Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO NATURAL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO FRENTE À CARBONATAÇÃO EM PELOTAS/RS

C.FERREIRA
Engenheira Civil
Universidade Federal de Pelotas
Rio Grande do Sul; Brasil
carinafferreira@yahoo.com.br

C.M.PALIGA
Engenheiro Civil
Universidade Federal de Pelotas
Rio Grande do Sul; Brasil
charlei.paliga@ufpel.edu.br

A.S.TORRES
Engenheira Civil
Universidade Federal de Pelotas
Rio Grande do Sul; Brasil
arielatorres@gmail.com

RESUMO

Inevitavelmente, todas as construções estarão sujeitas a variadas formas de degradação que provocam a deterioração dos materiais que as compõem e a perda da funcionalidade e segurança das edificações. O concreto armado é um material amplamente utilizado na construção civil, e mesmo apresentando uma longa vida útil na maioria dos ambientes em que é inserido, também é vulnerável, podendo sofrer deterioração. A ação do ambiente nessas estruturas pode gerar um dano progressivo, sendo a carbonatação e a ação de cloretos, os principais agentes causadores de danos. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estudar o efeito da carbonatação no processo de degradação de estruturas de concreto na cidade de Pelotas/RS. Para tanto, foi utilizado como metodologia, o ensaio ao natural, através de amostras (cilindricas com 10 cm de diametro e 20 cm de altura) expostas no ambiente urbano, como forma de avaliar a real interação das estruturas de concreto com o meio agressivo ao longo do tempo. Os locais de exposicão dos corpos de prova foram determinados por serem pontos estratégicos da cidade, determinados com auxilio da equipe de estudos urbanos da mesma. Os tempos de exposição foram de 4, 8, 12 e 16 meses. Após estes tempos as amostras eram retiradas, rompidas e aplicado uma solução para determinação de áreas atacadas ou não por CO_2. Como resultados, se obteve um padrão de carbonatação na cidade, diferenciando-se pelos diferentes bairros que as amostras se encontravam.
Palavras-chave: concreto, degradação, carbonatação.

ABSTRACT

Inevitably, all buildings are subject to various forms of degradation leading to deterioration of the materials that make up and the loss of functionality and safety of buildings. Reinforced concrete is a widely used element in construction, and even with a long-lasting in most environments in which it is inserted, it is also vulnerable and can deteriorate. The action of the environment in concrete structures can cause progressive damage, and the carbonation and the action of chlorides are the leading causes of damage. In this context, this paper aims to study the effect of carbonation in the degradation process in concrete structures in the city of Pelotas / RS. For this, it used the natural assay methodology through exposure of cylindrical samples (10 cm in diameter and 20 cm high) in the urban environment, to assess the interaction of concrete structures in aggressive environment over time. The place where the samples were exposed were determined because they are strategic points of the city, and chosen with the help of city urban studies teams. The exposure times were 4, 8, 12 and 16 months. After this time, samples were taken to the laboratory, they were broken, and a solution was applied to determine areas attacked by CO_2. As a result, a pattern of carbonation was found in the city differentiate the various locations that the samples were exposed.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é crescente a preocupação com a perda da durabilidade e desempenho das estruturas de concreto armado. Estruturas que antes eram consideradas com longa vida útil começaram a apresentar sinais de deterioração, muitas vezes agravada pelo desconhecimento do comportamento dos materiais a longo prazo e da influência do ambiente nestes. O concreto, que é um material de ampla utilização e aplicado mundialmente nas construções, apesar de sua alta durabilidade, também se mostrou vulnerável. Para Souza e Ripper [1], os tempos modernos ditaram a certeza de que

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

este, como material de construção, é instável ao longo do tempo, tendo suas propriedades físicas e químicas alteradas em função das características de seus componentes e das respostas destes às condicionantes do meio ambiente. A ação deste nas estruturas de concreto armado pode gerar um dano progressivo, tanto no concreto como nas armaduras, sendo que a deterioração de qualquer um desses componentes comprometerá a estrutura como um todo. Segundo Helene [2], as estruturas que são feitas com este material devem ter respeitadas as condições de manutenção preventiva especificadas no projeto, sendo projetadas, construídas e utilizadas de modo que sob as condições ambientais previstas, conserve sua segurança, estabilidade, aptidão em serviço e aparência aceitável durante um período já fixado, sem que exija medidas extras de manutenção e reparo .

