

# CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETOS TRATADOS COM PRODUTOS CRISTALIZANTES PARA IMPERMEABILIZAÇÃO DE PISCINAS COM TRATAMENTO DE ÁGUA A BASE DE CLORETO DE SÓDIO

Janderson William Raisdorfer (Mestrando em Engenharia de Construção Civil) E-mail: janderwr@gmail.com

Alyson Socher Paim (Engenheiro Civil) E-mail: alyson\_paim88@hotmail.com

Ícaro Mariani Ribeiro dos Santos (Engenheiro Civil) E-mail: icaromrs@hotmail.com

Eduardo Pereira (Professor – Universidade Estadual de Ponta Grossa) E-mail: eduardopereira@uepg.br

Marcelo Henrique Farias de Medeiros (Professor – Universidade Federal do Paraná) E-mail: medeiros.ufpr@gmail.com

**Resumo:** Uma das grandes preocupações da construção civil é impedir a percolação de água nas estruturas, evitando danos à armadura e outras manifestações patológicas. Uma alternativa aos procedimentos de impermeabilização convencionais é a utilização de cristalizantes que atuam nas estruturas através de um processo físico-químico de preenchimentos dos poros do concreto. O objetivo deste trabalho é investigar a eficiência de cristalizantes em impermeabilizar uma piscina com 1,80 m de coluna de água. Para o estudo foram moldados corpos de prova de concreto cilíndricos e prismáticos, sendo o primeiro para ensaios de compressão normal, tração por compressão diametral e penetração de cloretos e o segundo para o estudo da permeabilidade do concreto. Os bloqueadores foram inseridos no concreto adicionado a massa de concreto fresco e através de impregnação da superfície do concreto endurecido. O ensaio de permeabilidade utilizado foi desenvolvido por estes pesquisadores e consiste em submeter os corpos de prova a uma coluna de água de 1,80 m de altura, buscando-se simular a condição de obra. Os resultados demonstram que os concretos com adição de cristalizantes, em comparação a um concreto de referência, apresentaram um aumento de resistências à compressão (8%) e à tração (10%) provavelmente pela diminuição da porosidade devido à presença dos bloqueadores de poros. Na resistência à penetração de cloretos, os produtos a base de silicato de sódio não se mostraram eficientes em reduzir a penetração de íons cloretos no concreto. Quanto à permeabilidade, os concretos de referência apresentaram maior absorção. Nos concretos com cristalizantes verificou-se que ambas as formas de inserção dos bloqueadores (na composição e por impregnação) são eficientes.

**Palavras-chave:** Concreto, Silicato de sódio, bloqueadores de poros, Impermeabilização.

## CHARACTERIZATION OF CONCRETE WITH PORE BLOCKERS IN POOLS TREATED WITH SODIUM CHLORIDE

**Abstract:** An important task of the construction is to prevent percolation of water in reinforced concrete structures, avoiding damage to the steel bars and other pathological manifestations. An alternative to procedures conventional waterproofing is to use pore blockers acting on structures by a physicochemical process that fills the microstructural pores of the concrete. The aim of this paper is to investigate the efficiency of pore blockers such as waterproofing in a pool with 1.80 m of water column. For the experiment, cylindrical and prismatic concrete specimens were molded. The cylindrical ones were used for the compression tests, tensile strength by diametral compression and chloride penetration. The prismatic specimens were used to study the permeability of the concrete treated with the pore blockers. The pore blockers were inserted in the concrete added to the fresh concrete and by impregnating the surface of the hardened concrete. The permeability test used in this paper was developed by these researchers and involves submitting the specimens to a water column of 1.80 m, trying to simulate the condition of work of waterproofing. The results show that the concrete with the addition of pore blockers in its composition, as compared with a reference concrete, had an increased resistance to compression (8%) and tensile strength (10%), probably by reducing the porosity of the concrete due the presence of blocking pores. Resistance to penetration by chlorides, products based on sodium silicate have not proved effective in reducing the penetration of chloride ions in the concrete. As to permeability, the reference concrete had higher absorption. The both kinds of insertion of the pore blockers in concrete showed efficient.

**Keywords:** Concrete, Sodium Silicate, Pore-blocking products, Waterproofing.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações da construção civil é impedir a percolação de água nas estruturas, evitando danos à armadura do concreto e ataques às alvenarias e revestimentos. Sem os devidos cuidados na impermeabilização, a estrutura pode sofrer com a umidade, fungos e mofos, diminuindo a vida útil da edificação. A própria água pode agir como meio de degradação nas peças de concreto servindo de veículo condutor de agentes agressivos ou carreamento de produtos provenientes da hidratação do cimento.

Para piscinas e reservatórios, estes cuidados com a impermeabilização são de suma importância para a durabilidade da estrutura, uma vez que se os devidos cuidados não forem tomados, os custos de reparos serão muito maiores. As piscinas de concreto quando não tratadas da maneira correta, geram percolações de água, danificando o interior da estrutura e gerando manifestações patológicas, as quais demandam elevados custos com reparos. A Figura 1 apresenta uma perspectiva comparativa de custos para planejamento da impermeabilização durante a fase de projeto até o surgimento de manifestações patológicas e a necessidade de reparos, demonstrando que os custos incorporados a um projeto inadequado e a necessidade de reparos podem ser até 15 vezes maior do que os custos para resolução do problema ainda em fase de projetos, utilizando as soluções construtivas adequadas.

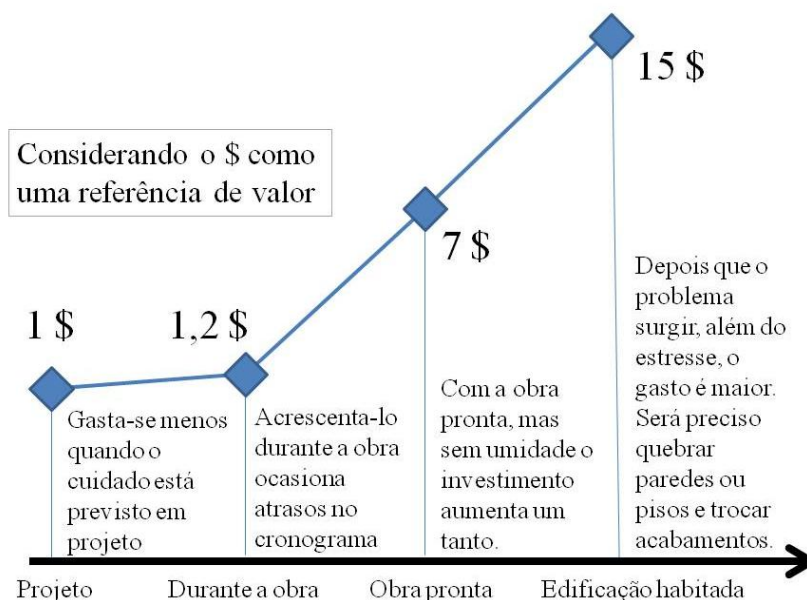


Figura 1: Custo da impermeabilização versus Quando é executado (Revista Arquitetura e Construção, 2005).

