Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ANÁLISES DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE SUB-ESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA (SUBESTAÇÃO JOAIRAM)

L. BARRETO
Estudante
Universidade de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
lydia_barreto@hotmail.com

J. L. M. RAMOS
Estudante
Universidade Católica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
j_l14@hotmail.com

R. A. BERENGUER
Estudante
Universidade Católica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
templarios_pm@hotmail.com

F. L. CARNEIRO
Estudante
Universidade Católica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
fabiocarneiro14@hotmailcom

P. F. S. CHAVES
Estudante
Universidade Católica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
prychaves@hotmail.com

E. C. B. MONTEIRO
Dr.ª Professora
Universidade Católica de Pernambuco e
Universidade de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
eliana@poli.br

RESUMO

A presente pesquisa foi motivada pelo largo uso do concreto armado em obras de médio e grande porte no Brasil, especificamente subestações de energia elétrica. Sabendo dos diferentes climas existentes em nosso país, a exposição desse concreto não é uniforme, existindo peculiaridades climáticas que podem interferir diretamente em sua vida útil. Sendo aliado a uma cultura de descaso com manutenções preventivas em estruturas de concreto armado possibilita o surgimento de indicadores de manifestações patológicas com diversos graus de severidade. Além do clima, um fator previsível, mas pouco controlável, o ser humano também é um fator que afeta diretamente as estruturas de concreto. Ao avaliar peças de concreto armado existentes em uma subestação de energia localizada na Região Metropolitana do Recife, construída a pouco mais de cinco anos, foram observados de maneira clara os efeitos da carbonatação nestas peças e de maneira subjetiva os danos causados pelos cloretos, além de propor correlação de características climáticas do local com as manifestações patológicas observadas. Desta forma, foi possível realizar o diagnóstico e prognóstico das estruturas de concreto da SE (Subestação de Energia) Joairam e propor melhorias aos futuros projetos.

Palavras-chave: Concreto armado, Manifestações patológicas, Clima.

ABSTRACT

This research was motivated by the widespread use of reinforced concrete in medium and large projects in Brazil, specifically electrical substations. Knowing of the different climates in our country, the exposure of this concrete is not uniform, existing climatic peculiarities that can directly interfere in lifespan. This combined with a neglect of culture with preventive maintenance of reinforced concrete structures allows the emergence of indicators of pathological manifestations of varying degrees of severity. Besides the climate, a predictable factor, but little controllable, the human being is also a factor that directly affects concrete structures. When evaluating existing pieces of reinforced concrete in a power substation located in the Metropolitan Region of Recife, built just over five years, were observed clearly the effects of carbonation in these parts and subjectively the damage caused by chlorides, as well as propose correlation of climatic characteristics of the site with the pathological manifestations observed. Thus, it was possible to perform the diagnosis and prognosis of the SE (Power Substation) Joairam concrete structures and propose improvements to future projects.

Keywords: reinforced concrete, pathological manifestations, Climate.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana do Recife (RMR) têm características peculiares quanto ao seu clima e construções executadas, sendo sua classe de agressividade ambiental III [1], e, com edificações de idade superior a 40 anos, tornando o concreto armado (CA) alvo das diversas manifestações patológicas, criando diversas oportunidades para profissionais de engenharia.
Com aproximadamente 1300 peças estruturais de concreto, independentes e ao ar livre, a Subestação Joairam (SE JRM) apresenta-se como um grande laboratório a céu aberto, onde serão realizados diversos ensaios para caracterização de eventuais manifestações patológicas.
Foram realizados para detecção de manifestações patológicas ensaios, com rigoroso controle de temperatura e umidade no momento da realização. Através da realização do ensaio de profundidade de carbonatação, detecção com nitrato de prata da presença de cloretos, do ensaio de potencial de corrosão, além da inspeção visual.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Profundidade de carbonatação

Para a realização deste ensaio segundo o método [2], é necessário a quebra de parte da peça de concreto, preferencialmente em um local que apresente alguma manifestação patológica. Após a retirada do pedaço, o suficiente para expor a armadura, aspergir solução de fenolftaleína no local da retirada do pedaço e avaliar com a ajuda de um paquimetro, uma escala ou régua a maior distância carbonatada em relação à face exterior da peça (parte que não tiver coloração modificada para vermelho carmim). Toda a superfície que apresentar coloração vermelha carmim apresenta valores de pH suficientes para proteção da armadura entre 9 a 15. Durante a realização deste ensaio é verificado os valores do cobrimento existente das peças.

