Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

USO DE FIBRA CELULÓSICA CONTENDO POLÍMERO SUPERABSORVENTE COMO AGENTE DE CURA INTERNA EM MATRIZES DE CIMENTO PORTLAND, AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E COMBATE A RETRAÇÃO

A. KOPPE
Mestranda do PPGEC
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Rio Grande do Sul, Brasil
angelicakoppe@gmail.com

M. MANCIO
Prof. Dr. do PPGEC
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Rio Grande do Sul, Brasil
mancio@gmail.com

T. L. A. C. ROCHA
Profa. Dra. do PPGEE
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Rio Grande do Sul, Brasil
tlavila@unisinos.br

RESUMO

Com o avanço de tecnologias de materiais e a necessidade do aumento da velocidade de execução de obras civil, vem surgindo uma série de manifestações patológicas em estruturas de concreto. A expansibilidade, rachaduras, contrações térmicas têm acarretado em uma redução de durabilidade das estruturas, muitas vezes ocasionadas por falhas no sistema de pós concretagem, principalmente a falta de cura. Esta, por sua vez, passou a ser estudada de modo a ser inserida na mistura por meio de reservatórios internos de água, cura interna. Diversos são os materiais promissores a esta técnica, dentre eles se destaca o polímero superabsorvente (PSA), com capacidade de reter grandes taxas de água e liberá-la conforme a necessidade de hidratação do cimento. Contudo, não se tem conhecimento de estudos de PSA de origem residual, inserido em fibras celulósicas (PSAR), para tal fim. Com a finalidade de discutir o uso de cura, o estudo busca apresentar a cura interna, por meio da inserção PSAR, avaliando suas propriedades, resistência mecânica e o controle da retração. A partir dos resultados alcançados, pode-se concluir que a cura é de extrema importância para se adquirir propriedades desejadas em uma matriz de cimento e o PSAR apresenta potencial como agente de cura interna. Embora com a desvantagem de gerar poros, combate a retração, reduzindo em 38% a retração em idades de até três dias, e age como plastificante, reduzindo a relação a/c de 0,54 para 0,48 com seu uso.
Palavras-chave: Cura do concreto, cura interna, polímero superabsorvente.

ABSTRACT

With the advancement of material technologies and the need for increased civil works execution speed, it has emerged a number of pathological manifestations in concrete structures. The expansion, cracks, thermal contractions have entailed a reduction in the durability of the structures, often caused by failures in the post concreting system, particularly the lack of healing. This, in turn, has come to be studied to be inserted into the mix by internal water reservoir, internal cure. There are several promising materials to this technique, among which stands out the superabsorbent polymer (SAP), with capacity to hold large water rates and release it as needed to cement hydration. However, it is not aware of SAP studies of residual origin, inserted into cellulosic fibers (PSAR) for this purpose. In order to discuss the use of healing, the study aims to present the domestic demand through the PSAR insertion, assessing its properties, mechanical strength and control of the retraction. From the results obtained, it can be concluded that the healing is of utmost importance to acquire desired properties in a cement matrix and PSAR has potential as an internal curing agent. But with the disadvantage of generating pores, combat the decline, reducing by 38% the decline in age up to three days, and acts as a plasticizer, reducing the w/c ratio of 0,54 to 0,48 with its use.
Keywords: Concrete healing, internal curing, superabsorbent polymer.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

O avanço de tecnologias voltadas à construção civil tem gerado novos materiais, a fim de minimizar a necessidade de extração de insumos naturais, novas bases de cálculo, aperfeiçoando técnicas, e novos processos de execução, a fim de acelerar o sistema construtivo. Contudo, o concreto ainda é uma das matrizes de cimento mais versáteis e confiáveis por apresentar facilidade em se conseguir diferentes formas, com baixo custo de produção, em função da facilidade em se conseguir insumos, e por apresentar propriedades que geram durabilidade ao longo de muitos anos [1].

Utilizado em grandes proporções, atualmente alcançando um volume de 33 bilhões de toneladas por ano [1], atuando na modernização, praticidade e agilidade de estruturas, é também responsável por apresentar um vasto nicho de manifestações patológicas. Nos últimos anos com o aumento gradativo da velocidade de execução das estruturas, maior necessidade de resistência inicial, menor porosidade, entrelaçado a uma maior resistência mecânica e finura de cimentos, estruturas vem apresentando maior índice de fissuração, expansibilidade, rachaduras, contrações térmicas, acarretando em uma redução de durabilidade [2].

Problemas estruturais gerados por falhas no sistema de pós-concretagens são os mais comuns, ainda mais quando envolve cimentos com resistências e finuras elevadas [3]. A cura do concreto, procedimento no qual se mantem a umidade satisfatória para a hidratação de partículas de cimento, evitando a evaporação da água da mistura, tem a finalidade de proteger a superfície de elementos estruturais de temperaturas elevadas, dessecação e desgaste prematuro [4]. No entanto, é nítido que parte das obras realiza este procedimento somente em estruturas recém concretadas, ou, muitas vezes, nem o realizam. Com isso, as características superficiais são as mais afetadas, aumentando a porosidade, consequentemente gerando permeabilidade, carbonatação, fissuração, etc [3].

A fim de evitar tais problemas estruturais, estudos de cura passaram a ser aprofundados e modernizados. As técnicas de cura interna passaram a ser visadas uma vez que minimizam o erro de mão de obra, atuando em melhorar as propriedades de hidratação. É denominada como um fornecimento de água à mistura, inserido por meio de reservatórios internos de água, através de materiais capazes de reter determinadas taxas de água e posteriormente liberá-la durante a hidratação das partículas de cimento [5].