Por isso, realizar a impermeabilização é imprescindível para garantir a vida útil, a qualidade e a segurança das edificações. Desse modo, é importante definir o método adequado para evitar problemas futuros, como eflorescências, vazamentos e trincas, além de gastos adicionais que podem representar até 20% do valor total da construção (METALICA, 2011).

A proposição deste trabalho foi inspirada no artigo de Henche e Medeiros (2011) que em uma atividade de consultoria inspecionaram uma piscina aquecida de uma academia situada na região metropolitana de Curitiba, que devido ao fim da vida útil do sistema de impermeabilização usado na construção inicial, teve desencadeado o aparecimento de inúmeras manifestações patológicas que acabaram por gerar sua interdição e consequente necessidade de altos gastos com reparos. A Figura 2 ilustra o estado em que a referida piscina estava no momento da inspeção realizada entre novembro de 2010 e janeiro de 2011 apresentando eflorescências e estalactites abaixo da mesma (verificadas por se tratar de uma piscina suspensa) e corrosão de armadura nos pilares de sustentação da piscina.

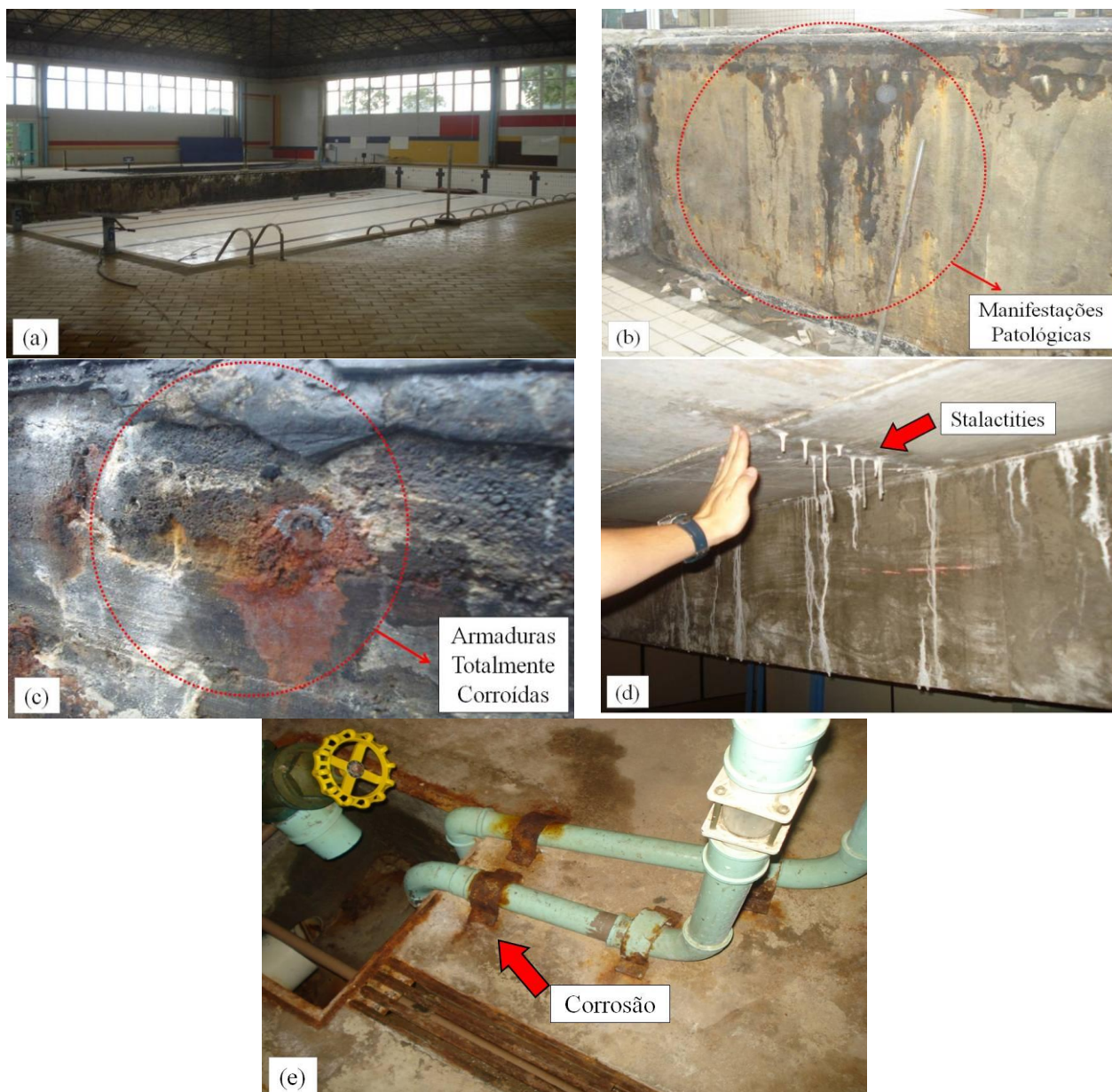


Figura 2: (a) Piscina que inspirou este trabalho; (b) Manifestações patológicas geradas pela infiltração da água no concreto; (c) corrosão da armadura; (d) estalactites de até 15 cm na parte inferior da estrutura suspensa; (e) corrosão das tubulações do sistema de tratamento.

### 1.1 Levantamento da intensidade do tratamento de água de piscinas com NaCl

Uma questão que causou estranheza durante a inspeção da piscina citada na introdução foi a constatação de que o método de tratamento da água das piscinas é a base de NaCl, e sabe-se que quando esta solução salina penetra no interior da estrutura, pode desencadear corrosão de armaduras. Após a constatação de que a piscina em concreto armado inspecionada tem sua água tratada com NaCl e do relato de que esta é uma prática comum em outros estabelecimentos, optou-se por realizar um levantamento na região metropolitana de Curitiba para formalizar em porcentagens o grau de utilização deste tratamento em piscinas.

Com este intuito, fez-se uma pesquisa de campo consultando um total de 38 estabelecimentos que possuem piscinas. A amostragem foi realizada de forma aleatória e o levantamento compreendeu clubes e academias de natação da cidade de Curitiba e região metropolitana. A Figura 3 apresenta os tipos de tratamento e de estrutura da piscina, sendo ainda possível se ver como a amostragem está distribuída no perímetro da região metropolitana de Curitiba.



