



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

INFLUÊNCIA DO USO DE IMPERMEABILIZANTE POR CRISTALIZAÇÃO NA PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CONCRETOS¹

CAPPELLESSO, Vanessa Giaretton (1); PETRY, Natália dos Santos (2); DAL MOLIN,
Denise Carpena Coitinho (3); MASUERO, Angela Borges (4)

(1) UFRGS, e-mail: vgcappelless@gmail.com; (2) UFRGS, e-mail:
nataliapetry@yahoo.com.br; (3) UFRGS, e-mail: dmolin@ufrgs.br; (4) UFRGS, e-mail:
angela.masuero@ufrgs.br

RESUMO

O uso de diferentes tecnologias e materiais tem contribuído para o aumento da durabilidade frente aos agentes agressivos que prejudicam as estruturas de concreto. Manter baixa a relação água/cimento e utilizar pozolanas na mistura diminui a permeabilidade do concreto, mas às vezes só estas alternativas não são suficientes. Neste caso podem-se utilizar outros produtos como é o caso dos impermeabilizantes. Esta pesquisa avaliou o uso de impermeabilizante por cristalização como adição e como tratamento superficial a fim de conhecer os benefícios que o mesmo pode proporcionar como meio de mitigar a penetração de cloretos, visto que esses foram comparados com concretos sem e com adição de sílica ativa, essa pozolana é utilizada usualmente como forma de reduzir a porosidade. Variaram-se apenas as adições (impermeabilizante por cristalização e sílica ativa) e o tratamento superficial (impermeabilizante por cristalização). A penetração de cloretos foi avaliada segundo a norma ASTM C 1202, e também foi realizado o ensaio de resistência à compressão – NBR 5739. Os resultados mostram que as adições são satisfatórias para a resistência à compressão. E, para o ensaio de penetração de cloretos a adição de sílica ativa se apresenta mais eficiente do que os demais tratamentos.

Palavras-chave: Concreto. Durabilidade. Cloretos. Impermeabilizante.

ABSTRACT

The use of different technologies and materials has contributed to the increased durability due to aggressive agents that damage the concrete structures. Retain lower the water / cement relation and to use pozzolan in the mixture decreases the permeability of the concrete, but it is sometimes not enough, in this case can be used other products such as the waterproofing. This study evaluated the use of crystalline waterproofing as addition and as a surface treatment in order to know the benefits it can provide as a means of mitigating the penetration of chlorides, as these were compared with concrete without and with addition of silica fume, this pozzolan is usually used as a way to reduce the porosity. Diversify only additions (crystalline waterproofing and silica fume) and surface treatment (crystalline waterproofing). The chloride penetration was evaluated according to ASTM C 1202, and was also performed the compressive strength test - NBR 5739 (ABNT, 2007). The results show that the additions are satisfactory to compression resistance. However, to the penetration of chlorides the silica fume is more efficient than other treatments.

¹ CAPPELLESSO, Vanessa Giaretton et al. Influência do uso de impermeabilizante por cristalização na penetração de cloretos em concretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

Keywords: Concrete. Durability. Chloride. Waterproofing.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é utilizado em diversos ambientes e fica exposto a agentes deletérios, sendo que estes podem comprometer sua durabilidade. Nos últimos anos surgiram vários produtos com o intuito de proteger a superfície do concreto e impedir ou mitigar a entrada de agentes agressivos (MEDEIROS et al., 2012). No entanto, é importante conhecer a composição do material e o seu comportamento possibilitando dominar os danos ao longo do tempo causados pela interação do produto com agentes agressivos externos (JOHN, 2000).

A penetração de íons cloreto, em concretos não fissurados, pode dar origem a uma das mais graves entre as manifestações patológicas, a corrosão das armaduras, visto que os íons cloreto têm dimensões pequenas e grande facilidade de penetração, podendo despassar as barras de aço, comprometendo a durabilidade das estruturas (GJØRV, 2015). A forma de impedir a entrada dos agentes agressivos é diminuir a permeabilidade do concreto, pois esta tem grande importância nos processos físicos e químicos de deterioração do concreto.