2.2 Detecção de cloretos por nitrato de prata

Este ensaio será realizado utilizando-se o pedaço de concreto destacado da peça no ensaio de profundidade de carbonatação. Neste pedaço será feita a aspersão de nitrato de prata. Após a aspersão, caso haja, cloretos livres haverá uma reação fotoquímica, surgiram precipitados de cor branca de cloreto de prata. No caso de eventuais cloretos combinados ou não havendo cloretos surgirão precipitados de cor escura de óxido de prata [2]. A proposta deste trabalho é apenas avaliar a existência ou não de cloretos não sendo realizados ensaios quantitativos de níveis de cloretos. Considerando que este ensaio apenas indica a presença de cloretos livres, além de não quantificar os cloretos existentes, seus resultados são complementares aos ensaios de carbonatação e potencial de corrosão.

2.3 Potencial de corrosão

Deve-se realizar limpeza prévia no concreto e na armadura que será ensaiada e depois realizar conexão do eletrodo de cobre sobre uma esponja molhada na superfície do concreto e a agulha do multímetro em contato com o aço. Então será feita a medição de potencial de corrosão (E_{corr}) com multímetro de alta impedância e eletrodo de sulfato de cobre. Os valores encontrados serão comparados com tabela de parâmetros [3].

Tabela 1 Probabilidade de corrosão

E_{corr} (mV) – Cu / $CuSO_4$	PROBABILIDADE DE CORROSÃO
> -200	< 5%
Entre -200 e -350	50%
< -350	> 95%

2.4 Meio ambiente

Em grandes regiões metropolitanas, a poluição é um dos componentes da degradação. Poluentes das mais diversas categorias estão disponíveis para ataque as obras correntes, assim caracterizando diversos ambientes com determinados graus de agressividade com características bem definidas. Conforme visto na Tabela 2 e na Tabela 3, temos 4 classes de agressividade que determinam os riscos de deterioração da estrutura, bem como classifica o meio ambiente e determina

inclusive a resistência característica a compressão (fck), fator a/c e os cobrimentos mínimos de armadura. Todas essas determinações são para garantir o mínimo de proteção a estrutura [1].

Tabela 2 Classe de agressividade e requisitos de concreto ABNT NBR 6.118/2014

CLASSE DE AGRESSIVIDADE	AGRESSIVIDADE	AMBIENTE	RISCO DE DETERIORAÇÃO	a/c | fck (Mpa)	
				CA	CPr
I	Fraca	Rural, Submersa	Insignificante	≤ 0,65 | ≥ C20	≤ 0,60 | ≥ C25
II	Moderada	Urbana, Marinha	Pequeno	≤ 0,60 | ≥ C25	≤ 0,55 | ≥ 30
III	Forte	Marinha, Industrial	Grande	≤ 0,55 | ≥ C30	≤ 0,50 | ≥ C35
IV	Muito forte	Industrial, Respingos de maré	Elevado	≤ 0,45 | ≥ C40	≤ 0,45 | ≥ C40

Tabela 3 Cobrimentos mínimos em relação à classe de agressividade ABNT NBR 6.118/2014.

