades avançadas. Logo, serão realizados os ensaios em estado endurecido em duas idades, aos 28 e 63 dias.

Para o tratamento superficial do concreto, foram avaliados dois materiais distintos; endurecedor cimentício a base de agregados minerais e endurecedor líquido químico a base de silicato de lítio, silicato de sódio e nanosílica, fornecidos por um mesmo fabricante. A aplicação do endurecedor liquido é feito através de pulverizador costal de baixa pressão ou regador, diretamente sobre a superfície cimentícia em movimentos simétricos e com ligeira sobreposição de camadas, com consumo médio de 200L/m². No endurecedor cimentício a aplicação é feita por aspersão manual, e a taxa de aplicação recomendada varia de 4 a 9 kg/m².

Os ensaios que irão embasar as análises da dureza superficial serão ensaios de esclerometria e exsudação. Para análise da resistência e controle tecnológico dos concretos serão realizados os ensaios de resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão.

2.1 Materiais utilizados

A caracterização dos materiais utilizados na produção dos concretos, obtida segundo as suas respectivas normas, é a seguinte.

cimento: Portland CP II-Z, com massa específica igual a 2,81 g/cm³;

agregado miúdo: areia natural, dimensão máxima característica (DMC) igual a 1,18 mm, com módulo de finura (MF) igual a 1,47 e massa específica igual a 2,62g/cm³;

agregado graúdo: brita de origem basáltica, denominada comercialmente como brita 1, com as seguintes características: MF (6,91) e DMC (19 mm) e massa específica igual a 2,57 g/cm³;

aditivo: superplastificantes baseado em uma cadeia de éter policarboxílico;

água utilizada para a produção dos concretos foi proveniente da rede de abastecimento pública de Erechim (RS).

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.2 Dosagem experimental

O método de dosagem utilizado para este estudo foi o IPT/EPUSP, proposto por Helene e Terzian (1992), onde os parâmetros utilizados foram a obtenção de um abatimento de tronco de cone de 100 ± 20 mm, definido com base em especificações de projeto para pisos de concreto. Através deste método determinou-se experimentalmente um teor de argamassa de 54% como sendo o ideal. O Quadro 1 especifica os valores da dosagem experimental realizada para o cimento CP II-Z.

Quadro 1 – Resultados da dosagem experimental para o cimento CP II-Z

Traço unitário (1:m)	Relação água/cimento (a/c)	Resistência potencial - 28 dias (Mpa)	Consumo de cimento (kg/m³)	H (%)	Abatimento (mm)
1:3,5	0,44	33,35	464,915	9,86	80
1:5	0,64	28,19	341,871	10,67	120
1:6,5	0,76	20,43	276,031	10,14	100

Fonte – O autor , 2017.

2.3 Métodos de ensaio

Os métodos de ensaio empregados neste programa estão explicitados nos itens a seguir.

2.3.1 – Ensaio de resistência à compressão uniaxial

O método de ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto seguiu as determinações da norma brasileira NBR 5739 (2007). Após a moldagem, os CP's foram cobertos por um plástico, não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar a perda de água do concreto para o ambiente externo. Estes foram armazenados em superfície horizontal rígida e em ambiente livre da ação de intempéries, durante as primeiras 24 horas. Após esta etapa, os CP's foram desmoldados e mantidos a cura úmida (UR > 95 % e temperatura de 23 ± 2ºC) até o momento da realização do ensaio.

2.3.2 – Ensaio de resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado de acordo com a norma brasileira NBR 12142 (2010). Foram ensaiados dois corpos de prova à tração na flexão, aos 28 dias e aos 63 dias, para cada traço de concreto do programa experimental. Foi empregada a mesma metodologia para a cura inicial, desforma e cura úmida, conforme descrito anteriormente no ensaio de resistência à compressão.

2.3.3 – Ensaio de exsudação

Os ensaios de exsudação foram realizados com o concreto no estado fresco conforme NBR 15558 (2008), sendo realizada duas repetições para cada traço analisado. A fôrma utilizada é de PVC com dimensões reduzidas, porém respeitando-se o proporcionamento entre diâmetro e altura especificados na norma. Salienta-se que o adensamento do molde para

ISBN: 978-85-65425-32-2

todos os traços ensaiados foi manual. O ensaio de exsudação foi realizado em câmera climatizada com temperatura e umidade constantes (UR 70 ± 10 % e temperatura de 23 ± 2ºC.

2.3.4 – Ensaio de dureza superficial por esclerometria

O método de avaliação da dureza superficial por esclerometria fornece elementos para avaliação da qualidade do concreto endurecido através do índice esclerométrico. Este tem como princípio de funcionamento a ação de uma massa ou martelo, que impulsionada por uma mola se choca com o concreto, o esclerômetro então registra a energia remanescente do impacto (SILVA, 2011).

Para o ensaio de dureza foram produzidas placas de concreto de 250 mm x 250 mm x 100 mm de espessura, sendo utilizado formas de compensado plastificado para a moldagem das placas. Foram moldadas duas placas para cada tipo de tratamento superficial aplicado para ambas as idades de avaliação, sendo que em cada uma das placas foram realizados 16 impactos, sendo estes, distribuídos de forma homogênea na superfície conforme NBR 7584 (1995).

3. Resultados e discussões

Os resultados obtidos em todos os ensaios foram submetidos à análise estatística através da análise de variância (ANOVA) do programa Statistica 7.0.

3.1 Resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão

O Quadro 2 apresenta os resultados médios obtidos nos ensaios de resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão.

Quadro 2 – Resultados médios para o ensaio de resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão

Ensaio	Idade (dias)	Relação a/c	Médias (MPa)	Desvio padrão	CV (%)
Resistência à compressão uniaxial (MPa)	28	0,4	43,09	2,39	5,54
		0,5	33,73	1,53	4,53
		0,6	21,54	1,12	5,18
	63	0,4	46,78	0,52	1,12
		0,5	41,35	2,30	5,56
		0,6	22,69	0,62	2,73
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	0,4	4,21	0,05	1,19
		0,5	3,74	0,13	3,48
		0,6	3,45	0,28	8,12
	63	0,4	4,78	0,09	1,78

ISBN: 978-85-65425-32-2

		0,5	4,68	0,01	0,21
		0,6	4,21	0,02	0,48

Fonte – O autor , 2017.

Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se a relação a/c e a idade de cura causam efeito significativo na resistência à compressão uniaxial e na resistência à tração na flexão. Essa análise dos dados experimentais obtidos para a resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão dos concretos estudados encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3 – Análise de variância (ANOVA) - resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão

		SS	GDL	MS	F (calc)	P	Significância
Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Idade (1)	157,13	1	157,13	23,384	0,000133	S
	Relação a/c (2)	2266,01	2	1133,00	168,610	0,000000	S
	(1) x (2)	33,96	2	16,98	2,527	0,107855	NS
	Erro	120,95	18	6,72			
Resistência à tração na flexão (MPa)	Idade (1)	1,7101	1	1,7101	48,616	0,000433	S
	Relação a/c (2)	0,8842	2	0,4421	12,568	0,007156	S
	(1) x (2)	0,0704	2	0,0352	1,000	0,421875	NS
	Erro	0,2110	6	0,0352			
GDL: graus de liberdade (n-1); MS: média simples; F(calc): valor calculado de F; P: nível de significância; S: valor significativo; NS: valor não significativo; Se P<5% valor significativo.							

Fonte – O autor , 2017.

A análise estatística dos dados de resistência à compressão uniaxial indicou que a relação a/c e a idade de cura geraram influência significativa nessa propriedade, comportamento similar foi verificado na resistência à tração na flexão. A Figura 1a mostra a influência da relação a/c sobre a resistência à compressão uniaxial e a Figura 1b a influência da relação a/c sobre a resistência à tração na flexão dos concretos ensaiados.

ISBN: 978-85-65425-32-2

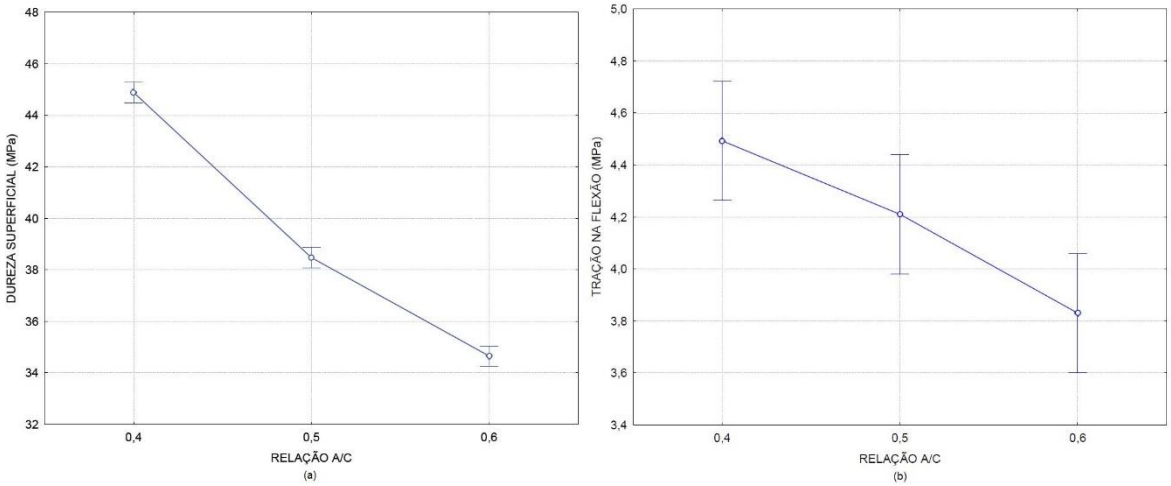


Figura 1 – Efeito da relação a/c na resistência à compressão uniaxial e na resistência à tração na flexão do concreto

Fonte – O autor, 2017.

Através da análise do gráfico verifica-se, conforme esperado, uma redução significativa na resistência à compressão e na resistência à tração na flexão dos concretos produzidos com maior relação a/c em comparação aos compósitos com menor relação a/c. Esse comportamento ocorre em função do acréscimo da porosidade na pasta e na zona de transição pasta-agregado, e pela presença de cristais de Ca(OH)2 orientados e mais desenvolvidos com o aumento da relação a/agl (NEVILLE, 1997; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A Figura 2a mostra a influência da idade de cura sobre a resistência à compressão uniaxial e a Figura 2b a influência da idade de cura sobre a resistência à tração na flexão dos concretos.

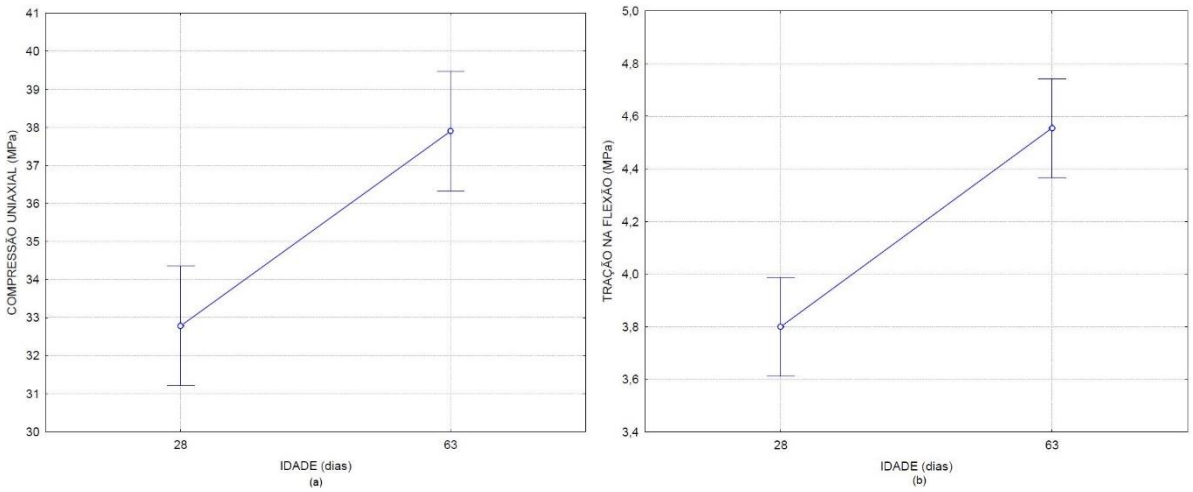


Figura 2 – Efeito da idade de cura na resistência à compressão uniaxial e na resistência à tração na flexão do concreto

Fonte – O autor, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Através da análise do gráfico verifica-se, conforme esperado, uma melhora significativa na resistência à compressão e na resistência à tração na flexão dos concretos avaliados aos 63 dias em comparação aos compósitos avaliados aos 28 dias. Esse comportamento ocorre visto que o cimento CP II-Z é rico em material pozolânico, e este material ganha resistência com o tempo, por isso valores mais altos foram obtidos aos 63 dias em ambas as propriedades

3.1.1 – Correlação dos resultados da resistência à compressão uniaxial e à tração na flexão

O Quadro 4 apresenta um resumo comparativo dos resultados obtidos para a resistência a compressão uniaxial e resistência a tração na flexão nesta pesquisa, em percentual, frente aos fatores controláveis (relação a/c e idade) analisados isoladamente. A primeira comparação é feita separadamente para cada idade, tendo a relação a/c 0,4 como referência. E para a segunda comparação, a referência é a idade aos 28 dias, comparando com os valores da compressão uniaxial e da tração na flexão aos 63 dias.

Quadro 4 – Resumo comparativo dos resultados obtidos para a resistência à compressão uniaxial e à tração na flexão frente aos fatores controláveis analisados isoladamente

Idade (dias)	**Relação a/c**	**Médias resistência à compressão uniaxial (MPa)**		**Médias resistência à tração na flexão (MPa)**	
28	0,4	43,085	100%	4,21	100%
	0,5	33,727	↓ 22%	3,74	↓ 11%
	0,6	21,535	↓ 50%	3,45	↓ 18%
63	0,4	48,895	100%	4,775	100%
	0,5	41,350	↓ 15%	4,68	↓ 2%
	0,6	23,455	↓ 52%	4,21	↓ 12%
Relação a/c	**Idade (dias)**	**Médias resistência à compressão uniaxial (MPa)**		**Médias resistência à tração na flexão (MPa)**	
0,4	28	43,085	100%	4,21	100%
	63	48,895	↑ 13%	4,775	↑ 13%
0,5	28	33,727	100%	3,74	100%
	63	41,350	↑ 23%	4,68	↑ 25%
0,6	28	21,535	100%	3,45	100%
	63	23,455	↑ 9%	4,21	↑ 22%

Fonte – O autor , 2017.