Pode-se baixar a porosidade do concreto diminuindo a relação água/aglomerante, utilizando pozolanas ou produtos hidrofugantes ou impermeabilizantes na mistura, aplicando produtos hidrofugantes ou impermeabilizantes na superfície do concreto, substituindo cimentos puros por cimentos compostos, entre outras ações. Além disto, fatores como: consumo adequado de cimento, cura e adensamento corretos, auxiliam na redução da permeabilidade do concreto, pois reduzem a porosidade e o aparecimento de fissuras (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Baixar a relação água/aglomerante e utilizar adições que diminuam a permeabilidade, além dos controles de qualidade, tem sido a ação com melhores benefícios para o aumento da durabilidade (MUHAMMAD et al, 2015). Visto que essas alternativas influenciam positivamente na resistência à penetração de cloretos, devido ao aumento da resistividade elétrica do concreto e à diminuição do tamanho dos poros (AL-AMOUDI, 2002).

Esse trabalho tratará do uso de impermeabilizante por cristalização como forma de diminuir a permeabilidade do concreto. Os impermeabilizantes têm como função impedir a passagem de fluídos sob a forma líquida ou vapor, dessa forma proteger as estruturas. A impermeabilização cria uma barreira quando é aplicada como tratamento superficial fechando os poros superficiais com o objetivo de impedir a entrada de água por qualquer mecanismo de transporte (BERTOLINI, 2010). Alguns impermeabilizantes também podem ser usados como adição na mistura, neste caso, os compostos químicos reagem com a umidade do concreto fresco e com os produtos da hidratação do cimento os quais resultam em uma estrutura cristalina insolúvel nos poros e capilares do concreto.

O intuito desse trabalho foi testar um produto impermeabilizante por

cristalização como forma de contribuir para a diminuição da permeabilidade do concreto. A pesquisa contribui para conhecer o desempenho de novos produtos comparados as técnicas frequentemente utilizadas nas estruturas de concreto.

2 MATERIAIS

A seguir, serão apresentados os materiais empregados no programa experimental.

2.1 Aglomerante

Utilizou-se o Cimento Portland IV 32, cimento pozolânico de classe 32. As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam as características químicas, físicas e mecânicas, respectivamente, do cimento empregado no trabalho.

Tabela 1 – Composição química do cimento

Características avaliadas (%)	CP IV	Limites normativos
Óxido de Magnésio (MgO)	4,70	≤ 6,5
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	1,80	≤ 4,0
Perda ao fogo (PF)	2,60	≤ 4,5
Resíduo Insolúvel	40,70	-

Fonte: Fornecedor.

Tabela 2 – Caracterização física do cimento

Características avaliadas	CP IV	Limites normativos
Finura #200	0,40	≤ 8,0
Finura #325	2,00	-
Massa específica (g/cm ³)	2,59	-
Início de pega (h:min)	5:55	≥ 1
Fim de pega (h:min)	8:15	≤ 12
Área específica (cm ² /g)	4900	-

Fonte: Fornecedor.

Tabela 3 – Resistência à compressão do cimento (MPa) a diferentes idades

Idade	CP IV	Limites normativos
3	17,7	≥ 10,0
7	22,8	≥ 20,0
28	36,2	≥ 32,0

Fonte: Fornecedor.

2.2 Agregados

Os agregados foram caracterizados, do ponto de vista de granulometria, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), e para a determinação da massa específica foi utilizado como base a NBR NM 52 (ABNT, 2009) para o agregado miúdo e a NBR NM 53 (ABNT, 2009) para o agregado graúdo.

2.2.1 Agregado miúdo

A areia possui partículas com módulo de finura igual a 2,28. A massa específica apresentou o valor de 2,58 g/cm³. Na Tabela 4 pode ser vista a porcentagem retida em cada peneira.

Tabela 4 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira (mm)	Porcentagem retida (%)	
	Individual	Acumulada
4,75	2	2
2,36	5	7
1,18	9	16
0,6	17	33
0,3	41	73
0,15	24	97
Fundo	3	100

Fonte: Os autores

2.2.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado é de origem basáltica e foi utilizado em duas granulometrias diferentes, conhecidas comercialmente como: brita 0 e brita 1. Na Tabela 5 pode ser vista a porcentagem retida em cada peneira para os agregados graúdos, e em seguida na Tabela 6 estão descritas as características físicas encontradas para estes agregados.

Tabela 5 – Distribuição granulométrica dos agregados graúdos

Peneira (mm)	Porcentagem retida (%) – Brita 0		Porcentagem retida (%) – Brita 1	
	Individual	Acumulada	Individual	Acumulada
25	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	20,9	20,9
12,5	0,8	0,8	76,1	96,9
9,5	13,6	14,4	3,0	99,9
6,3	47,2	61,6	0,1	100,0
Fundo	38,4	100,0	0,0	100,0

Fonte: Os autores

Tabela 6 – Caracterização física dos agregados graúdos

Caracterização	Brita 0	Brita 1
Dimensão máxima característica (mm)	12,5	25
Massa específica do agregado seco (g/cm ³)	2,95	2,91
Massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm ³)	2,88	2,87
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,83	2,85
Absorção de água (%)	1,43	0,66

Fonte: Os autores

2.3 Água

A água utilizada nesse estudo para a moldagem dos corpos-de-prova é proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Porto Alegre.

