ANÁLISE COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS NA PROTEÇÃO CONTRA ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO CONCRETO

C. L. B. BRAMBATTI
Estudante de Engenharia Civil
Universidade de Caxias do Sul
Caxias do Sul/RS; Brasil
cris_brambatti@hotmail.com

M. A. LONGHI
Professor Me.
Universidade de Caxias do Sul
Caxias do Sul/RS; Brasil
malonghi@ucs.br

J. DE GASPERI
Estudante de Engenharia Civil
Universidade de Caxias do Sul
Caxias do Sul/RS; Brasil
jgasperi1@ucs.br

RESUMO

A durabilidade das estruturas de concreto é uma característica tão importante quanto a sua resistência. A água é o principal agente de transporte de substâncias nocivas às armaduras e ao concreto, o que leva ao surgimento de patologias e compromete a durabilidade das estruturas. Para que o concreto mantenha a integridade frente ao ataque de agentes nocivos a penetração de água deve ser controlada, para isso podem ser utilizados materiais que dificultem o transporte interno de fluídos a partir da reação com os subprodutos da hidratação do cimento, como é o caso da sílica ativa ou dos aditivos impermeabilizantes. Além disso, tratamentos superficiais, que criam uma barreira física, podem ser utilizados. Assim posto, o objetivo deste estudo é avaliar a absorção de água e a permeabilidade de concretos compostos com materiais impermeabilizantes (sílica ativa e aditivo cristalizante), e protegidos superficialmente com diferentes produtos destinados a este fim (formador de película, bloqueador de poros, hidrofugante de superfície e argamassa polimérica). Os ensaios realizados neste estudo foram: absorção de água por capilaridade, conforme a norma NBR 9779 (ABNT 2012), permeabilidade pelo método do cachimbo e ângulo de contato. Os resultados demonstram que o aditivo cristalizante foi pouco menos eficiente – em relação a referência – no ensaio de absorção de água por capilaridade, assim como no ensaio de ângulo de contato juntamente ao produto bloqueador de poros. Já no ensaio do cachimbo pelo método RILEM todos os produtos foram mais satisfatórios que a referência. Os demais produtos se mostraram eficientes, com destaque para a argamassa polimérica flexível e o produto hidrofugante de superfície.
Palavras-chave: Absorção por capilaridade. Permeabilidade do concreto. Tratamento superficial.

ABSTRACT

Durability of concrete structures is a characteristic such important as resistance. Water is the main agent responsible for the transport of harmful substances to steel and concrete, leading to the appearance of pathologies and compromising structure's durability. To maintain concrete's integrity against harmful agent's attack, water penetration into concrete must be controlled. To control it, materials that difficult inner transportation of fluids and react with cement hydration sub products, like silica fume and waterproof additives, can be used. Besides, surface treatments, that create a physics barrier, can be used. Therefore, the objective of this study is to evaluate water absorption and permeability of composite concrete with waterproofing materials (silica fume and crystalline catalysts); and concretes superficially protected with different products for this purpose (coatings, crystalline waterproofing, surface water repellent and polymer mortar). The tests carried out in this study were: capillary absorption, according to NBR 9779 (ABNT 2012), permeability by RILEM II.4 method and contact angle. Results demonstrate that crystallizing catalyst was less efficient – in relation to reference – in capillarity water absorption test, as well as in the contact angle test together with crystalline waterproofing. In RILEM test all systems were more satisfying than the reference. Other products were considered efficient, especially the flexible polymer mortar and the water repellent.
Keywords: Capillarity absorption. Concrete permeability Surface treatment.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade das estruturas de concreto armado já foi considerada ilimitada, mas com o crescente uso deste material este conceito mudou, pois muitas estruturas começaram a se degradar com pouco tempo de uso (NEPOMUCENO, 2005). Neville (2016) afirma que a durabilidade depende muito da facilidade com o qual fluídos, tanto líquidos como gases, podem penetrar e se deslocar no interior do concreto. Deste modo, a estanqueidade da estrutura e impermeabilidade do material tornam-se fatores determinantes para a durabilidade. Como meio de transporte para a maioria das substâncias nocivas ao concreto tem-se a água, considerada solvente universal e uma das responsáveis pelo contato da armaduras como cloretos e sulfatos. Para inibir qualquer processo físico-químico de deterioração a impermeabilidade do concreto deve ser considerada um dos parâmetros principais (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Na maiorida dos casos os concretos são projetados para atender todos os resquisitos de durabilidade e não necessitam de proteção superficial. No entanto, em ambientes mais agressivos, pode ser necessária a aplicação de um sistema de proteção superficial ou o uso de aditivos impermeabilizantes para garantir uma durabilidade adequada da estrutura para o fim a qual foi projetada. De acordo com Kazmierczak (2011) o uso de um sistema de proteção superficial pode ser uma alternativa para diminuir a velocidade de degradação de estruturas já existentes, ou um sistema que junto a um concreto permitirá um aumento da vida útil de determinada estrutura. Um dos principais efeitos dessa proteção para um concreto é a restrição do ingresso de água no material, visto que o concreto é um material naturalmente hidrófilo (tem alta afinidade com a água). A água ao entrar em contato com o concreto é absorvida quase que instantaneamente, dependendo do teor de umidade do concreto.

As proteções podem se dar transformando o comportamento dos concretos de hidrófilo para hidrófobo, pelo tamponamento dos poros externos ou internos ou pelo isolamento da superfície de contato entre o concreto e o meio externo. A incorporação de adições minerais no concreto em geral resulta na produção de materiais cimentícios tecnicamente melhores já que estas modificam a estrutura interna da pasta de cimento hidratada e da zona de transição agregado/matriz promovendo uma redução na porosidade capilar do concreto (DAL MOLIN, 2011). As adições minerais podem produzir tanto efeitos químicos quanto físicos na microestrutura do concreto, reagindo com os subprodutos da hidratação do cimento e formando silicato de cálcio hidratado, ou ainda ocasionando o preenchimento dos vazios da mistura cimentícia (efeito fíler).