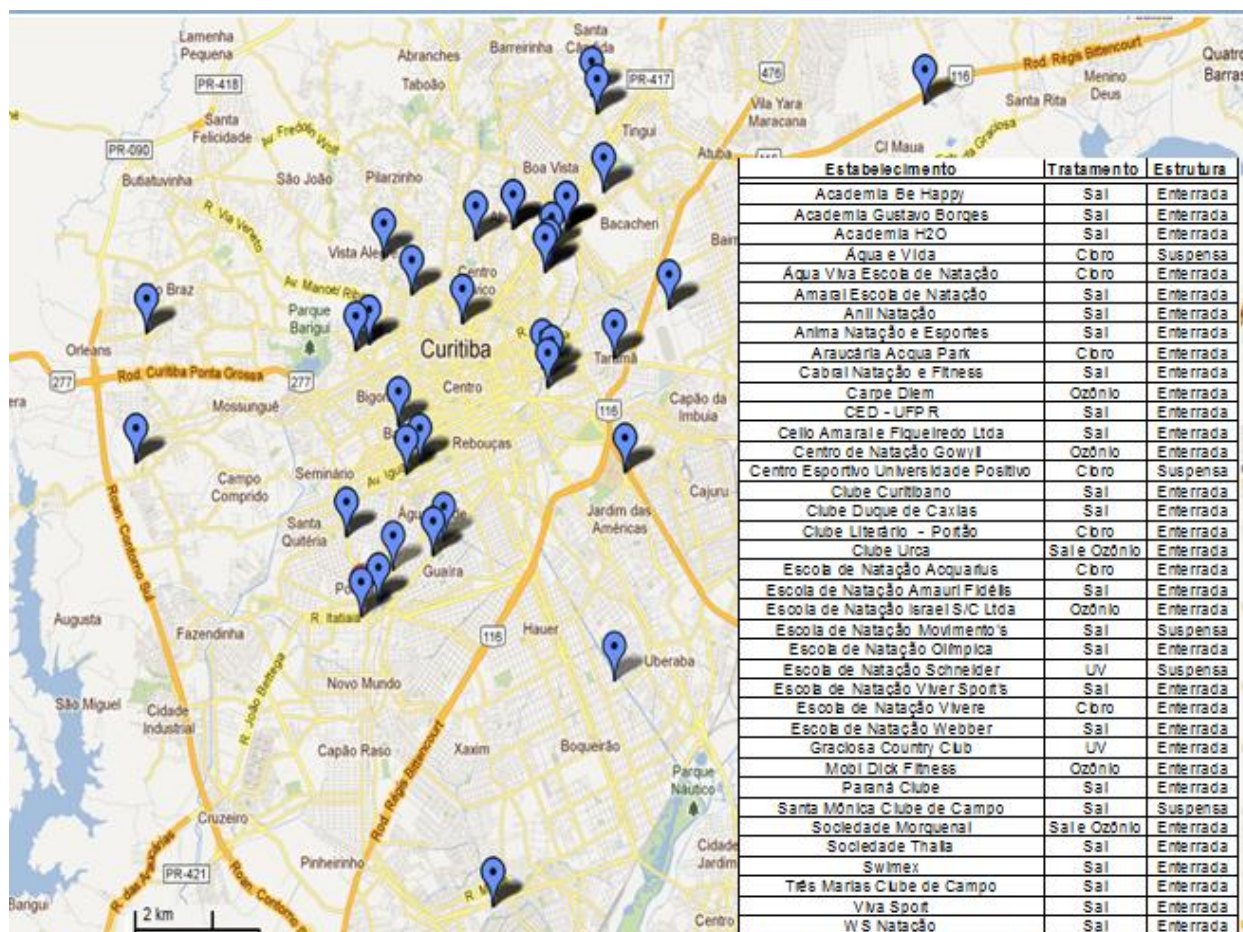


Figura 3: Amostragem da pesquisa sobre tipos de tratamentos de água em piscinas da região metropolitana de Curitiba.

Os resultados permitiram traçar um panorama da situação atual dos tratamentos utilizados pelos estabelecimentos (ver Figura 4). Segundo os dados coletados pela equipe, verificou-se que 61% das piscinas comerciais de Curitiba usam o tratamento de água com sal (NaCl) enquanto o segundo tipo de tratamento empregado é o cloro com apenas 18% das utilizações. Baseado neste levantamento, ficou evidente que a maioria das piscinas do levantamento em Curitiba é tratada com NaCl.

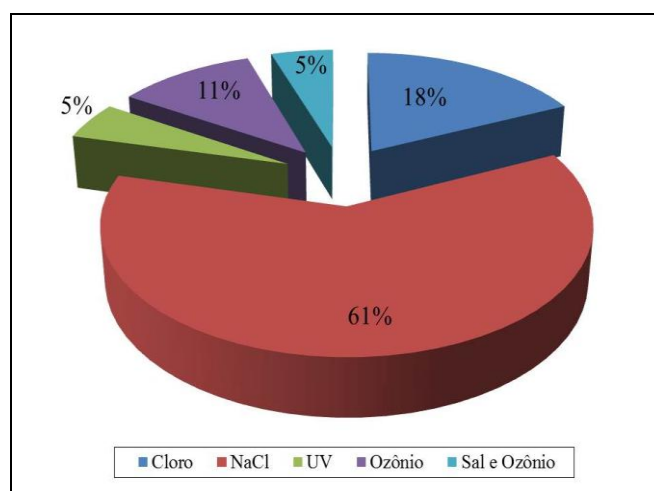


Figura 4: Percentual dos tipos de tratamento adotado nas piscinas comerciais de Curitiba.

A opção pelo uso do NaCl para o tratamento de água deve-se basicamente ao seu baixo custo e boa eficiência no tratamento da água. Porém, ao optar-se por este tipo de tratamento de água não se deve apenas levar em conta a eficiência do método em purificar a água, mas sim a agressividade que este tratamento irá criar na região ao redor da piscina ou sobre a estrutura de concreto armado que compõem este elemento.

Sabe-se que a corrosão por cloretos é um dos processos de deterioração do concreto armado que possuem consequências alarmantes afetando sobremaneira sua durabilidade. Desse modo, a troca de tratamento da água da piscina deve ser feita mediante a consulta de um engenheiro civil, de preferência especializado na área de durabilidade e reabilitação de estruturas de concreto armado, que deve considerar todas as mudanças de agressividade ambiente que podem ser geradas com o novo tratamento.