2.4 Aditivos

Utilizou-se, dois aditivos, sendo um aditivo plastificante polifuncional redutor de água (Aditivo 1) e outro aditivo superplastificante (Aditivo 2).

2.5 Tratamentos e adições

Utilizaram-se duas adições: a sílica ativa e o impermeabilizante por cristalização e como tratamento superficial utilizou-se o impermeabilizante por cristalização com essa finalidade. A massa específica da sílica ativa utilizada neste estudo é 2,20 g/cm³, e na Tabela 7 pode-se ver a composição química da mesma realizada por meio do ensaio de fluorescência de raios X.

Tabela 7 – Composição química da Sílica Ativa

Características avaliadas (%)	Resultados
Al ₂ O ₃	0,20
SiO ₂	92,36
Fe ₂ O ₃	0,14
CO ₂	5,06
MgO	0,24
SO ₃	0,15
K ₂ O	0,86
MnO	0,03
P ₂ O ₅	0,11
CaO	0,77
Na ₂ O	0,06

Fonte: Os autores.

Os impermeabilizantes por cristalização foram utilizados de duas maneiras

como adição na mistura (Produto A) e como tratamento superficial (Produto B), no Quadro 1 apresentam-se as características.

Quadro 1 – Características dos impermeabilizantes por cristalização

Características	Produto A	Produto B
Forma de utilização	Adição	Tratamento superficial
Aparência	Pó cinza	Pó cinza
Cimento Portland (%)	40 - 70	10 - 50
Areia de quartzo (%)	5 - 10	10 - 40
Compostos químicos ativos (%)	10 - 30	30 - 60
Densidade (g/cm ³)	2,92	1,45
pH em solução	10 - 13	10 - 13

Fonte: Fornecedor.

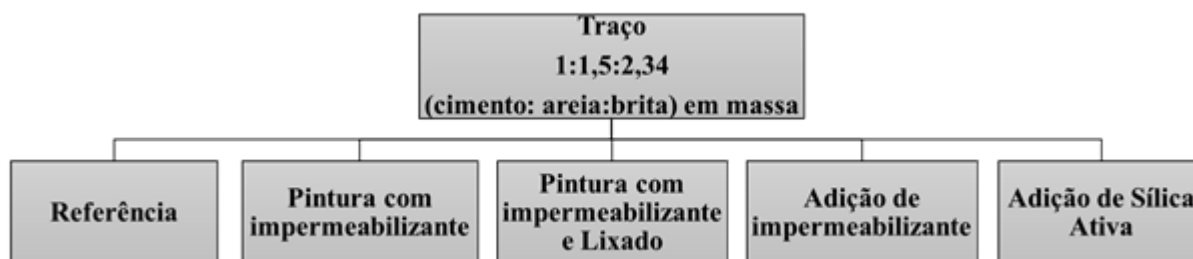
Para a aplicação do Produto B é necessário misturá-lo com água na proporção 5:2,5 (impermeabilizante por cristalização:água) para reagir e ser aplicado na superfície do concreto, sendo esta proporção usada para aplicação manual.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para se alcançar os objetivos propostos foi desenvolvido um programa experimental que possibilitou a análise do comportamento dos concretos submetidos a diferentes tratamentos, mantendo o mesmo traço.

Na Figura 2 pode ser visto o fluxograma utilizado para realização deste trabalho. A partir do traço empregado para todos os tipos de concretos ensaiados foram desenvolvidos quatro tratamentos diferentes sendo estes comparados entre si e também comparados com um concreto referência, o qual não possui adições e nem tratamento superficial. Os outros quatro tipos são: concreto com tratamento superficial de impermeabilizante por cristalização aplicado como pintura, concreto com tratamento superficial de impermeabilizante por cristalização aplicado como pintura sendo este lixado após cura úmida de cinco dias, concreto com adição de impermeabilizante por cristalização e concreto com adição de sílica ativa.