Outro sistema se dá pelos formadores de película, que após a sua cura formam uma película continua, semi-flexível e de baixa permeabilidade, a qual impede ou minimiza o contato de agentes agressivos com a superfície do concreto (KAZMIERCZAK, 2011). Este tipo de revestimento pode ser dividido em tintas e vernizes, com o emprego destes ocorre à redução da permeabilidade, da carbonatação, da lixiviação e da difusividade de sais, além da diminuição do surgimento de mofo, bactérias e fungos. Este tipo de sistema de proteção superficial requer uma superfície uniforme e homogenea para aplicação, ao ser aplicado, tal material promove uma alteração na característica superficial do substrato.

Já os hidrofugantes penetram nos poros capilares da superfície do concreto e alteram o ângulo de contato entre as paredes dos poros e a água, tornando o concreto hidrorrepelente. Em geral não alteram a cor do substrato, são resistentes aos raios ultravioleta e suportam elevadas temperaturas (KAZMIERCZAK, 2011). De acordo com Batista (1998) os hidrofugantes podem penetrar a profundidades superiores a 10 mm, dependendo do tipo de substrato. Eles atuam repelindo a água pela transformação das forças capilares dentro dos poros das superfícies de positivas (sucção) para negativas (repelência).

Os aditivos cristalizantes são compostos de materiais hidrofílicos e ingredientes ativos que reagem com a água e com as partículas do cimento formando hidróxido de cálcio hidratado e sustâncias bloqueadoras de poros que resistem à penetração de água nos poros capilares e em fissuras. Este mecanismo é análogo à formação do silicato de cálcio hidratado e os cristais formam um composto não solúvel ao redor de toda pasta de cimento hidratado. Como resultado desta reação, a superfície do concreto se torna menos permeável e há um aumento da resistência superficial e da durabilidade do concreto. Segundo o *American Concrete Institute* (2010) os compostos cristalinos desenvolvidos através do concreto se tornam uma parte permanente do concreto, e resistem à penetração de água em locais com pressão hidrostática. Este processo catalisa reações entre a água e os subprodutos da hidratação do cimento, podendo se reativar

sempre que houver a presença de água. O produto mais utilizado para este fim é o silicato de sódio, podendo também ser composto de silicato de potássio e hidróxidos.

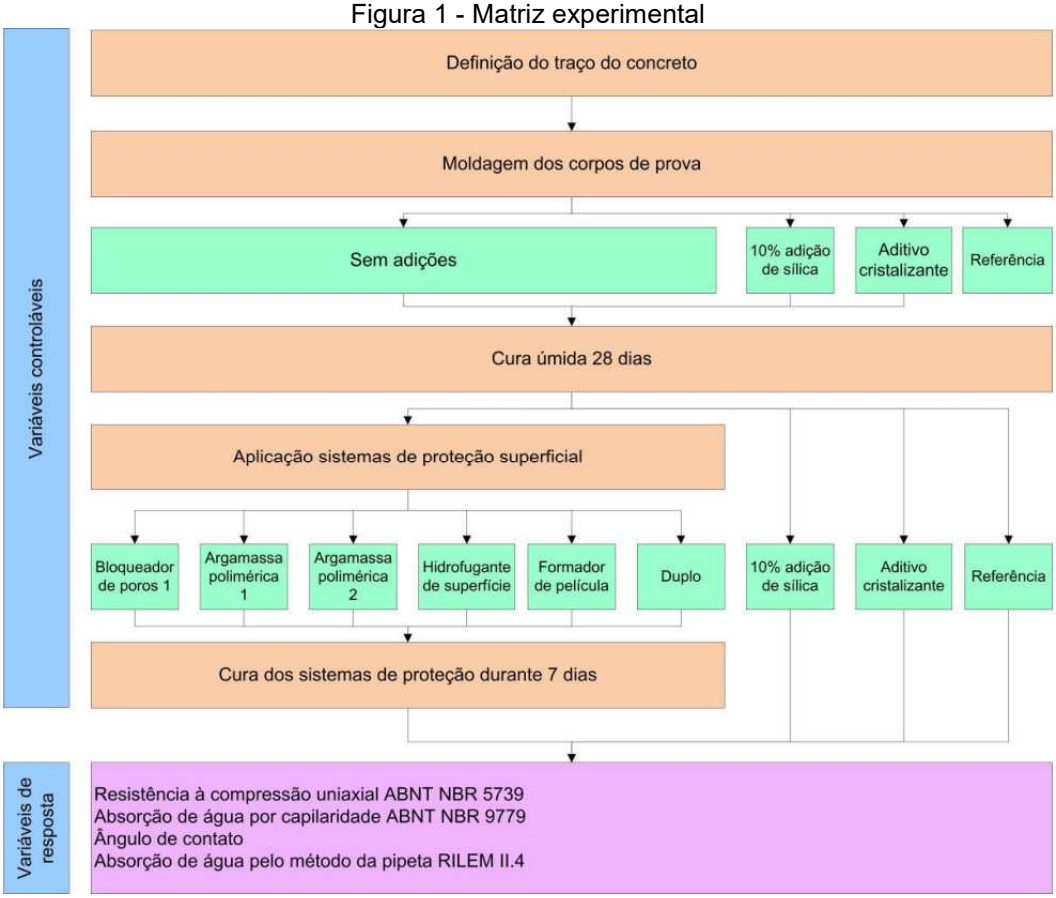
Argamassas e concretos com polímeros são materiais produzidos pela substituição de parte do Cimento Portland por uma resina que irá polimerizar com o auxílio de aditivos ou pela adição de um polímero à matriz hidratada do concreto. Os aglomerantes poliméricos incrementam as propriedades dos materiais, proporcionando às matrizes cimentícias modificadas com polímeros um vasto potencial de aplicações, além de conferir uma alta resistência mecânica, possuir excelentes propriedades dielétricas, baixa porosidade e absorção de água, resistência química e elevada aderência aos substratos (GORNINSKI; KAZMIERCZAK, 2005). De acordo com Gorninski (2011) os revestimentos são utilizados em pequena espessura (6 a 24 mm) sobre o concreto de Cimento Portland, tendo como objetivo o aumento da resistência ao desgaste e a proteção contra penetração de água e íons dissolvidos na água (como cloretos).