Analisando o Quadro 4 observa-se na primeira comparação houve um decréscimo na relação a/c 0,5 e 0,6 comparando com a relação a/c 0,4, esse decréscimo ocorreu tanto na

ISBN: 978-85-65425-32-2

resistência à compressão uniaxial como para a resistência à tração na flexão, aos 28 e aos 63 dias. Na segunda comparação, observa-se que todas as relações a/c obtiveram um aumento na resistência à compressão e à tração na flexão aos 63 dias. Esses resultados eram esperados e de consenso acadêmico.

3.2 Exsudação

Os resultados do ensaio de exsudação encontram-se no Quadro 5.

Quadro 5 – Resultados médios para o ensaio de exsudação

Cimento	Relação a/c	Médias (%)	Desvio Padrão	CV (%)
CP II-Z	0,4	1,77	0,20	11,30
	0,5	5,52	0,03	0,54
	0,6	10,31	0,26	2,52

Fonte – O autor , 2017.

Conforme mostrado no Quadro 5, os percentuais de água exsudada, apenas na relação a/c 0,4 ficaram dentro do permitido para pisos industriais de concreto, que não deve exceder 4%. (ACI 302.1R, 2004). Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se a relação a/c causa efeito significativo na exsudação dos compósitos. A análise de variância feita dos dados experimentais obtidos para a exsudação dos concretos estudados encontra-se no Quadro 6.

Quadro 6 – Análise de variância (ANOVA) – exsudação

	SS	GDL	MS	F (calc)	P	Significância
Relação a/c	73,2921	2	36,6461	506,628	0,000160	S
Erro	0,2170	3	0,0723			
GDL: graus de liberdade (n-1); MS: média simples; F(calc): valor calculado de F; P: nível de significância; S: valor significativo; NS: valor não significativo; Se P<5% valor significativo.						

Fonte – O autor , 2017.

A análise estatística dos dados de exsudação indicou que a relação a/c gerou influência significativa nessa propriedade. A Figura 3 mostra a influência da relação a/c sobre a exsudação dos concretos ensaiados.

ISBN: 978-85-65425-32-2

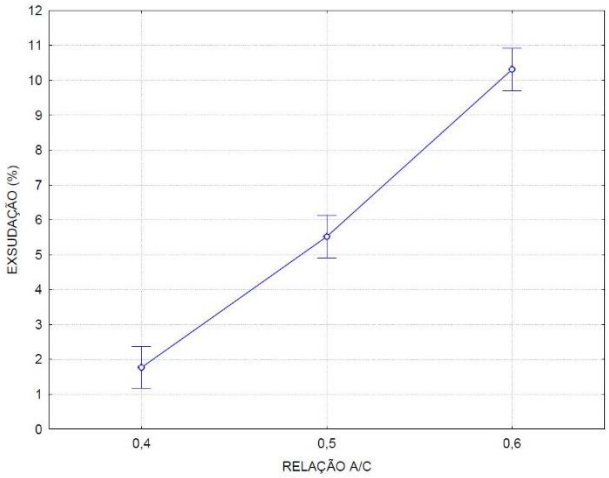


Figura 3 – Efeito da relação a/c na exsudação do concreto
Fonte – O autor, 2017.

A exsudação é uma propriedade de extrema importância na execução de pisos de concreto, uma vez que a camada exsudada que se forma na superfície é mais fraca que o restante do concreto, tornando-se mais favorável ao surgimento do desgaste superficial. Quando em excesso leva a um enfraquecimento da ligação entre a matriz de cimento e a superfície dos agregados (zona de transição), reduzindo a resistência do concreto e propiciando a formação de vazios capilares, o que compromete a durabilidade do material (SILVA, 2011).

Conforme verificado na Figura 3, o comportamento obtido no ensaio de exsudação foi o esperado, apresentando um acréscimo na quantidade de água exsudada para relações a/c maiores. Um concreto com alta relação a/c pode levar a segregação dos materiais constituintes e promover exsudação excessiva, carreando material mais frágil para a superfície (ACI 302.1R, 2004).

3.3 Dureza superficial por esclerometria

Nas estruturas de pisos de concreto, a dureza superficial é uma propriedade de extrema relevância, sendo responsável pela indicação da qualidade da camada superficial ou camada mais externa do material. Segundo Neville (1997), o ensaio esclerométrico, além de servir para estimar a resistência à compressão do concreto, é utilizado para a determinação de propriedades da superfície do material, as quais têm uma influência direta em seu desempenho, como por exemplo, na resistência à abrasão de pisos de concreto. Os resultados médios da dureza superficial para os concretos estudados encontram-se no Quadro 7.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 7 – Resultados médios para o ensaio de dureza superficial por esclerometria

Idade (dias)	Relação a/c	Tipo de tratamento superficial	Médias (MPa)	Desvio padrão (%)	CV (%)
28	0,4	Sem Endurecedor	42,04	0,07	0,17
		End. Cimentício	44,16	0,08	0,18
		End. Líquido	43,04	0,12	0,28
	0,5	Sem Endurecedor	36,70	0,02	0,04
		End. Cimentício	38,12	0,21	0,54
		End. Líquido	36,82	0,17	0,46
	0,6	Sem Endurecedor	33,04	0,94	2,86
		End. Cimentício	35,66	0,15	0,41
		End. Líquido	34,25	0,91	2,67
63	0,4	Sem Endurecedor	45,89	0,09	0,19
		End. Cimentício	48,00	0,04	0,09
		End. Líquido	46,20	0,65	1,41
	0,5	Sem Endurecedor	38,65	0,88	2,28
		End. Cimentício	41,43	0,05	0,13
		End. Líquido	39,14	0,44	1,12
	0,6	Sem Endurecedor	33,84	0,57	1,68
		End. Cimentício	36,49	0,54	1,48
		End. Líquido	34,63	0,09	0,25

Fonte – O autor , 2017.

Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se a relação a/c e o tipo de tratamento superficial, e as suas interações causam efeito significativo na dureza superficial por esclerometria medida. A análise de variância feita através da ANOVA dos dados experimentais obtidos para a dureza superficial dos concretos estudados encontra-se no Quadro 8.

Quadro 8 – Análise de variância (ANOVA) - dureza superficial por esclerometria

	SS	GDL	MS	F (calc)	P	Significância
Idade (1)	46,44	1	46,44	107,9	0,000000	S
Tipo de tratamento (2)	33,16	2	16,58	38,5	0,000000	S
Relação a/c (3)	642,32	2	321,16	746,0	0,000000	S
(1) x (2)	0,77	2	0,39	0,9	0,425807	NS
(1) x (3)	13,26	2	6,63	15,4	0,000126	S

ISBN: 978-85-65425-32-2

(2) x (3)	0,64	4	0,16	0,4	0,825728	NS
(1) x (2) x (3)	0,65	4	0,16	0,4	0,821787	NS
Erro	7,75	18	0,43			
GDL: graus de liberdade (n-1); MS: média simples; F(calc): valor calculado de F; P: nível de significância; S: valor significativo; NS: valor não significativo; Se P<5% valor significativo.						

Fonte – O autor , 2017.

De acordo com o Quadro 8, observa-se que todos os efeitos isolados foram significativos na variável de resposta (dureza superficial). Com relação aos efeitos de 2ª ordem, a única interação que se mostrou significativa foi a idade com a relação a/c. Para o efeito de 3ª ordem, a interação entre a idade, o tipo de tratamento e a relação a/c não apresentou resultados significativos.

Os itens que seguem analisam os efeitos isolados e a interação significativa, verificados através da análise de variância (ANOVA), as quais tiveram uma influência expressiva nos resultados obtidos.

3.3.1 – Efeito da idade

A Figura 4 mostra a influência isolada da idade sobre a dureza superficial dos concretos. Tal figura foi obtida através dos resultados da dureza superficial dos traços estudados, na análise de variância (ANOVA).

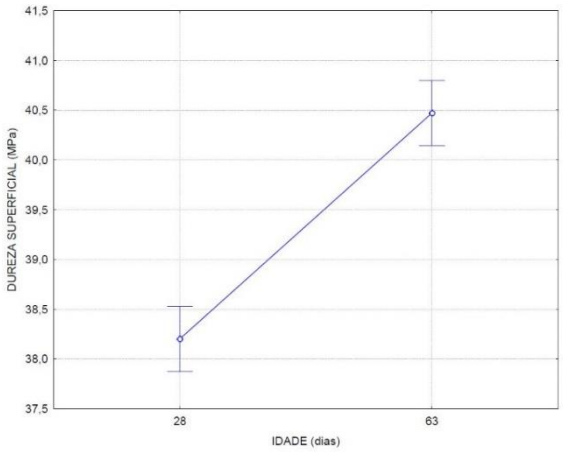


Figura 4 – Efeito isolado da idade na dureza superficial. Fonte – O autor, 2017.

Através da análise da Figura 4, verifica-se a influência da idade na dureza superficial. Conforme esperado e de consenso no meio acadêmico, aos 63 dias os compósitos apresentaram uma melhora na dureza superficial, essa tendência deve-se ao processo de hidratação do cimento, que ao longo do tempo, a formação dos cristais continua acontecendo o que resulta em uma maior resistência do concreto. Fato que influência também esse acréscimo na resistência com o passar do tempo, é o tipo de cimento utilizado, o CP II-Z, esse aglomerante por conter pozolana alcança maiores resistência com idades mais avançadas.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.3.2 – Efeito do tipo de tratamento supertifical

A Figura 5 mostra a influência isolada do tipo de tratamento sobre a dureza superficial dos concretos. Tal figura foi obtida através dos resultados da dureza superficial dos traços estudados, na análise de variância (ANOVA).

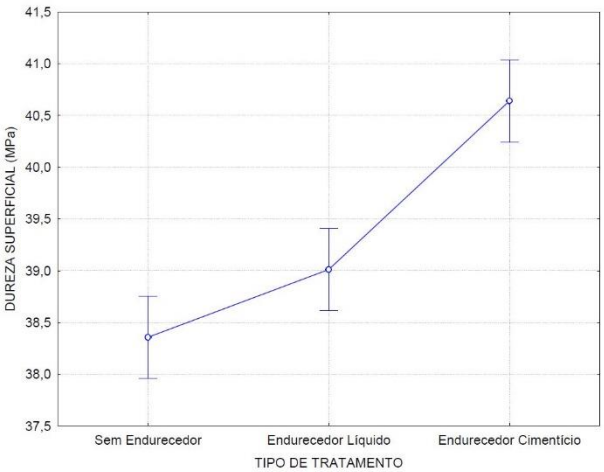


Figura 5 – Efeito isolado do tipo de tratamento na dureza superficial
Fonte – O autor, 2017.

A Figura 5 apresenta o comportamento da dureza superficial com aplicação de endurecedores superficiais, percebe-se que há uma tendência no aumento da dureza superficial com a utilização destes produtos, sendo que tal acréscimo é mais acentuado quando utilizado o endurecedor cimentício do que o endurecedor líquido.

Os endurecedores líquidos (químicos) à base de silicato de sódio e à base de flúorsilicato de zinco ou magnésio, que reagem com o Ca(OH)2 presente na pasta de cimento para formar produtos insolúveis, selando e obstruindo os poros capilares próximos ou na superfície, e com isto aumentando a resistência à abrasão (METHA; MONTEIRO, 2008). Nesta pesquisa, o uso do endurecedor líquido apresentou uma melhor de aproximadamente 1,70% na resistência superficial dos compósitos ensaiados.

Segundo Viecili (2004), a utilização dos endurecedores cimentícios reduz a relação a/agl superficial, pela incorporação no concreto dos aglomerantes presentes, melhorando a matriz superficial deste concreto e principalmente a zona de transição, tornando a superfície dos pisos mais resistente à abrasão. O endurecedor cimentício é rico em sílica ativa, logo esse aglomerante possivelmente promoveu a melhora na porosidade da camada exposta, assim apresentando um aumento mais significativo na resistência superficial quando comparado com o endurecedor líquido.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.3.3 – Efeito da relação água/cimento

A Figura 6 mostra a influência isolada da relação a/c sobre a dureza superficial dos concretos. Tal figura foi obtida através dos resultados da dureza superficial dos traços estudados, na análise de variância (ANOVA).

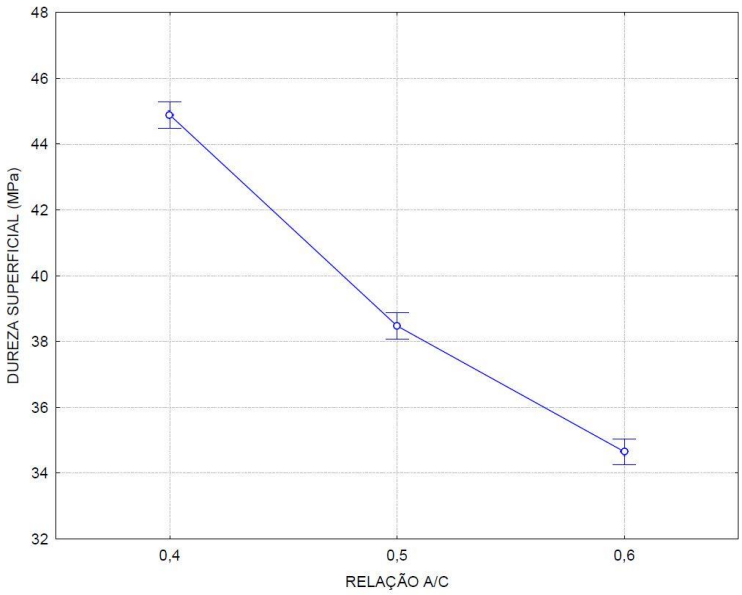


Figura 6 – Efeito isolado da relação a/c na dureza superficial

Fonte – O autor, 2017.

É possível observar um decréscimo significativo da dureza superficial para relações água/cimento mais altas (0,5 e 0,6), como esperado. Tal resultado está correlacionado com as outras propriedades medidas, dentre elas a resistência à compressão uniaxial, na qual uma redução dos valores obtidos consequentemente diminui os valores de dureza superficial. Outra propriedade que tem grande influência na dureza superficial é a exsudação, quanto maior a quantidade de água exsudada, como ocorrido nos compósitos com as maiores relações a/c, mais fraca poderá ser a camada superficial, diminuindo assim a resistência da superfície. Essa redução se deve a um concreto mais poroso e menos coeso produzido pelos traços com maior relação a/c.

3.3.4 – Efeito da interação entre a idade e a relação água/cimento

A Figura 7 mostra o efeito de 2ª ordem entre a idade e a relação a/c. Tal figura foi obtida através dos resultados da dureza superficial dos traços estudados, na análise de variância (ANOVA).