As estruturas de concreto armado, para Cánovas [3], devem reunir não apenas condições de resistência para suportar os esforços aos quais vão estar submetidas, mas também condições de constituição para que possam suportar as ações externas de caráter físico e químico diante das quais seu bom comportamento adquire uma importância vital. Os problemas de durabilidade nas estruturas podem ser causados por diversos fatores que incluem a falta de conhecimento do meio ambiente que ficarão expostas, as especificações inadequadas em desacordo com as normas técnicas e a uma má execução. A durabilidade, conforme Possan [4], engloba desde a qualidade do concreto, as condições naturais do ambiente de exposição que a estrutura está inserida, as operações de manutenção e reparo até as condições de uso que a edificação está submetida durante sua vida útil. Dependendo das condições ambientais e climáticas, o concreto está submetido aos efeitos de um conjunto de agentes agressivos e diferentes fatores destrutivos que podem atuar de maneira isolada ou conjunta, e que em contato com a microestrutura do concreto altera suas propriedades. Assim, se as estruturas não são bem projetadas e executadas, não resistem ao desgaste ambiental pelo tempo requerido em projeto. Ambientes como garagens, regiões marinhas, cidades com alto índice de poluição acabam sendo propícios pra iniciarem e acelerarem diversos processos de deterioração que convergem para um único problema: a corrosão das armaduras.

Segundo Rocha [5], a corrosão de armaduras é o mecanismo de degradação mais comum nas estruturas de concreto com relação à durabilidade, sendo responsável por aproximadamente 52% das manifestações patológicas já no início da década de 90. Helene [6] define este processo como a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química ou eletroquímica. O concreto, de acordo com Cánovas [3], proporciona uma excelente proteção à corrosão do aço devido à alta alcalinidade (pH $\geq$12,5) da solução dos seus poros, a qual circunda a armadura, resultando na formação sobre a superfície desta de uma película ou capa passivadora. Esta caracteriza-se por ser constituída na maioria das vezes por óxidos, ter espessura da ordem de 0,4 Å, baixa condutividade iônica para evitar a reação de corrosão, baixa solubilidade e boa aderência ao aço, permanecendo estável na condição de estar em meio alcalino.

Os principais agentes de deterioração das estruturas de concreto armado são a penetração de cloretos e a carbonatação. Segundo Rocha [5], a presença de uma quantidade suficiente de íons cloreto e a diminuição da alcalinidade do concreto, devido às reações de carbonatação ou mesmo devido à penetração de substâncias ácidas, pode gerar a perda da película passiva que envolve a armadura, podendo ocasionar assim, a corrosão. Estas formas de deterioração, conforme Helene [2], ao atingirem a armadura podem promover além de séria corrosão, o aparecimento de manchas, fissuras, destacamentos em pedaços de concreto e até perda da seção resistente e da aderência, promovendo o colapso da estrutura ou de suas partes. Estes fenômenos são imperceptíveis a olho nu, sendo necessários ensaios específicos para sua identificação.

Este trabalho irá tratar da deterioração ocasionada pela carbonatação. Este processo é definido por Vaghetti [7] como um fenômeno físico-químico gerado pela reação do dióxido de carbono presente no ambiente com os produtos alcalinos do concreto, o que contribui para a redução do pH e atingindo a armadura, reduz as condições de estabilidade química da película passivadora da mesma. O avanço do processo de carbonatação no concreto cria uma frente de carbonatação, separando claramente duas zonas diferentes: a carbonatada, com o pH em torno de 9 e a não carbonatada com o pH por volta de 12,5.