Denominados como materiais promissores a atuarem como agentes de cura interna, os polímeros superabsorventes (PSA), são materiais com grande capacidade de absorção de água e retê-la em sua estrutura [6]. Dependendo de sua granulometria, podem absorver taxas de até 5000 vezes seu peso em estado seco [6;7]. Segundo [7], toda a água absorvida pelo PSA pode ser considerada quimicamente disponível para reagir com o cimento, melhorando sua hidratação. Contudo apresentam desvantagem na geração de porosidade interna, diretamente influenciada pelas características físicas do material, principalmente granulometria e taxa de absorção e água.

Estudados desde 2001 como agentes de cura interna, já foram utilizados na construção de pontes e pavilhões [8;9]. Seus estudos de aprimoramento tomaram força a partir da união de pesquisadores no desenvolvimento do "Technical Committee 225-SAP – RILEM", publicado no ano de 2012 pela editora Springer. Contudo não se tem registros do uso de PSA residual, descartado por outros setores no mercado, como agente de cura interna, em todos os casos, são utilizados materiais nobres, produzidos para tal finalidade. Com isso, o estudo visa discutir a importância da cura em estruturas de cimento Portland, avaliando o potencial de uso de um PSA incorporado em fibra celulósica, rejeito do ramo de higiene, como agente de cura interno, avaliando melhoras na resistência à compressão e no combate a retração.

1.1 Cura do concreto

Considerado um dos processos de pós-concretagem mais importantes, a cura consiste no controle de evaporação da água de amassamento do concreto, mantendo uma umidade satisfatória, a fim de que ocorram as reações de hidratação das partículas de cimento, garantindo que a mistura adquira as propriedades desejadas. Além de evitar a evaporação de água do amassamento, a cura objetiva também proteger a superfície do elemento estrutural de temperaturas elevadas, evitando a dessecação, desgaste do prematuro do concreto e fissuração [4].

A perda de água prematura é um dos principais causadores de vazios e cria esforços de retração hidráulica, além de redução da resistência e durabilidade de estruturas de concreto [3]. Como principal manifestação patológica tem-se as fissuras, deixando a camada superficial fraca, porosa e permeável, vulnerável à entrada de substâncias agressivas. [1] representam graficamente as consequências de uma cura inadequada (Figura 1), relacionando o percentual de perda de resistência em função do tempo de cura do concreto. Para os autores, ao realizar-se uma cura de forma adequada,

molhando-se a estrutura de forma contínua, aos 28 dias tem-se 100% do seu potencial desejado, contudo, ao não realizar-se este procedimento, tem-se a perda de 50% de sua eficiência. Além disso, os autores destacam que, ao realizar-se a cura por apenas três dias, tem-se uma eficiência de 80% na mesma idade, apresentando seu potencial em idades reduzidas e destacando a necessidade de cura principalmente nas idades iniciais, a fim de se garantir as propriedades desejadas.

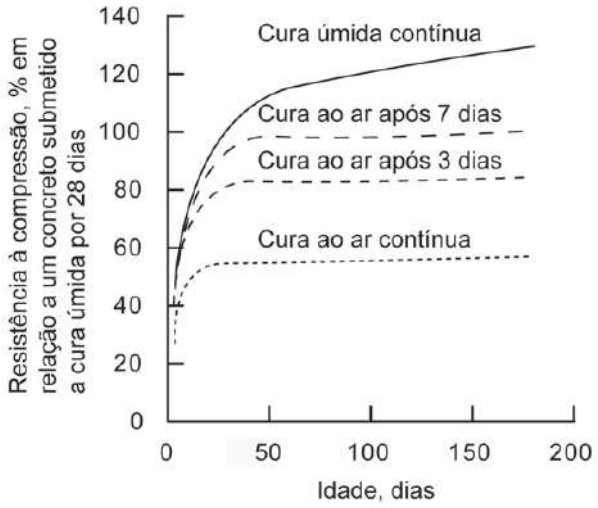

Figura 1: Percentual de ganho de resistência do concreto em função da cura úmida. [1].

Na prática, a aspersão de água e molhagem são os métodos mais tradicionais de se realizar a cura úmida, realizada logo após o lançamento do concreto. Além disso, a utilização de se lonas plásticas, mantas, serragem auxiliam a manter a umidade da cura úmida na superfície do concreto por mais tempo.

1.2 Cura Interna

O conceito de cura interna partiu inicialmente de estudos de agregados leves, utilizados pela primeira vez no antigo império Romano na construção da cúpula de Pantheon (118 d.C. até 125 d.C.) com o intuito de reduzir o peso da estrutura. Contudo, até o término da Segunda Guerra Mundial, onde os agregados leves já tinham sido utilizados para a construção de navios e pontes, não se atribuía melhoras na durabilidade das estruturas em função de um melhoramento na cura das estruturas, gerados pelos reservatórios internos de água dos agregados leves. A primeira publicação que atribui à melhora em estruturas em função da cura interna deu-se em 1957 por Paul Klieger, que determinou que agregados leves absorvessem taxas de água consideráveis durante a mistura e que, aparentemente, poderiam liberar para a pasta durante a hidratação [10].