No caso do NaCl, é claro que isso vai gerar uma atmosfera salina nos pilares adjacentes no nível da piscina, que pode ser agravada no caso de piscinas aquecidas, onde existirá uma grande taxa de evaporação provocando o surgimento de um ambiente semelhante ao da névoa salina provocada pelo mar e tão agressivo aos metais. Se a piscina for coberta e aquecida a situação é ainda pior devido ao confinamento da atmosfera salina. Além disso, no caso de falha do sistema de impermeabilização e penetração da água da piscina no concreto armado, a contaminação e velocidade de corrosão instalada devem ser preocupantes.

## **1.2 Impermeabilização de piscinas com água tratada com NaCl: o caso real**

Existem no Brasil diversos produtos impermeabilizantes, de qualidade e desempenho variáveis, de diversas origens e métodos de aplicação, normalizados ou não, que devem ter suas características profundamente estudadas, para permitir a escolha de um adequado sistema de impermeabilização. Deve-se sempre procurar conhecer todos os parâmetros técnicos e ações físicas e químicas envolvidas no processo para a escolha adequada do sistema impermeabilizante (RIGHI, 2009).

O fato é que a piscina inspecionada por Medeiros e Henche (2011) utilizava tratamento de impermeabilização por mantas asfálticas, que estava com sua vida útil finalizada e foi necessária a especificação de um novo sistema de impermeabilização que fosse eficiente não somente na capacidade de controlar a permeabilidade, mas também conter a penetração de cloretos na estrutura de concreto armado proveniente do tratamento da água da piscina.

Durante a etapa de tomada de decisões cogitou-se como opção de reconstituição do sistema de impermeabilização da piscina estudada o uso de polímeros cristalizantes a base de silicatos de sódio. Por ser uma opção de uso não consagrado e um sistema rígido de impermeabilização, a equipe de inspeção colocou em dúvida este tipo de tratamento e não o especificou para a recuperação na parte interna da piscina. Porém, considera-se que o produto merece ser mais pesquisado para fundamentar outras especificações em casos práticos que venham a surgir no futuro.

Baseado no exposto, este estudo busca estudar a viabilidade do uso de polímeros cristalizantes como solução de impermeabilização em piscinas onde o tratamento de água é feito com NaCl. Para isto, procedeu-se em laboratório ensaios de caracterização da eficiência de concretos tratados com o silicato de sódio tanto na capacidade de impermeabilizar superfícies de concreto quanto na capacidade de conter a penetração de cloretos nestas estruturas.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para avaliar a eficiência dos produtos cristalizantes como solução de impermeabilização de piscinas procedeu-se a moldagem de corpos de prova de concreto cilíndricos de 10 x 20 cm e cúbicos de 15 x 15 x 15 cm.

O primeiro tipo de molde gerou corpos de prova para medir a resistência à compressão, à tração por compressão diametral e para testar a resistência do concreto à penetração de cloretos, já o segundo tipo de molde gerou corpos de prova para testar a permeabilidade do concreto submetido a uma coluna d'água de 180 cm (coluna d'água presente na piscina estudada).

O concreto estudado foi moldado com e sem a adição de silicatos de sódio (cristalizantes) em sua mistura, sendo ainda nos ensaios de cloretos e permeabilidade testada a solução de impregnação superficial do concreto com os cristalizantes. A Figura 5 representa um esquema do planejamento experimental usado neste artigo.

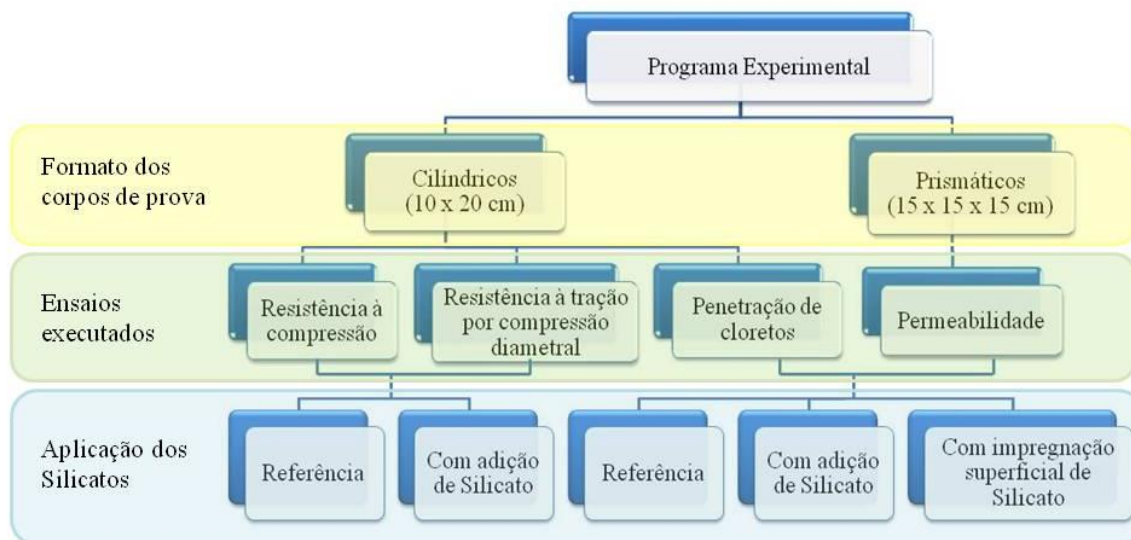


Figura 5: Fluxograma do planejamento experimental.

### 2.1 Concretagem e preparação dos corpos de prova

Foram moldados concretos com e sem a adição de silicato de sódio em sua mistura. O concreto de referência seguiu traços pré-definidos para um concreto com fck de 35 MPa. A outra série de ensaios consistiu no mesmo traço do concreto de referência com a introdução do aditivo a base de silicato de sódio no momento do amassamento. O traço básico utilizado nas moldagens foi de 1 kg de cimento para: 1,575 kg de areia industrial; 0,647 kg de areia natural; 2,719 kg de brita 1; 0,487 kg de água e 0,8% de aditivo superplastificante. Nos traços com adição de polímeros cristalizantes este material foi adicionado às misturas em uma proporção de 3% em relação à massa do cimento.

O cimento utilizado para a realização do experimento foi um cimento composto com fíler (CPII-F 32). A caracterização física e química do cimento empregado se encontra na Tabela 1. O aditivo superplastificante usado foi um aditivo polifuncional Mira 958 da fabricante Grace.

Tabela 1: Composição química e propriedades físicas e mecânicas do cimento.