Estes processos de deterioração das estruturas de concreto, na maioria das vezes são analisados por intermédio de ensaios de laboratório. Estes porém, segundo Figueiredo [8], não avaliam as reais condições de exposição às quais as edificações estarão submetidas, simulando o processo de degradação através de um ambiente mais agressivo que o natural . Diferentemente do ensaio acelerado, o ensaio natural, de acordo com Possan [4], oferece a interação real com o meio agressivo, a exposição às intempéries e a possibilidade de avaliação da degradação devido ao efeito sinérgico dos agentes agressivos. Entretanto, tem como desvantagem o longo período de tempo necessário para a realização dos ensaios e obtenção de resultados, sendo por isso pouco empregado pelos pesquisadores.

Devido à importância da qualidade do concreto e dos diversos fatores que interferem na durabilidade das estruturas, estudos relacionados ao tema contribuem para que não sejam construídas edificações que se tornem obsoletas em curto espaço de tempo. Como muitas pesquisas são realizadas através de ensaios em laboratório, é de fundamental importância para estimar a previsão do comportamento das estruturas de um determinado concreto, que estes resultados venham relacionados com a condição real em que a estrutura está exposta. Neste contexto, este tarbalho tem como objetivo estudar o efeito da carbonatação no processo de degradação natural de estruturas de concreto na cidade de Pelotas/RS.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado como metodologia o ensaio ao natural, através da exposição de 60 amostras no ambiente urbano, como forma de avaliar a real interação das estruturas de concreto com o meio agressivo ao longo do tempo. Os corpos-de-prova cilíndricos foram doados pela Construtora Schumann, sendo moldados no dia 28/05/2014 e expostos no ambiente urbano no dia 29/05/2014. Estes estão ilustrados na figura 1 e suas especificações estão descritas na tabela 1.



Figura 1 - Corpos-de-prova utilizados na realização do ensaio. Fonte:autora

Tabela 1 - Especificações dos corpos-de-prova utilizados no ensaio

Cilíndricos de 10x20 cm	
fck de 20 MPa	
Cimento CP IV -32 da Votoran	
Consumo de cimento de 350 Kg/m³	
Consumo de água de 210 l	
Sem aditivos	
Data da moldagem	28/05/2014
Data da retirada	29/05/2014

Foram implantadas 12 amostras em cinco diferentes locais da cidade de Pelotas/RS, considerados pontos estratégicos e determinados com auxilio da equipe de estudos urbanos da cidade, sendo estes: o Hotel Curi, localizado no centro da cidade; Campus Porto (Antigo Frigorífico Anglo), no bairro Porto; o Terminal Rodoviário, no bairro Fragata; Empresa São Marcos e Restaurante Santa Justina, ambos no bairro Três Vendas. A figura 2 mosta o ambiente em que as amostras foram expostas, enquanto que a figura 3 demonstra o mapeamento destes locais na cidade.



Figura 2: Locais em que as amostras foram expostas. (a) Restaurante Santa Justina (b) Campus Porto (c) Empresa São Marcos (d) Hotel Curi (e) Terminal Rodoviário. Fonte:autora



Figura 3: Mapeamento da localização dos corpos-de-prova na cidade de Pelotas/RS. Fonte: Google earth, adaptado pela autora.

As amostras foram expostas ao ambiente urbano por um período total de 16 meses, sendo a análise da carbonatação realizada a cada 4 meses com 3 amostras de cada localidade. A frente de carbonatação natural no concreto foi determinada através da técnica de aspersão de solução à base de fenolftaleína na face recém fraturada do concreto. Ao se utiizar essa substância, as regiões mais alcalinas (não carbonatadas e com pH ≥ 12) apresentam-se na cor vermelho carmim, enquanto as menos alcalinas (carbonatadas e com pH< 9) permanecem incolor.

3. RESULTADOS

Depois de completado o tempo em ambiente natural para a realização do ensaio de carbonatação, os corpos-de-prova foram levados ao laboratório, rompidos em prensa hidráulica, e feita a aplicação de solução à base de fenolfatleína. Foram feitos, então, registros fotográficos de todas as amostras, conforme ilustra a figura 4.