TIPO DE CONCRETO	ELEMENTO	CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL			
		I	II	III	IV
		COBRIMENTO NOMINAL (mm)			
ARMADO	LAJE	20	25	35	45
	VIGA/PILAR	25	30	40	50
PROTENDIDO	TODOS	30	35	45	55

2.5 Corrosão

A corrosão metálica pode ser definida como a depreciação dos materiais metálicos pela ação química ou eletroquímica do meio, associada ou não a uma ação física [4].
Qualquer reação de corrosão necessita de um eletrólito (concreto), por onde os íons resultantes das reações transitam a parte que oxida e reduz na pilha eletroquímica que vem a ser o ânodo, a parte que recebe os elétrons da pilha eletroquímica o cátodo e uma ligação metálica entre todos. Este é o processo do aço nas armaduras, tendo o ferro como ânodo e o oxigênio como cátodo. O produto da reação dos dois migra um em direção ao outro e em uma região intermediária precipita na forma de hidróxido ferroso ($Fe(OH)_2$) [5].
Dependendo do tipo de ataque sofrido pela peça, os produtos da corrosão podem variar, mas de forma geral os produtos ocupam o volume no interior do concreto em até 10 vezes o volume original do aço existente na armadura, gerando tensões do interior para o exterior da peça. Com a continuação do processo de corrosão estes produtos acumulados na superfície da armadura expandem criando fissuras paralelas a barra de aço até o destacamento de parte do cobrimento. Pode ocorrer em algumas situações em que a umidade do concreto esteja muito elevada, antes do aparecimento de fissuras, surgem manchas cor de ferrugem indicando alta velocidade de corrosão.

2.5.1 Corrosão por carbonatação

A carbonatação ocorre da superfície da peça para o interior, formando a frente de carbonatação, definindo duas zonas com pHs distintos, com pH>12 e outra com pH<8, avançando de forma progressiva ao interior da peça e atingindo a armadura, proporciona a despassivação da mesma, sendo considerado o início da corrosão. Os fatores ambientais são determinantes para ocorrência de carbonatação, o meio ambiente, a concentração de CO_2 na atmosfera e a umidade relativa no ambiente são os mais determinantes [6].
A velocidade da carbonatação aumenta consideravelmente em ambientes com elevadas concentrações de CO_2. Garagens, indústrias e rodovias, pela emanação de CO_2 constante, proporcionam ambientes mais agressivos a peças de concreto. O tipo e a quantidade de cimento que integram o concreto, pozolanas já estão consagradas como aumento da proteção, interferem de maneira direta. Este fator aliado a baixa relação a/c e cuidados com a produção do concreto,

principalmente no tocante ao adensamento, indicam prognóstico de pequena profundidade de carbonatação, que em outras palavras aumenta a vida útil da peça.

2.5.2 Corrosão por cloreto

As corrosões de armaduras pela ação de íons cloreto são frequentes nas literaturas no que se diz respeito a manifestações patológicas, diminuindo sua vida útil e sua durabilidade. Em várias normas vigentes no mundo, limitam a quantidade de cloretos na composição do concreto, sendo um paramêtro para apresentar um diagnostico, esclarecendo o real motivo da corrosão, restringindo ao Brasil esses parametros estão limitados em [7].
Considerando que todo o mecanismo de penetração é semelhante à carbonatação, a umidade e a água têm papel importante no ataque por cloretos.
Outro fato importante para prevenção ao ataque de cloretos é a composição do cimento. Os Cimentos ricos em C_3A apresentam maior resistência à difusão de cloretos em função da combinação de ambos, resultando em cloroaluminato de cálcio hidratado (CACH), um sal insolúvel [8].
Além dos aspectos relacionados ao cimento, deve existir rigoroso controle dos agregados e da água de amassamento, garantindo que os mesmos não apresentem teores acima do máximo limitados. Menor fator a/c implica em concreto mais denso, menos poros e com menor quantidade de vazios. Deve-se prevenir e controlar o aparecimento de fissuras que possibilitam ingresso mais rápido de cloretos ao interior da peça.
Existe a possibilidade de ocorrer uma combinação de carbonatação e ataque de cloretos, caracterizada por altíssimas velocidades de corrosão. Um concreto que sofre carbonatação oferece um clima mais amigável aos cloretos, já que o concreto já está despassivado a corrosão será iniciada mais rapidamente. Além disso, alguns cloretos que estavam combinados no cimento podem ficar livres, aumentando a quantidade dos mesmos e assim criando mais um vetor.