Em função da evolução da indústria química e da variedade de produtos presentes no mercado é dificil selecionar um sistema de proteção superficial a partir de avaliações de desempenho em condições reais de uso. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é comparar alguns sistemas e proteção superficial, adições minerais e aditivos impermeabilizantes presentes no mercado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho avaliou-se o desempenho de seis sistemas de proteção superficial, de um aditivo impermeabilizante e da sílica ativa – empregada como adição mineral – nos ensaios de absorção de água (por capilaridade e pelo método da pipeta), ângulo de contato e resistência à compressão uniaxial.Deste modo, criou-se a matriz experimental apresentada na Figura 1. Os produtos usados foram: dois tipos de bloqueadores de poros (sendo um deste acrescentado na mistura e outro aplicado à superfície), duas argamassas poliméricas, um hidrofugante e um verniz, além de um sistema duplo composto pela combinação do hidrofugante com o verniz acrílico.

Figura 1 - Matriz experimental



Fonte: Autores (2017).

2.1 Materiais utilizados

2.1.1 Aglomerante

Neste estudo foi utilizado o Cimento Portland Pozolânico Resistente a Sulfatos CP IV - 32 RS, já que possui adição de pozolanas que diminuem a permeabilidade das misturas cimentícias. Tal material apresenta uma massa específica de 2,58 g/cm³, 6% de resíduo retido na peneira #75 µm e resistência à compressão uniaxial aos 28 dias de 30,4 MPa.

2.1.2 Água

A água utilizada para confecção das argamassas é proveniente da rede de abastecimento pública da cidade de Caxias do Sul/RS.

2.1.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado no estudo foi a areia média quartzosa natural, proveniente de Sapucaia do Sul - RS. O módulo de finura do mesmo é 1,54 e seu diâmetro máximo é 1,18 mm, a massa especifica é 2,6 g/cm³ enquanto que a massa unitária é 1,49 g/cm³.

2.1.4 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado neste estudo foi a brita 1 de origem basáltica comercializada na cidade de Caxias do Sul. O módulo de finura do mesmo é 6,97 e seu diâmetro máximo é 19 mm, a massa especifica é 2,6 g/cm³ enquanto que a massa unitária é 1,40 g/cm³.

2.1.5 Aditivo superplastificante

Para manter a relação a/c fixa em 0,55 e obter-se um *slump* entre 10±2 cm foi adicionado um aditivo superplastificante a base de policarboxilas (PCE). O uso do aditivo deu-se dentro do recomendado pelo fabricante entre 0,2 e 5% da massa de cimento. Nos concretos onde houve o uso de aditivo cristalizante, não foi necessário o uso de superplastificante, visto que o *slump* obtido ficou dentre a faixa de limite estabelecido apenas com o uso do cristalizante.

2.1.6 Traço referência do concreto

Com o objetivo de produzir concretos de resistência entre 25 e 30 MPa, que é uma resistência usual nas construções da região de Caxias do Sul, adotou-se como ponto de partida uma relação de cimento:agregado de 1:5. A partir de estudos preliminares definiu-se o teor ideal de argamassa em 53%, assim o traço final foi definido como 1:2,18:2,82 (cimento:areia:brita) em massa. A fim de atender os requisitos mínimos para peças em ambientes urbanos ou rurais expostas à intempéries, impostos pela ABNT NBR 6118:2014, fixou-se a relação a/c em 0,55. Ainda, fixou-se um *slump* de 10±2 cm e para tal, variou-se o teor de aditivo superplastificante nas diferentes misturas produzidas.

2.1.6 Sitemas de proteção superficial e impermeabilizantes

Além dos sistemas de proteção superficial dos concretos, fez-se a análise da permeabilidade de um concreto contendo 10% de adição de sílica ativa (S10) na sua composição (que, teoricamente, propicia uma redução na permeabilidade da matriz de concreto). A massa específica da sílica utilizada neste estudo é 2,1 g/cm³ e o resíduo retido na peneira #45 µm é de 18,10%.

O bloqueador de poros (BP1) é descrito pelo fabricante como um produto que reage quimicamente com as misturas cimentícias após a aplicação superficial nos concretos. Ainda segundo este, o produto é composto de Cimento Portland, sílica e compostos químicos com propriedade ativas. Quando o mesmo é misturado com água e aplicado à superfície do concreto as substâncias químicas penetram profundamente no concreto endurecido reagindo com os subprodutos de hidratação do cimento causando uma reação

catalítica, gerando assim uma solução cristalina insolúvel, devido a esta característica também são conhecidos como cristalizantes de superfície.

O aditivo cristalizante (BP2) é composto por Cimento Portland, sílica ativa e substâncias químicas ativas. Quando adicionado ao concreto as substâncias ativas reagem com a umidade do concreto fresco e com os subprodutos da hidratação do cimento causando uma reação catalítica, esta reação cria uma formação cristalina insolúvel nos poros tornando-o mais impermeável contra a ação de água ou outras substâncias nocivas.

O produto formador de película (FP) é um verniz acrílico disperso em água para proteção e acabamento de superfície que forma uma película incolor ao ser aplicada no concreto. Tal película protege a superfície do concreto contra ação de chuva e de raios ultravioleta. O hidrofugante de superfície (HS) é um hidrofugante disperso em água à base de silano/siloxano que não contêm solventes, ao ser aplicado forma uma película e não altera a aparência original do concreto.