Figura 4 - Corpos-de-prova com tempo de exposição de 16 meses, após ensaio. Fonte: autora

Com o registro de cada corpo-de-prova para cada localidade, e com o auxílio do software Photoshop, a área degradada foi contornada. Após, a imagem foi inserida no programa gráfico AutoCad, sendo colocado em escala, utilizando-se como unidade o milímetro em conformidade com a real dimensão da amostra. No contorno feito anteriormente foram desenhadas linhas para que fossem obtidas as áreas de interesse. Com estas áreas delimitadas, foram feitas em seu interior medições da profundidade carbonatada através de linhas com afastamento de um milímetro, da face superior até a frente de carbonatação, sendo convencionado para este trabalho que somente as lateriais do corpo-de-prova seriam analisadas. A figura 5 ilustra este procedimento para um corpo-de-prova de cada localidade, enquanto a figura 6 exemplifica a área e as medidas das profundidades carbonatadas.

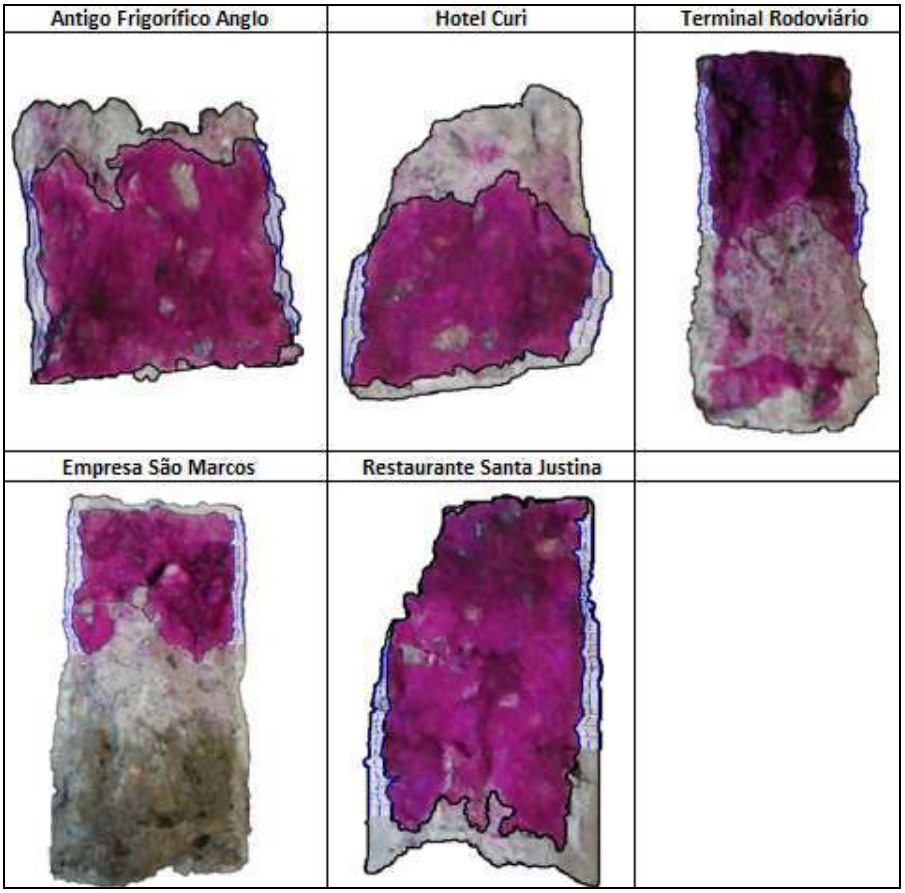

Figura 5 - Amostras após análise da profundidade carbonatada.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