Considerada uma técnica promissora com capacidade de contribuir com a hidratação das partículas de cimento e reduzir a retração, a cura interna baseia-se em proporcionar umidade a uma mistura cimentícia por meio de reservatórios internos de água [11]. A inserção de reservatórios internos pode ser feitos por meio de agregados leves pré-saturados [5], ou por meio de polímeros superabsorventes, fibras de madeira pré-saturada [12], entre outros materiais capazes de reter grandes quantidades de água. Contudo, [13] atribuem somente dois métodos capazes de agirem com eficiência com a cura interna, os materiais porosos saturados; e a utilização de polímeros superabsorventes (PSA).

A Figura 2 [10] apresenta, de forma esquemática, o conceito de cura interna, onde se observa que a zona de hidratação gerada pela cura é ampliada quando há a utilizado da cura interna. Com o uso da cura externa, a água de cura necessita ultrapassar uma microestrutura muito densa para reabastecer de água toda a matriz cimentícia, enquanto a água de cura interna possui uma microestrutura reduzida a ultrapassar em função de já estar inserido na matriz [14].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

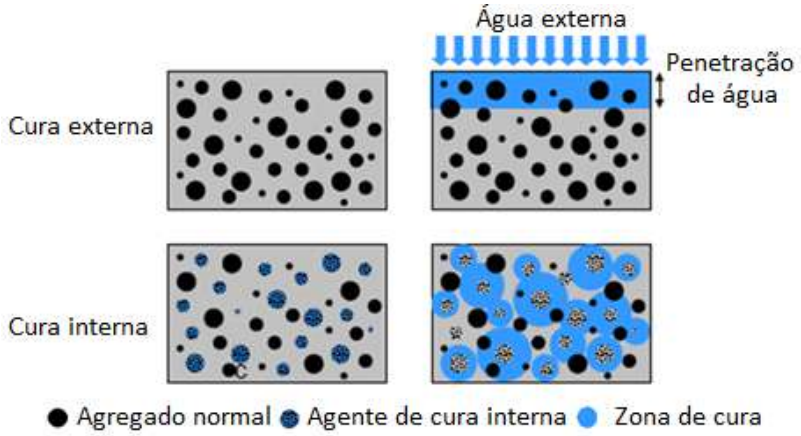

Figura 2: Conceito de cura externa e cura interna [10].

Embora com a vasta vantagem gerada pelo uso de elementos a auxiliarem na cura interna, seu uso não substitui totalmente as práticas recomendadas de cura de uma estrutura, uma vez que é importante manter a superfície do concreto sempre úmido [13]. A técnica é denominada um procedimento a auxiliar a falha de processos externos inadequados de cura, auxiliando na não proliferação de fissuras e melhores taxas de hidratação do cimento.

1.3 Polímero Superabsorvente

Muitos estudos já foram desenvolvidos utilizando-se polímeros superabsorventes (PSA) na construção civil. Foram estudados por Hansen e Jensen em 2001 no combate a retração, e, desde então, são os materiais mais promissores a fim de melhorar as propriedades de hidratação do cimento, quando utilizados como agentes de cura interna. Adicionados a uma matriz cimentícia, atribuem melhoras quanto à trabalhabilidade, melhoras na hidratação interna, diminuição da retração autógena, controle de efeitos de gelo/degelo [7; 8; 9; 12], contudo geram poros internos, considerado a maior desvantagem do seu uso. Recentemente a RILEM estabeleceu um comitê “TC-SAP 225” com a finalidade de estudar e potencializar a sua utilização na construção civil [15], aprimorando seus estudos em cura interna e redução de fissuração em matrizes de cimento Portland.

Desenvolvidos nos anos de 1980 para a indústria de higiene, são materiais com grande capacidade de absorção de líquidos, chegando a absorver 5000 vezes seu peso seco, e retê-los em sua estrutura sem liberá-los [6;8]. Quimicamente são poliacrilatos interligados por ligações covalentes cruzadas, e em função desta estrutura atribuem a capacidade de absorção de líquidos, sem se dissolverem [7;8]. Sua taxa de absorção é diretamente ligada ao tipo de PSA utilizado, sua granulometria (seja na forma de pó, grãos, ou fibras) e a solução a ser absorvida [6]. Ao entrarem em contato com soluções aquosas resultam na formação de um hidrogel, assemelhando-se a um gel, e, após terem absorvido sua capacidade máxima de absorção, formam partículas estáveis, assumindo a mesma forma das partículas em estado seco [9; 16].

Utilizados como agente de cura interna, segundo [6] apresentam dois efeitos opostos: a) o aumento do grau de hidratação das partículas de cimento, elevando a resistência e durabilidade da matriz cimentícia, e b) a geração de poros internos, ao liberarem a água para a matriz cimentícia, diminuindo sua resistência. Diversos são os fatores que tem influência para que um destes efeitos se tornarem dominantes, tal qual a maturidade do concreto, relação a/c, tamanho da partícula de PSA e, principalmente, a quantidade de PSA utilizado. Embora haja a geração de vazios na estrutura da matriz cimentícia, a utilização de PSA gera um efeito plastificante, aumentando a trabalhabilidade da matriz, havendo a vantagem da diminuição da relação a/c da mistura, acarretando em um aumento da resistência mecânica.