Figura 2: Representação esquemática da matriz experimental realizada



Fonte: Os autores

3.1 Produção dos concretos

O traço empregado no trabalho é usualmente utilizado em obras realizadas na região de Porto Alegre, as quais não necessitam de altas resistências iniciais e tem como estimativa obter f_{ck} de 40 MPa. O mesmo está descrito na Tabela 8, a qual apresenta as proporções de cada material utilizado.

Tabela 8 – Proporcionamento dos materiais, em massa

Materiais	Traço
Cimento	1
Areia	1,5
Brita 0	1,17
Brita 1	1,17
Água	0,41
Aditivo 1	0,6 %
Aditivo 2	0,24 %
Adição de impermeabilizante*	0,8 %
Adição de Silica Ativa*	10 %

Obs: *As adições de impermeabilizante e silica ativa não foram utilizadas simultaneamente.

Fonte: Os autores

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2003). Após a mistura dos materiais, buscou-se a consistência especificada de 200 ± 30 mm, através da realização do ensaio de abatimento pelo tronco de cone, como determina a NBR NM 67 (ABNT, 1998), parâmetro este mantido fixo.

Foram confeccionados dez corpos de prova cilíndricos (diâmetro de 95mm e altura de 190mm) para o ensaio de penetração de cloretos, e mais 28 corpos de prova cilíndricos (diâmetro de 100mm e altura de 200mm) para o ensaio de resistência à compressão.

Após a moldagem, os corpos de prova ficaram acondicionados em temperatura ambiente nas primeiras 24 horas. Posteriormente, foram desmoldados e armazenados em câmara úmida sob temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade maior que 95%, onde permaneceram até as datas dos ensaios.

Neste trabalho o tratamento superficial foi feito no concreto sem adições a fim de testar unicamente o desempenho do impermeabilizante por cristalização aplicado como pintura, em duas demãos do produto, conforme instrução de uso do fabricante, sendo a segunda demão passada quando a primeira demão ainda não estava seca. Além disso, o fabricante afirma que o produto desenvolve o mesmo desempenho se esse for lixado ou não; portanto, foram ensaiados os tratamentos superficiais nestas duas situações.

3.2 Resistência à compressão

De modo a determinar a capacidade de suportar esforços, foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples, preconizado pela NBR 5739 (ABNT, 2007).

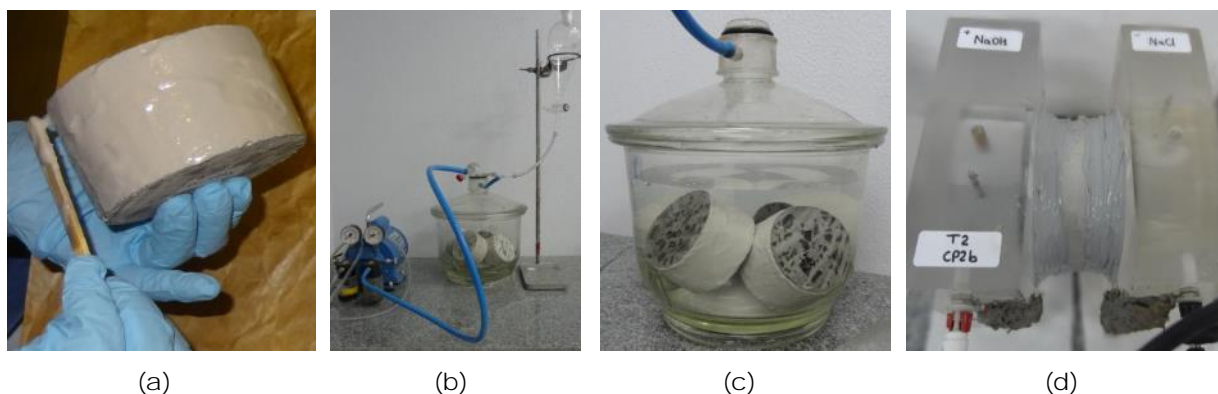
3.3 Penetração de cloretos

Para determinar o ingresso de íons cloretos nos concretos ensaiados utilizou-se o método de ensaio acelerado da ASTM C 1202 – *Test Method for Electrical Indication of Concrete's ability to Resist Chloride Ion Penetration*. O ensaio consiste em colocar um corpo-de-prova de 51 ± 3 mm de espessura entre duas células acrílicas. Na primeira célula coloca-se uma solução de cloreto de sódio (NaCl), com concentração de 3% (em massa), e na outra célula, uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), com concentração de 0,3N.

Em seguida, aplica-se uma voltagem de $60 \pm 0,1$ V, e mede-se a corrente passante em intervalos de 30 minutos durante 6 horas, essas leituras registradas são associadas à resistência do concreto em relação a penetração de íons cloretos.