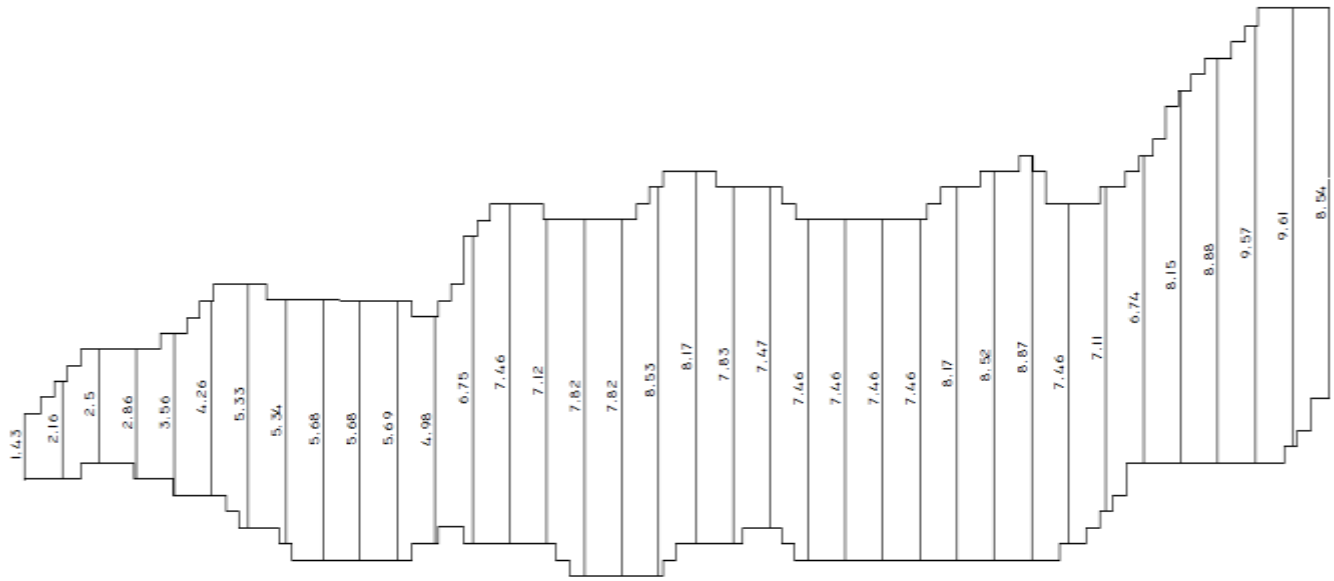

Figura 6 - Detalhe das medidas da profundidade carbonatada (mm).

Após a análise das amostras como demonstrado acima, foi possível identificar a profundidade de carbonatação, bem como a área degradada. Neste trabalho estão demonstradas a maior profundidade e a maior área degradada entre as 3 amostras retiradas e analisadas de cada localidade. As figuras 7 e 8 mostram estes valores, respectivamente, após 16 meses de exposição em ambiente urbano.

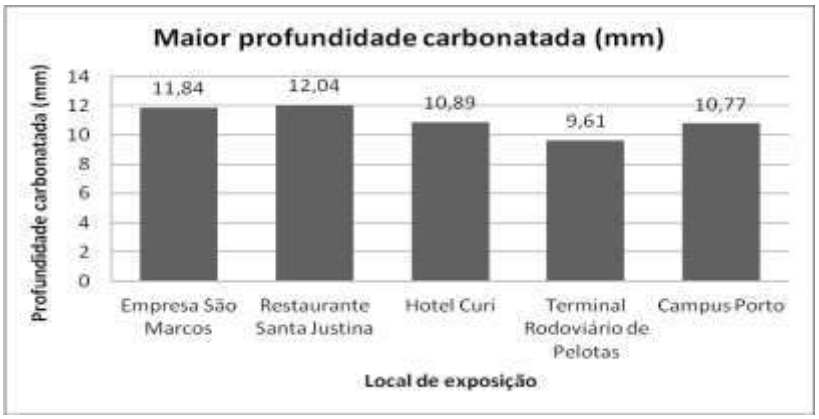

Figura 7 - Maior profundidade encontrada em cada local após 16 meses de exposição.

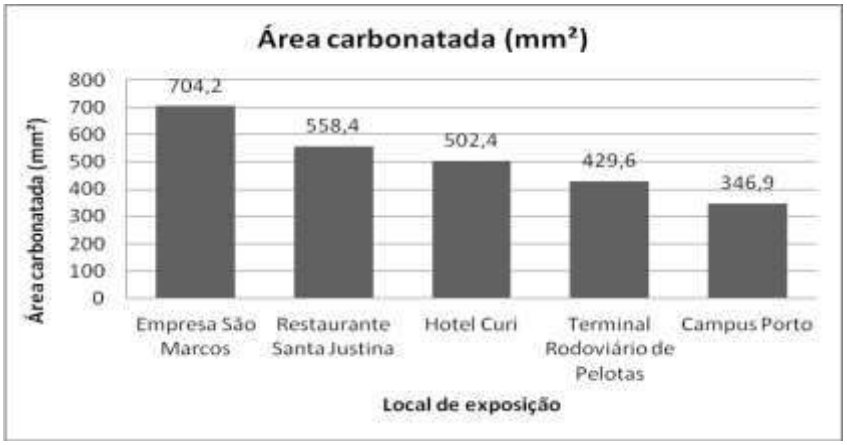

Figura 8 - Maior área carbonatada encontrada para cada local após 16 meses de exposição.