ISBN: 978-85-65425-32-2

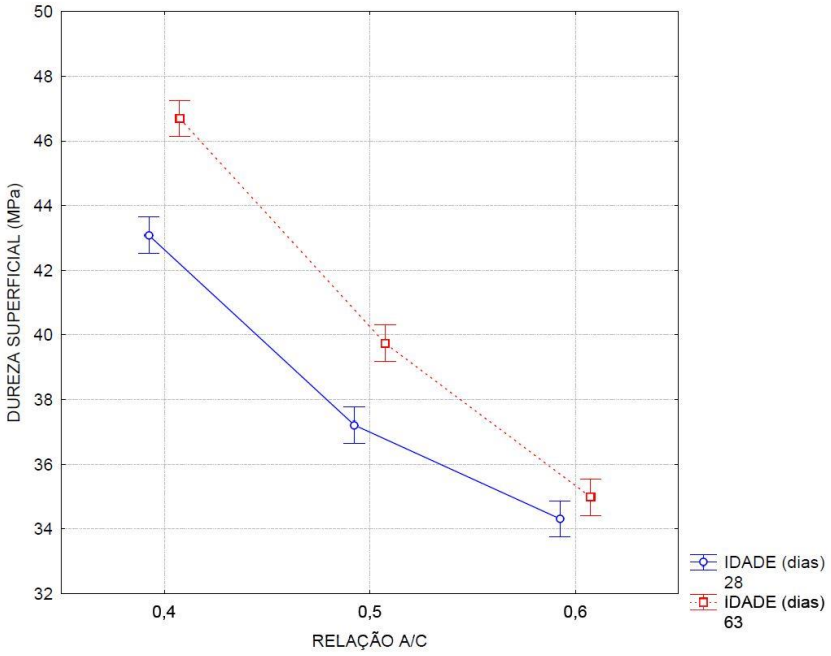


Figura 7 – Efeito combinado da idade e da relação água/cimento na dureza superficial
Fonte – O autor, 2017.

Analisando a Figura 7, verifica-se a influência significativa da interação entre a idade e a relação a/c. Conforme análise estatística, verifica-se que na idade aos 63 dias, em todas as relações a/c, a dureza superficial apresentou valores superiores do que aos 28 dias. Porém, de acordo com a análise estatística feita pelo Método de Fischer (ferramenta da ANOVA, que permite verificar se há ou não diferença significativa entre os resultados), na relação a/c 0,6, a idade de cura não causou influencia significativa na dureza superficial, ou seja, os valores da dureza superficial aos 28 e aos 63 dias não apresentam diferença significativa.

4. Conclusão

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar tanto a influência da relação água/cimento dos compósitos cimentícios, quanto do uso de endurecedores superficiais, em duas idades de cura, frente a dureza superficial. Dentre desse contexto, foram analisadas diferentes relações a/c (0,4; 0,5; 0,6) e diferentes tipos de tratamentos superficiais (sem endurecedor; endurecedor líquido; endurecedor cimentício) em duas idades de cura, aos 28 e aos 63 dias. Para tal avaliação realizaram-se alguns ensaios relacionados às propriedades de superfície (exsudação e dureza superficial por esclerometria) e às propriedades da qualidade do concreto (resistência a compressão uniaxial e resistência a tração na flexão).

Para avaliar a influência de cada fator nas propriedades estudadas nesta pesquisa, foram efetuadas analises estatísticas. As conclusões verificadas quanto ao comportamento das propriedades analisadas, frente as relações a/c, os tipos de tratamentos superficiais e a idade de cura serão explanadas em seguida.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A relação água/cimento influencia significativamente em todos os ensaios realizados. Na resistência a compressão, na resistência tração na flexão e na dureza superficial, verificou-se uma redução das resistências em todos os casos ensaiados para as maiores relações a/c. Entretanto, no ensaio de exsudação, quanto o maior a relação a/c maior a água exsudada. Ou seja, quanto menor a proporção de água na mistura do concreto, melhor será o desempenho dos compósitos. Assim como a relação a/c, a idade influenciou sigficativamente em todos os ensaios. Aos 63 dias, os valores apresentaram um acréscimo sigficativo nas propriedades mecânica da qualidade do concreto (resistência a compressão uniaxial e resistência a tração na flexão) e na dureza superficial quando comparados com os resultados dos mesmo ensaios aos 28 dias.

Quanto a dureza superficial, a relação a/c manteve o mesmo comportamento mencionado anteriormente, as maiores relações a/c apresentaram os menores valores para a dureza superficial. Quanto a idade de avaliação, todos os resultados aos 63 dias apresentaram valores maiores que os resultados aos 28 dias, como esperado. Quanto ao tratamento superficial, ambos os endurecedores apresentaram melhora na dureza superficial, porém foi mais eficaz quando utilizado o endurecedor cimentício do que o endurecedor liquido, comparando com concreto sem tratamento superficial.

Com esta pesquisa concluiu-se, então, que menores relações a/c tendem a proporcionar um concreto com menor exsudação, maiores resistências mecânicas e dureza superficial. Entretanto, essas melhoras nas resistencias são mais acentuadas em idades mais avançadas, onde os ensaios mostraram valores superiores aos 63 dias de cura. Os endurecedores superficiais analisados proporcionaram um aumento no índice esclerométrico, desempenhando seu papel, porém deve ser levado em conta todos os fatores que poderiam interferir nesse desempenho para poder afirmar que sua eficiência é realmente significativa. Para tal afirmação há a necessidade de mais estudos nesta área, uma vez que tais resultados estão relacionados a compósitos que apresentam características específicas, com materiais, proporcionamentos e parâmetros de dosagem.

Referências Bibliográficas

ACI Committee 302. ACI 302.1R-04 - Guide to Concrete Floor and Slab Construction. American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan, 2004.

ALMEIDA, I. R. (2000). Influência da resistência à abrasão do agregado graúdo na resistência à abrasão de concretos de alto desempenho. IBRACON, 42, Fortaleza/CE, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NB-5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. NBR-7584: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. NBR-12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ISBN: 978-85-65425-32-2

_____. NBR-15558: Concreto – Determinação da exsudação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

HELENE, P.; TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: PINI, 1992. 349p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3 ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2 ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. Tradução de Salvador E. Giamusso. 2 ed. São Paulo: PINI, 1997.

SENISSE, J. A. L. (2010). Influência do consumo de água, da adição de microfibras de polipropileno e do tipo de cimento nas variações dimensionais de concretos empregados em pisos. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, C. V. (2011). Contribuição ao estudo do desgaste superficial por abrasão em concretos empregados em pisos. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIECILI, F. A. (2004). Influência da utilização dos endurecedores superficiais cimentícios na resistência à abrasão de pisos industriais de concreto. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM UM CONDOMÍNIO NA CIDADE DE TERESINA – PI: UM ESTUDO DE CASO

Pathology Survey In Condominium In The City Of Teresina - PI: A Case Study

Samuel Campelo DIAS[1], **Antônio Sobrinho** SOUSA [2], **Allyson Paulino da** SILVA[3], **Diego Silva** FERREIRA[4]

[1] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI, Brasil, samuel.c.dias@hotmail.com

[2] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI, Brasil, sobrinho.antonio@hotmail.com

[3] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI, Brasil, allyson_paulino@hotmail.com

[4] Co-autor, Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI, Brasil, diegof.engenheiro@gmail.com

Resumo: As patologias estão diretamente relacionadas ao desempenho apresentado pela edificação podendo ou não apresentarem manifestações visíveis que facilitem a identificação, separada por alguns autores pelo momento no qual a patologia tem seu surgimento ou onde houve negligência. Seja antes da obra ou com a falta de projeto adequado, escolha de material ou estudo prévio precário bem como durante a obra com a má utilização do edifício ou com a falta de manutenção necessária para a edificação. Durante o estudo de caso, ratificou-se estudos de autores que apontavam que patologias decorrentes de execução são as principais responsáveis, no estudo de caso apresentou-se também como a principal responsável. Assim, sugere-se que é fundamental que seja melhor qualificada a mão de obra em edificações para evitar patologias e reduzir o custo geral da obra em decorrência do retrabalho para correção.

Palavras-chave: Patologias. Causas. Execução.

Abstract: The pathologies are directtly related to performance of the building, presenting or not visible manifestations to facilitate identification, some authors separate by the emergence phase or due to lack of adequate desing, by the poor choice of materials or by the poor workmanship. By the lack of maintenance or by building use errors. During the case study, authors's studies were confirmed which indicated that pathologies arising from errors of executation are the most frequent, because in the case study it was also the most frequent. So, it is vital improve the workforce in the buildings to avoid pathologies and reduce cost with rework.

Keywords: Pathologies. Cause. Execution.

1. Introdução

Ao abordar a evolução dos processos construtivos desde os primórdios da humanidade até as práticas contemporâneas, é observada a preocupação com o bem-estar social e a preservação da vida humana, segundo Klein (1999), na antiguidade, até por volta de 1700 A.C. já era possível observar tal preocupação no Código de Hamurabi que era extremamente rígido com os construtores, prezando desde o bem-estar dos próprios

ISBN: 978-85-65425-32-2

construtores envolvidos até o proprietário em caso de falhas. Atualmente, essas falhas, hoje chamadas comumente de patologias, estão ligadas a uma série de fatores. Observando também que há uma infinidade de falhas e que são extremamente presentes em obras dando a impressão de passarem despercebidas pelo responsável da execução.

As patologias mais perceptíveis são as que apresentam manifestações externas características, manifestações essas que terminam auxiliando a percepção da causa e da origem dos fatores que estão causando-as. Em estudos Pirondi (1979) já observava que é extremamente comum que as causas das patologias sejam relacionadas a fatores intrínsecos à obra, seja por má execução ou por falta de projetos que estudem fatores climáticos do ambiente na qual está inserida. Em outro estudo Degussa (2005) relata que as patologias estão diretamente relacionadas aos sintomas, causas, origens e mecanismos dos problemas da construção civil.

Para subdividir as causas das falhas, Thomaz (1989) definiu as falhas como oriundas de falhas de projetos, falhas de execução e falhas decorrentes do uso. O autor entendeu que falhas de projeto estão relacionadas especificamente com problemas de detalhamento ou a falta do projeto determinado, erros de projeto e escolha de materiais de péssima qualidade. Enquanto que, as falhas de execução estão relacionadas aos serviços que apresentem manifestações patológicas oriundas da falta de controle de serviço executado ou o não cumprimento das normas que tange sua execução.

As falhas de uso são entendidas por Souza e Ripper (1998), como falhas oriundas da falta de manutenção ou a execução de tarefas que comprometam o desempenho satisfatório do serviço já executado.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 5674/2012: Manutenção de Edificações - Procedimento, a manutenção das edificações visa preservar ou recuperar a capacidade funcional prevista para as edificações, incluindo todos os serviços realizados para prevenir ou corrigir a perda de desempenho.

Dessa forma compreende-se que este trabalho tem por intuito enunciar as causas e possíveis origens das patologias encontradas em um empreendimento localizado na zona leste da cidade de Teresina, Piauí. Tendo como objetivo auxiliar a reduzir custos, pois segundo Silva e Valin (2013) após o surgimento de uma patologia seu reparo é mais dificultoso, demanda um tempo maior para execução e por muitas vezes é também ineficiente.

2. Referencial Teórico

2.1 Patologias

Para abordar o conceito de patologia, é interessante observar também o conceito de desempenho, pois, segundo Lichtenstein (1985) desempenho estaria relacionado ao comportamento geral de determinado produto quando em uso e as implicações de como ele estará reagindo tanto às solicitações como ao meio de maneira geral. Quando se observa a NBR 5674/2012, a definição de desempenho é dita como a capacidade de atendimento das necessidades dos usuários da edificação, o que corrobora com o autor anterior. Mas é importante observar que na construção civil o produto é na verdade, uma edificação, formada por vários sistemas independentes que estão correlatos e o mau

ISBN: 978-85-65425-32-2

funcionamento de um pode acarretar uma série de outras patologias aos demais, assim como Amorim (1994) que considera que o sistema necessita fundamentalmente que não seja possível diferenciar, do projeto executado, partes específicas, mas que seja compreendido como um todo, é a concepção sistêmica defendida por ele.

Para Gomide (2006) qualquer característica futura do produto que não atenda aos requisitos de projeto ou que, apesar de atenderem, não apresentam, visualmente, condições satisfatórias de uso, são consideradas como deficientes em desempenho. Segundo Souza e Ripper (1998) patologia estaria relacionada, dentro da construção civil, como a baixa qualidade do desempenho ou mesmo o seu fim em uma estrutura, desempenho esse que estaria ligado a fatores como estética, a estabilidade estrutural e principalmente à durabilidade da estrutura como sistema.

De acordo com Verçoza (1991) a busca para baratear ao máximo o processo construtivo, resulta em edificações mais suscetíveis ao aparecimento de patologias, onde o conhecimento e a tecnologia são fatores que determinam a segurança do processo, porém são estritamente dependentes da correta execução, consequentemente, o não acompanhamento do processo executivo termina por ser o determinante final da durabilidade da estrutura, sem esquecer-se de outros fatores que também podem comprometer a durabilidade, que é o caso da manutenção.

Das patologias mais comuns, Lichtenstein (1985) observa que as patologias podem aparecer de formas menos complexas e de reparo menos invasivos e mais simples ou com extrema complexidade e com a necessidade de observar de maneira bastante específica e que exige um estudo individualizado. Também afirma que as patologias mais comuns estão ligadas basicamente com infiltrações, fissuras, as movimentações que são provenientes de dilatações térmicas, deslocamento de revestimento e de problemas espaciais relacionado à forma ou tamanho de determinadas estruturas, observando que valores próximos a 40% seriam evitados ainda na fase de projeto.

É importante frisar a necessidade de identificar patologias o mais rápido possível, evitando que ela se torne nociva em outros sistemas da edificação, é preciso que se estabeleça, de maneira regular, vistorias por toda a edificação, mesmo que por indivíduos leigos, procurando identificar manifestações contrastantes do desempenho esperado, evitando que os sistemas afetados por patologias afetam os demais.

2.2 Patologias na fase de projeto

As falhas que ocorrem durante a etapa de projeto, possuem uma série de origens diferenciadas, das mais comuns destacam-se as falhas durante o anteprojeto, a fase na origem do estudo preliminar e também durante a preparação do projeto específico de execução da obra em si, podendo surgir como elementos inadequados de projeto. Em estudos, Souza (1998) observa que as falhas durante a etapa de anteprojeto podem gerar um custo exacerbado durante a execução e uma série de transtornos ao término da fase executiva, já sob posse do consumidor final.