Composição Química (%)										
Cimento	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Perda ao fogo	CaO livre	Resíduo Insolúvel	Equivalente alcalino
CPII F 32	4,04	18,18	2,45	59,45	5,16	2,81	5,72	0,92	1,86	0,62
Propriedades Físicas										
Cimento	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Finura			Tempo de Pega		Resistência à Compressão			
		Blaine	#200	#325	Início	Fim	3 dias	7 dias	28 dias	
	Cm <sup>2</sup> /g	%	%	h: min.	h: min.	MPa	MPa	MPa		
CPII F 32	3,11	3,542	3,76	16,55	03:08	03:49	27,3	34,0	44,0	



O abatimento determinado para os concretos foi de  $200 \pm 10$  mm. Ambos os concretos encontraram-se nesta faixa, sendo que o concreto sem adição obteve abatimento de 210 mm e o concreto com adição de silicato de sódio apresentou abatimento de 200 mm. Apesar desta pequena diferença entre os abatimentos, pode-se concluir que a adição do produto cristalizante não alterou a fluidez no concreto ensaiado.

O adensamento do concreto nas formas foi feito em camada única com auxílio de uma mesa vibratória durante 10 segundos. Depois de adensados, os corpos de prova foram cobertos com uma película plástica por um período de 24h. No dia seguinte à concretagem, foi feita a desforma dos corpos de prova e os mesmos foram colocados na câmara úmida (95% de umidade relativa e  $23 \pm 2$  °C de temperatura) conforme NBR 5738 (ABNT, 2003), para serem curados durante 28 dias.

## **2.2 Resistência à Compressão Normal e tração por compressão diametral**

Os corpos de prova cilíndricos foram ensaiados à compressão simples, utilizando-se uma prensa EMIC, com controle de velocidade de aplicação de carga. Os procedimentos adotados neste ensaio estão descritos na NBR 5739 (ABNT, 1994) - método de ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto. Para o capeamento dos corpos de prova foi utilizado pasta de enxofre. Para este ensaio foram utilizados 6 corpos de prova no total, sendo 3 moldados com o concreto de referência e os outros 3 corpos de prova moldados com o composto de silicato de sódio misturado ao concreto.

Para os ensaios de tração por compressão diametral utilizou-se a NBR 7222 (ABNT, 1994), sendo moldados 4 corpos de prova no total, 2 para o concreto referência e os outros 2 para o caso do concreto misturado ao composto de silicato de sódio.

Para a realização deste ensaio, os corpos de prova foram inseridos entre os pratos da prensa apoiados entre duas tiras de chapas duras de fibra de madeira, conforme especificado na NBR 10024 (ABNT, 1973), com comprimento igual ao da geratriz do corpo de prova. A carga foi aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de  $(0,05 \pm 0,02)$  MPa/s, até a ruptura do corpo de prova. O equipamento utilizado para execução destes ensaios foi o mesmo do ensaio de resistência a compressão.

## **2.3 Ensaio de permeabilidade do concreto**

Para medir a permeabilidade do concreto com e sem aplicação de cristalizante, foi idealizado um experimento de modo a simular as condições de trabalho no caso da piscina. O experimento foi feito em corpos de prova prismáticos sendo 3 corpos de prova de referência, 3 corpos de prova com o produto misturado e 3 corpos de prova com a impregnação de superfície.

A intenção do experimento foi simular a penetração de água no concreto, quando este esteja submetido a uma coluna d'água de 180 cm (situação da piscina). Para tanto, os corpos de prova foram posicionados em paralelo e tiveram tubos transparentes, de 1,90 cm de altura, fixados em sua superfície.

Estes tubos foram fixados, prendendo-se sua parte superior média por lacres fixadores (ver Figura 6-c), de modo a estabilizar possíveis deslocamentos que possam ocorrer quando do enchimento dos tubos com água. Sua parte inferior (em contato com a superfície do concreto) foi vedada com silicone de secagem rápida (ver Figura 6-b), de modo que a água não saísse e fosse possível a correta avaliação do experimento.

Após os tubos estarem devidamente fixados, esperou-se 48h para a secagem do silicone, procedendo-se com o enchimento dos tubos com água até o nível de 180 cm. A Figura 6-c representa a estrutura montada para a realização do experimento.

Um fator que foi levado em consideração, foi o de evaporação da água, uma vez que parte da redução do nível de água nos tubos pode ser provocada pela evaporação da água e não por sua penetração no concreto. Para tanto, foi adotado o mesmo procedimento de tubos com os corpos de prova, porém agora os tubos foram afixados em uma placa de vidro (ver Figura 6-a), de modo que fosse descartada a influência da evaporação de água no experimento. O valor da evaporação foi posteriormente subtraído das perdas de coluna d'água nos tubos sobre os corpos de prova de concreto.



Figura 6: Ensaio de permeabilidade do concreto: (a) tubos fixados nos corpos de prova e na placa de vidro para medição de evaporação; (b) aplicação do silicone para vedar base do tubo; (c) lacres para fixação dos tubos e evitar movimentos; (d) estrutura do experimento de resistência à penetração de água.

## 2.4 Resistência à penetração de cloretos

Como já discutido, a maior parte das piscinas na região metropolitana de Curitiba utiliza NaCl em seu tratamento de água, fazendo com que em caso de penetração da água no concreto, ocorra a instalação de um mecanismo de degradação na estrutura de concreto armado de suporte do tanque.

Baseado nisso, executou-se sobre os concretos moldados o ensaio de resistência à penetração de cloretos seguindo as recomendações da ASTM C-1202: 2012. De acordo com Medeiros (2008), o ensaio de migração de cloretos é utilizado para produzir uma informação qualitativa sobre a difusão de cloretos no concreto, evitando assim a necessidade de execução do ensaio de difusão que é muito mais prolongado.

O procedimento do ensaio consiste em submeter fatias de 50 mm de espessura, extraídas de corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, ao ensaio de migração de cloretos. O ensaio é produzido com a aplicação de uma voltagem de 60V ao longo de 6 horas com a medida da corrente passante a cada 30 minutos.



Após o corte das fatias, cada parte é selada com silicone prosseguindo com o procedimento de saturação das amostras com o uso de vácuo e imersão, conforme a ASTM 1202:2012. Na câmara catódica coloca-se uma solução aquosa com 3% de NaCl e na câmara anódica uma solução de NaOH 0,3N. A Figura 7-a e b apresentam um esquema detalhado da célula de migração empregada e a Figura 8-a e b apresentam os detalhes do ensaio em execução.

