DOI – http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2021.104.0008

A Rede Sibratec de Desempenho Habitacional e os ensaios interlaboratoriais no campo da durabilidade do concreto

OSWALDO CASCUDO – Doutor, Professor Titular
ANDRIELLI MORAIS DE OLIVEIRA – Doutora, Professora Adjunta
Universidade Federal de Goiás (UFG) – Escola de Engenharia Civil e Ambiental

1. INTRODUÇÃO

Apresentam-se, neste artigo, as ações realizadas nacionalmente no âmbito da Rede Sibratec de Desempenho Habitacional (RSDH) que envolvem os ensaios interlaboratoriais no contexto da durabilidade do concreto. A RSDH, criada a partir de um edital da FINEP e estruturada em nível nacional, é apresentada na sequência e, posteriormente, são detalhados os ensaios e as instituições parceiras envolvidas nos interlaboratoriais. Ensaios de migração de cloretos (em estado não estacionário) e de carbonatação acelerada são os dois ensaios de durabilidade selecionados para a ação, porque são métodos que propiciam aferir, de modo prático, a capacidade de proteção de concretos no tocante à ação nefasta de corrosão das armaduras, iniciada por cloretos ou carbonatação. Estes agentes iniciadores de corrosão expressam, respectivamente, os mecanismos preponderantes que ocorrem nas atmosferas marinha e urbana (ou urbana-industrial), tipicamente presentes na maioria das edificações e obras de arte brasileiras, em condições de serviço. Ao final, é destacado o papel da UFG na liderança desses interlaboratoriais e o protagonismo nacional do LABITECC – Laboratório de Inovação Tecnológica em Construção Civil/UFG na proposição de ensaios (básicos e especiais) de durabilidade do concreto.

2. APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DA REDE SIBRATEC

O Sistema Brasileiro de Tecnologia (SIBRATEC) tem como objetivo apoiar o desenvolvimento tecnológico das empresas brasileiras, bem como melhorar a qualidade dos produtos colocados nos mercados interno e externo, dando condições para o aumento da taxa de inovação dessas empresas e, assim, contribuindo para o aumento do valor agregado de faturamento, produtividade e competitividade no mercado [1].

Operado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) do Governo Federal, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), o SIBRATEC é um instrumento de articulação e aproximação da comunidade científica e tecnológica com as empresas. Seu vetor condutor é a demanda empresarial. Nesse sentido, as ações do Sistema buscam atender às necessidades de desenvolvimento tecnológico e implantar a cultura da inovação nas empresas brasileiras [1].

2.1 Rede Sibratec de Desempenho Habitacional – RSDH

O SIBRATEC é composto por redes temáticas que apoiam as demandas por serviços tecnológicos do setor produtivo. No caso em questão, o programa é responsável pela criação da Rede Sibratec de Desempenho Habitacional (RSDH), uma de suas redes temáticas e objeto das considerações constantes neste artigo. Esta rede foi estruturada a partir de recursos oriundos da Chamada pública 01/2014: MCTI/MCIDADES/FINEP/REDETEC, passando, atualmente, a se chamar: Rede de Serviços de

Desempenho Habitacional – RSDH (http://www.rsdh.org.br/) [1], tendo em vista o amadurecimento e a ampliação do seu escopo de atuação, como se comentará mais à frente. Apesar da denominação atual, o presente artigo se referirá à RSDH, ainda, como Rede Sibratec, por ser esta uma terminologia mais afeita e familiar ao universo da Revista CONCRETO & Construções, do IBRACON.

2.2 Composição e estruturação nacional da RSDH

A RSDH conta com 11 Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) brasileiras, que submeteram projetos e obtiveram aprovação no referido edital FINEP (Chamada Pública 01/2014), tendo algumas dessas instituições indicado mais de um laboratório para participação na Rede. Dessa forma, são 23 laboratórios associados que compõem a RSDH, como se tem detalhado no referido sítio eletrônico da RSDH [1]. Dentre as ICTs e laboratórios participantes, alguns deles têm reconhecida tradição e histórico nacional em prestação de serviços ao meio técnico-profissional, notadamente em ensaios de materiais, componentes e sistemas de construção. Outros laboratórios, embora exerçam, também, essa atividade de prestação de serviços ao meio externo, são laboratórios de universidades ou de instituições de pesquisa, que têm sua origem calcada na pesquisa (às vezes com atuação no ensino). Com a estruturação da Rede, tais laboratórios se adaptaram, passando a ter um "olhar" forte, também, para o mercado externo profissional.