Toda a água absorvida pelo PSA pode ser considerada disponível, na forma de reservatório interno, para reagir com as partículas de cimento [7]. A liberação de água do PSA só ocorre em ambientes com pH elevado, e esta libração se dá à medida que a umidade relativa interna da matriz de cimento Portland reduz, seja pelas reações de hidratação do cimento, que consomem a água da mistura, ou por meio de evaporação precoce [17]. Esta liberação ocorre de forma gradual, conforme a necessidade da matriz cimentícia, promovendo uma cura de dentro para fora [6].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1.4 Fibra celulósica contendo PSA (PSAR)

A fibra celulósica é um material constituído basicamente por fibras vegetais de celulose, e são consideradas alternativas baratas para a substituição de fibras poliméricas [14]. Estes materiais apresentam matriz oca, o que faz com que absorvam pequenas taxas de solução aquosa, agindo como reservatório interno. Utilizados em matrizes de cimento Portland, apresentam vantagem quanto à redução da retração plástica e retração por secagem, a não sofrerem corrosão, além da resistência a ataques alcalinos, contudo, a desvantagem fica a cargo da porosidade deixada à matriz [14]. Contudo, para atuarem como agentes de cura interna necessitam ser incorporado à matriz de cimento, em grandes quantidades, o que geram uma grande perda de resistência mecânica na estrutura devido à alta taxa de porosidade.

Já a fibra celulósica contendo PSA (PSAR) em sua composição (utilizada no estudo), apresenta uma capacidade de absorção de água superior à fibra celulósica pura. Com uma taxa de absorção de 55 g de água por grama de PSAR, apresentam-se com um material com razoável capacidade de absorção, que por sua vez, geram uma menor taxa de poros em uma matriz cimentícia, depois de incorporados. Segundo [17], a taxa de absorção de solução aquosa do PSAR varia conforme o pH da solução, quanto maior o pH, menor a absorção.

Apresentam composição química formada por 70% de fibra celulósica, 10% de PSA e 20% de polietileno de baixa densidade, polipropileno, umidade e outros materiais em menor quantidade [14]. Sua forma física, em estado seco assemelha-se a um algodão, observadas com microscópio, apresenta fibras alongadas, chatas e de curto comprimento (Figura 3-A), e, ao absorverem água apresentam-se na forma de fibras com esferas de gel arredondadas (Figura 3-B e C).

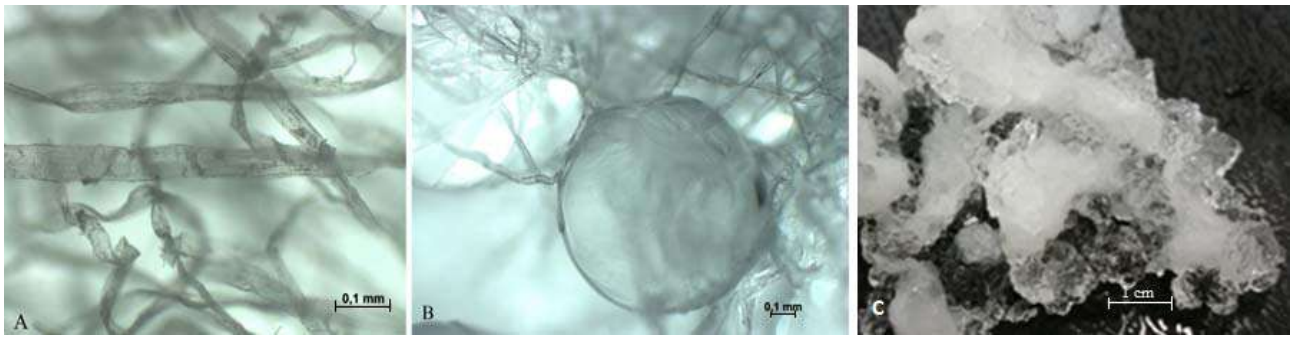

Figura 3: A) PSAR em estado natural, com ampliação de cinco vezes; B) PSAR saturado, com ampliação de 2,5 vezes; C) PSAR saturado, vista a olho nu.

2. OBJETIVO

O presente estudo visa discutir a importância da utilização cura em estruturas de concreto, apresentando o uso de cura interna, através da inserção de fibra celulósica contendo PSA (PSAR), considerado rejeito industrial, avaliando melhoras em propriedades cimentícias e na minimização de manifestações patológicas através do controle de retração.

2. JUSTIFICATIVA

A ineficiência da cura em concretos pode ser um dos grandes vilões de estruturas de concreto. A não realização deste procedimento de pós-concretagem implica diretamente em uma má hidratação das partículas de cimento, e no aparecimento de manifestações patológicas, como a retração e a fissuração, gerando uma redução da vida útil de estruturas de concreto.

A fim de contribuir para uma melhor eficiência deste procedimento, a técnica de cura interna passa a ser uma das opções mais promissoras, não substituindo a cura já realizada em estruturas, mas auxiliando na melhora da qualidade das propriedades desejadas de uma estrutura de concreto. Esta técnica passa a ser realizada por meio de materiais que assumem a posição de reservatórios internos de água, inseridos em toda a mistura cimentícia, auxiliando na hidratação de partículas de cimento de maneira mais eficiente, uma vez que necessitam ultrapassar menores barreiras de microestrutura para fornecerem água a toda a estrutura.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Os polímeros superabsorventes (PSA) são considerados uma opção para a realização de cura interna, uma vez que apresentam a capacidade de absorver grandes quantidades de água, além e atuarem como plastificantes, auxiliando na redução da relação água/cimento. Estudos apontam melhoras nas estruturas de cimento quando utilizado PSA como agente de cura interna, agindo na minimização dos efeitos de retração autógena (seu principal foco de estudo).