Para a realização do ensaio houve a preparação dos corpos-de-prova, as faces laterais de cada fatia foram impermeabilizadas com resina epóxi e após a secagem, os corpos-de-prova foram colocados no dessecador e posteriormente, submersos em água deionizada e deaerada até a saturação. Após 18 horas, as fatias foram secas superficialmente para serem acopladas às meias células de acrílico por meio de um material selante à base de poliuretano (Figura 3).

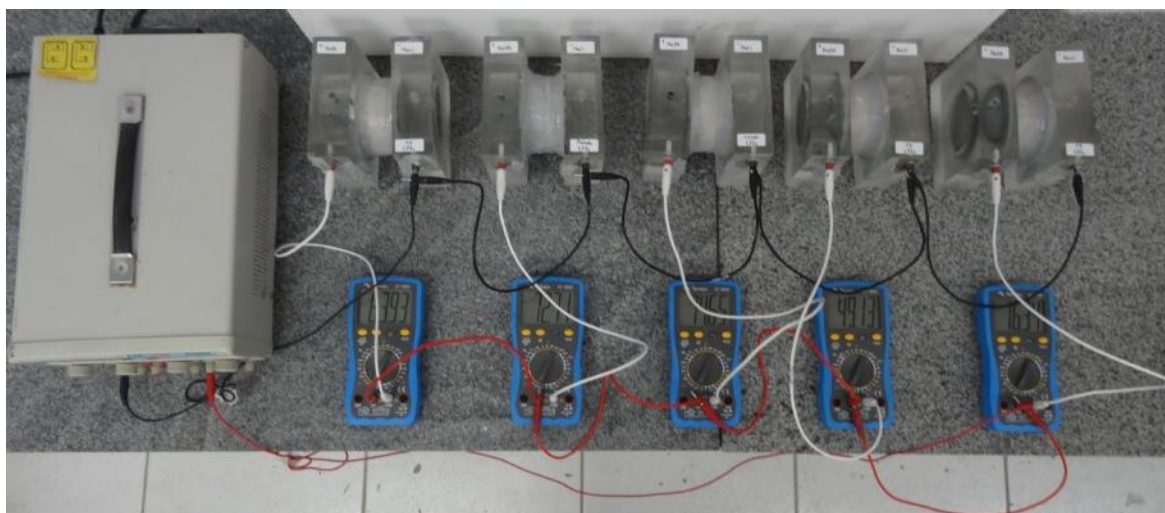
Figura 4: (a) aplicação de resina epóxi; (b) sistema dessecador, bomba à vácuo e balão volumétrico; (c) corpos-de-prova imersos em água deaerada e deionizada; (d) célula com corpo-de-prova acoplado com selante à base de poliuretano



Fonte: Os autores

Nesta pesquisa cinco células foram ensaiadas por dia, sendo uma para cada tipo de concreto, com diferentes tratamentos. Essas foram dispostas em série de maneira a serem submetidos à mesma tensão (Figura 4). Foram realizadas quatro repetições, durante quatro dias subsequentes.

Figura 4: Ilustração da montagem do ensaio de penetração de cloretos



Fonte: Os autores

A ASTM C 1202 estabelece uma classificação dos concretos quanto à resistência à penetração de cloretos, de acordo com a intensidade da corrente, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Penetração de íons cloreto baseado na carga passante

Carga passante (Coulombs)	Penetração de íons cloreto
> 4000	Alta
2000 – 4000	Moderada
1000 – 2000	Baixa
100 - 1000	Muito baixa
< 100	Desprezível

Fonte: ASTM C 1202 - 05 (2012)

O cálculo da carga total passante pelos corpos-de-prova é realizado por meio da equação 1.

$$Q = 900(I_0 + 2 \cdot I_{30} + 2 \cdot I_{60} + 2 \cdot I_{90} + \dots + 2 \cdot I_{330} + I_{360}) \quad (1)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos na pesquisa.

4.1 Resistência à compressão

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova são apresentados na Tabela 10 e representados na Figura 5. As médias foram adquiridas através da ruptura de sete corpos de prova na idade 28 dias.