2.6 Lixiviação e Eflorescência

Eflorescência é o resultado da dissolução dos sais presentes na argamassa, provenientes de contaminações externas e seu posterior transporte pela água através dos materiais porosos. Geralmente se apresenta com manchas brancas, também podem se apresentar com a cor castanha ou de ferrugem, porém as mais predominantes são embranquecidas. Se, durante esse transporte, a concentração dos sais na solução aumentar (por perda de água ou aumento da quantidade de sais), eles poderão entrar em processo de cristalização e dar origem ao fenômeno [9].
Na lixiviação do concreto, ocorre a dissolução e o arraste do hidróxido de cálcio [$Ca(OH)_2$] da massa endurecida, pela ação do fluxo contínuo da água através da estrutura do material. O potencial hidrogeniônico (pH) do concreto é diminuído, dando lugar à decomposição de outros hidratos, aumentando sua porosidade e facilitando a desintegração [10]. Surgem como resultado da lixiviação as formações do tipo estalactites e estalagmites.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Carbonatação

Na Subestação Joairam (SE JRM) todas as peças que foram objeto de ensaio figura 1 apresentam sinais de carbonatação. Este fato sozinho não quer dizer muita coisa, já que a SE JRM está localizada em uma zona urbano-industrial com elevadas concentrações de CO2 na atmosfera. Nas bases de concreto, as profundidades de carbonatação variaram de 8mm a 37mm, com as peças apresentando cobrimento média de 30mm, variando ± 3mm em todas as peças da amostra, e como poderá ser visto a partir da seção 3, esta faixa comprometeu poucas peças. Já na figura 2, o problema é bem mais sério, as profundidades variaram entre 5mm e 20mm com o cobrimento médio em torno de 11mm.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura - 1 Profundidade de carbonatação (base de concreto)

3.2 Cloretos livres

Na SE JRM foi verificada apenas a existência de cloretos livres no concreto, não sendo possível determinar categoricamente a influência dos cloretos nas manifestações patológicas verificadas, mas em função da quantidade de elementos com indicação positiva para cloretos livres nas duas amostras, é possível de maneira subjetiva afirmar que no mínimo existe uma co-autoria junto com a carbonatação, na causa das manifestações patológicas observadas.

3.3 Lixiviação e eflorescência

Na SE JRM, foram detectados alguns pontos de eflorescência, justamente nas fissuras observadas. Mais comuns nas peças que têm indicativo de carbonatação e cloretos simultaneamente.



Figura - 2 Bases de concreto com pontos de eflorescência

3.4 Dados construtivos da edificação

Estas peças são em concreto aparente, o que significa que estão diretamente expostas as intempéries, com apenas algumas edificações possuindo aplicação de tintas à base de água no concreto aparente. O concreto utilizado foi fornecido por empresa conceituada tecnicamente em pernambucana com fck de 25 MPa e pequenos volumes de concreto realizados na obra através de betoneira objetivando o mesmo fck. Foi realizado controle tecnológico do concreto, com auxílio de empresa certificada em Recife [7], com a ressalva que à época a NBR12.655 vigente era a do ano de 1996.

Como resultado, a resistência estimada do concreto na SE JRM para este estudo será de 28,0MPa, com exceção das peças pré-moldadas, postes com 30MPa (processo produtivo a parte com fornecimento externo) e tampas de canaletas com 25MPa, tampas fornecidas por empresa de pré-moldados não identificada, terceirizada pelo consórcio que realizou a obra, não sendo possível determinar o processo de fabricação das mesmas nem assegurar que ocorreu algum tipo de controle tecnológico.