Porém, dentre os estudos já realizados, não se tem registo da utilização de PSA misturado a fibras celulósicas (PSAR), descartes de setores empresariais, como agentes de cura interna. Desenvolver técnicas favoráveis à construção civil que visam à utilização de rejeitos industriais, sem gerar manifestações patológicas, e contribuir com o meio ambiente é considerada uma ação sustentável e atual. Ou seja, auxiliar em estudos técnicos de cura interna, a fim de se evitar manifestações patológicas em estruturas de concreto, utilizando-se um rejeito industrial, PSAR, deixa de ser apenas o avanço de uma técnica construtiva, passa, também, a ser obrigação, uma vez que materiais menos nobres podem também se transformar em matéria prima, auxiliando o meio ambiente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de discutir a importância da utilização de cura interna, a fim de melhorar propriedades cimentícias e evitar a formação de manifestações patológicas em estruturas de concreto, optou-se por avaliar, consistência, resistência à compressão e o controle de retração em argamassas contendo PSAR. Os materiais utilizados consistem em duas areias, sendo uma natural (60%), extraída de rio e outra artificial (40%), proveniente da britagem e rocha basáltica, um PSAR com taxa de absorção de 55 gramas de água por grama de PSAR e cimento CP IIF-40.

Para a determinação do percentual de PSAR a ser adicionado à argamassa utilizou-se o método proposto por [16], no qual se obteve uma taxa de 0,65 Kg/m³ de PSAR. Com o intuito de se avaliar a trabalhabilidade, observando se o material residual apresenta potencial plastificante, realizou-se o ensaio de consistência das argamassas [18], onde se fixou a consistência da argamassa contendo o PSAR e se modificou a relação a/c da argamassa sem a utilização do material residual, ajustando-a a mesma consistência da argamassa com PSAR.

Para a avaliação da resistência à compressão [18], moldou-se seis corpos de prova para cada idade, fixadas em 1, 3, 14, 28 e 91 dias. Na Tabela 1 está apresentada a identificação das argamassas moldadas, sendo uma referência, e outras duas contendo PSAR, uma com a quantidade calculada e outra com o dobro da dosagem calculada, representando uma forma estimada de adição de PSAR. Cada mistura foi submetida a três condições de cura e umidade relativa (UR) distinta – 100% UR a 23°C, 60% UR a 23°C e 30% UR a 40°C – representando três situações de clima distintas encontradas, principalmente na região Sul do Brasil.

Tabela 1 – Identificação das argamassas moldadas.

Traço	Identificação	Dados de identificação dos traços
A	REF IIF	Traço referência, sem a adição de PSAR.
B	PSAR IIF	Traço contendo PSAR, na dosagem de 0,65 kg/m³ de PSAR.
C	PSAR+ IIF	Traço com o dobro de PSAR do traço B.

Antes de se iniciar a mistura, o PSAR foi previamente saturado com a quantidade de água destinada à cura interna (55 g/H_2O/g PSAR). O procedimento de saturação ocorreu 30 minutos antes da mistura. Durante o processo de mistura das argamassas, o PSAR, com a água já absorvida, foi adicionado junto à água, e posteriormente foi dada sequência do procedimento de mistura e moldagem [18].

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados segundo procedimentos da mesma norma, utilizando uma prensa marca CONTROLS, modelo Sercomp 2 C80/ES, classe I, com capacidade de carga de 2000 kN. Foi utilizado a velocidade de aplicação de carga de 0,25 MPa/s até que o corpo de prova apresentasse ruptura.

Para a avaliação da retração realizou-se a moldagem de três barras (Figura 4-A), com dimensões de 2,5 x 2,5 x 28,5 cm, de cada argamassa identificada na Tabela 1 e submetida às mesmas condições de cura estipuladas para a resistência à compressão. A moldagem das argamassas obedeceu aos mesmos procedimentos de mistura destinados à resistência à compressão, sua moldagem e avaliação ocorreram segundo [19]. As leituras foram realizadas nas idades de 24 h, 3, 7, 14, 28, 63 e 91 dias. O equipamento utilizado na leitura da retração consiste em um equipamento denominado “aparelho de retração”, da marca Solotest, com um relógio comparado acoplado (Figura 4-B).

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

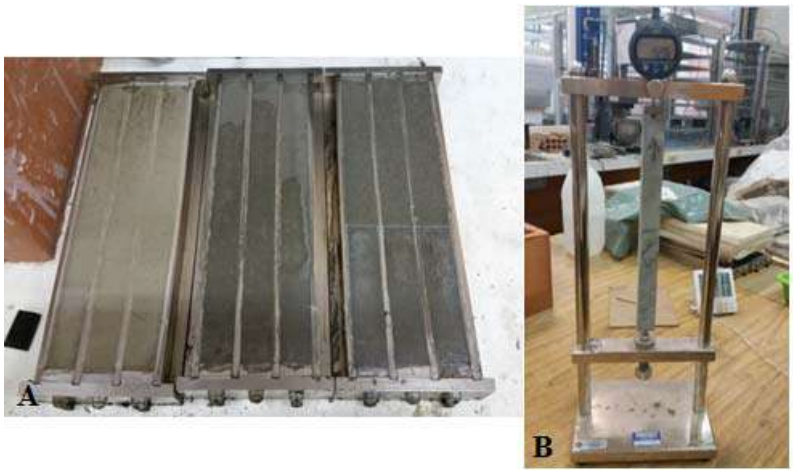

Figura 4: Retração das argamassas. a) Argamassas moldadas para análise de retração; b) Argamassa submetida ao ensaio de retração.