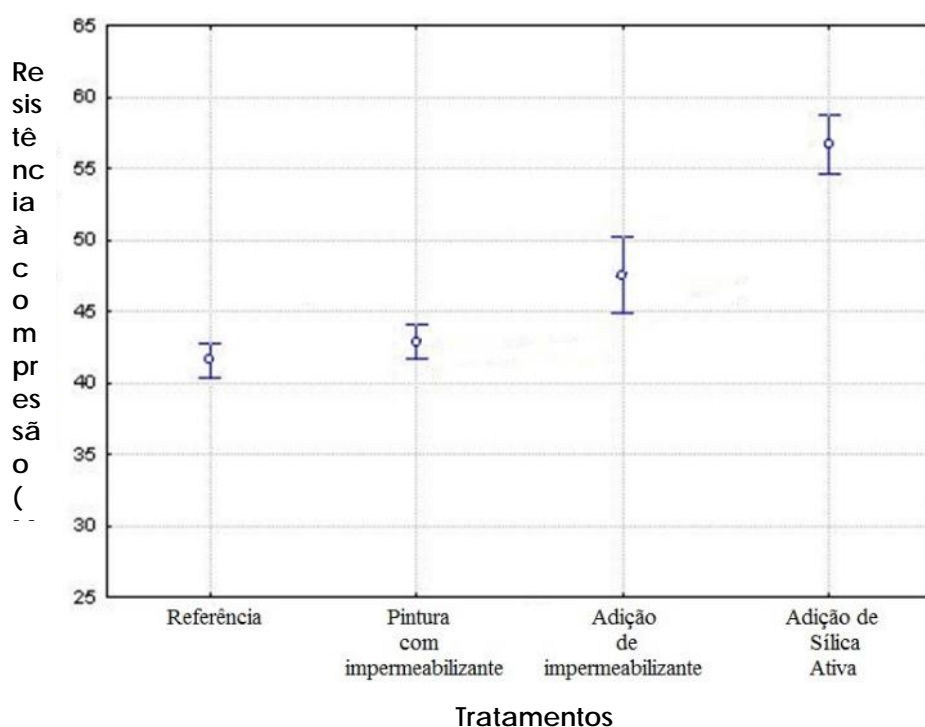
Tabela 10 – Resistência à compressão aos 28 dias dos concretos confeccionados com diferentes tratamentos.

Tratamentos utilizados	Resistência média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
Referência	41,6	1,4	3,5
Pintura com impermeabilizante	42,9	1,3	3,0
Adição de impermeabilizante	47,5	2,9	6,0
Adição de Silica Ativa	56,7	2,2	3,9

DP : Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Os autores

Figura 5 – Resistência à compressão simples aos 28 dias dos concretos com diferentes tratamentos superficiais



Fonte: Os autores

Analisando a Figura 5, observa-se que a utilização do impermeabilizante como tratamento superficial aplicado como pintura praticamente não altera a resistência à compressão, quando comparado com o concreto de referência. Este comportamento era esperado uma vez que a influência do produto impermeabilizante neste caso é apenas superficial. Já quando o impermeabilizante é utilizado como adição ao concreto este aumentou a resistência em 16%, o comportamento provavelmente está associado à colmatação dos poros do concreto pelo produto impermeabilizante. Em contrapartida a adição de sílica ativa ao concreto se mostrou mais eficiente, apresentando um acréscimo de 28% à resistência à compressão quando comparado à referência.

Para a análise da significância das variáveis controláveis, os tratamentos, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) com fatorial cruzada a partir do software *Statistica 7*. Os resultados são apresentados na Tabela 11, para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias.

Tabela 11 – Análise de variância (ANOVA) para Resistência à compressão

Efeitos	SQ	GL	SQF	Teste F	p	Sig.
Tratamento	1010,521	3	336,840	82,205	0,000000	Sim
Erro	102,439	25	4,098			-

SQ: Soma quadrática; GL: graus de liberdade (n-1); SQF: média quadrática; Teste F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; Se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Fonte: Os autores

A Tabela 11 mostra que a influência dos tratamentos utilizados foi considerada significativa, deste modo, a utilização dos tratamentos faz diferença nos resultados correlacionados com a resistência à compressão.

Em seguida, realizou-se o Teste F de Fischer para ver a significância entre os tratamentos, sendo estes comparados ao concreto referência, como pode ser visto na Tabela 12.

Tabela 12 – Teste F de Fischer para resistência à compressão

	Pintura com impermeabilizante	Adição de impermeabilizante	Adição de Silica Ativa
Referência	NS	S	S

NS: não significativo; S: significativo.