O cobrimento mínimo utilizado na construção das peças moldadas no local é de 30mm e como verificado durante os ensaios, este valor de cobrimento foi seguido, pois os cobrimentos variaram entre 27mm e 33mm. Desta forma a análise e classificação das condições das peças moldadas no local e postes da amostra, foram em função destes valores, considerando-se como “PEÇAS COMPROMETIDAS” (peça em que a profundidade de carbonatação seja igual ou superior ao cobrimento) aquela que apresente profundidade de carbonatação igual ou superior a 27mm. Serão consideradas “PEÇAS EM OBSERVAÇÃO” aquelas que apresentem profundidade de carbonatação inferior a 27mm e

potencial de corrosão com valor igual ou inferior a -315mV. Para as tampas de canaletas, o cobrimento mínimos de projeto é de 25mm., mas nas amostras consideradas, não foi observado nenhum cobrimento de 25mm. O valor médio de cobrimento foi de aproximadamente 11mm. Assim, no caso específico das tampas de canaletas, serão consideradas "PEÇAS COMPROMETIDAS", as peças onde a profundidade de carbonatação seja igual ou superior ao cobrimento observado. Serão consideradas "PEÇAS EM OBSERVAÇÃO" aquelas que apresentem profundidade de carbonatação inferior ao cobrimento observado e potencial de corrosão com valor igual ou inferior a -315mV.

3.4 Influência do clima e da localização nos resultados dos ensaios

A disposição dos elementos de concreto em planta é um fator que indica a possibilidade do elemento desenvolver manifestações patológicas. Dependendo da localização da instalação, a influência das chuvas e ventos pode expor elementos de concreto da mesma a condições completamente distintas. Em Recife, o vento predominante, com chuvas, provém do sudeste (SE), conforme dados obtidos junto ao CPTEC e [8]. Assim é razoável supor que manifestações patológicas com orientação SE, serão mais comuns.
Todas as peças comprometidas por carbonatação e corrosão de armaduras mais as peças consideradas em observação (valores próximos aos limites), estão localizadas nos extremos SE e SO da SE JRM, fato que se alinha aos dados climáticos da RMR. Outro dado importante são os baixos valores (carbonatação e potencial de corrosão) observados nos quadrantes NO e NE.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

A tabela 4, apresenta os resultados das análises realizadas com os dados e determinação de valores característicos para os critérios analisados, desta forma possibilitando um diagnóstico das instalações de concreto da SE JRM bem como possibilitar um prognóstico para a mesma.

Tabela 4 - Análise de dados das bases de concreto e tampas de canaletas

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS / RESULTADOS	BASES DE CONCRETO			TAMPAS DE CANALETAS		
	DADOS EXPANDIDOS – PADRONIZADOS N95%			DADOS EXPANDIDOS – PADRONIZADOS N95%		
	69kV	230kV	SE JRM	69kV	230kV	SE JRM
MANCHAS*	75,40%	86,80%	85,90%	33,20%	84,30%	71,50%
ABRASÃO*	22,10%	27,70%	29,40%	8,20%	20,80%	23,20%
FISSURAS*	25,10%	44,00%	42,10%	8,20%	38,40%	34,90%
FISSURAS EM FORMA DE MAPA*	34,00%	30,20%	32,20%	0%	0%	0%
LIXIVIAÇÃO / EFLORESCÊNCIA*	0,10%	24,10%	19,00%	0%	0%	0%
PRESENÇA DE CLORETOS LIVRES	34,00%	36,40%	38,10%	19,80%	15,50%	23,20%
PROBABILIDADE DE CORROSÃO >95%	2,20%	1,80%	3,90%	32,90%	39,80%	30,90%
PROBABILIDADE DE CORROSÃO 50%	27,60%	33,20%	32,70%	20,90%	34,00%	23,20%
PEÇAS COMPROMETIDAS – CARBONATAÇÃO	2,60%	3,80%	5,00%	33,20%	38,40%	43,20%
PEÇAS EM OBSERVAÇÃO	0,01%	3,80%	4,20%	0%	0%	0%

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Após a realização dos ensaios, foram obtidos resultados que foi possível determinar com bastante segurança as condições de todos os elementos de concreto (bases e postes) e tampas de canaleta, da SE JRM.
Com esses dados compilados, foram determinados valores limites para todas as bases de concreto e tampas de canaletas, ver tabela 5, além de parâmetros base para determinação da vida útil do empreendimento, como potencial de corrosão, profundidade de carbonatação, coeficiente de carbonatação e tempo mínimo necessário para a frente de carbonatação atingir a armadura de aço.