Baseado na figura acima, nota-se valores similares para a profundidade de carbonatação, sendo a menor profundidade encontrada de 9,61mm e a maior de 12,04mm, o equivalente a uma diferença de 20,2%. Já para a área carbonatada, a diferença é de 50,7% comparando a maior e menor área encontrada. Este fato pode se dar devido ao formato dos corpos-de-prova após o rompimento. Já em comparação com o cobrimento mínimo, que segundo a NBR 6118 [9] é de 25mm para laje e 30 mm para viga/pilar em ambiente urbano com risco de deterioração leve, a maior profundidade de carbonatação de 12,04mm possui uma diferença de 51,84% para o menor cobrimento e de 59,87% para o de viga/pilar. Percebe-se também que o menor valor encontado de 9,61mm mesmo possuindo diferença de 61,6% e 68% em relação ao cobrimento para laje e viga/pilar respectivamente, é um valor bastante expressivo, levando em conta o pouco tempo de exposição em que as amostras permaneceram em ambiente urbano.

Estes resultados para a profundidade de carbonatação e área carbonatada podem ser explicados pela influência das condições climáticas do ambiente de exposição na degradação do concreto. Segundo Cánovas [3], certos fatores mesmo que não sejam capazes de romper a passividade, podem após o processo desencadeado, acelerar o efeito corrosivo, aumentando a velocidade de corrosão. Os principais aceleradores são o oxigênio e a umidade, agindo conjuntamente e acima de uma determinada proporção. Esta para o oxigênio não está bem definida, mas sabe-se que para a umidade é estimada em aproximadamente 60%, de forma que umidade superior a essa origina fortes corrosões sempre que exista a presença de oxigênio. A cidade de Pelotas possui uma alta taxa de umidade, tendo uma média de 83,9% no período estudado, o que pode ter facilitado a velocidade da carbonatação. Este fato está demonstrado na figura 9, através de dados da umidade relativa do tempo em que as amostras ficaram expostas. Tais dados foram obtidos através do sítio eletrônico da Estação Agroclimatológica de Pelotas [10], localizada no Capão do Leão, que disponibiliza boletins diários e mensais de variáveis meteorológicas.