A utilização de material de baixa qualidade, escolhida durante o processo de orçamento ou estudo de viabilidade econômica tem participação fundamental na durabilidade da estrutura. A escolha de materiais com uma baixa durabilidade, planejar sem adequação do

ISBN: 978-85-65425-32-2

projeto final com o executivo pode resultar em erros grotescos de dimensionamento, utilização de material com agentes nocivos ou materiais de origem não adequada e a resistência mecânica demasiadamente baixa, são exemplos de consequências da escolha de materiais de baixa qualidade.

Há também problemas que surgem com a falta de detalhamento em projetos como hidráulicos e uma série de outros projetos complementares, como apresentou Amorim (1994), afirmando que a falta de projetos que não antecipam traçado de tubos, não possuir um sequenciamento da execução ou modificações de marcações, podem resultar que as tubulações sofram esforços não previstos e que causam quebras ou vazamentos. A falta de detalhamento para outros processos também pode resultar em patologias, é o caso de platibandas, impermeabilização, execução de rodapés e ralos, fixação de rufos e outros.

Segundo Picchi (1991), a etapa de planejamento e a fase de projeto possuem participação fundamental no desempenho da estrutura, onde fatores como a definição de níveis de desempenho é a base para definir os níveis de aceitação de execução dos serviços, é fundamental também, definir o cronograma de execução das atividades da obra, quais tarefas e atividades terão necessidade de receberem detalhamento, especificar o mais exato possível cada ação de tarefas fundamentais que não estão diretamente explícitas no projeto inicial. A escolha dos materiais é preciso realizar e garantir a conformidade entre o projeto e as especificações exigidas no padrão de qualidade definido nos estudos preliminares.

Melhado (1994) citava que a etapa do planejamento da obra é subdividida em três planejamentos distintos entre si, o estratégico, o tático e o planejamento operacional. Esses planejamentos englobam todos os fatores primordiais para a execução, da mão de obra contratada até mesmo prazos e custos finais. Pode-se considerar negligências durante o planejamento tático e operacional fatores que afetam negativamente o desempenho do produto que estão ligados, como:

Falta de informações detalhadas;

Estudo de viabilidade técnica e econômica deficiente;

Falta de critérios para definir o controle de qualidade executiva, como os principais fatores que afetam negativamente o desempenho do produto que estão ligados aos planejamentos táticos e operacionais.

Enquanto que o planejamento operacional estaria relacionado a fatores que interfiram na formulação de objetivos para a seleção de uma ou mais ações dentro do escopo que estão definidas. É basicamente relacionada ao como fazer, epistemologicamente falando, a parcela da práxis dentro do planejamento.

2.3 Patologias na fase de execução

Pode-se entender como patologia na fase de execução como as patologias que estão relacionadas por erros oriundos de execução falha, com qualidade não satisfatória ou que possuem a ação de agentes externos aos responsáveis pelo serviço, mas que interferem diretamente no processo.

Em estudos de Dórea e Silva (1999), durante levantamentos de patologias que aparecem em edificações relacionando o momento de seu surgimento com a fase de projeto na qual

ISBN: 978-85-65425-32-2

teve seu início. Há uma exacerbada diferença, onde a maioria das patologias são oriundas da fase de execução da edificação como mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Percentuais de patologias por etapa

ETAPA	PORCENTAGEM (%)
Projeto	18
Materiais	18
Execução	52
Uso	12

Fonte – Dórea e Silva, 1999.

Em outro estudo Souza e Melhado (1997) associa a qualidade da edificação do ponto de vista executivo, com fatores tais como: o gerenciamento que está presente na obra durante o processo executivo, o controle no recebimento de materiais que serão utilizados na obra, importante frisar que se deve estar em acordo com o material previsto na fase de projeto, outro fator são os equipamentos utilizados na obra. Destaca também que o mais importante seria a execução em si.

É notória a importância de mão de obra qualificada, pois, a correta execução também está ligada à qualidade e bom desempenho, é onde se observa que não é comum o treinamento e preparação do colaborador. Ainda há a necessidade da evolução, atingir um novo patamar e compreender que o ônus gerado no reparo de uma patologia é demasiadamente maior que o custo para evitá-la.

2.4 Patologias na fase de uso

O manual do proprietário do Sindicato da Indústria de Construção Civil - Sinduscon - do estado de São Paulo entende que o uso está definido a partir da posse do proprietário ou da entrega de chaves, onde a partir de então é de responsabilidade do mesmo o zelo efetuando a devida manutenção para garantir o perfeito funcionamento. O manual também entende que a manutenção seria a gama de práticas a serem realizadas durante toda a vida útil da edificação, com o objetivo de conservar ou até mesmo recuperar a sua capacidade funcional atendendo também as necessidades no campo da segurança dos usuários. Dividindo-as em três, a manutenção rotineira, definindo-a como serviços repetitivos com padrão determinado, a manutenção corretiva que está relacionada aos serviços que apresentam uma intervenção de ação rápida com o intuito de permitir a continuidade do seu uso e pôr fim a manutenção preventiva, relacionada com programação antecipada que tem como objetivo central as solicitações de usuários, trabalhando com uma estimativa da durabilidade de determinado sistema e agindo antes de sua falência total ou parcial para reparar ou conferir sua integridade.

Seguindo esses preceitos mencionados anteriormente, pode-se concluir que a falta de manutenção, seja qual for, pode ser fator determinante para o surgimento de patologias, além da diminuição considerável da vida útil da edificação e de seus sistemas. É fundamental destacar também que as patologias de uso também estão relacionadas com

ISBN: 978-85-65425-32-2

práticas danosas do proprietário ou terceiros que causem comprometimento de um ou mais sistemas. Outro ponto que merece destaque é que o manual do Sinduscon caracteriza que modificações no ambiente podem reduzir a vida útil ou comprometer totalmente, cita também como exemplo que a substituição de peças cerâmicas pode comprometer a impermeabilização daquela região.

Portanto, vícios construtivos, sejam eles oriundos das falhas em projetos, de execução, uso ou manutenção, podem afetar o desempenho das estruturas ou torná-las impróprias ao uso, fazendo com que os consumidores acionem a construtora ou até mesmo a justiça para reaver seus direitos. Nesse caso, pode-se citar os vícios redibitórios, que segundo a NBR 13752/1996: Perícias de Engenharia na Construção Civil são vícios ocultos que diminuem o valor do bem ou tornam imprópria ao uso, e que se fossem de conhecimento prévio do adquirente, resultaria em desistência da compra ou abatimento do valor a ser pago.

3. Metodologia

Este trabalho tem como metodologia o estudo de caso de um empreendimento habitacional multifamiliar localizado na zona leste da cidade de Teresina, Piauí. O empreendimento é composto por 180 unidades habitacionais divididas em cinco torres com quatro pavimentos e uma cobertura sendo oito unidades por andar e cobertura com quatro unidades, onde foram analisadas o aparecimento de patologias e, estimada as possíveis causas, identificando a fase de surgimento.

Escolheu-se por omitir o nome do empreendimento, bem como empresa responsável e profissionais envolvidos que participaram de planejamento e executivo, pois, não há a intenção de avaliar a qualificação dos mesmos. A escolha do empreendimento deu-se por comodidade.

4. Análise e Discussão

4.1 Análise

Com as recorrentes reclamações do síndico e condôminos devido aos problemas diversos que estavam ocorrendo no condomínio, gerou-se um histórico de abertura de fichas de vistorias que geravam ordem de serviços por parte da incorporadora envolvida no período compreendido por janeiro de 2015 a julho de 2015, assim, iniciou-se a observação dos vícios construtivos. Serão mostradas as manifestações patológicas encontradas no local de estudo ocasionadas por conta da falha de projeto, erro na execução dos serviços durante a obra, escolha de materiais inadequados e pelo mau uso do proprietário e logo após, será realizado a análise das patologias e de suas possíveis origens.

A Figura 1 (a) e (b) mostra as manifestações patológicas na parede da suíte de um apartamento cobertura do condomínio. Houve a ocorrência de infiltração, por erro de execução do telhado, estando diferentemente executado dos demais, incorrendo a erro de execução deste, em específico, e má instalação de esquadria de alumínio, deixando-a abaixo do nível do peitoril, ocorrendo assim a infiltração da água proveniente do telhado para a parte interna do apartamento. Na figura 1 (a), observa-se que a instalação da esquadria possa estar em um nível abaixo do peitoril por não levar em conta a diferença

ISBN: 978-85-65425-32-2

gerada pela diferença da espessura final. Em ambos, observam-se patologias provadas por erro de execução.

Figura 1 – Manifestação Patológica em (a) presença de bolor em parede e em (b) infiltração em telhado e em peitoril da esquadria. **Fonte** – O autor, 2015

A Figura 2 (a) e (b) mostra que aconteceu desagregação da pintura interna da guarita, somente na parede voltada à fachada em (a), e desagregação da pintura externa, parede posterior do prédio em (b), ambos ocorreram por falha em executar a impermeabilização das fundações, ocasionando uma manifestação patológica por conta da capilaridade de águas provenientes do solo e, caso seja previsto em projeto a não utilização do processo de impermeabilização, não foi previsto a utilização de pintura adequada para resistir às intempéries.

Figura 2 – Manifestação Patológica em (a) desagregação em parede da guarita e em (b) desagregação fachada posterior do prédio. **Fonte** – O autor, 2015

Foram executadas juntas de dilatação nas estruturas, mas não houve o cuidado ao executar a etapa de acabamento das mesmas, como mostrado na Figura 3 (a) e (b). Em (a), os acabamentos das juntas não foram executados corretamente, pois foi feito o preenchimento

ISBN: 978-85-65425-32-2

com material rígido, gerando manifestações patológicas oriundas do deslocamento de revestimento, em (b), há a presença da junta de dilatação, porém, com ausência de material flexível preenchendo-a, não permitindo que a estrutura se movimente, por variações oriundas da dilatação térmica ou da acomodação da estrutura. Em ambos, há a presença da junta, com indicativos de estarem previstas em projeto, porém com preenchimento de material não flexível indicando erro de execução.

Figura 3 – Manifestação Patológica em (a) e (b) ocasionado por vício construtivo em juntas.
Fonte – O autor, 2015

Na Figura 4 (a) e (b) percebe-se que surgiram fissuras em muretas dos apartamentos cobertura devido à movimentação da estrutura, algumas fissuras são aceitáveis em projeto, outras ocorrem por deformações excessivas. Observa-se o erro durante a fase de projeto, pois é importante observar que essas fissuras podem ocasionar a despassivação da armadura de amarração do guarda corpo podendo ocasionar acidentes.

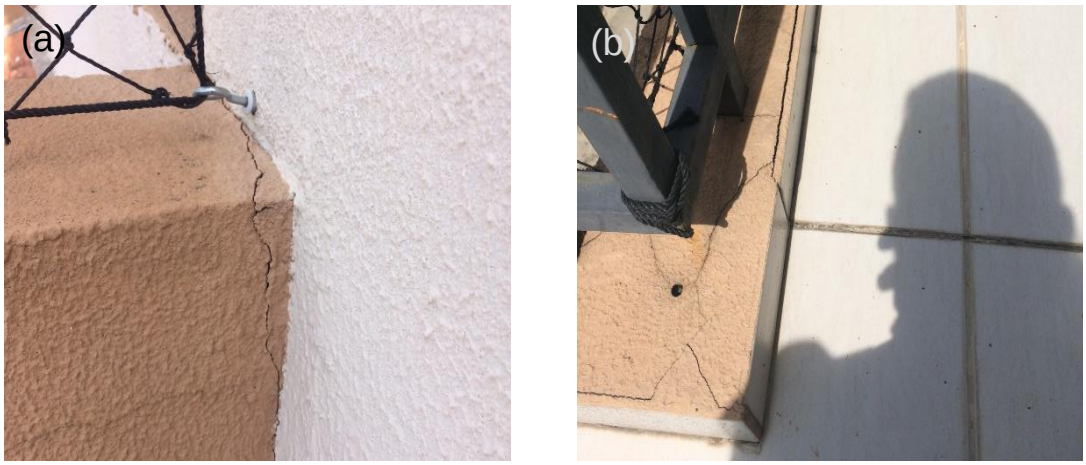


Figura 4 – Manifestação Patológica em (a) e (b) fissuração em mureta do apartamento cobertura, laje em balanço. **Fonte** – O autor, 2015

ISBN: 978-85-65425-32-2

Na figura 5 (a) e (b) pode-se visualizar que existem manchas com tons amarelados, essas manifestações patológicas surgiram na altura da laje, pois no período de obra quando foram concretadas as lajes foram deixados materiais metálicos, como arames e pregos na estrutura. Como acabamento, realizou-se a aplicação do gesso liso sarrafeado; como o gesso no seu estado úmido em contato com material como o ferro, sofre processos de escurecimento em virtude da oxidação do material ferroso, dessa forma surgiram manchas oriundas dessa oxidação. Torna-se novamente presente patologias oriundas da má execução.

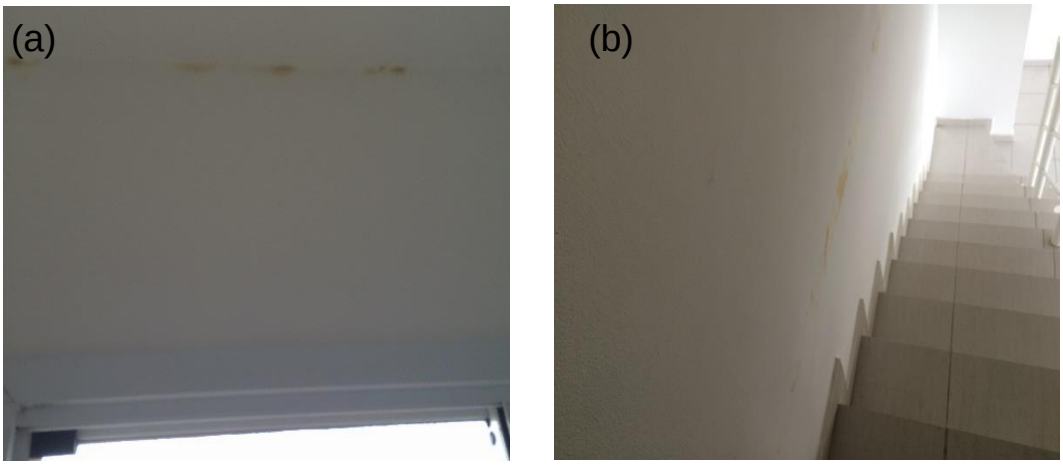


Figura 5 – Manifestação Patológica em (a) e (b) manchas por conta de corrosão do aço, causadas pelo gesso liso sarrafeado. **Fonte** – O autor, 2015

Na figura 6 (a) observa-se a modificação na fachada sem respeitar critérios básicos de uso para a instalação de aparelho climatizador de ar, apesar da edificação possuir rede frigorígena, o usuário da unidade instalou um aparelho para um ambiente que não possuía a predisposição, ocasionando o problema na figura 6 (b) por conta de infiltrações oriundas da perfuração na parede. Observa-se patologia com surgimento decorrente de mau uso.