Tabela 5 - Parâmetros das bases de concretos e tampas de canaletas

PARÃMETROS	BASES DE CONCRETO			TAMPAS DE CANALETAS		
	DADOS EXPANDIDOS – PADRONIZADOS N95%			DADOS EXPANDIDOS – PADRONIZADOS N95%		
	69kV	230kV	SE JRM	69kV	230kV	SE JRM
POTENCIAL DE CORROSÃO – mV	-174	-176	-186	-170	-246	-248
PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO – mm	15,3	14,1	14,6	9,4	10,3	10,9
COEFICIENTE DE CARBONATAÇÃO – $mm/ano^{-0,5}$	6,8524	6,3027	6,5279	4,197	4,5873	4,8608
TEMPO MÍNIMO PARA CARBONATAÇÃO COMPLETA – ANOS	14	18	16	-1	-2	-1

Considerando os resultados obtidos nos ensaios para as manifestações patológicas, podemos fazer as seguintes análises para toda a SE JRM:

- Manchas e abrasão: Para as duas amostras, esta manifestação patologica, podendo ser considerada estética, é bem característica, considerando que praticamente todos estão expostos ao tempo. As manchas se mostram mais freqüentes que a abrasão, 85,9% e 29,4% respectivamente para as bases e 71,5% e 23,2% para as tampas de canaleta. A discrepância de ocorrência destas manifestações patologicas nas amostras pode ser justificada pela qualidade do concreto utilizado nas peças, superior nas bases dos pilares e no uso das peças. As tampas de canaleta são mais sujeitas ao desgaste superficial em função de seu uso corrente;
- Fissuras: Como já explicado,as bases de concreto tiveram a inspeção visual em todos os elementos, diferente das tampas de canaletas, onde só foram inspecionadas as 25 peças ensaiadas. Com os resultados, pode-se afirmar para toda a SE JRM que em torno de 42,1% das peças (bases de concreto) apresentam algum tipo de fissura e 34,9% das tampas de canaleta apresentam algum tipo de fissura. Mais uma vez as amostram apresentam considerável discrepância na ocorrência, sendo tal discrepância justificada pelas dimensões das peças. As tampas de canaletas são de pequenas dimensões (volume máximo de $0,02m^3$);
- Fissuras em forma de mapa: Foi visualizada apenas nas bases de concreto, em 32,2% das peças e foi constatado que não é indício de RAA. No momento da realização dos ensaios, foi constatada a superficialidade das fissuras, uma faixa de capeamento da base, não sendo observada a ocorrência de fissuras após a retirada da referida capa de revestimento;
- Lixiviação e eflorescência: Observada em pequena quantidade, 19% das bases de concreto e nenhuma ocorrência nas tampas de canaletas;
- Presença de cloretos livres: Para as duas amostras foi observados o quanto as instalações poderiam estar afetadas por cloretos livres, objeto do ensaio realizado. Com valores de 38,1% e 23,2% paras as bases de concreto e tampas de canaletas respectivamente. Apesar deste ensaio de cloretos não ser conclusivo, das 9 peças comprometidas por carbonatação e conseqüente corrosão, 8 apresentam cloretos livres. Nas tampas de canaletas esta relação foi de 15 peças comprometidas com 6 apresentando cloretos livres. Assim a influência de cloretos nas bases de concreto são mais significantes que nas tampas de canaletas;