5. RESULTADOS

5.1 Consistência das argamassas

As argamassas contendo PSAR em sua mistura apresentaram aumento de trabalhabilidade com relação à argamassa sem PSAR. A Figura 5 e Tabela 2 apresentam as diferenças de consistência encontradas. A Figura 5-A apresenta a consistência alcançada com o PSAR, com uma relação a/c 0,48; na Figura 5-B tem-se a argamassa referência, sem a adição de PSAR, com mesma relação a/c; já na Figura 5-C têm-se a correção da argamassa referência, ajustando-a a mesma consistência encontrada na argamassa contendo PSAR.



Figura 5: Ensaio de consistência inicial com e sem PSAR. a) Argamassa com PSAR; b) Argamassa referência, sem a adição de PSAR; c) Ajuste de consistência da argamassa referência com relação à consistência encontrada com a incorporação do PSAR.

Tabela 2 – Dados obtidos no ensaio de Consistência.

Traço	Consistência Inicial	Consistência Final	Água de ajuste	a/c final
PSAR	226 mm	226 mm	x	0,48
REF	154 mm	227 mm	38 g	0,54

Observa-se que a argamassa contendo o material residual apresenta maior trabalhabilidade e homogeneidade, quando comparado à argamassa referência, que se apresenta menos trabalhável e sem homogeneidade. Para este traço obteve uma trabalhabilidade inicial de 226 mm, com PSAR, tornando-se este a consistência padrão para este tipo de cimento. Para ajuste da argamassa REF, foi adicionado 38g de água à mistura. Com a adição da água para ajuste da consistência, a argamassa referência passou a ter uma relação a/c final de 0,54, enquanto a argamassa contendo PSAR permaneceu em 0,48.

5.2 Resistência à compressão

A Tabela 3 e a Figura 6 apresentam os resultados de resistência à compressão adquiridos ao longo dos 91 dias. Os resultados apresentados são resultados médios.

Tabela 3 – Síntese dos resultados de compressão obtidos até a idade de 91 dias.

Identificação	Idade de ruptura (dias)				
	1	3	14	28	91
REF 100%	15,82	32,02	40,13	43,98	45,98
PSAR 100%	15,79	32,57	39,26	46,69	46,14
REF 60%	15,82	29,65	38,89	34,18	39,90
PSAR 60%	15,79	29,94	40,40	38,65	39,70
REF 30%	15,82	35,02	34,46	38,68	38,48
PSAR 30%	15,79	32,66	33,76	31,34	37,17
PSAR+ 30%	9,47	26,13	25,90	23,47	28,85

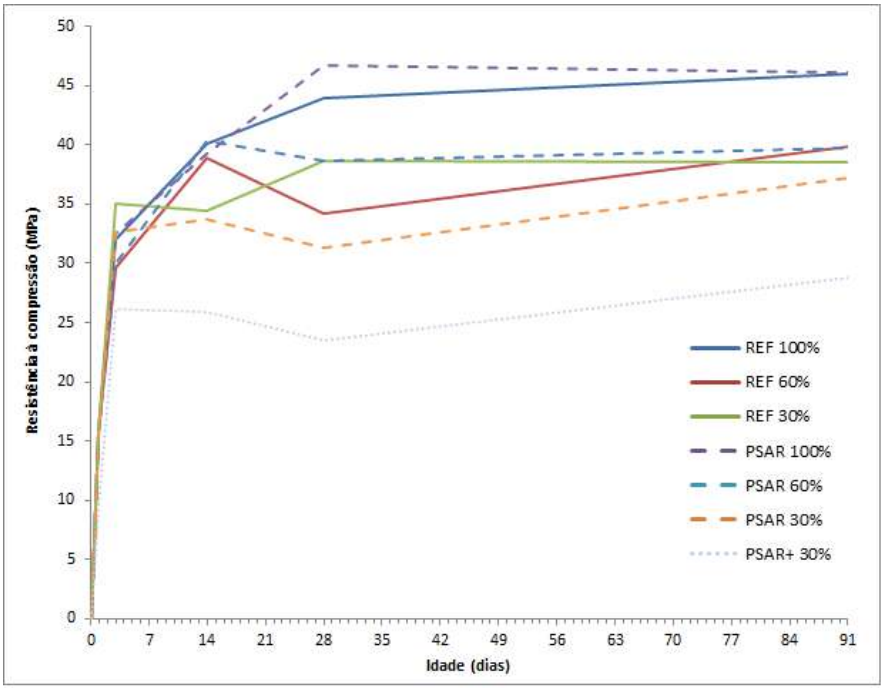

Figura 6: Resultados de resistência à compressão das argamassas.

Através da análise de resultados tem-se que, de maneira geral, as argamassas apresentam uma resistência a compressão variável ao longo das idades. Em idades iniciais (3 dias) observa-se um ganho de resistência superior das argamassas submetidas a condições mais severas de temperatura e umidade (30% UR a 40°C). Contudo estas passam a se estabilizar mais rapidamente, apresentando um ganho de resistência, de 3 dias até 91 dias, aproximadamente 70% inferior as demais condições de cura. Além disso, por se tratar de um cimento sem adições, observa-se, de maneira geral, uma estabilização das resistências já aos 28 dias.