Figura 6 – Manifestação Patológica em (a) e (b) ocasionado por modificação na fachada da edificação realizada pelo morador da unidade vizinha para instalação de climatizador de ar **Fonte** – O autor, 2015

ISBN: 978-85-65425-32-2

Nas figuras 7 (a) e (b) há o entupimento de ralos e grelhas da varanda gourmet da unidade, o proprietário não residia na unidade e ocorreu o entupimento por conta da poeira e outros materiais provenientes da ação do vento, é necessário que se realize a manutenção mínima de ralos e grelhas evitando o entupimento. Observa-se a falta de manutenção por parte do proprietário.

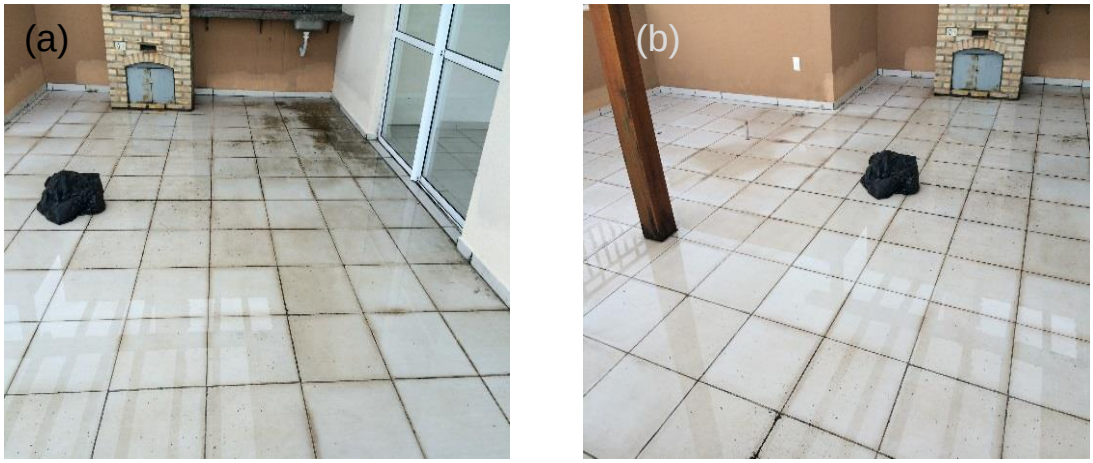


Figura 7 – Manifestação Patológica em (a) e (b) ocasionado pelo entupimento de ralos e grelhas. **Fonte** – O autor, 2015

Nas figuras 8 (b) apresenta manifestação patológica ocasionada por infiltração da laje da cobertura, ocasionada pela má execução da impermeabilização sem a execução da dobra exigida por norma, a impermeabilização da laje em questão é com manta asfáltica, mas a correção foi realizada utilizando argamassa polimérica em (a).

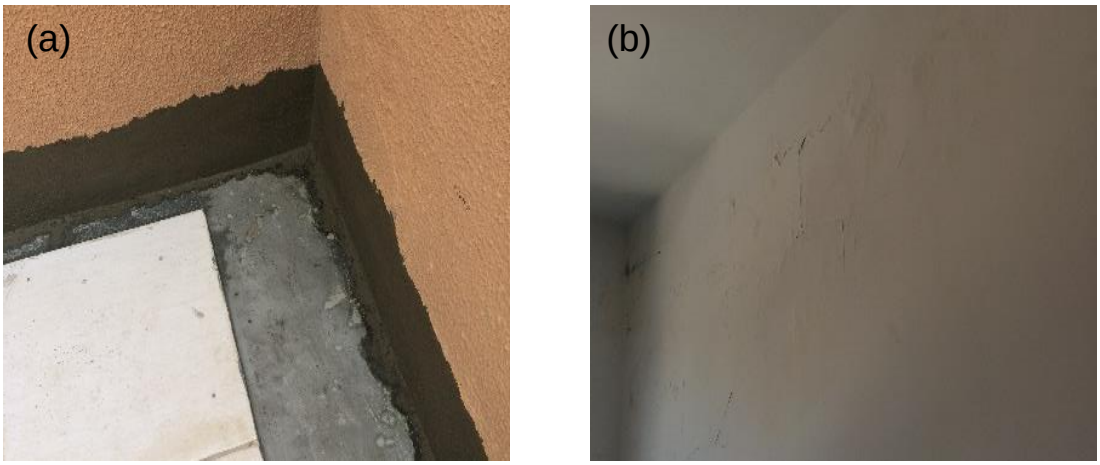


Figura 8 – Manifestação Patológica em (b) ocasionada pela falta da “saia lateral” da impermeabilização em (a). **Fonte** – O autor, 2015

ISBN: 978-85-65425-32-2

Nas figuras 9 (a) apresenta manifestação patológica onde o cliente solicitou a vistoria para encontra a causa de fissuras no forro de gesso da área comum de uma das torres da unidade, durante a vistoria observou-se a presença de juntas na parede, evidenciada pelo recorte do revestimento cerâmico. O forro em gesso foi executado sem nenhum recorte ocasionando o problema. Observa-se também o erro durante a fase de execução.

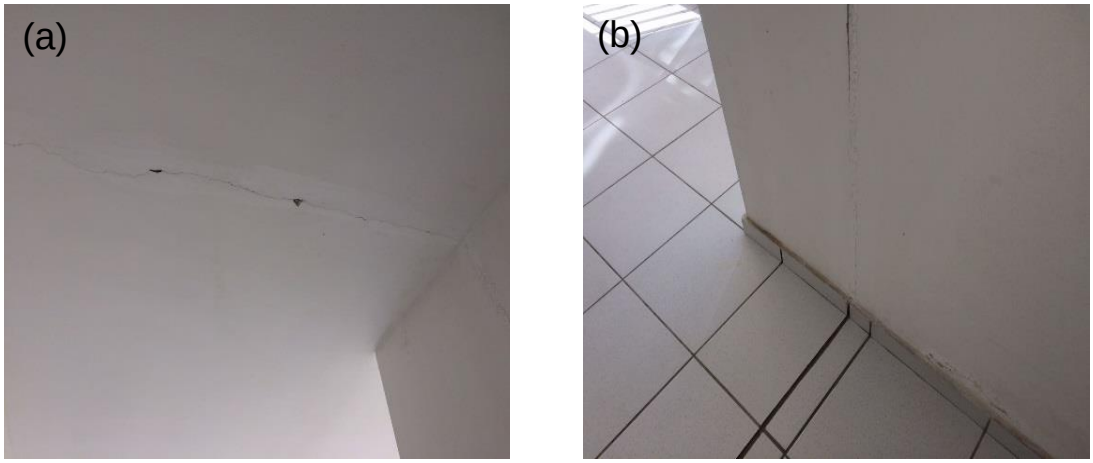


Figura 9 – Manifestação Patológica em (a) ocasionada pela falta de junta de dilatação no forro. **Fonte** – O autor, 2015

4.2 Discussão

Dos dados levantados acerca das patologias, foram observadas vinte e duas fichas de reclamações a despeito de patologias registradas por clientes para condomínios ou área comum, onde em todas fichas foram constatadas patologias. Por meio de observações e formação de conceitos a respeito das patologias observadas, relatou-se que das dez fichas, em seis foram observadas patologias oriundas de erros durante a fase de execução e quatro são oriundas de erros que deveriam ter previsões durante a fase de projeto.

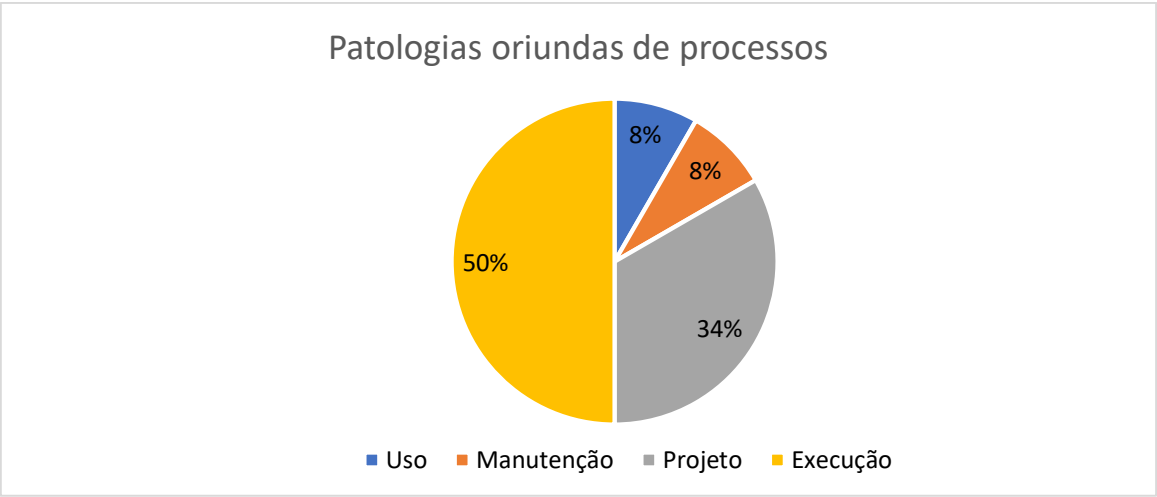


Figura 10 – Gráfico demonstrativo. **Fonte** – O autor, 2015

ISBN: 978-85-65425-32-2

5. Conclusões

A execução de edificações exige práticas centradas na qualidade da estrutura com o objetivo de reduzir ao máximo o custo de reparos e correções, pois como mencionado anteriormente, há embasamentos que levam ao aumento excessivo de custos que seriam facilmente evitados desde que medidas simples que partem desde a melhoria no controle de qualidade até a melhoria nos processos de estudos preliminares e projetos simples de serviços que são executados em paralelos. É imprescindível manter, durante a fase de execução, a mão de obra motivada e com treinamento atualizado para executar quaisquer que sejam as atribuições, há frequência elevada de patologias relacionadas à execução, o empreendimento estudado foi o primeiro executado em Teresina pela incorporadora da cidade São Paulo-SP, por conta disso, a falta de conhecimento acerca de mão de obra na cidade pode ser fator determinante para tal. Porém, não justifica o fato de que não há observação a respeito da qualidade de execução durante os serviços específicos, determinando previamente fatores de carência.

Há também uma frequência elevada em problemas relativos à erros durante a fase de projeto, bem como citado anteriormente, a responsável pelo empreendimento, possa não ter realizado corretamente estudos prévios e de viabilidade técnica para a execução do empreendimento por ter regionalidade diferente do que já se vinha praticando pela incorporadora, é comum projetos serem idealizados em locais distintos e muitas vezes executados mantendo-se os mesmos padrões sem nem mesmo realizar adaptações básicas prevendo as variações climáticas ou de solicitações.

6. Referências

AMORIM, S. V. Custos relacionados com a qualidade em sistemas prediais hidráulico-sanitários. 1994. VIII Simpósio Nacional de Sistemas Prediais; Anais, p145-154, p. 27-28.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉNICAS. NBR 13752: Perícias de Engenharia na Construção Civil. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 5674: Manutenção de Edificações - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

DÓREA, S. C. L.; SILVA, L. F. Estudo sobre índices da patologia das construções paralelo entre a situação mundial e a Brasileira. In: V Congresso Iberoamericano da patologia de las construciones – CONPAT 99. Proceedings. 18 a 21 de outubro de 1999. Montevideo – Uruguai. p. 609-616.

GOMIDE, T. L. F. Técnicas de inspeção e manutenção predial. São Paulo: editora Pini. 2006.

KLEIN, D. L. Apostila do Curso de Patologia das Construções. Porto Alegre, v. 10, 1999. - 10° Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias.

LICHTENSTEIN, N. B. Patologia das construções: procedimentos para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações. 1985. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

MELHADO, S. B. Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. São Paulo, v. 294, 1994. - 2o QUALICON - Semana Capixaba de Qualidade na Construção- SINDICON - ES - Vitória - 18/novembro/1993.

PICCHI, F. A. Sistema de Qualidade em uma empresa de construção de edifícios. In: 1 Congresso Brasileiro da Qualidade e Produtividade. Palestras e Trabalhos de grupos. Vitória, União Brasileira da Qualidade, 1991.

PIRONDI, Z. Manual prático da impermeabilização e de isolação térmica. SBR, São Paulo: Artes Gráficas Ltda., 1979.

RED REHABILITAR. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. São Paulo, Degussa, 2005 ISBN 85-903707-2-0.

SILVA, R. S. C.; VALIN JR, M. O. Avaliação do controle tecnológico de fundações rasas do tipo radier com a utilização do ensaio de Dureza Superficial. 55º Congresso Brasileiro do Concreto, Fórum Nacional de Debates sobre a Tecnologia do Concreto e seus Sistemas Construtivos, Gramado, IBRACON, 2013.

SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S. B. O projeto das lajes racionalizadas de concreto armado de edifícios. EPUSP, 1997. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/169).

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, E. Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini, EPUSP, IPT, 1989.

VERÇOZA, E. J. Patologia das Edificações. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991.

ISBN: 978-85-65425-32-2

SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO PARA IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS NA CIDADE DO NATAL – DEFESA CIVIL, ESTUDO DE CASO

Systematization Of The Process For Identification And Classification Of Pathologies In The City Of Natal – Civil Defense, Case Study

Adriana D. da C. R. de SÁ[1], **Everlania** M. da SILVA[2], **Selho** T. L. da SILVA[3]

[1] Universidade Potiguar, Natal/RN, Brasil, adrianadominique@gmail.com

[2] Universidade Potiguar, Natal/RN, Brasil, everlania.silva@yahoo.com.br

[3] Universidade Potiguar, Natal/RN, Brasil, selho.torquato@hotmail.com

Resumo: A maior concentração populacional do Brasil encontra-se no litoral e, consequentemente, é onde se localizam as principais cidades e capitais. Esta ocupação, muitas vezes desordenada, promove a antropização, ou seja, a alteração do estado natural do meio no qual o indivíduo está inserido. Em um intervalo de tempo recente, nos últimos vinte anos, o país se deparou com efeitos catastróficos, como o deslizamento de encosta de Teresópolis/RJ, em 2011. Em outro, com efeito local, a capital do Rio Grande do Norte vivenciou um desastre no bairro de Mãe Luiza no ano de 2014, quando uma encosta deslizou após um período atípico de chuvas. O poder público, diante dessas demandas, afim de atuar na prevenção e/ou atenuar seus efeitos, institui órgãos como a defesa civil para coordenar estas ações. Sabendo-se que a COMDEC da cidade do Natal enfrenta dificuldades na infraestrutura, inclusive de informatização e total ineficiência para emitir laudos e identificar o processo patológico, este artigo, baseado em pesquisas de órgãos de outras unidades federativas que são exemplo para o resto do país, como o DRM-RJ, tem como objetivo descrever uma sistematização como sugestão para melhoria do processo de identificação e emissão de laudos, de forma a garantir um arquivo fidedigno e que possa vir a ser usado na posteridade.