Descrito pelo fabricante como um revestimento impermeável flexível, a argamassa polimérica flexível (AP1) é um produto bicomponente (pó e resina polimérica) modificado com polímeros, que após misturado é aplicado superficialmente aos concretos. Apresenta resistência a raios ultravioleta e impermeabilidade a cloretos e a sais. Já o revestimento impermeável rígido (AP2) modificado com polímeros, é um produto monocomponente misturado com água e aplicado sobre a superfície do concreto formando uma camada pouco permeável ao ingresso de água. Um resumo das caracterísitca dos sitemas utilizados neste trabalho esta apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos produtos utilizados neste estudo

Sistema		Nomenclatura	Densidade (g/cm³)	Cor	Consumo	Estado	Número de demãos
Referência	REF	Referência	-	-	-	-	-
Revestimento polimérico	AP1	Revestimento impermeável flexível	1,6	cinza	2,0 a 4,0 (kg/m²)	pó+líquido	2
Revestimento polimérico	AP2	Revestimento impermeável rígido	2,0	cinza	2,0 a 4,0 (kg/m²)	pó	2
Bloqueador de poros	BP1	Impermeabilização e proteção do concreto	1,05	cinza	0,8 a 1,0 (kg/m²)	pó	2
Bloqueador de poros	BP2	Aditivo para impermeabilização e proteção do concreto	1,10	cinza	1% de massa do cimento	pó	-
Sílica ativa	S10	Sílica ativa	2,1	cinza	10% da massa de cimento	pó	-
Duplo	DP	HS + FP	vide características de cada sistema				
Hidrofugante de superfície	HS	Hidrofugante	1,00	branco	0,2 a 0,4 (L/m²)	líquido	2
Formador de Película	FP	Verniz acrílico	1,02	branco	0,1 A 0,2 (L/m²)	líquido	2

Fonte: Autores e dados dos fabricantes (2017).

2.2 Produção dos corpos de prova

Os materiais foram separados, pesados e a mistura foi feita em uma betoneira com capacidade para 250 litros. Colocou-se o agregado graúdo, um pouco de água, depois o cimento CP IV - 32 RS, adicionou-se mais água juntamente do aditivo superplastificante e por fim colocou-se o agregado miúdo. No caso dos concretos com sílica ativa esta foi adicionada juntamente ao cimento. A mistura nos concretos com adição de aditivo bloqueador de poros (cristalizante) deu-se de forma diferenciada (conforme orientações do

fabricante), acrescentou-se primeiro a brita, areia e o aditivo cristalizante, após misturou-se por três minutos e por fim adicionou-se o cimento e água.

Após a checagem do abatimento de tronco de cone, moldou-se os corpos de prova conforme a metodologia estabelecida pela ABNT NBR 5738:2015. Todas as formas foram ungidas com óleo mineral a fim de facilitar o processo de desforma. Para os moldes cilíndricos, os cp's foram moldados em duas camadas aplicando-se doze golpes em cada camada.

Após a moldagem, as amostras foram desformadas identificadas e em seguida passaram por um período de cura ao ar por 24 horas. Posteriormente, as amostras foram colocadas em solução de $Ca(OH)_2$ a uma temperatura de 23±2 °C durante 27 dias, completando assim 28 dias de cura. Em seguida, os corpos de prova foram colocados em estufa por 96 horas a uma temperatura de 50 °C – até a obtenção da constância de massa – e, posteriormente, foram lixados superficialmente a fim de remover excessos de óleo e resíduos. Por fim, aplicou-se os sistemas de proteção superficial, seguindo as instruções do fabricante, e esperou-se sete dias para cura completa dos sistemas para a realização dos ensaios.

2.3 Métodos de ensaio

2.3.1 Resistência à compressão uniaxial

O ensaio de resistência à compressão uniaxial é normatizado pela ABNT NBR 5739:2007. Primeiramente foram moldados os corpos de prova de acordo com a norma ABNT NBR 5738:2015. Após a moldagem e cura úmida por 28 dias os corpos de prova foram retificados e submetidos a cargas em uma prensa pneumática. Para atender os requisitos da norma moldou-se três corpos de prova para cada traço de concreto aos 7 e aos 28 dias.

2.3.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado seguindo o descrito na norma ABNT NBR 9779:2012, utilizando corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Os sistemas de proteção foram aplicados na face inferior e nas laterais dos corpos de prova. As amostras foram então colocadas em um recipiente com uma lamina de água de altura constante de (5±1) mm acima da face inferior evitando a molhagem das outras faces. Para evitar que ocorresse perda de água para o ambiente as faces expostas ao ar foram cobertas com plástico filme. Durante o ensaio a massa dos corpos de prova foi pesada durante 72 horas a partir da colocação em contato com a água. Os intervalos de medição foram 3h, 6h, 24h, 48h e 72h. Antes de pesar, as amostras foram enxugadas com um pano úmido, a fim de retirar o excesso de água presente nos corpos de prova.

2.3.3 Permeabilidade pelo método do cachimbo RILEM

Para o ensaio proposto os corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura foram cortados em fatias de 5 cm de espessura e na superfície de contato com o cachimbo foram aplicados os sistemas de proteção superficial. Para cada sistema de proteção testado foram utilizados quatro corpos de prova. A pipeta RILEM foi fixada ao substrato com silicone e foi preenchida com água até atingir o nível máximo. As leituras foram efetuadas com 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180 e 240 minutos, totalizando assim 4 horas de ensaio, obedecendo também aos requisitos da ABNT NBR 14992:2013.