Fonte: Os autores

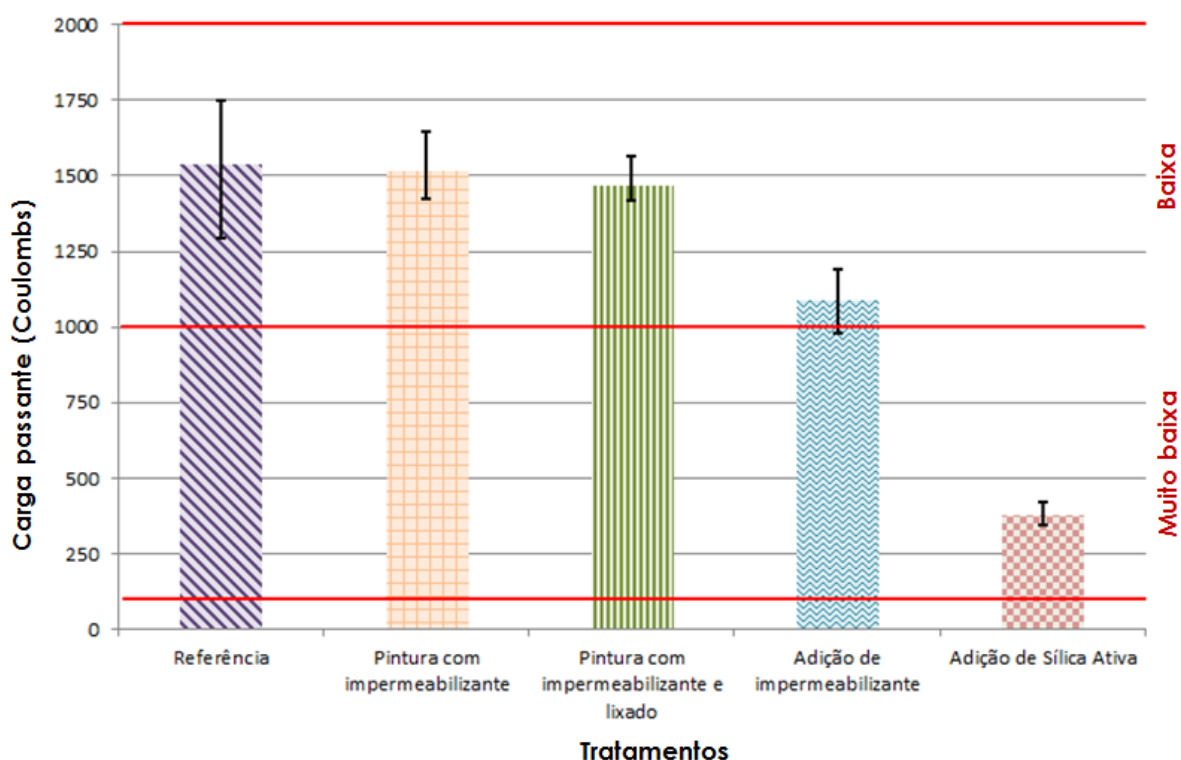
Com base na Tabela 12, pode-se dizer que a utilização do impermeabilizante por cristalização aplicado como pintura não é significativo se comparado com o concreto de referência, entretanto a utilização do mesmo como adição na matriz e a adição de sílica ativa são significativas.

4.2 Penetração de cloretos

Os resultados do ensaio de penetração de cloretos foram obtidos a partir dos dados de corrente registrados ao longo do ensaio, calculados conforme a Fórmula 1 (ASTM C 1202, 2012).

Na Figura 6 ilustra-se a carga passante dos concretos ensaiados. Nota-se que o concreto referência, assim como os concretos com tratamento superficial e com adição de impermeabilizante por cristalização estão dentro da faixa de penetração de íons cloretos que varia de 1000 a 2000 Coulombs, considerada de penetração baixa, segundo a Tabela 9. Já o concreto com adição de sílica ativa ficou na faixa de 100 a 1000 Coulombs, considerada muito baixa a taxa de penetração de cloretos, segundo Tabela 9.

Figura 6 – Carga passante nos concretos com diferentes tratamentos



Fonte: Os autores

A sílica ativa teve redução de 75% em relação ao concreto de referência apresentando melhor desempenho entre os concretos ensaiados. Os concretos com aplicação de impermeabilizante por cristalização como pintura apresentaram pouca diferença em relação ao concreto referência, o simplesmente pintado teve redução de 1% na permeabilidade aos íons cloretos, e o pintado e lixado teve redução de 4%. Já o concreto com adição de impermeabilizante por cristalização na mistura teve redução de 29% na permeabilidade em relação ao concreto referência, e o desvio padrão mostra a possibilidade de estar dentro da faixa de penetração de íons cloretos considerada muito baixa.