Palavras-chave: Laudos, Processo Patológico, Sistematização, Defesa Civil

Abstract: The largest population concentration in Brazil is on the coast and, consequently, it is where they are located as main cities and capitals. This occupation, often disordered, promoting an anthropization, that is, a change of the natural state of the environment without individual qualification is inserted. In another, with a local effect, a capital of Rio Grande do Norte experienced a disaster, the capital of Rio Grande do Norte experienced a disaster In the neighborhood of Mãe Luiza in the year 2014, when a slope slid after an atypical period Of rainfall. The public power, the front, the requirements, the prevention measures and the prevention of the effects, the institutional organs as a civil defense to coordinate these actions. Knowing that the COMDEC of the city of Natal faces difficulties in infrastructure, including computerization and total inefficiency to issue the recognition and the process of the pathological process, this article, in the form of searches of organs of other federative units that are examples for The rest of the country. Like the DRM-RJ, it aims to describe a

ISBN: 978-85-65425-32-2

systematization as suggesting to improve the process of identification and issuance of acknowledgments, in order to guarantee a reliable file that can be used in posterity.

Keywords: Reports, Pathological Process, Systematization, Civil Defense

1. Introdução

Desastres, em sua grande maioria, estão associados a presença humana, e esta, por sua vez, tem uma relação direta com a localização e forma com a qual ocupa determinadas regiões. A ocupação territorial brasileira, ao longo de sua história, mostrou uma maior tendência a surgir nas faixas litorâneas, não por acaso, é onde estão as cidades mais importantes da Federação e, como consequência, as maiores concentrações populacionais. A ordenação urbana, seria uma ação de política pública, a qual os órgãos de gestão governamental (Federal, estadual e municipal), deveriam ter, sistematizados, em seus ritos administrativos de governabilidade. Como acontece em algumas cidades da Federação, onde é pleno o conhecimento sobre suas características peculiares quanto a hidrologia, geologia, biologia, entre outros. Isto resulta em processos mais maduros para mitigação as ações de respostas às mais pertinentes.

Durante os últimos vinte anos, o Brasil vivenciou situações de emergência, e até mesmo, estado de calamidade pública por eventos adversos, naturais ou provocados, que causaram danos humanos, materiais e ambientais. Experiência disto foi, em grande proporção, o desastre de Teresópolis/RJ, 2011. Com efeito local, mais próximo, o deslizamento no bairro de Mãe Luiza na capital do RN, 2014.

Como consequência, o poder público dispõe de alguns órgãos para prever ou atenuar desastres, sendo o caso da defesa civil. Este órgão, atua na prevenção, preparação, resposta e recuperação a fim de diminuir ou abolir risco, coordenando órgãos responsáveis para tal.

Conceituando-se exemplo nacional, tem-se a defesa civil do Rio de Janeiro, uma das mais respeitadas e com infraestrutura de referência, muito em função da demanda local por causa da topografia da cidade e do entorno. É o caso de Teresópolis/RJ que não faz parte da capital, mas que é um município de grande importância para o estado e que tem sua topografia bastante acentuada devendo ser levada em consideração.

Natal, pela sua topografia e aumento da população, que há quinze anos, aproximadamente, possuía oitocentos mil habitantes e hoje possui quase um milhão e duzentos mil habitantes (IBGE), chama a atenção devido a ocupação desordenada sem planejamento urbano.

É sabido que um dos objetivos da COMDEC é definir mapas, identificar estas regiões e possíveis problemas para tratá-los de uma ordem relacionada a infraestrutura, entretanto, a do município do Natal/RN enfrenta sérios problemas, até mesmo de informatização. O simples fato de se emitir um laudo e de se identificar o processo patológico é totalmente ineficiente quando se trata da geração, confiabilidade, e retorno destas informações. Contudo, comparando a eficiência do sistema atual e de outra cidade, surgiu a proposta de intervenção para modernizar de forma prática o processo de identificação e emissão dos laudos, de maneira a garantir a elaboração de um processo sistemático que possa ser implementado dentro da defesa civil municipal e que durante o uso possa gerar arquivos confiáveis, até mesmo, mapeáveis para a defesa civil da cidade do Natal.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1.2 Origens das Patologias

Segundo Pedro *et al*. (2002 *apud* MIOTTO, 2010, p. 17) as patologias são classificadas de acordo com sua origem: congênitas, construtivas, adquiridas e acidentais.

Congênitas – São aquelas que surgem ainda na fase de projeto, e ocorrem pela falta de observação das Normas Técnicas, também por falhas e descuidos dos profissionais, que acabam tendo como consequência falhas no detalhamento e execução inadequada das construções (PEDRO *et al*., 2002).

Construtivas – Conforme Pedro *et al*. (2002), o surgimento dessas patologias está relacionado na etapa de execução da obra, e tem ocorrência no emprego de mão-de-obra desqualificada, materiais não certificados e ausência de metodologia para execução dos serviços.

Adquiridas – Segundo Pedro *et al*. (2002), essas patologias aparecem durante a vida útil da edificação e são causadas pela exposição ao meio em que se inserem.

Acidentais – São as patologias causadas pela ocorrência de algum fenômeno atípico, resultado de uma solicitação incomum (PEDRO *et al*., 2002).

Neste sentido, Helene (1992) afirma que o processo de construção e uso pode ser dividido em cinco grandes etapas: planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes fora do canteiro, execução e uso. Com isso, o autor defende que os problemas patológicos só se manifestam após o início da execução propriamente dita, a última etapa da fase de produção. Mas, normalmente os problemas ocorrem com maior incidência na etapa de uso. Porém a origem muitas vezes não está associada ao uso e sim em algumas etapas anteriores.

1.2.1 – Diagnóstico e Prognóstico

Ainda segundo o mesmo autor, a identificação dos processos causadores de danos nas edificações é imprescindível para o diagnóstico das patologias, devendo-se detectar e localizar as manifestações, bem como identificar em que etapa do processo construtivo teve origem. Deve-se detectar a origem do problema e de quem foi a falha. Se o problema originou no projeto, falha é do projetista; se a origem está na qualidade do material, o fabricante falhou; quando se teve origem na execução, há falha na mão-de-obra, na fiscalização ou na construtora, sendo omissos; durante o uso, houve falha na operação e manutenção. O prognóstico estará completo se consideradas as consequências do problema no comportamento geral da obra.

2. Estudo de caso

2.1 Órgão gestor

Dispõe sobre a Organização Administrativa da Estrutura de Órgãos de execução programática integrantes administrativos da Prefeitura Municipal da Cidade do Natal, como é o caso da Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social – SEMDES, e dá outras providências nos termos da Lei Complementar Nº 108, de 24 de junho de 2009.

E por meio do Decreto Nº 9.035, de 22 de março de 2010 regulamenta a Lei nº 6.062 de 24 de Fevereiro de 2010 que cria a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil – COMDEC e dá

ISBN: 978-85-65425-32-2

outras providências. A COMDEC da Cidade do Natal passa a ser criada como órgão da administração pública publicado em diário oficial no dia 22 de março de 2010, com a responsabilidade de coordenar as ações de defesa civil municipal.

Em conformidade com o Decreto nº 10.412 de 29 de agosto de 2014, a SEMDES cumpre com o regulamento nos seus setores hierárquicos do organograma da figura 1, cada um com seus respectivos cargos administrativos, são eles: secretário (a), secretário (a) adjunto (a), diretor (a), chefe de setor. Existe também o cargo operacional composto por agentes do Grupo de Ação e Emergência – GAE, que estão inseridos no setor de defesa civil e vistoria preventiva.

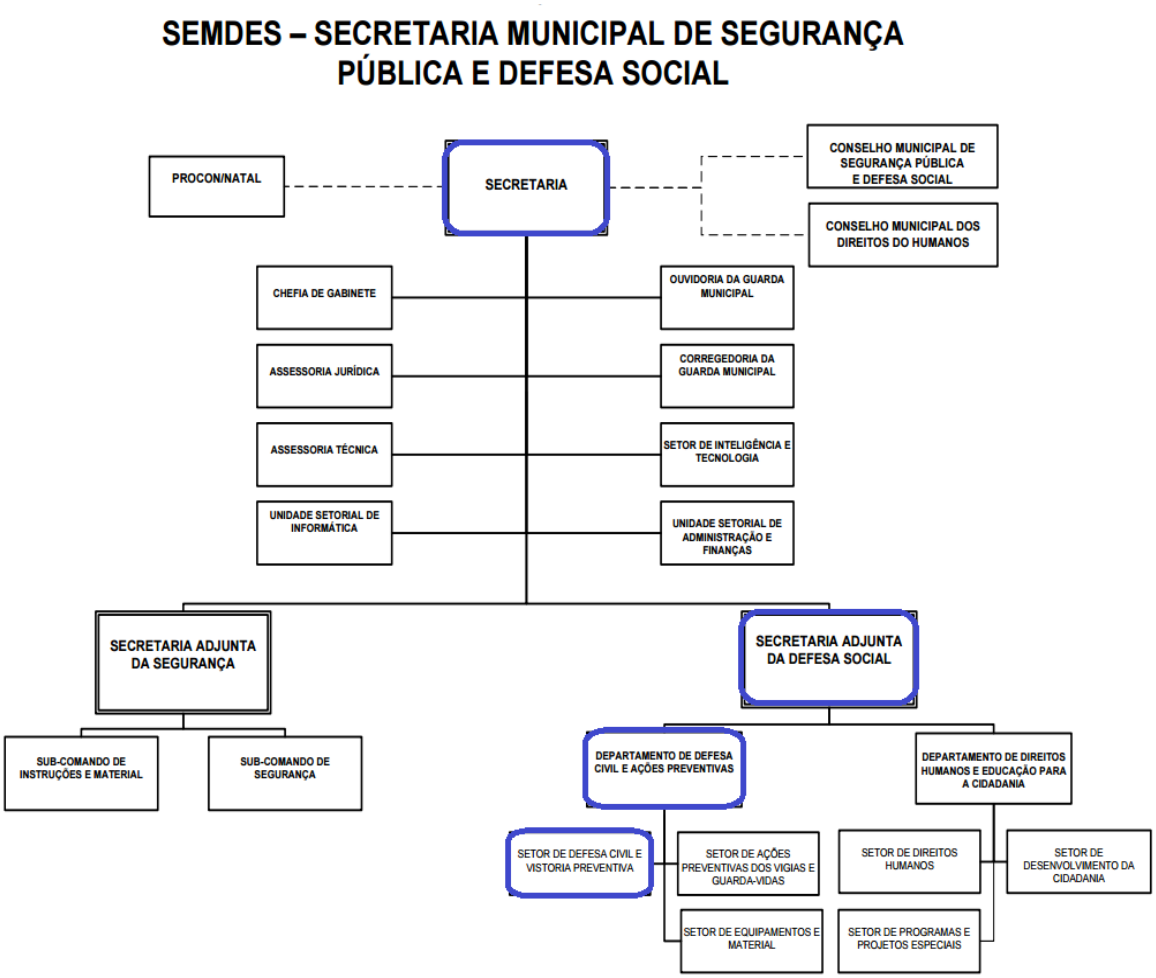


Figura 1 – Organograma representação dos setores hierárquicos da secretaria.
Fonte: Prefeitura do Natal, 2014.

2.1.1 – Competência

À SEMDES, no teor da Lei Complementar Nº 108, de 24 de junho de 2009 e no Art. 31, compete:

ISBN: 978-85-65425-32-2

IX – Coordenar as ações de defesa civil no Município, através da COMDEC, articulando os esforços das instituições públicas e da sociedade.

2.1.1.1 – Departamento de minimização de desastres

Implementa programas e projetos voltados à prevenção de desastres e de preparação para emergências. Além de organizar, promover e realizar capacitações, reuniões, conferências, campanhas e fóruns sobre o tema, além de difundir a doutrina de Proteção e Defesa Civil.

2.1.1.2 – Departamento de gerenciamento de risco e desastres

Consolida as informações de riscos e desastres, difunde alerta e alarme de desastres e presta orientações preventivas à população, coordena, em âmbito local, o desenvolvimento das ações de resposta aos desastres e as atividades de assistência humanitária, além de mobilizar recursos para pronta resposta às ocorrências de desastres.

2.1.1.3 – Departamento de articulação e gestão

Analisa e instrui os processos, formaliza convênios, contratos, termos de cooperação técnica e instrumentos similares Nacional de Proteção e Defesa Civil.

2.1.1.4 – Departamento de reabilitação e reconstrução

Realizar a resposta através da análise técnica das propostas e prestação de contas de convênios, contratos, ajustes e outros instrumentos congêneres, relacionadas com as atividades de respostas aos desastres e de reconstrução, bem como supervisionar as vistorias técnicas dos objetos conveniados.

2.1.2 – Descrição do processo de atuação

Quando há alguma ocorrência a defesa civil é acionada através do Centro Integrado de Operações de Segurança Pública - Ciosp (nº 190) ou do ramal do setor (nº 84 3232-3538), os quais funcionam 24 horas por dia e 8 horas por dia (das 08h às 16h), respectivamente. O rádio, meio de comunicação entre a Defesa Civil - DC e o Ciosp, está inserido nas viaturas, de forma que os agentes possam ficar informados da ocorrência - OC de onde estiverem.

O solicitante deve informar o local exato, as diretrizes da OC, identificação e número para contato.