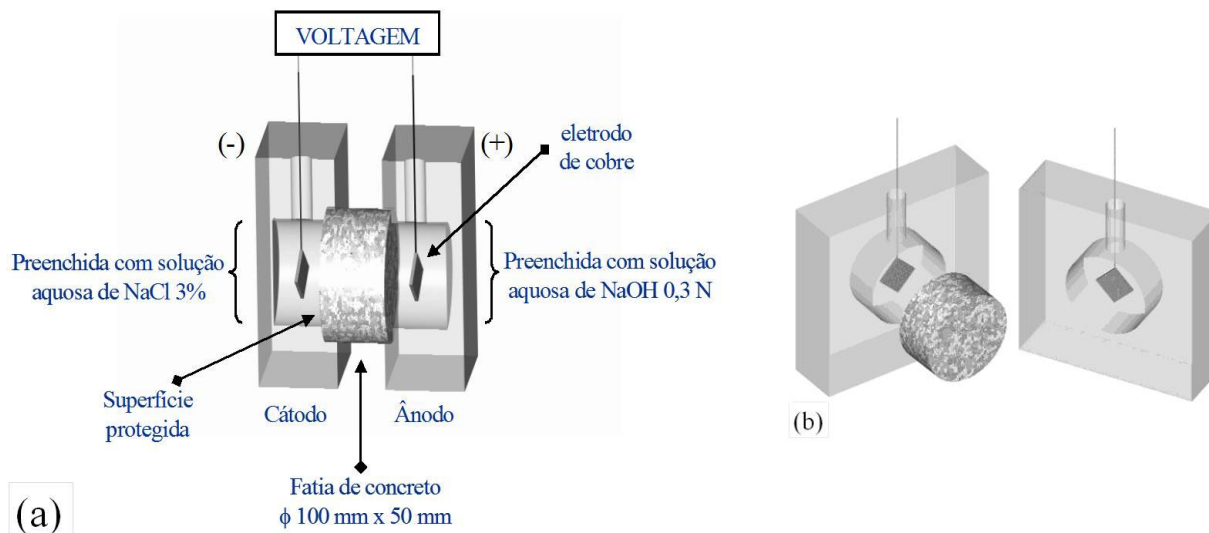


Figura 7: Ensaio de Migração por cloretos: (a) esquema da célula de migração; (b) Perspectiva explodida da célula (Medeiros, 2008).

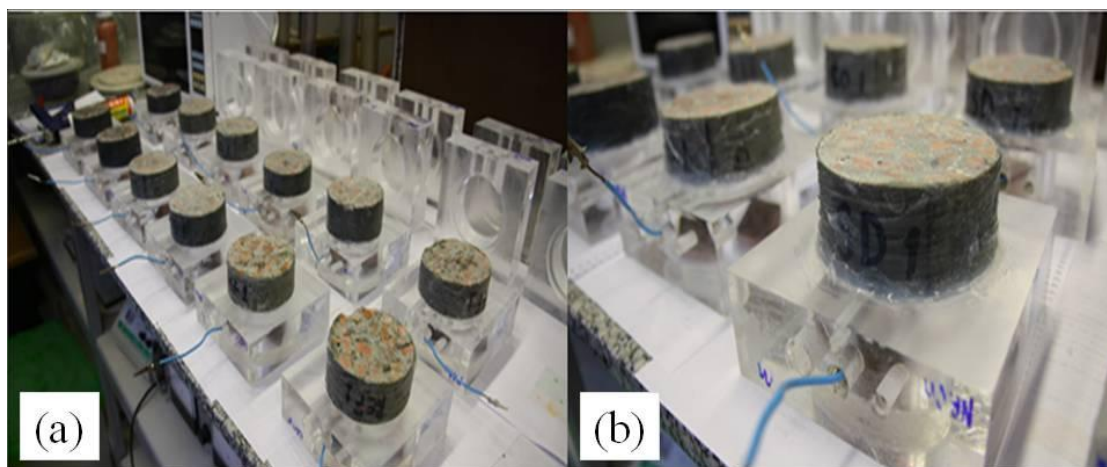


Figura 8: (a) Montagem das células de migração, (b) Detalhe da célula.

Com as leituras de corrente passante, em miliAmperes, ao logo do tempo, em minutos, se obtém uma curva e calcula-se a carga passante ao longo de 6 horas em A/s ou Coulomb (C). Este valor de carga passante é diretamente proporcional à susceptibilidade a penetração dos íons cloretos no concreto.

Foram testadas ao todo 12 fatias de 5,0 cm de espessura de 10,0 cm de diâmetro, sendo 4 de referência, 4 com impregnação de superfície e 4 com o composto misturado no concreto. Os corpos de prova que passaram pelo processo de impregnação superficial são provenientes do concreto de referência e o produto usado para o tratamento de superfície é um produto comercial composto por cimento portland, água e silicato de sódio de mesma origem do produto usado nos concretos com adição de cristalizantes. A impregnação foi feita seguindo os procedimentos de uso, aplicação e dosagem previstos no manual técnico do produto.

### 3 RESULTADOS

A Figura 9 apresenta os resultados de resistência à compressão e à tração por compressão diametral para os concretos de referência e para os concretos com a adição de silicato de sódio no momento do amassamento do concreto.

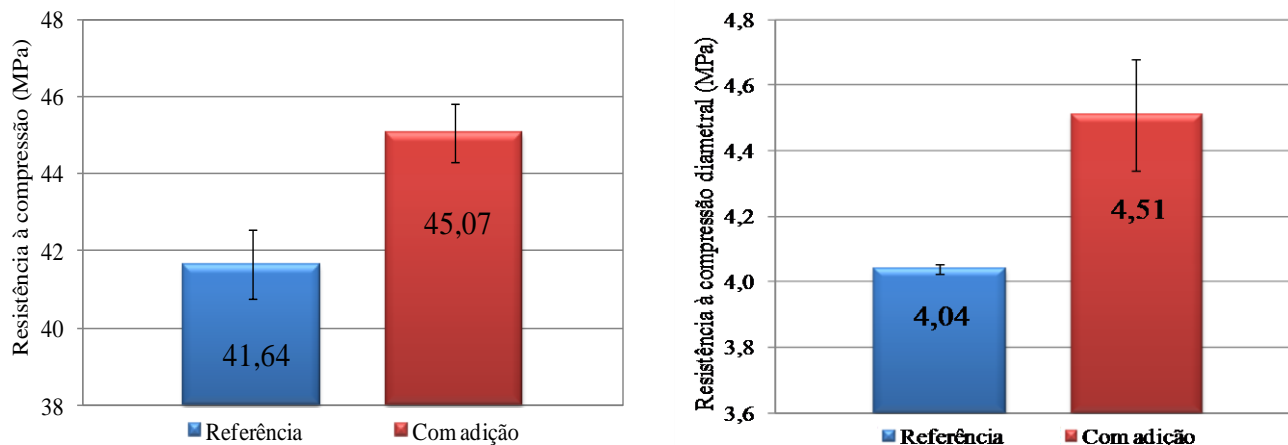


Figura 9: Resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral nos corpos de prova de concreto com e sem adição de cristalizantes à base de silicato de sódio.