2.3.4 Ângulo de contato

Este ensaio, que é baseado na ASTM D7334, consiste na observação de uma gota da água (pingada com o auxílio de uma pipeta) sobre a superfície dos corpos de prova cobertos com os sistema de proteção superficial. Para tal, o ângulo de contato entre a gota de água e a superfície foi visualizado a partir de análise fotográfica feita com uma máquina Panasonic DMC-FZ40 do Laboratório de Pesquisa Química dos Materiais (LPQM). O ensaio foi realizado sem que houvesse variação no tempo, e foram realizadas três medições para cada sistema analisado. A análise do ângulo de contato foi feita com o auxílio do *software* Sufstens.

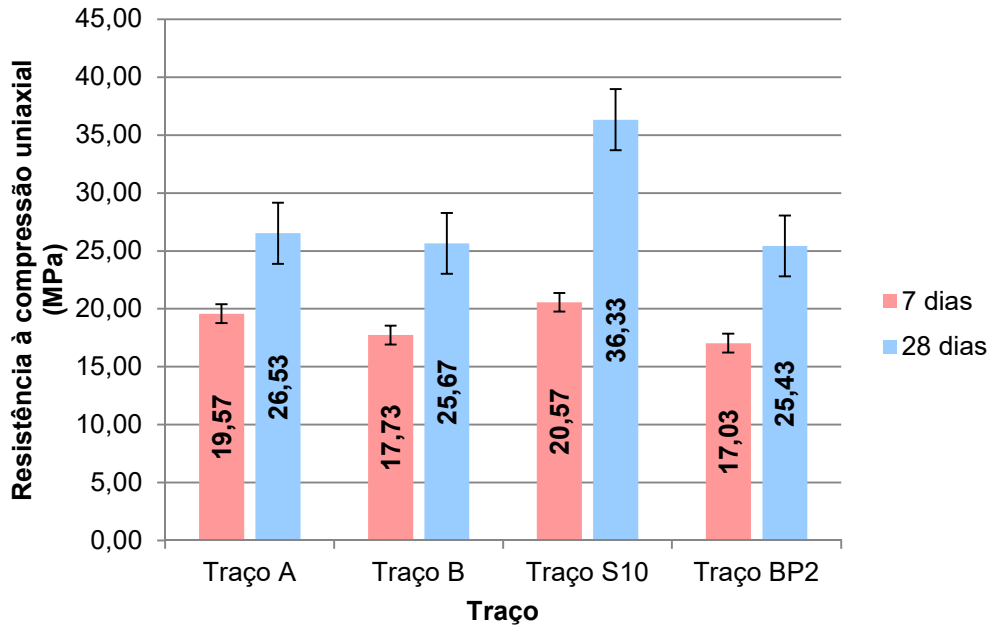
3. RESULTADOS

Em algumas das variáveis de resposta, os dados experimentais foram submetidos a análise da variância (ANOVA) com o intuito de investigar a influência que as variáveis controláveis exerceram sobre o resultado obtido. Esta foi realizada através do *software* Excel, utilizando-se um percentual de confiança de 95%.

3.1 Resistência à compressão uniaxial

Pode-se observar que os concretos dos traços A e B (sem adições)[1] fixaram suas resistências entre 25 e 26 MPa aos 28 dias, sendo que o traço A se apresentou 10% mais resistente aos 7 dias, diferença que diminuiu com o avanço da idade do concreto. Os concretos com sílica ativa (S10) apresentaram um ganho significativo de resistência, aos 7 e — principalmente — aos 28 dias onde é possível observar uma diferença de 10 MPa em relação aos concretos sem adição o que representa um ganho de aproximadamente 40% na resistência final aos 28 dias. O aumento da resistência à compressão uniaxial já era esperado, visto que a sílica ativa, que atua como superpozolana, promove a criação do C-S-H, ocasionando assim acréscimos significativos na resistência. Já os concretos com adição do aditivo cristalizante (BP2) não obtiverem variação significante de resistência aos 7 e aos 28 dias, deste modo a suposta formação de cristais não alterou a estrutura do concreto de forma a aumentar a resistência do mesmo. O resultado pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Resistência à compressão uniaxial dos corpos de prova



Fonte: Autores (2017).

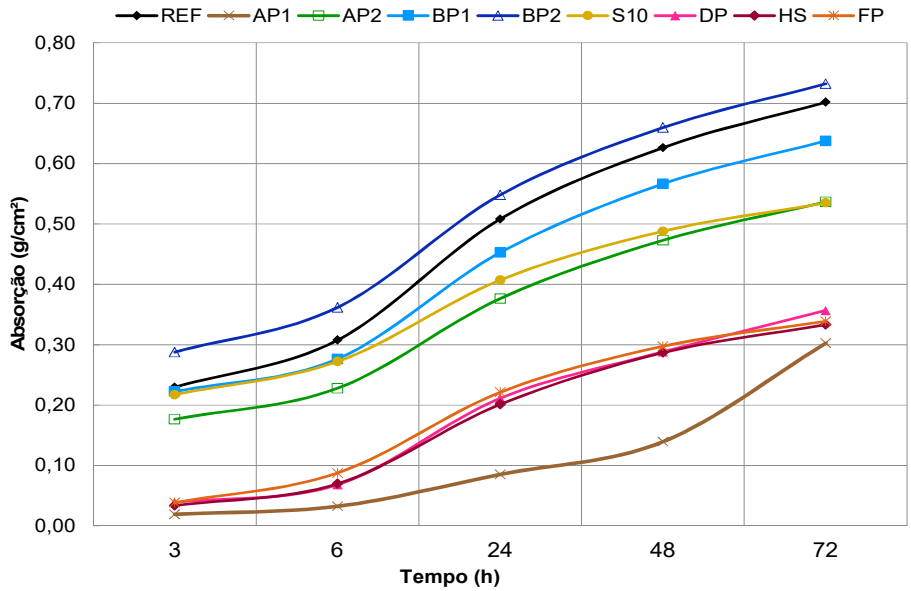
3.2 Absorção de água por capilaridade

O aditivo cristalizante (BP2) mostrou-se pior que o referencial desde o inicio do ensaio tendo absorvido 4,33% a mais de água por cm² durante todo ensaio. Isto pode ser devido ao fato de o produto ter modificado a estrutura interna da mistura cimentícia e gerado um aumento no número de vazios da mesma. Tal resultado vem de encontro ao estudo realizado por Cappellesso *et al.(*2016) onde o aditivo cristalizante aumentou a absorção de água em relação ao concreto referência. Já o bloqueador de poros (BP1) utilizado como proteção superficial proporcionou uma redução da absorção em 9,13% em relação ao referencial. A adição de sílica ativa (S10) reduziu em 23,78% a absorção por capilaridade tendo se mostrado mais eficiente que o aditivo cristalizante e os bloqueadores de poros.