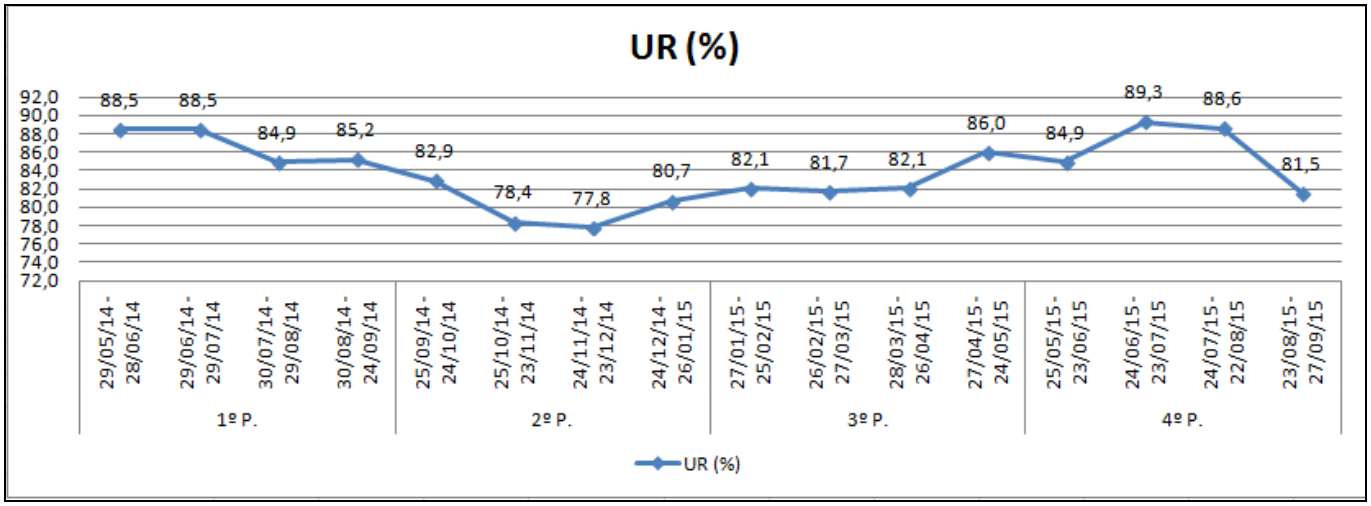

Figura 9 – Média da umidade relativa na cidade de Pelotas/RS no período do estudo em questão. Fonte:autora

4. CONCLUSÃO

Os ensaios realizados através de amostras expostas ao ambiente urbano obtiveram resultados muito significativos. O menor valor de profundidade carbonatada encontrado, mesmo possuindo uma diferença mais expressiva em relação ao cobrimento mínimo exigido por norma, mostrou-se um resultado bastante elevado, principalmente devido ao pouco tempo de exposição dos corpos-de-prova. Já em relação à área carbonatada, os resultados também se mostraram elevados, mesmo possuindo entre as diferentes localidades uma variação maior do que a encontrada na análise da frente de carbonatação.

Os resultados encontrados por este trabalho podem auxiliar para que se chegue a um padrão de carbonatação em estruturas de concreto na cidade de Pelotas, diferenciando-se pelos diferentes bairros em que as amostras foram expostas. Estes indicam também, a importância de estudos que utilizem o ensaio natural como metodologia, avaliando assim a real interação da estrutura com o ambiente, já que seu comportamento é diferenciado dependendo de onde esta será inserida.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

É, portanto, de fundamental importância a análise do comportamento do material ao longo do tempo, levando em consideração o ambiente em que este estará exposto, para que assim, se possa estimar a durabilidade de estruturas de concreto com uma maior precisão, evitando que sejam construídas edificações que se tornem obsoletas em curto espaço de tempo, principalmente devido ao ambiente em que estão inseridas.

5. REFERÊNCIAS

[1] Souza,V.;Ripper,T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.* São Paulo: Pini, 1998, 255p.

[2] Helene, P. "Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto". *Ambiente Construído*, São Paulo, 1997, v.1, n.2, pp..47-57.

[3] Cánovas, M.F. *Patologia e terapia do concreto armado*. São Paulo:Pini, 1988,522p.

[4] Possan, E. "Contribuição ao estudo da carbonatação do concreto com adição de sílica ativa em ambiente natural e acelerado". 2004. 155 f. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[5] Rocha, F.C. *et al.* "Influência da espessura de cobrimento e da contaminação po cloretos nas leituras de potencial de corrosão de armaduras." *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 2014 v.8, n.2, pp.43-53. Disponível em <https://revistas.ufg.br/index.php?journal=reec&page=article&op=view&path%5B%5D=26968&path%5B%5D=16463>. Acesso em 08 jan. 2016.

[6] Helene, P. Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo: Pini,1986,46p.

[7] Vaghetti, M.A. "Efeitos da cinza volante com cinza de casca de arroz ou sílica ativa sobre a carbonatação do concreto de cimento Portland." 1999.118f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria.

[8] Figueiredo, C. "Estudo da carbonatação em estruturas de concreto armado em Brasília – Avaliação de pilares." 2004. 240f. Tese (Doutorado em estruturas e construção civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.

[9] Associação Brasileira De Normas Técnicas. "Projeto de estruturas de concreto - Procedimento". *NBR 6118*. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

[10] Estação Agroclimatológica de Pelotas. *Boletim Agroclimatológico*. Disponível em <http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/boletim.php> Acessado em: 25.dez.2015.