Conforme a Figura 1, tem-se a distribuição no país das ICTs participantes da RSDH. Em termos de representação nacional, quatro das cinco regiões brasileiras estão representadas (só a Região Norte não tem representação), sendo São Paulo o Estado de maior participação (3 ICTs), seguido por Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2 ICTs) e pelos Estados da Bahia, Goiás, Paraná e Pernambuco, todos com uma ICT. Estados economicamente importantes como Rio de Janeiro, Minas Gerais e o Distrito Federal não submeteram projetos no edital, contudo se considera boa essa representação (por regiões brasileiras), que em geral reflete a infraestrutura nacional instalada de ensaios e competências na área da construção civil.

2.3 Missão, objetivos e escopo da RSDH

A RSDH tem como missão aprimorar e ampliar a infraestrutura nacional de apoio ao setor da construção civil, no que tange a serviços especializados no campo do desempenho das edificações. Fazem parte desses serviços: os ensaios de desempenho previstos na ABNT NBR 15575: 2013 (Edificações Habitacionais – Desempenho) [2], além de outros ensaios não previstos (mas pertinentes ao escopo temático); os serviços de consultoria e assessoria a empresas do setor (no contexto do desempenho de edificações); e as ações de qualificação e treinamento, tanto dentro de uma ótica formativa (de base) quanto informativa e de atualização.

Como consta no sítio eletrônico da RSDH [1], o objetivo geral do projeto é a estruturação de uma Rede de ICTs para o apoio às empresas na adequação à Norma de Desempenho (NBR 15575). São objetivos específicos da RSDH:

- Prestar serviços à cadeia produtiva da Construção Civil;
- Prover o SINAT de conhecimento técnico e apoio na avaliação técnica de produtos inovadores empregados na Construção Civil;
- Apoiar a Construção Civil na elevação do patamar de qualidade nos empreendimentos construídos no Brasil (aperfeiçoamento de materiais, sistemas e processos construtivos).

Com relação à atuação dos laboratórios, em especial quanto aos ensaios, a RSDH se organizou para conduzir os trabalhos dentro da seguinte lógica:

- Contribuir para a implantação do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025: 2017 (Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração) [3], para todos os laboratórios

Figura 1
Distribuição nacional das ICTs participantes da Rede Sibratec de Desempenho Habitacional (RSDH)

participantes que eventualmente não tivessem implantado esse sistema;

- Avançar nos programas interlaboratoriais, como os que se discutem no escopo deste documento, de forma a fomentar o trabalho em rede e a contribuir com a capacitação dos laboratórios nos ensaios previstos; e
- Apoiar as ICTs e laboratórios, a partir das duas ações anteriores, na acreditação de ensaios junto ao INMETRO (ou institutos de similar competência).

3. PROGRAMAS DE ENSAIO DE PROFICIÊNCIA EM DURABILIDADE DO CONCRETO – INTERLABORATORIAIS DE DURABILIDADE

No que tange ao escopo de durabilidade na NBR 15575 [2], não há ensaios previstos para o sistema estrutural em concreto. Com base em várias discussões dentro da RSDH, foram propostos, então, os ensaios de migração de cloretos (em regime não estacionário), segundo o método NT Build 492 [4], e de carbonatação acelerada do concreto, segundo a ISO 1920-12 [5], para integrarem os programas de ensaio de proficiência (PEPs) no campo da durabilidade do concreto. É de conhecimento no meio técnico-científico que o íon cloro (Cl^-) e o dióxido de carbono (CO_2), que produz carbonatação no concreto, são agentes deletérios que podem comprometer a vida útil e o desempenho de estruturas de concreto armado pelo desencadeamento de corrosão das armaduras. Dessa forma, trabalhar com esses dois métodos significa contribuir para consolidar no Brasil métodos de ensaio capazes de aferir a capacidade de proteção de concretos frente a dois dos mais importantes mecanismos iniciadores de corrosão das armaduras, agregando, assim, valor no campo da durabilidade de edificações. Espera-se, em futuras revisões da NBR 15575, que esses dois métodos possam ser incluídos no rol de ensaios dessa norma, no contexto da durabilidade dos sistemas estruturais em concreto.