Os resultados permitem observar um aumento tanto nas resistências à compressão (8%) quanto na resistência à tração por compressão diametral (12,5%) comparativamente aos concretos de referência. Este efeito provavelmente é devido ao caráter reativo dos silicatos de sódio com os componentes do cimento e com a água.

Acredita-se que os silicatos quando em contato com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento e em presença de água, através de um processo catalítico, agem sobre a microestrutura do concreto formando cristais de silicato de cálcio de baixa solubilidade. Esta reação gera sobre a microestrutura do concreto um efeito de tamponamento dos poros e conseqüentemente um aumento de sua resistência mecânica. Este incremento foi observado nos concretos aos quais foram adicionados os cristalizantes em sua mistura.

Este efeito de refinamento dos poros do concreto com adição dos polímeros cristalizantes tende a provocar também o efeito de impermeabilização do concreto. A Figura 10 apresenta os resultados do ensaio de permeabilidade do concreto para os concretos de referência, concretos com adição dos silicatos de sódio e concretos tratados superficialmente com solução de silicato de sódio submetidos ao efeito de uma coluna de água de 1,80 m de altura.

Os resultados permitem observar que os concretos com silicato de sódio tanto na mistura (aproximadamente 20 mm) quanto por impregnação de superfície (em média, 25 mm) apresentam penetração de água muito inferior ao concreto de referência (em média, 80 mm). Este efeito pode ser atribuído ao mecanismo já discutido sobre a reação entre os silicatos e o hidróxido de cálcio do cimento e água, que tendem a provocar tamponamento nos poros do concreto sendo, portanto uma barreira a penetração de água para o interior do concreto.

Para o caso do tratamento na superfície o mecanismo de reação depende da penetração dos cristalizantes na superfície do concreto e da liberação de cal do concreto. Além disto, é essencial uma cura adequada da superfície do concreto para que haja a quantidade de água necessária para que as reações ocorram.

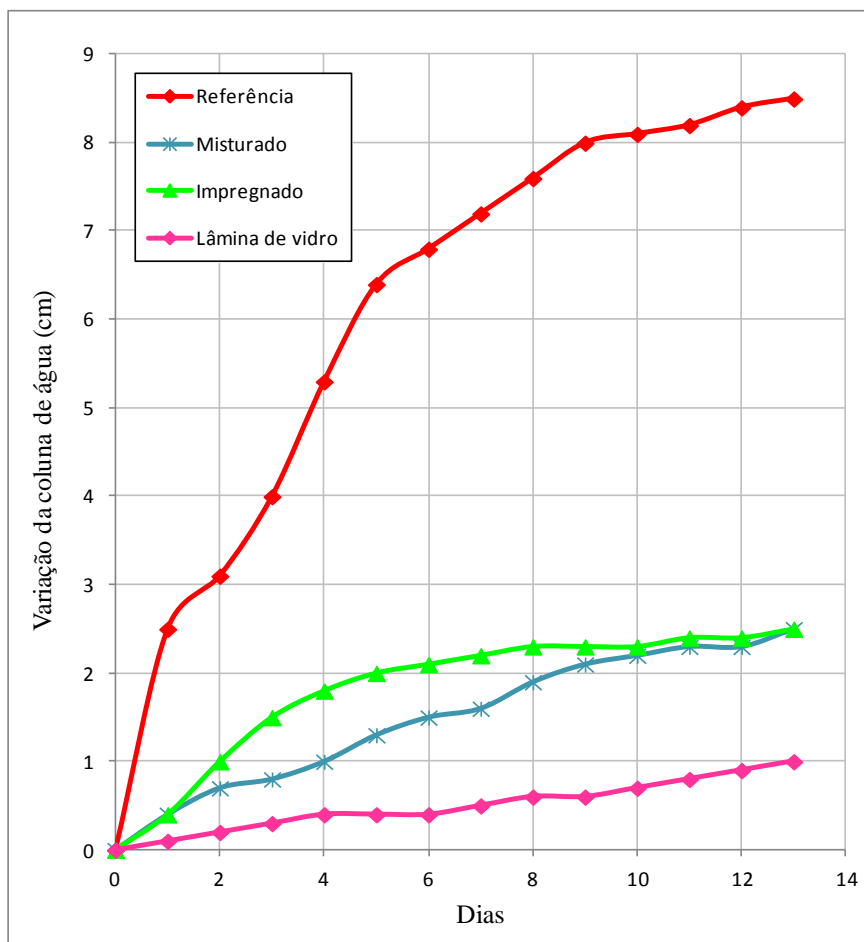
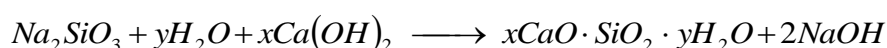


Figura 10: Comparação entre as diferentes perdas por penetração de água (cm) com o passar dos dias, em dias.

Apesar das indefinições quanto ao mecanismo de ação, o consenso geral é que os silicatos apresentam a capacidade de bloquear os poros capilares da superfície do concreto (MEDEIROS, 2008). Segundo Thompson et al. (1997), a reação que ocorre neste caso para bloqueadores de poros, segue a seguinte configuração:



Como resultado dessa reação, a superfície do concreto apresenta redução na penetração de água e um incremento em sua durabilidade do ponto de vista dos mecanismos de degradação que envolvem a penetração de água nas estruturas. No entanto, ao tratar-se da durabilidade do concreto armado, a penetração de água não é o único mecanismo que provoca decréscimo de vida útil nas estruturas de concreto. Sendo as piscinas tratadas com soluções de NaCl, conforme constatou-se no estudo preliminar já discutido, acredita-se que a penetração de cloretos nas estruturas seja um fator decisivo para a opção pela impermeabilização usando produtos cristalizantes à base de silicato de sódio. Por isto, procedeu-se sobre os concretos (referência, com silicatos na mistura e por tratamento superficial à base de silicatos) o ensaio de penetração de cloretos segundo a ASTM C 1202:2012.

Os resultados de carga passante estão apresentados na Figura 11, que contemplam ainda os parâmetros de avaliação do grau de risco de penetração de íons cloretos em função da carga passante para as amostras ensaiadas, sendo considerado um risco moderado uma carga passante entre 2000 e 4000 C e risco alto uma carga passante acima de 4000 C.