Para a análise da significância das variáveis controláveis, os tratamentos, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) com fatorial cruzada a partir do software *Statistica 7*. Na Tabela 13 apresenta-se a análise do ensaio de penetração de cloretos.

Tabela 13 – Análise de variância (ANOVA) – Carga Passante

Efeitos	SQ	GL	SQF	Teste F	p	Sig.
Tratamento	3886165	4	971541	76,932	0,000000	Sim
Erro	189429	15	12629			-

SQ: Soma quadrática; GL: grau de liberdade (n-1); SQF: média quadrática; Teste F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; Se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Fonte: Os autores

A Tabela 13 mostra que os tratamentos utilizados foram considerados significativos, deste modo, a utilização dos tratamentos faz diferença nos resultados correlacionados com a carga passante. Em seguida, realizou-se o Teste F de Fischer para ver a significância entre os tratamentos, sendo estes comparados ao concreto referência, como pode ser visto na Tabela 14.

Tabela 14 – Teste F de Fischer para penetração de cloretos

	Pintura com impermeabilizante	Pintura com impermeabilizante e lixado	Adição de impermeabilizante	Adição de Sílica Ativa
Referência	NS	NS	S	S

NS: não significativo; S: significativo.

Fonte: Os autores

A partir da realização do teste F de Fisher é possível verificar que apenas as amostras que utilizaram o impermeabilizante por cristalização como pintura e sofreram o lixamento não foram consideradas significativas, as demais todas são significativas se comparadas com o concreto de referência.

5 CONCLUSÕES

De acordo com o estudo que analisou a permeabilidade do concreto segundo a norma ASTM C 1202 para penetração de cloretos, e em paralelo o ensaio de resistência à compressão – NBR 5739 (ABNT, 2007), constatou-se que a adição de sílica ativa foi a solução que apresentou melhor desempenho, aumentando a resistência à compressão e reduzindo a permeabilidade à íons cloreto significativamente. O impermeabilizante por cristalização para o ensaio de resistência à compressão se mostrou eficiente quando utilizado como adição na mistura do concreto, mas não influenciou na resistência quando aplicado como tratamento superficial. O produto impermeabilizante por cristalização quando analisado em relação ao ensaio de penetração de cloretos, mostra-se melhor que o concreto referência, tanto como adição quanto como tratamento superficial, ambos contribuem para a diminuição da permeabilidade, e notou-se que o processo de lixamento é benéfico para o desempenho do produto impermeabilizante quando empregado superficialmente no concreto. Para tanto, o produto impermeabilizante por cristalização na maioria dos casos teve melhor desempenho que o concreto referência, mas quando este é comparado com a sílica ativa para os materiais e o traço estudado, verifica-se que o uso de sílica ativa como adição foi a melhor solução frente ao aumento da durabilidade do concreto. É importante salientar que seria adequado testar produtos semelhantes de outros fornecedores.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa Queiroz Galvão por disponibilizar os materiais utilizados nesse trabalho e o laboratório LAMTAC/ NORIE da UFRGS no qual se desenvolveram os ensaios realizados nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- AL-AMOUDI, O. (2002). "**Durability of plain and blended cements in marine environments.**" Advances in Cement Research, 10.1680/adcr.2002.14.3.89, 89-100.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1202**: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. West Conshohocken, USA, 2012.
- BERTOLINI, L. **Materiais de construção**: Patologia, Reabilitação e Prevenção. HELENE, P. Oficina de Textos, 2010.
- GJØRV, O. E. – **Projeto de durabilidade de estruturas de concreto em ambientes de severa agressividade**. Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2015. p. 15
- JOHN, V.M. - **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil. São Paulo, 2000. p. 113.
- MEDEIROS, M. H. F.; BORGES, P. C.; ALEIXO, D. M.; QUARCIONI, V. A.; MARCONDES, C. G. N.; HELENE, P. **Reducing Water and Chloride Penetration Through Silicate Treatments for Concrete as a Mean to Control Corrosion Kinetics**. Internacional Journal of Electrochemical Science, v.7. 2012. .7. p.9683
- MEHTA P.K., MONTEIRO.P.J.M. – **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. HASPARYK.N.P. 2.ed. São Paulo, IBRACON,2014. p.134
- MUHAMMAD, N.; KEYVANFAR, A; MAJID, M.; MIRZA, A. J.; **Waterproof performance of concrete**: A critical review on implemented approaches, Construction and Building Materials, 2015. v. 101 p. 80–90