Para a realização desses dois PEPs, a RSDH conta com dois parceiros importantes: a ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, que produzirá um concreto padronizado, com corpos de prova a serem encaminhados aos participantes dos PEPs; e o CCB - Centro Brasileiro de Cerâmica, que analisará os dados e produzirá os relatórios, sendo, então, a instituição provedora dos PEPs.

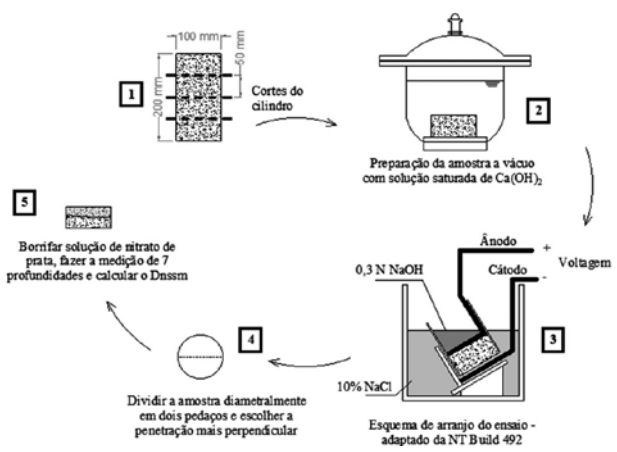

Figura 2
Desenho esquemático detalhando as etapas básicas do método NT Build 492

Será empregado um único concreto, comum aos dois PEPs (migração de cloretos e carbonatação acelerada), cuja composição terá o CP V – ARI, areia natural quartzosa e pedra britada de granito, sem adições minerais. Sua classe de resistência deverá ser C30 ou C35, com relação água/cimento superior a 0,5 e máxima de 0,55, consumo de cimento inserido na faixa de 320 a 400 kg/m^3 e classe de consistência S100 (100 ≤ Abatimento < 160 mm).

3.1 Ensaio de migração de cloretos – regime não estacionário

O coeficiente de migração de cloretos em estado não estacionário (D_{nss}), determinado pelo método norueguês NT Build 492 – NORDTEST [4], é um parâmetro para indicar a resistência do concreto à penetração de íons cloro. Este método é de curta duração (em geral 24 horas), de fácil execução em laboratório e o parâmetro obtido (D_{nss}), embora se origine de um processo acelerado, com efeito tem relação direta com o transporte iônico de cloretos no concreto. Tal parâmetro, com as devidas considerações, pode também ser empregado como um dado de entrada em modelos preditivos de vida útil das estruturas de concreto. No Brasil, não há método padronizado para este ensaio e ele consiste, basicamente, em aplicar uma voltagem elétrica para forçar os cloretos em solução a migrarem através do concreto. A magnitude do coeficiente de migração expressa a facilidade (ou não) dos íons Cl^- atravessarem o corpo de prova de concreto em análise. A literatura relata outros métodos para se determinar a penetração e o transporte de cloretos, com diferentes princípios [6-8]. Dentre estes métodos,

o da ASTM C 1202 [8] é o mais amplamente conhecido; contudo, uma observação negativa em relação a ele é o uso de altas voltagens para induzir o transporte rápido de cloretos (60 V). Outro aspecto também não tão positivo é o fato dele não produzir, a rigor, um parâmetro diretamente associado ao transporte de massa (como o da NT Build 492), já que sua avaliação se dá de forma indireta, por meio da magnitude da carga elétrica que atravessa o meio poroso (concreto). A Figura 2 apresenta, de forma esquemática, as 5 etapas básicas do ensaio de migração de cloretos pela NT Build 492 [4].

Após a execução do processo de migração, que para a maioria dos concretos é finalizada com 24 horas, o corpo de prova é retirado do aparato de ensaio (Fig. 2 – Etapa 3) e levado a uma prensa, onde se promove sua ruptura – com divisão diametral em duas partes (Fig. 2 – Etapa 4). Em cada face de ruptura, asperge-se uma solução 0,1 M de nitrato de prata ($AgNO_3$), visando-se determinar a profundidade de penetração de cloretos, em mm (Fig. 2 – Etapa 5). O coeficiente de migração em estado não estacionário (D_{nss}) é calculado empregando-se a Equação (1) simplificada.