Ao chegar na OC os agentes observam todo o local, questionam a população para obter informações sobre a patologia ou colapso, afim de compreender melhor o ocorrido e formar um diagnóstico mais preciso para, então, aconselhar quanto ao risco e responsabilidade do reparo (órgãos como CAERN e SEMOV, vizinho, ou o próprio solicitante). Após essa análise, redigem, no próprio local, o laudo de vistoria, documento a ser preenchido quando não existe risco ou existe, mas o proprietário se compromete a iniciar os reparos imediatamente; o auto de interdição, quando há risco iminente, como medida preventiva ou

ISBN: 978-85-65425-32-2

para mitigar vítimas de colapso progressivo; ou laudo de desinterdição, quando não há mais risco, este é utilizado apenas para imóveis que foram interditados.

Os modelos dos laudos são implementados pela Lei Nº 12.608 de 10 de abril de 2012, no seu Artigo 08 – inciso VII. Todos possuem as mesmas lacunas a serem descritas: data, horário, endereço, dados do solicitante ou autuado (nome, CPF, RG, telefone), informações sobre o local, número de habitantes, razão da interdição ou vistoria (destruição total, destruição parcial, comprometimento da estrutura, interdição preventiva - sem comprometimento), observação (breve descrição do que se encontra na OC e/ou motivos para tal) e as assinaturas (vistoriador, responsável do imóvel, duas testemunhas com RG ou CPF); quanto ao número de vias destes documentos: são emitidos em duas cópias, uma fica com o(a) solicitante e o outro é levado à secretaria, é restrito três vias apenas para o auto de interdição, a terceira via é repassada ao órgão competente, anexada a um ofício devidamente assinado pelo(a) sec. Adj. ou o(a) secretário(a).

Este documento, levado à secretaria ao fim da OC é analisado e verifica-se a necessidade de elaboração de ofício para ser encaminhado a outro destino ou não e, em seguida é arquivado somente em pasta física, sem qualquer forma de protocolo ou informatização.

Todos os dias, os agentes relatam as ocorrências atendidas de forma manuscrita no caderno de registro de troca de plantão.

2.1.2.1 – Acompanhamento da ocorrência

Existem casos em que o acompanhamento se faz necessário. Por exemplo, o colapso (figura 3) da estrutura de contenção da obra em execução da TECNART Engenharia. A localidade está representada na figura 2.

Acidente geotécnico ocorrido em 14 de Junho de 2014 na comunidade do Jacó – bairro das Rocas, Natal/RN, onde parte de uma estrutura de contenção com aproximadamente 13 m de altura, localizada em um terreno privado com um edifício residencial em fase de execução, entrou em colapso e rompeu após 50 horas de chuva ininterrupta. A ruptura da estrutura causou a descida de parte do material da encosta contido por ela e, consequentemente, a destruição parcial de quatro casas (número 190, 192, 194 e 196) que estavam localizadas acima da estrutura de contenção, na Rua Desembargador Lins Bahia, além de danos em outras cinco edificações vizinhas, ao longo do seu comprimento – residências interditadas: 182, 186, 190, 192, 194, 196, 198, 200 e 202. Júnior *et al.* (2014).

ISBN: 978-85-65425-32-2

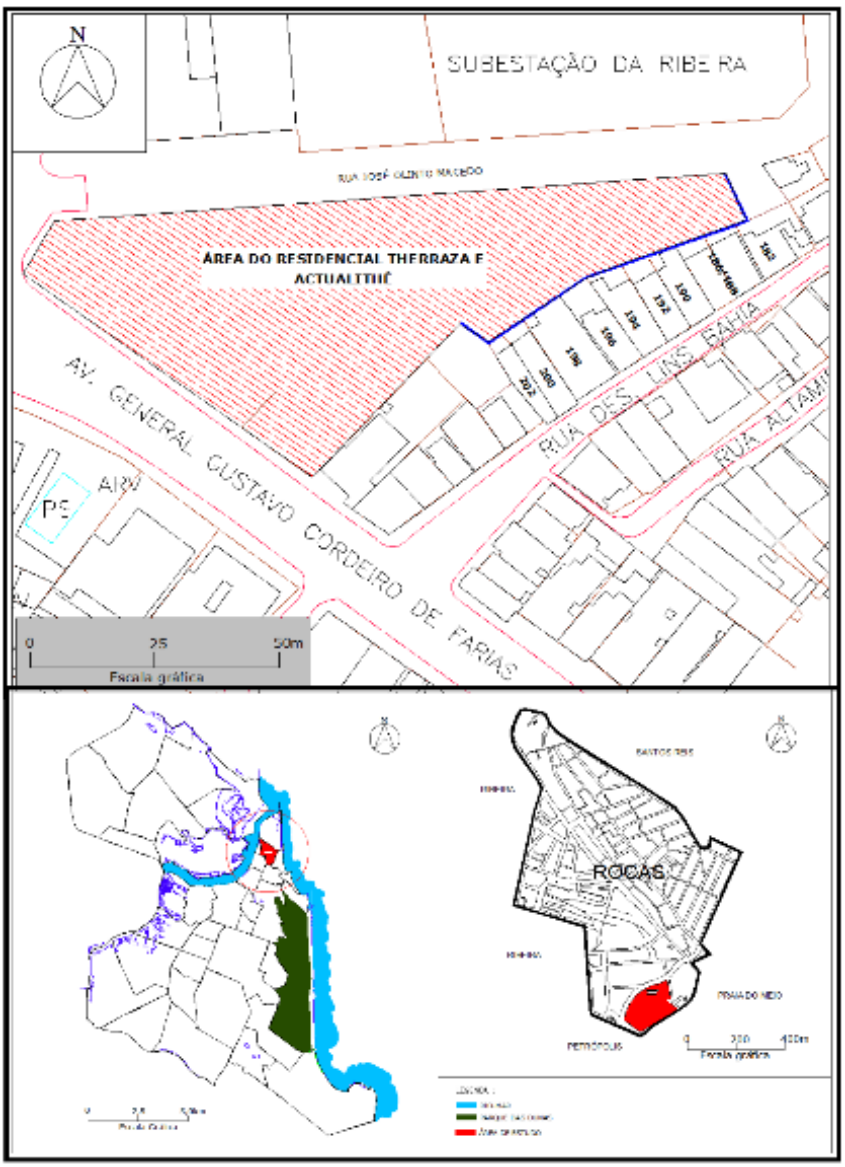


Figura 2 – Localização área de estudo.
Fonte: Júnior *et al*, 2014.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 3 – Face Do Solo Exposta após o primeiro colapso.
Fonte: Júnior *et al,* 2014.

Acima da estrutura encontram-se as casas na rua Desembargador Lins Bahia. Na figura 3 é possível observar a primeira ruptura da estrutura da cortina erguida utilizando solo grampeado. Este mesmo trecho foi reconstruído e na fase final da obra (figura 4), em 22 de abril de 2016, novamente sofreu colapso (figura 5 e 6). Segundo o relatório técnico de vistoria, conduzido pelo engenheiro civil Kleiton Cassemiro do Nascimento, os grampos que foram inseridos no solo com engastes na estrutura do muro continuaram ancorados ao maciço do talude. O reforço estrutural executado fazia a inserção de tais grampos, contudo, não foi suficiente para suportar a instabilidade do talude, fazendo com que o empuxo do solo rompesse mais uma vez a ligação dos grampos com o muro.

Figura 4 – Segunda estrutura após o primeiro colapso.
Fonte: Acervo próprio, 2016.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 5 – Comportamento do solo e estrutura momentos antes do segundo colapso.
Fonte: Acervo próprio, 2016.

Figura 6 – Face do solo exposta após o segundo colapso.
Fonte: Acervo próprio, 2016.

Desde a primeira OC em 2014 a DC está acompanhando este caso junto aos órgãos competentes, como a Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo – SEMURB e o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Norte - CREA, o responsável técnico da obra e funcionário da empresa, como também, fornecendo assistência aos moradores das residências interditadas, que estão recebendo seu respectivo aluguel social da empresa a qual provocou o desastre.

2.1.2.2 Emissão de segunda via do documento

Se faz necessária, esporadicamente, a emissão da segunda via dos documentos redigidos no local e arquivados no setor da secretaria, por qualquer que seja o motivo, e há sim esse direito.

Exemplo de motivo: documento perdido pelo solicitante, prova para processo jurídico, inquéritos periciais do Ministério Público – MP, pesquisas acadêmicas, entre outros.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Este é o caso da rotina diária de trabalho administrativa que requer uma sistematização fidedigna, pois reflete a importância de “ter em mãos" de um modo simples e prático a identificação e quantificação das ocorrências, assim como, patologias que se repetem.

2.2 Sistematização proposta

A proposta é eliminar falhas na gestão do processo para identificação e classificação das patologias registradas nas ocorrências da Defesa Civil, encontradas na cidade do Natal, de forma sistematizada.

A concepção e realização partiu da estagiária, Adriana Dominique da Costa Rocha de Sá, após observar e vivenciar dificuldades e falhas na rotina de trabalho do setor.

As dificuldades eram, por exemplo, “ter em mãos” rapidamente uma relação de dados a respeito da localidade solicitada para vistoria e, até mesmo, encontrar documento solicitado para emissão de segunda via. A falha, existia no controle e identificação dos documentos, pois não era sabido o controle de cópias, ou mesmo, a quantidade delas.

E o resultado da sugestão de solução dada para esta problemática, se deu por informatização, através de planilha. Esta, por familiarização de datas, localidades, patologias, respostas, documentos e suas respectivas fotos, funciona mediante filtros e hiperlinks, essencialmente.

Um elemento também da proposta de sistematização, para desempenhar o controle, seria a assinatura eletrônica, como forma de padrão confiável.

Em linhas gerais, este sistema funciona de forma confiável, e tem mapeado todos esses processos.

2.2.1 – Implantação

Os documentos, de maneira simples e prática, que foram organizados por datas primeiro em pastas físicas, mais a frente, tiveram seus dados digitados, documentos digitalizados e fotos selecionadas, a fim de alimentar a planilha.

Esta, foi desenvolvida e inserida nos computadores e na nuvem do setor de Defesa Civil e ações preventivas de Natal.

2.2.2 – Operação

Este mecanismo funciona da seguinte forma: ao abri-lo é visto o menu da figura 7. Neste há quatro botões, cada um relacionado com os dados de levantamentos anuais. A figura 8 mostra a interface com as ocorrências do ano 2017 após clicar no botão “2017” do menu.

A busca por dados específicos pode ser filtrada nas células em laranja separadas para este fim. O exemplo do auto de interdição da figura 9, é de um arquivo de documento que é aberto após clique no hiperlink do mesmo, a visualização deste documento do “ITEM” 14 se deu de forma simples, tal que sem esta sistematização descrita no artigo não seria possível. A pasta das fotos representada na figura 10, também se tornou acessível pelas mesmas diretrizes.

ISBN: 978-85-65425-32-2

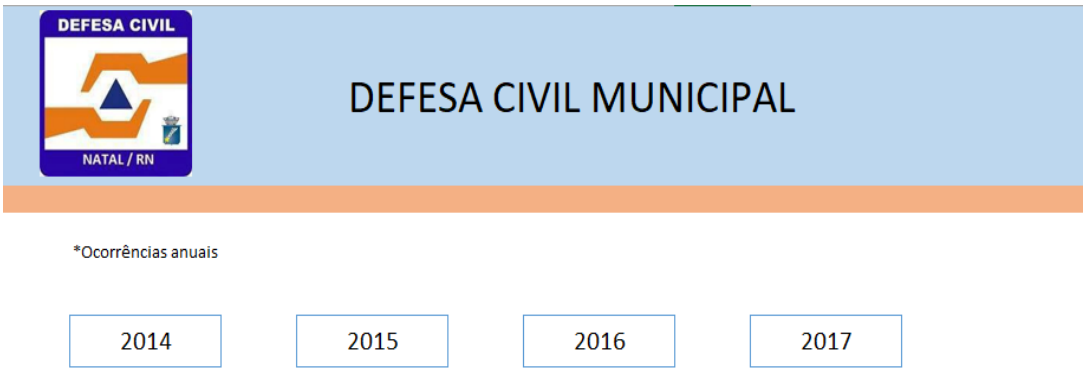
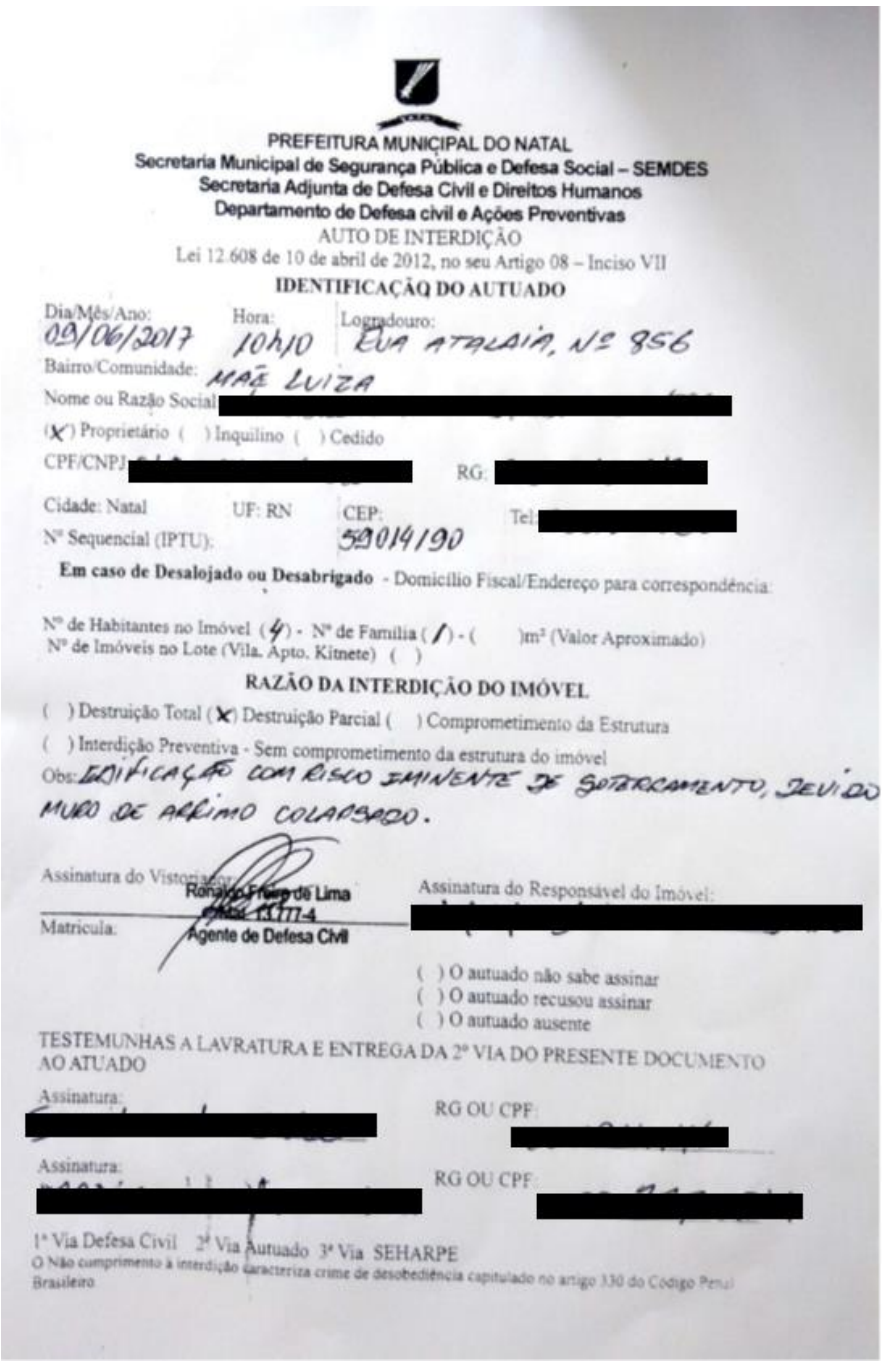


Figura 7 – Menu.
Fonte: Autora**,** 2017.