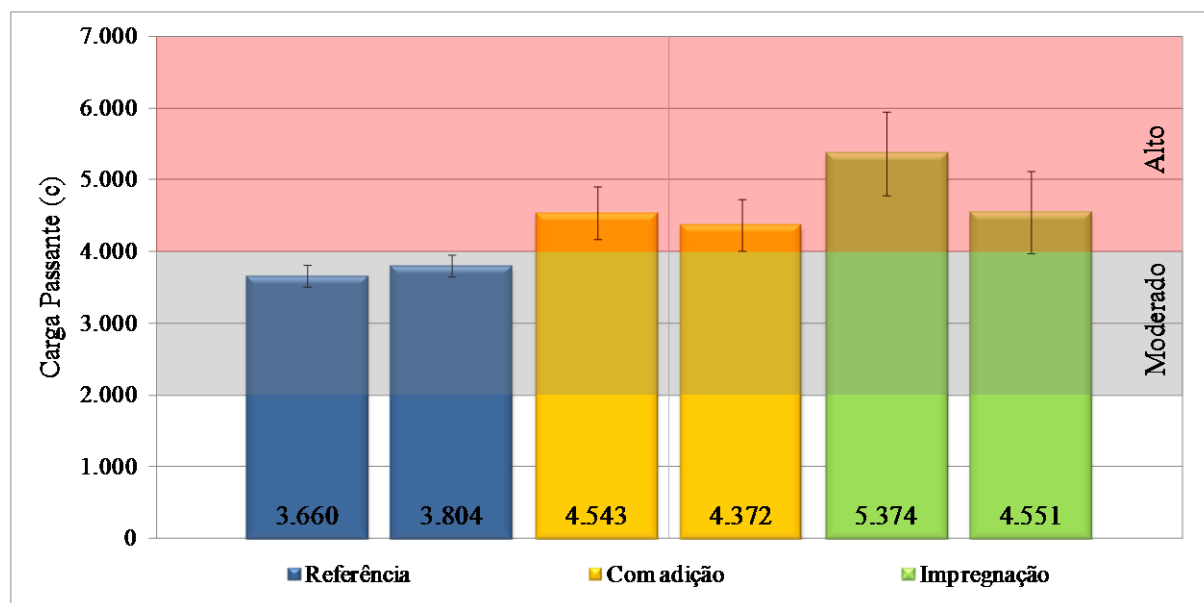


Figura 11: Resistência à penetração de cloretos dos concretos.

Ao contrário do esperado, os valores de carga passante no caso de concreto com superfície tratada e do concreto com adição de silicato de sódio não diferiram significativamente da série de referência. Isto pode ser confirmado por uma análise de variância, com 95% de confiabilidade.

Este fato não tem explicação inicial e mais pesquisas necessitam ser conduzidas para justificar o ocorrido. No entanto, devido a estes resultados inconclusivos, a impermeabilização com o uso de silicato de sódio, seja por adição ou por impregnação superficial não se apresenta como uma solução técnica viável para impermeabilização de piscinas onde o tratamento de água seja feito com adição de NaCl.

Recomenda-se a evolução do estudo sobre a penetração de cloretos em concretos tratados com polímeros cristalizantes a fim de explicar o mecanismo de penetração dos cloretos nestes concretos e mesmo para validar os resultados obtidos neste estudo preliminar.

#### 4 CONCLUSÕES

As conclusões deste experimento são as apresentadas a seguir:

- A adição do produto cristalizante a base de silicato de sódio causou um elevação de cerca de 8% na resistência à compressão do concreto;
- No caso da resistência à tração por compressão diametral, o aditivo a base de silicato de sódio adicionado no momento do amassamento do concreto causou uma elevação em torno de 12%;
- Tanto o uso do produto a base de silicato de sódio como aditivo ou como impregnação de superfície causaram redução considerável da permeabilidade do concreto. No caso da adição, a redução da penetração de água foi de 75% e no caso da impregnação de superfície foi de 70%;
- No caso da resistência à penetração de cloretos de acordo com o ensaio da ASTM 1202:2012, os produtos a base de silicato de sódio não se mostraram eficientes em reduzir a penetração de íons cloretos no concreto. Este fato se mostrou como um ponto negativo no caso de aplicação deste tratamento para a impermeabilização de piscinas.

Acredita-se que a elevação nas resistências à compressão, à tração e a redução na penetração de água por permeabilidade é explicada pela maior formação de cristais de C-S-H, gerados pelas reações químicas provenientes da adição do composto a base de silicato de sódio. No caso da penetração de cloretos, considera-se que este assunto deve ser melhor estudado, uma vez que o ensaio da ASTM 1202:2012 é questionado por muitos pesquisadores, tais como: Marcondes (2012) e Missau (2004).

Estas críticas são relativas a alta influência da condutividade do concreto nos resultados do ensaio, desse modo, o método parece apropriado para comparação no caso do mesmo cimento e variação simples do proporcionamento de materiais. Nos casos de estudos de pozolanas, que consomem o hidróxido de cálcio (reduzindo a condutividade) e estudos de nanotubos de carbono (que eleva a condutividade consideravelmente) acredita-se que a grande variação de condutividade influencia os resultados de forma a mascará-los. Neste estudo, é possível que a presença de sódio tenha elevado a condutividade do concreto e também tenha resultado no mesmo efeito de falseamento dos resultados citados para concretos com nanotubos de carbono.

O caminho para novos estudos na área de resistência à penetração de cloretos em concretos com silicato de sódio deve envolver ensaios de difusão de cloretos, ou seja, sem a imposição de voltagem para induzir a penetração de cloretos por migração.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM).** Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration. ASTM C-1202. In: Annual book of ASTM Standards. West Conshohocken, 2012.

**HENCHE, D. ; MEDEIROS, M. H. F.** Inspeção de piscinas de concreto armado: Um estudo de caso em um reservatório elevado e aquecido. In: 53. Congresso Brasileiro do Concreto, 2011, Florianópolis. Anais do 53. Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo : IBRACON, 2011. v. único. p. 1-11.

**MEDEIROS, M. H. F.** Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos com Proteção Superficial Frente à Ação de Íons Cloretos. 2008. 218 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

**MISSAU, F.** Penetração de cloretos em concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz. p. 146. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

**THOMPSON, J. L.; SILSBEE, M. R.; GILL, P. M.; SCHEETZ, B. E.** Characterization of silicate sealers on concrete. Cement and Concrete Research, v. 27, n. 10, p. 1561-1567, 1997.

**METALICA.** Vida útil de piscinas depende de impermeabilização adequada. Disponível em <<http://www.metalica.com.br/vida-util-de-piscinas-depende-de-impermeabilizacao-adequada>>. Publicado em 07/12/2011.