[1]

$$D_{nss} = \frac{0{,}0239\,(273+T)L}{(U-2)t}\left(x_d - 0{,}0238\sqrt{\frac{(273+T)L\,x_d}{U-2}}\right)$$

Em que:

D_{nss} = coeficiente de migração em estado não estacionário ($x10^{-12}$ m²/s);

U = valor absoluto da voltagem aplicada (V);

T = média das temperaturas inicial e final da solução anódica (°C);

L = espessura média da amostra (mm), obtida de 3 medidas;

x_d = valor médio da profundidade de penetração (mm), obtido de 7 medidas; e

t = tempo de duração do ensaio (horas).

A Figura 3 ilustra o ensaio em execução e a Figura 4 mostra detalhes da medição (com paquímetro), bem como ressalta a frente de cloretos com uma coloração prateada, tipicamente formada a partir da precipitação do cloreto de prata após a aspersão do indicador. O Quadro 1 destaca os critérios de avaliação apresentados por Gjørv [9], contendo uma proposta de classificação de concretos com base em sua resistência à penetração de cloretos.

Figura 3
Ilustração do ensaio de migração de cloretos sendo realizado, com 4 amostras sendo ensaiadas ao mesmo tempo

3.2 Ensaio de carbonatação acelerada

O coeficiente de carbonatação acelerada do concreto (K_c) também é um importante indicador de durabilidade. No Brasil, ainda não há um método normatizado que padronize o ensaio de carbonatação acelerada, de maneira que os ensaios são realizados com base em normas internacionais ou definidos conforme as especificidades dos projetos de pesquisa. No que se refere a normas internacionais, várias metodologias são conhecidas, podendo-se destacar os métodos da ISO 1920-12 [5], da NF EN 13295 [10] e da XP P 18-458 [11]. Ao mesmo tempo, cada uma dessas normas recomenda o seu próprio precondicionamento, de modo que o concreto possa iniciar o ensaio de carbonatação em condições

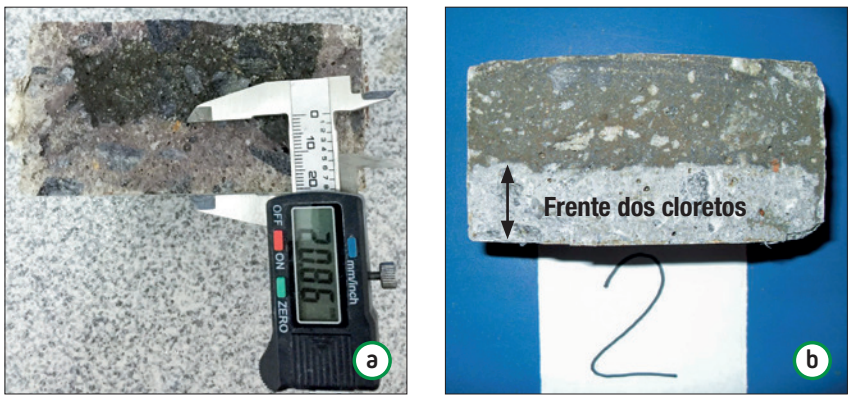

Figura 4
Detalhe da medida da frente de cloretos, com paquímetro (a), e destaque para o aspecto em coloração prateada da frente de Cl^- (b)

▶ **Quadro 1 – Classes de resistência à penetração de cloretos propostas por Gjørv [9], com base no coeficiente de migração de cloretos segundo a NT Build 492 [4]**

Coeficiente de migração de cloretos em estado não estacionário – D_{nss}	Classes de resistência à penetração de cloretos
$D_{nss} \geq 15 \times 10^{-12}$ m²/s	Reduzida
10×10^{-12} m²/s < D_{nss} < 15×10^{-12} m²/s	Moderada
5×10^{-12} m²/s < $D_{nss} \leq 10 \times 10^{-12}$ m²/s	Elevada
$2{,}5 \times 10^{-12}$ m²/s < $D_{nss} \leq 5 \times 10^{-12}$ m²/s	Muito elevada
$D_{nss} \leq 2{,}5 \times 10^{-12}$ m²/s	Ultra elevada

apropriadas quanto à sua umidade interna, já que esta é uma variável importante no processo indutivo de carbonatação.