[1] Em virtude da disponibilidade de fôrmas o traço de referência foi moldado em dois dias, recebendo – portanto – uma nomenclatura para cada dia de moldagem (traço A e B).

Os produtos hidrofugante de superfície (HS), formador de película (FP) e o sistema duplo (DP) mostraram um comportamento similar durante todo o ensaio absorvendo 52,51%, 51,70% e 49,17% a menos que o referencial, respectivamente. Com relação a propriedade avaliada neste ensaio, não há vantagem em utilizar o sistema duplo, visto que este apresenta praticamente o mesmo coeficiente de redução que os sistemas isolados e faz se o uso de uma quantidade maior de material. A argamassa polimérica flexível (AP1) foi a que mais contribuiu para diminuição da absorção por capilaridade, tendo reduzido em 56,90% a absorção de água pelos concretos, já a argamassa polimérica rígida (AP2) reduziu em 23,53% a absorção, pois é visivelmente mais porosa que o revestimento flexível. O resultado do ensaio de absorção de água por capilaridade está demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade



Fonte: Autores (2017).

A análise de variância ANOVA, mostra que a alteração do tipo de proteção é significativa para os resultados. O tempo ao demonstrar-se como significativo indica que a variação de massa dos cp's ao longo do ensaio foi considerável. No entanto, a combinação do tempo x tipo de proteção não se apresentou significante. Este resultado pode ser atribuído à variação da eficiência dos sistemas conforme o tempo (como exemplo o sistema formador de película). Os resultados da análise de variância estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – ANOVA do ensaio de absorção de água por capilaridade

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Tempo	29283	5	5856,6	3,58985	0,004831	2,298431	S
Tipo de proteção	112884,6	8	14110,57	8,649189	4,65E-09	2,025247	S
Tempo x Tipo de proteção	3473,589	40	86,83973	0,053229	1	1,50628	NS
Erro	176194,8	108	1631,433				
Total	321836	161					

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade;
MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância;
S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando p<5% como efeito significativo).

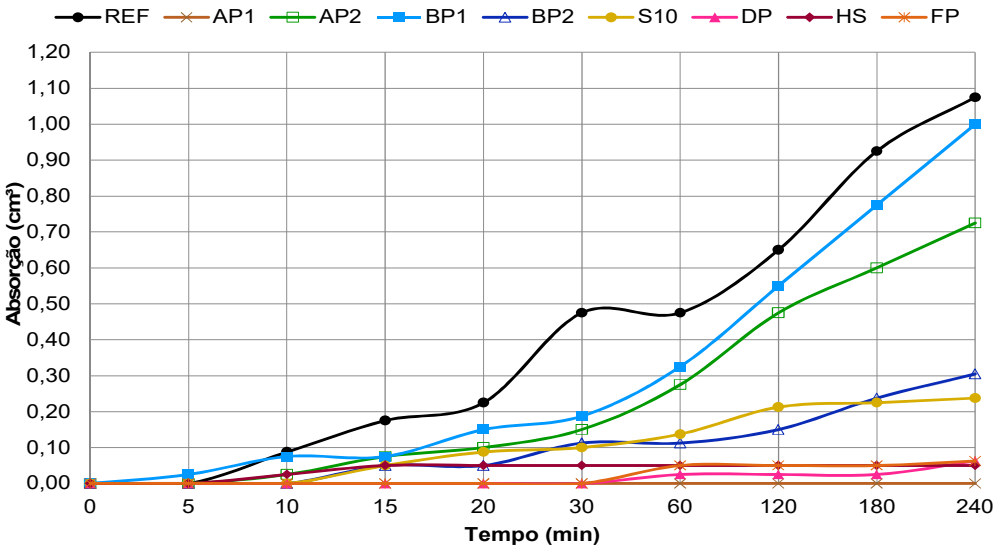
Fonte: Autores (2017).

3.2 Absorção pelo método do cachimbo RILEM

Os resultados de permeabilidade pelo método do cachimbo (ou pipeta RILEM) mostram que — como era esperado — o sistema sem nenhum tipo de proteção superficial foi o que mais absorveu água sendo seguido pelo bloqueador de poros (BP1) que pouco ajudou na proteção contra a permeabilidade de água.

Pode-se observar que a água infiltrou no sistema proteção BP1 e formou uma mancha úmida ao redor de onde foi fixada a pipeta. O aditivo cristalizante (BP2) que é inserido dentro da mistura cimentícias, apresentou um resultado muito melhor do que o produto bloqueador de poros aplicado posteriormente sobre o concreto, reduzindo em 71,63% a permeabilidade sobre os concretos. A sílica ativa (S10) se mostrou eficiente, reduzindo a absorção em 77,91% em relação ao concreto de referência. A argamassa polimérica rígida (AP2) também absorveu uma quantidade considerável de água reduzindo somente em 32,65% a absorção de água em relação ao concreto de referência. Já a argamassa polimérica flexível (AP1) não permitiu a passagem de nenhuma quantidade de água durante as quatro horas de realização do ensaio, se mostrando — neste ensaio — um revestimento completamente impermeável. O sistema formador de película (FP) e sistema duplo (DP) absorveram 0,06 cm³ reduzindo, assim, 94,19% da absorção, sendo tal resultado bastante similar ao sistema de hidrofugante de superfície (HS), que reduziu a absorção de água em 95,35%. Os resultados médios de absorção pelo método do cachimbo estão apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Resultados do ensaio de absorção pelo método do cachimbo RILEM



Fonte: Autores (2017).