ITEM	DATA	ENDEREÇO	BAIRRO	PATOLOGIA	RESPOSTA	CONTATO	EQP.	DOCUMENTOS	FOTOS
1	01/jun	RUA DOS CAICÓS, Nº 2148	DIX-SEPT ROSADO	COLAPSO	VISTORIA	[redacted]	38	DOC\LV 01-01 06 17.pdf	Fotos\2017\DC 01-01 06 17
2	02/jun	RUA DA TORRE, N 16	MORRO BRANCO	ENDÓGENA E EXÓGENA	INTERDIÇÃO	[redacted]	37	DOC\AI 05-02 06 17.pdf	Fotos\2017\DC 02 06 17
3	02/jun	RUA DA TORRE, N 18	MORRO BRANCO	ENDÓGENA E EXÓGENA	INTERDIÇÃO	AUSENTE	37	DOC\AI 06-02 06 17.pdf	
4	05/jun	RUA MANOEL CORDEIRO DE LEMOS S/N	VILA DE PONTA NEGRA	COLAPSO	INTERDIÇÃO	AUSENTE	35	DOC\AI 04-05 06 17.pdf	Fotos\2017\DC 05 06 17
5	06/jun	RUA MARIA DO CARMO NAVARRO, Nº 18	NOSSA SRA APRESENTAÇÃO	ALAGAMENTO	VISTORIA	[redacted]	34	DOC\LV 06-06 06 17.pdf	Fotos\2017\DC 06 06 17
6	09/jun	RUA ATALAIA, Nº 862	MAE LUIZA	ÁREA DE RISCO	INTERDIÇÃO	[redacted]	33	DOC\AI 07-09 06 17.pdf	Fotos\2017\DC 09 06 17
7	09/jun	RUA ATALAIA, Nº 870	MAE LUIZA	ÁREA DE RISCO	INTERDIÇÃO	[redacted]	33	DOC\AI 08-09 06 17.pdf	
8	09/jun	RUA CAMARAGIBE S/ Nº	MAE LUIZA	ÁREA DE RISCO	INTERDIÇÃO	[redacted]	33	DOC\AI 09-09 06 17.pdf	
9	09/jun	RUA CAMARAGIBE, Nº 713	MAE LUIZA	ÁREA DE RISCO	INTERDIÇÃO	[redacted]	33	DOC\AI 10-09 06 17.pdf	
10	09/jun	RUA ATALAIA, Nº 906	MAE LUIZA	ENDÓGENA E EXÓGENA	INTERDIÇÃO	[redacted]	33	DOC\AI 11-09 06 17.pdf	
11	09/jun	RUA ATALAIA, Nº 800	MAE LUIZA	COLAPSO	INTERDIÇÃO	[redacted]	33	DOC\AI 12-09 06 17.pdf	
12	09/jun	RUA ATALAIA, Nº 896	MAE LUIZA	COLAPSO	INTERDIÇÃO	[redacted]	33	DOC\AI 13-09 06 17.pdf	
13	09/jun	RUA ATALAIA, Nº 880	MAE LUIZA	ÁREA DE RISCO	INTERDIÇÃO	[redacted]	33	DOC\AI 14-09 06 17.pdf	
14	09/jun	RUA ATALAIA, Nº 856	MAE LUIZA	ÁREA DE RISCO	INTERDIÇÃO	[redacted]	33	DOC\AI 15-09 06 17.pdf	
15	14/jun	RUA OCIDENTAL DE BAIXO, Nº 803	ALECRIM	INFILTRAÇÃO	VISTORIA	[redacted]	37	DOC\LV 05-14 06 17.pdf	Fotos\2017\DC 14 06 17
16	15/jun	AV. ENGENHEIRO JOÃO ELIO A. ROCHA, Nº 2050 - AP	PLANALTO	ENDÓGENA	VISTORIA	[redacted]	33	DOC\LV 04-15 06 17.pdf	Fotos\2017\DC 15 06 17

Figura 8 – Interface.
Fonte: Autora, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2



PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL
Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social – SEMDES
Secretaria Adjunta de Defesa Civil e Direitos Humanos
Departamento de Defesa civil e Ações Preventivas
AUTO DE INTERDIÇÃO
Lei 12.608 de 10 de abril de 2012, no seu Artigo 08 – Inciso VII

IDENTIFICAÇÃO DO AUTUADO

Dia/Mês/Ano: 09/06/2017 Hora: 10h10 Logradouro: RUA ATALAIA, Nº 856
Bairro/Comunidade: MÃE LUIZA
Nome ou Razão Social: [redacted]
(X) Proprietário ( ) Inquilino ( ) Cedido
CPF/CNPJ: [redacted] RG: [redacted]
Cidade: Natal UF: RN CEP: 59014190 Tel: [redacted]
Nº Sequencial (IPTU):
Em caso de Desalojado ou Desabrigado - Domicílio Fiscal/Endereço para correspondência:
Nº de Habitantes no Imóvel (4) - Nº de Família (1) - ( )m² (Valor Aproximado)
Nº de Imóveis no Lote (Vila, Apto, Kitnete) ( )

RAZÃO DA INTERDIÇÃO DO IMÓVEL

( ) Destruição Total (X) Destruição Parcial ( ) Comprometimento da Estrutura
( ) Interdição Preventiva - Sem comprometimento da estrutura do imóvel
Obs: EDIFICAÇÃO COM RISCO IMINENTE DE SOTERRAMENTO, DEVIDO MURO DE ARRIMO COLAPSADO.

Assinatura do Vistoriador: Ronaldo Filho de Lima
Matrícula: [illegible]-4
Agente de Defesa Civil
Assinatura do Responsável do Imóvel: [redacted]

( ) O autuado não sabe assinar
( ) O autuado recusou assinar
( ) O autuado ausente

TESTEMUNHAS A LAVRATURA E ENTREGA DA 2ª VIA DO PRESENTE DOCUMENTO AO ATUADO

Assinatura: [redacted] RG OU CPF: [redacted]
Assinatura: [redacted] RG OU CPF: [redacted]

1ª Via Defesa Civil 2ª Via Autuado 3ª Via SEHARPE
O Não cumprimento à interdição caracteriza crime de desobediência capitulado no artigo 330 do Código Penal Brasileiro

Figura 9 – Documento.
Fonte: SEMDES, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

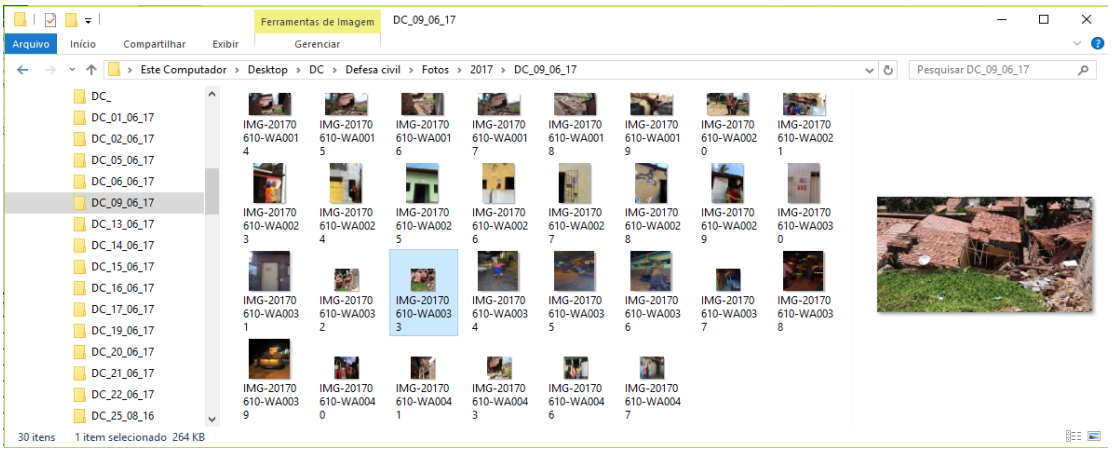


Figura 10 – Visualização da pasta de arquivos de fotos.
Fonte: SEMDES, 2017.

2.2.3 – Consequências

Por meio deste recurso, se faz notória a consequência de melhoria, agilidade, praticidade, tecnologia, confiabilidade, entre outros, quando se trata da evolução do registro e controle de dados. Antes que viesse a se tornar um agravante ainda maior para um órgão de ampla responsabilidade, esta intervenção se fez presente, mostrando sua necessidade e importância. Processos que antes não funcionavam, a gora funcionam e de maneira eficiente.

3. Efeito comparativo

Para efeito comparativo, o exemplo empregado neste trabalho foi a Defesa Civil do Rio de Janeiro – RJ, a qual é referência no Brasil, e que tem o auxílio do Departamento de Recursos Minerais – DRM, que continuamente emite relatórios técnicos, principalmente de controle de tempo, e os disponibilizam para a população.

O DRM-RJ – Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro, é uma Autarquia criada pelo Decreto-Lei no 201/75. Em 1999, passou a estar vinculado à Secretaria de Estado de Energia, da Indústria Naval e do Petróleo - SEINPE, hoje Secretaria da Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços – SEDEIS. Nesse período consolidou-se como instituição fomentadora do desenvolvimento da atividade mineral ambientalmente sustentável. DRM-RJ. (2005)

O trabalho deles consegue apresentar resultados mais confiáveis pelo vasto conhecimento de toda a topografia, geologia, geotecnia, hidrografia e pluviosidade daquela região. Outro ponto de conhecimento é o sócio econômico, entender como está funcionando a máquina da cidade, quem está ocupando cada lugar, a taxa de crescimento, aonde tem a maior concentração, qual o perfil sócio econômico da população. Já no Rio Grande do Norte – RN não dispomos disso. A pluviosidade não é confiável, não existe mapeamento geotécnico e na cidade do Natal ainda tem uma série de lagoas que foram antropizadas, mas se chover a água acumula, mesmo possuindo várias lagoas de captação como dispositivo de drenagem.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A Defesa Civil municipal do Natal trabalha numa ótica um pouco diferente dessa, mas agora é um sistema controlado, no caso, não seria dos relatórios e sim dos levantamentos das patologias cadastradas nas ocorrências.

4. Resultados do trabalho

Tem-se como resultado, considerando a necessidade de modernização do processo de mapeamento das patologias identificadas pela Defesa Civil na cidade do Natal, objeto exposto nesse artigo, a obtenção de uma sistematização dos procedimentos já existentes naquele setor e sua prática de trabalho, agora, de um modo eficiente e simples para identificar e quantificar as patologias. O trabalho mostra significativas melhorias quanto a qualidade e confiança dos resultados obtidos.

Não interrompendo este, existe a sugestão do aperfeiçoamento e evolução do mesmo. Para tal, haverá pesquisas envolvendo a utilização do georreferenciamento o interfaceamento entre *softwares* e aquisição do sistema de gestão de dados.

5. Conclusões

Após o trabalho, concluiu-se que o método implantado sistematizando o processo para identificação e classificação das patologias cadastradas nas ocorrências da Defesa Civil, encontradas na cidade do Natal, se sobressai quando comparado ao método anterior puramente mecânico. Esta iniciativa de modernizar o setor e sua rotina de trabalho de um modo simples e prático para identificar e quantificar as patologias, mostra significativos resultados e melhorias quanto a qualidade e confiança dos resultados obtidos. Assim como mostram os dados na planilha identificada de forma familiarizada, por: data, localidade, patologia, resposta, o documento e as respectivas fotos, funcionando através de filtros e hiperlinks, basicamente. Como forma de continuar o trabalho, propõe-se o aperfeiçoamento da sistematização que consiste em classificar ou mapear a planilha por região, tipo de patologia, entre outros. A fim de evoluir no mesmo, contribuindo para o conhecimento, sugere-se pesquisas, tais como: a utilização do georreferenciamento, o interfaceamento entre *softwares* e aquisição do sistema de gestão de dados.

Agradecimentos

A Deus, integral gratidão e glória, aos orientadores por completa atenção, assistência e incentivo, ao Instituto Euvaldo Lodi – IEL e a Prefeitura do Natal pela oportunidade de estágio e, aos familiares e amigos, com todo amor, por todo apoio concedido.

Referências Bibliográficas

Departamento de Recursos Minerais (2005). A Instituição. Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/odrm/conheca>. Acesso em: 2017. Natal. Brasil; 2010.

Helene, P. Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**.** São Paulo: Pini, 1992.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016). A Instituição. Disponível em: < http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=2408102>. Acesso em: 2017. Brasil; 2016.

Júnior, O., Severo, R., Neto, O. (2014). Objeto: Ruptura de Estrutura de Contenção Localizada na Comunidade do Jacó. Laudo Técnico, Natal, Brasil; junho 2014.

Pedro, E. G.; Maia, L. E. F. C.; Rocha, M. O.; Chaves, M. V.. Patologia em Revestimento Cerâmico de Fachada. Curso de Pós-Graduação do CECON, Especialização em Engenharia de Avaliações e Perícias. Síntese de Monografia. Belo Horizonte, Brasil; 2002.

Prefeitura do Natal (2010). Prefeitura regulamenta criação da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil. Disponível em: < https://natal.rn.gov.br/noticia/ntc-2769.html>. Acesso em: 2017. Natal. Brasil; março 2010.

Prefeitura do Natal (2014). Prefeitura regulamenta criação da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil. Disponível em: < https://natal.rn.gov.br/semdes/paginas/ctd-844.html>. Acesso em: 2017. Natal. Brasil; agosto 2014.