Após discussões internas no âmbito da RSDH, optou-se por utilizar o método ISO 1920-12 [5] para o PEP de carbonatação acelerada. Este método preconiza um corpo de prova (CP) cúbico de 10 cm de lado ou um CP prismático com dimensões de 10 cm x 10 cm x 40 cm. Este último corpo de prova será o empregado neste PEP. As condições de precondicionamento e do ensaio de carbonatação em si, segundo o referido método, são as seguintes:

- **Precondicionamento:** manutenção dos CPs em cura úmida por 28 dias. Após este período de cura, os CPs devem permanecer em uma câmara climática com umidade relativa de (60 ± 10)% e temperatura na faixa de 19 a 28°C, por um período de 14 dias;
- **Ensaio de carbonatação acelerada:** inserção dos CPs por 70 dias em uma câmara de carbonatação com os seguintes parâmetros: concentração volumétrica de CO_2 igual a (3 ± 0,5)%, umidade relativa de (55 ± 5)% e temperatura de (22 ± 2)°C.

Após o processo de indução da carbonatação, previsto para um máximo de 70 dias, procede-se à ruptura parcial do prisma no sentido transversal (em relação ao comprimento), fazendo-se a aspersão de um indicador à base de fenolftaleína nas duas faces fraturadas, por meio de procedimento padronizado. O método prevê medidas a 56, 63 e 70 dias de carbonatação na câmara, sendo o resultado representativo de cada idade uma média da espessura carbonatada de 10 medidas individuais para cada corpo de prova (5 medidas em cada face fraturada), num total de 2 CPs por situação. Isto gera 20 medidas individuais para se obter a média, em cada idade. A espessura média carbonatada, no período de 70 dias de carbonatação, representa o resultado final do ensaio. Como se têm as espessuras médias (e_c) ao longo do tempo - em 3 idades de carbonatação – e os tempos de ensaio (t), pode-se calcular o coeficiente de carbonatação acelerada, segundo o modelo de Tuutti: $e_c = K_c \cdot \sqrt{t}$, em que K_c é o coeficiente de carbonatação acelerada (em mm/√ano). Este parâmetro é considerado um efetivo indicador de durabilidade, uma vez que expressa a maior ou menor facilidade de avanço da frente de carbonatação.

A Figura 5 dá uma visão geral da câmara de carbonatação e a Figura 6 ressalta o ambiente interno, com corpos de prova inseridos nela, bem como detalhes do painel automatizado da câmara a ser utilizada.

▶ **Figura 5**
Câmara climática utilizada no LABITECC – UFG, com controle automatizado de temperatura, umidade e teor de CO_2

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O LABITECC – Laboratório de Inovação Tecnológica em Construção Civil – da UFG, um dos laboratórios participantes da RSDH, possui atualmente uma das infraestruturas mais importantes do país para as análises e estudos em durabilidade do concreto. Com associações corporativas à RILEM (*International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures*) e ao ACI (*American Concrete Institute*), o LABITECC foi indicado para liderar esses dois PEPs por possuir expertise e vivência no assunto. Em seu Laboratório de Durabilidade e Corrosão, pratica-se uma vasta gama de ensaios voltada à durabilidade, a saber: três diferentes métodos de avaliação da permeabilidade do concreto (Cembureau/Rilem, Torrent e Figg), duas diferentes medidas de resistividade (superficial e volumétrica), quatro diferentes

métodos de transporte de cloretos (NT Build 492, NT Build 443, LMDC/INSA e ASTM C 1202) – além da determinação de cloretos por potenciometria – e estudos gerais de carbonatação (com duas câmaras disponíveis) e de envelhecimento em câmara de névoa salina. Em termos de corrosão, dois potenciostatos diferentes propiciam a realização de estudos aprofundados no tema, por meio de técnicas eletroquímicas; em campo, equipamentos para inspeção que utilizam as técnicas de potencial de corrosão, resistência de polarização (Gecor) e pacometria são disponíveis. Além disso, o Laboratório de Ensaios Não-Destrutivos emprega, em complemento às técnicas básicas, análises sofisticadas como o uso de radar (GPR), tomografia por ultrassom, ressonância magnética, termografia infravermelha e uso de drone, entre outras.