- Carbonatação e potencial de corrosão: Os dois ensaios são apresentados conjugados em função do teor do resultado dos mesmos, são complementares. Considerando valores absolutos, nas bases de concreto foram identificados 9 elementos comprometidos por carbonatação do concreto e corrosão da armadura. Extrapolando para toda a instalação, pode-se afirmar com grau de confiabilidade de 95% que 5,0% dos elementos da instalação foram afetados, de acordo com o ensaio de potencial de corrosão em sua probabilidade de ocorrência. Para as tampas de canaleta, com o mesmo grau de confiabilidade, temos 43,2% das peças comprometidas. No caso, a discrepância de ocorrência também é justificada pela qualidade do concreto utilizado (composição e produção), além de carência no processo produtivo das tampas de canaleta;
- Meio ambiente e localização: É evidente a influência da localização das peças na SE JRM para a ocorrência de manifestações patologicas, pode-se constatar que a 54,8% das peças da SE JRM, classificadas nos níveis 1 e 2, além de todas as peças consideradas comprometidas, estão localizadas nos quadrantes SE e SO, justamente os mais afetados pelos altos valores de DRI. Esta análise é aplicada as duas amostras. A concentração de CO2 no ambiente da SE JRM no período avaliado é de 0,325%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas bases de concreto e postes o conjunto teve seus elementos compostos por peças em operação há pelo menos 5 anos, com fissuras e trincas em algumas peças, manchas, fungos e sinais de abrasão:

- A causa da corrosão eletroquímica das peças comprometidas é carbonatação, com influência de penetração de cloretos;
- As manifestações patológicas mais significantes pela inspeção visual são as manchas (85,9%) e fissuras (42,1%). As demais manifestações patologicas aparentes, apesar dos valores observados, não indicam problemas relevantes. As manchas observadas indicariam apenas problemas estéticos, mas seu papel na facilitação da penetração de ácidos, cloretos e CO2 nas peças é relevante. As fissuras são forte indicativo de comprometimento das peças (carbonatação e corrosão);
- Forte indicativo de cloretos livres, 38,1% das peças. Justificado pela exposição ao tempo das peças e proximidade da SE JRM da costa (RMR). Das peças que foram constatados processos corrosivos 89% apresentaram cloretos livres e 78% das peças consideradas em observação apresentam cloretos. Mesmo o ensaio realizado sendo qualitativo, se pode determinar o forte influência da deterioração por cloretos;
- A profundidade de carbonatação média dos elementos é 15,5mm sendo que 95% das profundidades são superiores a 14,6mm, lembrando que o cobrimento das peças é 30mm. Com estes parâmetros o tempo restante para o processo de carbonatação atingir a armação pode ser estimado em 16 anos;
- As margens de classificação do potencial de corrosão são bem elásticas, indicando grande incerteza. Com os dados obtidos para as bases de concreto, pode-se afirmar que 95% das peças apresenta um valor igual ou inferior a -186mV como potencial de corrosão (menos de 5% de probabilidade de corrosão). Ainda assim 3,9% dos elementos da SE JRM apresentam corrosão;
- Fatores climáticos como chuva, velocidade e direção do vento são determinantes para a ocorrência de manifestações patologicas, majorando os danos causados;
- Elementos de concreto armado, no tocante a deterioração e surgimento de manifestações patológicas, são fortemente influenciados por sua orientação (pontos cardeais).

Nas tampas de canaletas, neste conjunto apenas as 25 peças coletadas foram inspecionadas visualmente. Desta forma têm-se as seguintes conclusões:

- A causa da corrosão das armaduras das peças comprometidas é o erro de execução das peças associado ao processo produtivo ineficiente (projeto), propiciando a carbonatação;
- Peças pré-moldadas com pequenas dimensões, executadas seguindo as mesmas especificações de concreto para execução de uma base, tendem a apresentar manifestações patológicas em menor tempo, comparando com as bases de concreto;
- Visualmente, as manifestações patologicas mais características foram às manchas (71,5%), fissuras (34,9%) e abrasão (23,2%). As demais não foram observadas. As manchas e a abrasão são problemas secundários nesta amostra. Para esta amostra a fissura pode ser encarada como causa e efeito. Devido às pequenas dimensões da peça e de seu uso, esforços atuantes podem causar fissuras, aumentando as vias de acesso de umidade no interior da peça, proporcionando corrosão;