De modo geral, as argamassas contendo PSAR em sua composição apresentam uma resistência à compressão similar às argamassas referência, com variação máxima inferior de 1,33 MPa para a argamassa curada a 30% UR. A estabilização das resistências à compressão se dão em função diminuição da relação a/c da argamassa contendo PSAR e a porosidade interna gerada pelo uso do material residual. Contudo observa-se uma perda significativa de resistência na argamassa contendo o dobro de PSAR (PSAR+30%) gerada pela utilização inadequada do material residual, comprovando a necessidade de dosagem adequada para que o efeito de cura interna seja adquirido de forma positiva.

Com relação às condições de cura, conforme já apresentado por [1], representado na Figura 1, observa-se que quanto pior a condição de cura, menor a resistência à compressão. Ou seja, ao deixar de se submeter às argamassas a uma cura

adequada, tem-se uma diminuição do grau da hidratação das partículas de cimento, acarretando em uma perda de resistência.

5.3 Retração das argamassas

A Figura 7 apresenta os resultados de retração obtidos nas idades de 24h até a idade de 91 dias. É possível observar que a retração está diretamente associada à resistência à compressão, onde, quanto maior a resistência à compressão, menor a retração. Ou seja, quanto melhor a taxa de hidratação das partículas de cimento, menor a retração. Os valores de retração variaram de 0,78 mm (REF 100% e PSAR 100%) a 1,14 mm (REF 30%).

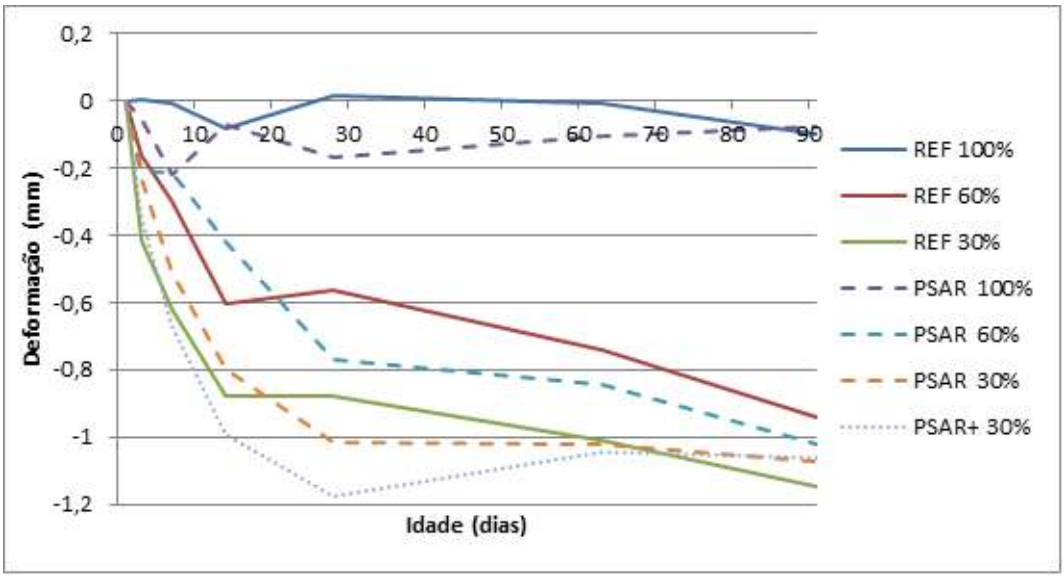

Figura 7: Retração das argamassas até a idade de 91 dias.

Para as argamassas curadas a 100% UR tem-se uma retração de 0,78 mm, aos 91 dias, apresentando uma maior variação para a argamassa contendo PSAR, contudo, nesta idade, a retração é igual à argamassa referência. Já para a argamassa cura a 60% UR, observa-se uma menor retração na argamassa REF (0,94 mm), quando comparada a sua similar contendo PSAR (1,02 mm), sendo 8% superior à referência. Na condição de 30% UR, observa-se que a utilização do PSAR apresenta um desempenho favorável no combate a retração, apresentando 1,04 mm de retração enquanto a argamassa referência apresenta 1,14 mm. Ao analisar-se a argamassa contendo o dobro de PSAR (PSAR+), observa-se que no combate a retração, seu desempenho é similar à argamassa curada a contendo quantidades calculadas de material residual sob mesma condição de cura.

Embora com valores muito similares de retração ao longo de todas as idades, não se observa uma lógica no combate a retração até a idade de 91 dias, horas ficando a argamassa referência com melhores resultados, horas a argamassa contendo PSAR. Tal fato pode estar associado os vazios internos deixados pelo PSAR após liberar toda a água destinada a cura interna.

Fator importante a ser destacado é apresentado sobre o controle de retração nas idades iniciais (até 3 dias), onde se observa que em piores condições de cura (30% UR), o material residual apresenta uma diminuição de retração. Observa-se que a argamassa REF 30%, nesta idade, apresenta uma retração de 0,41 mm, enquanto a argamassa PSAR 30% apresenta apenas 0,23 mm, representando 38% menos retração. Nesta idade, até mesmo a dosagem contendo valores inadequados de PSAR (PSAR+ 30%), apresentam um desempenho superior (0,34 mm) do que a prórpria argamassa referência. Ou seja, quando a matriz cimentícia é submetida a maiores ações de tensão, propício a deformação, o material residual passa a liberar água mais rapidamente, minimizando as tensões, diminuindo a movimentação da estrutura.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados obtidos, constata-se que a cura é uma etapa importante a ser executada em estruturas de cimento Portland. Sua não realização gera diminuição da resistência à compressão e retração, avaliados no estudo,

acarretando em uma menor durabilidade e, consequentemente, menor vida útil da estrutura. A perda de resistência e aumento de retração é diretamente proporcional à condição de cura, quanto menor a umidade relativa, maior a geração de efeitos indesejados. Ou seja, quanto mais água disponível a fim de gerar cura, melhor será a hidratação das partículas de cimento, elevando as propriedades desejadas em uma matriz de cimento Portland.