No momento, o LABITECC/UFG e o CCB (provedor dos PEPs) emitiram carta-convite aos parceiros da RSDH para início do interlaboratorial de migração de cloretos, cujos corpos de prova já foram produzidos pela ABCP. O PEP de carbonatação está previsto para o primeiro semestre de 2022. Na sequência desses interlaboratoriais, as ICTs participantes demandarão ao INMETRO a acreditação dos referidos ensaios.

Importa ressaltar, por fim, no contexto dos ensaios de durabilidade do concreto, uma ação relevante ocorrida recentemente no IBRACON, que foi a produção de cinco práticas recomendadas elaboradas no âmbito do Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702. Essas práticas, esforço de um conjunto importante de pesquisadores e especialistas sobre o tema no Brasil, enfocam os dois métodos preconizados nos PEPs deste artigo, além de outros, promovendo uma análise crítica sobre os ensaios e sobre os parâmetros obtidos. Com ênfase na penetração, transporte e avaliação de cloretos e nos ensaios de carbonatação acelerada e natural, assim como nas determinações da resistividade elétrica e dos potenciais de corrosão, as "Práticas Recomendadas" do IBRACON contribuem para iniciar um processo voltado à normalização técnica de ensaios de durabilidade do concreto no Brasil, que deve se efetivar futuramente no seio da ABNT.

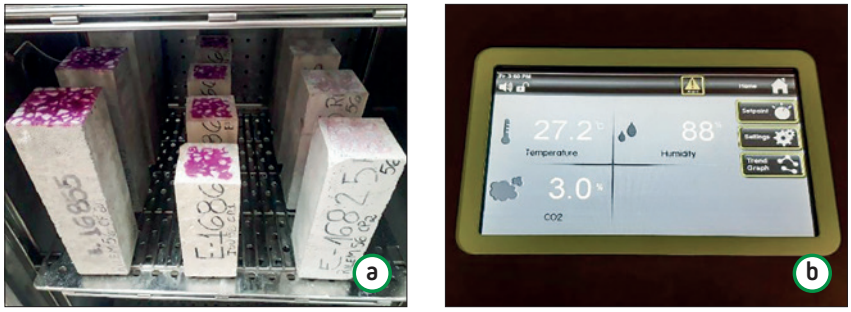

Figura 6
Visão interna da câmara de carbonatação, com os CPs prismáticos inseridos nela (a); e detalhe do painel frontal de controle dos parâmetros da câmara (b)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SIBRATEC. Rede de Serviços de Desempenho Habitacional, 2021. Disponível em: http://www.rsdh.org.br/sobre-nos/. Acesso em: 22 ago. 2021.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 3: requisitos para os sistemas estruturais. Rio de janeiro: ABNT, 2013.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/EIC 17025: requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

[4] NORDTEST. NT BUILD 492: Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. Finland: NORDTEST, 1999.

[5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1920-12: testing of concrete - Part 12: determination of the carbonation resistance of concrete: accelerated carbonation method. Switzerland: ISO, 2015.

[6] NORDTEST. NT BUILD 443: Concrete, Hardened: accelerated chloride penetration. Finland: NORDTEST, 1995.

[7] CASCUDO, O.; CARASEK, H.; YSSORCHE-CUBAYNES, M. P.; LOPES, A. N.; OLLIVIER, J. P. Evaluation of cover concrete by analysis of chloride diffusion coefficients. Special Publication ACI, v. 229, p.135-150, 2005.

[8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM C 1202-19: Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration. West Conshohocken: ASTM International: 2019.

[9] GJØRV, O. E. Service life of concrete structures and performance-based quality control. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON INNOVATIONS IN CONCRETE MATERIALS. Proceedings… Whistler, Canada, 2001, 13 p.

[10] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. AFNOR NF EN 13295: produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d›essai: détermination de la résistance à la carbonatation. Saint-Denis: AFNOR, 2004.

[11] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. AFNOR XP P 18-458: essai pour béton durci - Essai de carbonatation accélérée: mesure de l'épaisseur de béton carbonaté. Toulouse: AFNOR, 2008.