A análise de variância (cujo os resultados estão apresentados na Tabela 3) mostra que os diferentes tipos de sistemas e variação de tempo são sim significativos no que diz respeito permeabilidade. A combinação dos mesmos também é significativa para os resultados.

Tabela 3 – Anova do ensaio de absorção pelo método do cachimbo RILEM

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Tempo	5,370825	8	0,671353	40,31677	1,59E-40	1,97663	S
Tipo de proteção	7,849436	8	0,981179	58,92278	1,15E-52	1,97663	S
Tempo x Tipo de proteção	5,930236	64	0,09266	5,564509	6,38E-23	1,364224	S
Erro	4,046425	243	0,016652				
Total	23,19692	323					

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade;
MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância;
S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando p<5% como efeito significativo).

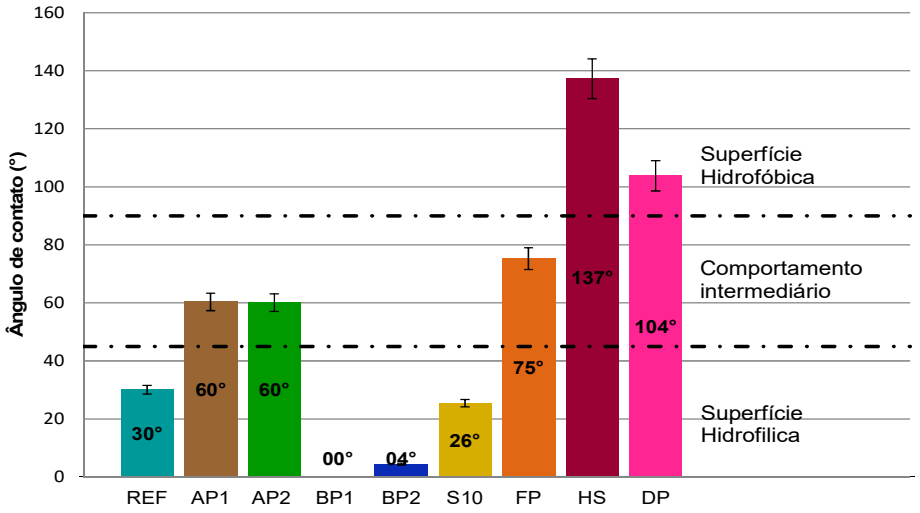
Fonte: Autores (2017).

3.3 Ângulo de contato

O ângulo de contato ocorre entre um plano tangente a uma gota de um líquido e um plano contendo a superfície onde este se encontra depositado. De forma geral um material é considerado poroso quando entra em contato com a água e absorve a mesma devido às forças capilares. A norma ASTM D 7334 estabelece que uma superfície é hidrofílica se o ângulo de contato é menor que 45° e hidrofóbica se o

ângulo de contato é maior que 90°. Esta classificação, assim como os resultados obtidos, pode ser visualizada na Figura 6.

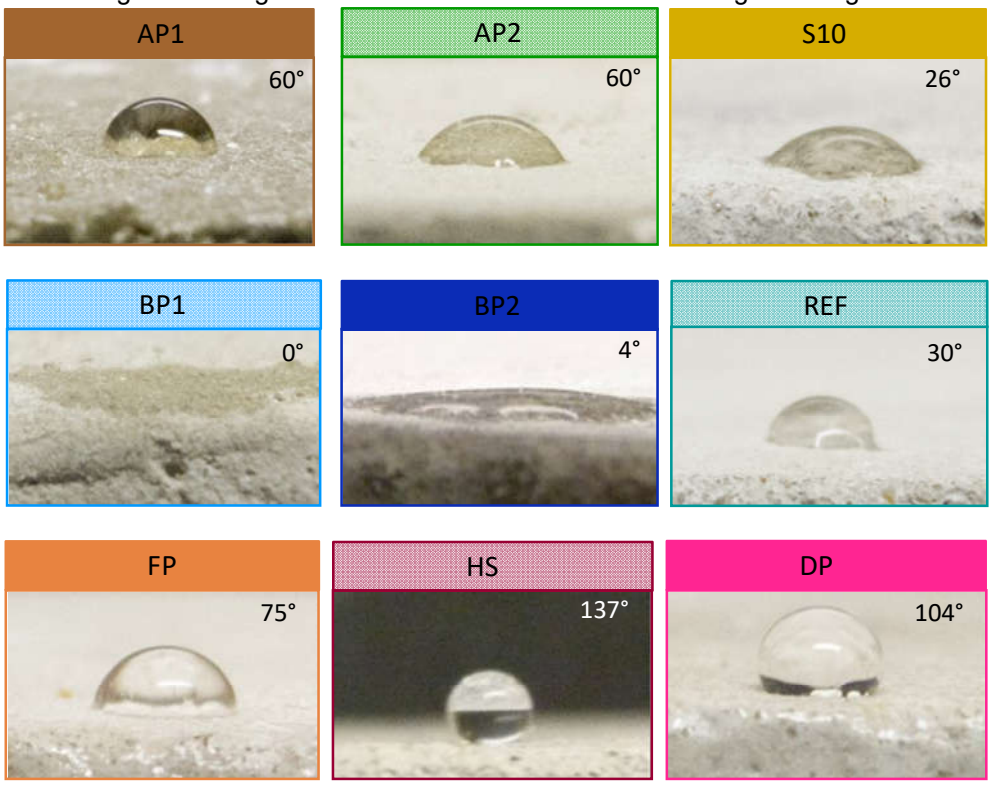
Figura 6 – Classificação das superfícies de acordo com o ângulo de contato.