Com relação ao uso da cura interna, observa-se que o método não substitui a necessidade de cura externa, mas sim aprimora a hidratação das partículas de cimento. Portanto, a cura interna passa a ser um processo a auxiliar no controle de proliferação de manifestações patológicas, porém manter-se a superfície da estrutura sempre úmida é de extrema necessidade, a fim de se evitar evaporações excessivas de água, em função de condições climáticas, para o ambiente.

Com relação ao uso do PSAR como agente de cura interna, observa-se que o material apresenta potencial para ser utilizado para tal finalidade, uma vez que atua na diminuição da relação a/c e potencializa uma melhora no combate a retração em idades iniciais. Por ser adicionado à mistura pré-saturado, apresenta um efeito plastificante, onde se obteve uma redução e relação a/c de 0,54 para 0,48. Embora haja a geração de poros internos, tais vazios não afetam a estrutura ao longo das idades, não apresentando perda de resistência final, nem tensão significativa que levasse a uma maior retração. Contudo, conclui-se que sua utilização não deve ser realizada de maneira equivocada, sendo necessário o cálculo do volume de PSAR a ser adicionado à mistura. Caso adicionado de forma inadequada passa a gerar um maior número de poros internos, prejudicando a matriz cimentícia.

Sua utilização apresenta maior vantagem no combate à retração em idades iniciais (até três dias), diminuindo as tensões de retração, mantendo a estrutura mais estável, evitando a geração e manifestações patológicas. Além disso, por se tratar de um material residual, atua em prol do meio ambiente, eliminando rejeitos industriais de aterros, e eliminando a necessidade de extração de matéria prima para gerar materiais nobres, produzidos para a finalidade de promover cura interna.

7. REFERÊNCIAS

[1] Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. – "*Concreto. Microestrutura, propriedades e Materiais"*. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2014, 751 p.
[2] Mehta P. K. – "Reducing the environmental impact of concrete. Concrete can be durable and environmental friendly". *Concrete International* – 2001, pp 61-66.
[3] Helene, P. Levy, S. "Boletín Técnico - Curado del hormigón". Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción – *ALCONPAT*, México, 2013, pp 1-10.
[4] Figueiredo, E.; *et al*. – "*Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials. ACI SP-253*". *American Concrete Institute*,.2008, 413 p.
[5] ACI – "American Concrete Institute". *ACI Concrete* Termmiunology, 2013.
[6] Jensen, O. M. – "Use of Superabsorbent Polymers in Concrete". *Concrete International*. 2013, pp 48-52.
[7] Kumm, T. C. – "Influência do emprego de polímeros superabsorventes nas propriedades de materiais à base de cimento Portland". Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009, 160 p.
[8] Mechtcherine, V.; Reinhardt, H. – "*Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction, State-of-the-Art Report*", Springer, 2012, 167 p.
[9] Dudziak L, Mechtcherine V. – "Mitigation of volume changes of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) by using Super Absorbent Polymers, and Int Symp on Ultra High Performance Concrete", E Fehling et al (eds) Kassel University Press GmbH, 2008, p. 425-432.
[10] Bentz, D. P; Weiss, W. J.- "Internal Curing: A 2010 State-of-the-Art Review". *NISTIR 7765*, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology. 2011, 94 p.
[11] RILEM TC-196 - "Internal curing of concrete, state-of-the-art report" of RILEM technical committee 196-ICC, in: K. Kovler, O.M. Jensen (Eds.), RILEM Publications S.A.R.L. France, Bagneux, 2007, 139 pp.
[12] Jensen, O. M., Hansen, P. F. – "Water entrained cement-based materials – I. Principles and theoretical background". *Cement and Concrete* Res 31(4), 2001, p. 647-654.
[13] Cusson, D.; Hoogeveent, T. - "Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking". *Cement and Concrete Research,* National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0R6, 2008, pp 757 - 765.
[14] Kawashima, S.; Shah, S. P. – "Early-age autogenous and drying shrinkage behavior of cellulose fiber-reinforced cementitious materials". *Cement & Concrete Composites*. V. 33, 2011, p. 201–208.

[15] Esteves, P. – "On the absorption kinetics of superabsorbent polymers". International RILEM Conference on Use of Superabsorbent Polymers and Other New Additives in Concrete 15-18, 2010, p. 77 – 84.
[16] Bentz, B. D. P.; Lura, P.; Roberts, J. W. – "Mixture Proportioning for Internal Curing". *Concrete International*, 2005, pp 35-40.
[17] Gomes, L.M. – "Avaliação da potencialidade de resíduo sólido de base celulósica advindo do setor de higiene pessoal testando sua adição em argamassa de revestimento". São Leopoldo, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2014, 117 p.
[18] Associação Brasileira de Normas Técnicas – "NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento" - Especificações. Rio de Janeiro, 2012.
[19] Associação Brasileira de Normas Técnicas – "NBR 15261: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)". Rio de Janeiro, 2005.