- Valor inferior ao das bases de concreto para cloretos livres (23,2%), significante mas não determina a influência de cloretos;
- A profundidade de carbonatação média dos elementos é 12,4mm sendo que 95% das profundidades são superiores a 10,9mm, lembrando que em média, o cobrimento das peças é 11,2mm. Com estes parâmetros, não existe tempo restante para o processo de carbonatação, sendo inclusive, o valor numérico negativo de -1 ano;
- O potencial de corrosão inferior a -248mV (para 95% das peças), indicando probabilidade de 50% de corrosão. Forte indicativo de corrosão generalizada, com 43,2% das tampas de canaleta com corrosão de armadura;
- Fatores climáticos como chuva, velocidade e direção do vento são determinantes para a ocorrência de MPs, majorando os danos causados.

Os resultados no geral observados, permitiram avaliar todas as estruturas de concreto armado e tampas de canaletas como entidades únicas, indicando um comportamento da deterioração destas entidades. Desta forma, têm-se algumas recomendações:

- Ambientes urbanos e industriais são mais suscetíveis a carbonatação, assim para estes ambientes, além do já previsto em NBR6.118/2014 [3], cuidados específicos com a concentração de CO2 no ar e com a intensidade e direção das chuvas devem ser tomados;
- No caso da necessidade do concreto aparente, especificar pintura protetora e definir sua manutenção;
- Sempre utilizar a NBR-6.118/2014 [3] como ponto de partida para especificar elementos de concreto armado. Deve ser definido nas especificações que esta norma sobrepõe-se a todas as outras;
- Para peças pré-moldadas em concreto de pequenas dimensões, ter critério mais rigoroso para aceitabilidade das peças;
- Definir o processo produtivo do concreto antes do início da execução da peça, preferencialmente em projeto.

6. REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projetos de estruturas de concreto armado, NBR 6.118. Rio de Janeiro, 2014.
[2] RILEM CPC-18. Measurement of hardened concrete carbonation depth, Materials and Structures, 1988.
[3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standart test method for half-cell potencials of uncoated reinforcing steel in concrete. ASTM C 876-91. Filadélfia, 1999.
[4] GENTIL, VICENTE Corrosão. 4ºed. Rio de janeiro: Editora LTC, 2003. 341p
[5] FORTES, LYTTELTON REBELO. Corrosão na armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial de eletrodo, dissertação de mestrado UFCE. Fortaleza, 1995. 228p.
[6] FREIRE, K. R. R. Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão de armaduras do concreto. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná.
[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto de cimento Portland – Preparo e condições de recebimento, NBR12655. Rio de Janeiro, 2015.
[8] ISAIA, G.C. Concreto: Ciência e Tecnologia volumes 1 e 2. São Paulo: IBRACON, 2011. 1946p.
[9] PINTAN, N. M; BERENGUER, R. A. ; JUST, Angelo ; LINS, C. M. M. S. ; MONTEIRO, E. C. B. (2015) "Pathological Manifestations and The Study of Corrosion Present on Bridges on the City of Recife". Electronic Journal of Geotechnical Engineering, v. 20, p. 11893-11907, 2015.
[10] SILVA, M.A. e SOUZA, R. Gestão do Processo de Projeto de Edificações. 1º edição, São Paulo: O Nome da Rosa, setembro de 2003.
[11] ITEP – LAMEPE. Previsão do tempo e dados históricos sobre clima no estado de Pernambuco. Disponível em: http://www.itep.br/LAMEPE.asp. Acessos em 26 de junho e 06 de julho de 2011.