Fonte: Autores (2017).

O pior resultado deste ensaio foi obtido pelo bloqueador de poros (BP1), onde não foi possível fazer nenhuma leitura pois a água foi absorvida instantaneamente sendo – portanto – tal material considerado como de alta afinidade com a água. O aditivo cristalizante (BP2) também se mostrou de alta afinidade com a água sendo possível realizar apenas uma leitura deste, mesmo assim com um ângulo de contato baixo. Este resultado é similar ao encontrado por Medeiros *et al.* (2015) onde o produto bloqueador de poros a base de cimento quartzoso apresentou ângulo de contato igual a zero. Os ângulos de contato de todos sistemas podem ser visualizados na Figura 5.

Figura 5 – Ângulo de contato entre o substrato e uma gota de água.



Fonte: Autores (2017).

O concreto de referência (REF) e os concretos com a sílica ativa (S10) também foram considerados materiais hidrofílicos de alta afinidade com a água, mesmo assim foi possível realizar uma média de medições para cada sistema no tempo zero, onde se constatou um baixo ângulo de contato entre o substrato e a gota de água.

As argamassas poliméricas rígida (AP2) e flexível (AP1) obtiveram ângulos de contato médio de 60° caracterizando-se assim como materiais de comportamento intermediário. O polímero neste caso foi fator determinante para alteração do ângulo de contato, visto que argamassas comuns tendem a ser materiais de alta afinidade com a água. O produto formador de película (FP) demonstrou um ângulo de contato médio de 75° com o substrato, sendo assim um material de comportamento intermediário.

O único produto que apresentou um comportamento hidrofóbico foi o hidrofugante de superfície (HS), seja sozinho ou quando aliado ao bloqueador de poros no sistema duplo (DP). Este comportamento corresponde a base do mecanismo de funcionamento de hidrofugantes de superfície, que buscam impedir a entrada de água através da alteração do ângulo de contato entre o substrato e a água. Percebe-se que o sistema duplo não traz vantagens em relação ao ensaio de ângulo de contato sendo que o hidrofugante de superfície sozinho foi mais eficiente.

4. CONCLUSÕES

No ensaio de absorção por capilaridade a argamassa polimérica flexível (AP1) obteve o melhor desempenho reduzindo em mais de 56% a absorção. Os sistemas hidrofugante de superfície (HS) e formador de película (FP), além do sistema duplo (DP) foram eficazes reduzindo a absorção em torno de 50%, a sílica (S10) e a argamassa polimérica rígida (AP2) também foram eficientes neste ensaio reduzindo em – aproximadamente – 23% a absorção. O produto bloqueador de poros (BP1) foi eficiente durante todo o ensaio, já o aditivo cristalizante (BP2) foi ineficiente se mostrando assim um material de alta afinidade com a água durante todo período do ensaio.

No ensaio de absorção de água pelo cachimbo RILEM todos os sistemas obtiveram desempenho melhor que o concreto de referência. O produto bloqueador de poros (BP1) obteve um desempenho mediano, devido ao fato de surgirem manchas de umidade ao redor da área de contato do cachimbo com o substrato. Os demais produtos se mostraram muito satisfatórios, com destaque para a argamassa polimérica flexível (AP1) que não permitiu a permeabilidade de água durante o tempo de ensaio.

No ensaio de ângulo de contato os materiais caracterizados como hidrofóbicos foram o hidrofugante de superfície (HS) e o sistema duplo (DP), isto devido ao fato de que a função do hidrofugante de superfície é justamente alterar o contato das gotas de água com o substrato. O formador de películas e as duas argamassas poliméricas se classificam como intermediários. Já os demais sistemas foram considerados superfícies hidrófilas. Não foi possível medir ângulo de contato dos produtos bloqueadores de poros que mostraram ter uma alta afinidade com a água.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Report on Chemical Admixtures on Concrete, Farmington Hills, ACI, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). **Standard Practice for Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement.** ASTM D 7334-08. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____.**NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, ABNT, 2012

_____. **NBR 11579:** Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 14992**: Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - requisitos e métodos de ensaios - projeto. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15894-3:** Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 3: Determinação da finura por meio da peneira 45 µm. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BATISTA, M. Siloxanos e Silanos - perfeitos hidrorrepelentes para toda situação. **Revista Recuperar**, v 23, p. 14-19, 1998.

CAPPELLESSO, V. G.; DOS SANTOS P., N.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, A. B. Use of cystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete. Journal of Building Pathology and Rehabilitation, v. 1, p. 12, 2016

DAL MOLIN, D. C. C. Adições Minerais, In: Isaia. **Concreto:** ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. p.261-309. 2 v. a

GORNINSKI, J. P.; KAZMIERCZAK. C. S. Polímeros em concreto. In:Isaia.**Concreto:** ensino, pesquisas e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1391-1412 2 v. a.

GORNINSKI, J. P.; Concreto com Polímeros. In: Isaia. **Concreto:** ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 1615-1644. 2 v. a

KAZMIERCZAK, C. S. Proteções Superficiais de Estruturas de Concreto. In: Isaia. **Concreto:** ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 1212-1231. 2 v. a

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos**. 2008. 140p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MEDEIROS, M. H. F.; PEREIRA, E.; FIGURA, A. S.; TISSOT, F.M.; ARTIOLI, K.A.; Avaliação da eficiência de sistemas de proteção de superfície para concreto: absorção de água, migração de cloretos e ângulo de contato. **Matéria (Rio De Janeiro**), vol 20. n. 1. Rio de Janeiro, 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

NEPOMUCENO, A. A. Mecanismos de transporte de fluídos no concreto. In: Isaia. **Concreto:** ensino, pesquisas e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 793-827 2 v. a.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.**5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

RILEM."Water absorption under low pressure. Pipe method". **Test NºII.4**, Paris, 1980.