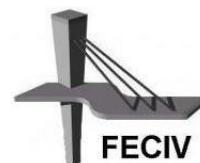




UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



MATHEUS ABDALA ROCHA FONTES

**TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DO TEOR DE
ABSORÇÃO DO POLÍMERO SUPERABSORVENTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

UBERLÂNDIA
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS ABDALA ROCHA FONTES

**TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DO TEOR DE
ABSORÇÃO DO POLÍMERO SUPERABSORVENTE**

Artigo submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof^a. Dr^a. Livia Borba Agostinho

UBERLÂNDIA
2023

MATHEUS ABDALA ROCHA FONTES

**TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DO TEOR DE
ABSORÇÃO DO POLÍMERO SUPERABSORVENTE**

Artigo submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Uberlândia, 31/01/2023.

Banca Examinadora – Assinaturas

Prof.^a. Dr.^a. Livia Borba Agostinho – FECIV - UFU/MG
Orientadora

Prof.^a. Dr.^a. Leila Aparecida de Castro Motta – FECIV - UFU/MG
Examinadora Interna

Prof.^a. Dr.^a. Maria Cláudia de Freitas Salomão – FECIV – UFU/MG
Examinadora Interna

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado saúde, sabedoria e determinação para realizar este trabalho. Obrigado Senhor, por todas as bênçãos que colocou sobre mim e por ter me guiado para o melhor caminho, aquela que só o Senhor conhece.

Aos meus pais por serem a todo momento os meus maiores mentores, aqueles que mostram um amor incondicional por mim e são a razão para sempre buscar a minha felicidade. Obrigado por terem sido minha base, em tantas vezes terem aberto mão das escolhas de vocês para se voltarem para a melhor escolha para minha vida. O amor que sinto por vocês não é possível ser descrito.

Ao meu irmão, 8 anos mais velho, mas que sempre buscou fazer tudo para me deixar bem e confortável em quaisquer circunstâncias.

Ao meu primo e amigo Eduardo, que a vida toda foi uma inspiração para mim por toda sua história de vida, enfermidades e nunca ter deixado de sorrir para o que a vida pode oferecer. Sou muito grato e espero viver muitos anos ao seu lado.

Aos meus tios, Adelor e Isabela por toda palavra de apoio, incentivo e carinho. Obrigado por me tratarem como filho.

Em especial ao meu pai Alexandre, que nunca mediu esforços para me deixar feliz e que sempre me apoiou em qualquer decisão que eu tomasse.

À minha companheira de vida Ana Clara, que me ajudou, apoiou, sustentou, encorajou durante todo esse processo e foi um grande ombro amigo. Seus conselhos voltados para o espírito de paz, alegria e companheirimos me deram forças para chegar até aqui.

À todos meus amigos, principalmente, aqueles que me acompanham desde a época de ensino fundamental até os dias de hoje. Me orgulho de fazer parte da vida de cada um de vocês.

À minha orientadora Livia por ter abertas as portas e ter feito tudo que poderia por mim e pela entrega deste trabalho. Além dela, à minha parceira de laboratório Luiza, pela disposição e por cada esforço empenhado junto à mim nessa etapa final de minha graduação. Obrigado por cada conhecimento transmitido e pela confiança.

Aos meus amigos construídos dentro da Universidade, obrigado por tornarem esses anos mais leves. Em destaque, ao meu amigo e companheiro Luiz Otávio que esteve comigo em todos os desafios na rotina de UFU, você é parte dessa conquista.

À todos os alunos que estiverem comigo durante o período de Construção, participar do movimento empresa júnior foi essencial para meu crescimento como pessoal e como profissional.

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e à Faculdade de Engenharia Civil – UFU por todos esses anos de aprendizados e capacitação para ser um excelente profissional.

Técnicas de caracterização do teor de absorção do polímero superabsorvente.

Matheus Abdala Rocha Fontes¹; Livia Borba Agostinho²

¹ Faculdade de Engenharia Civil – FECIV/UFU, Av. João Naves de Ávila, 2121 Campus Santa Mônica – Bloco 1Y - CEP: 38400-902 – Uberlândia – MG – Brasil; e-mail: matheusabdalarf@gmail.com

² Faculdade de Engenharia Civil – FECIV/UFU, Av. João Naves de Ávila, 2121 Campus Santa Mônica – Bloco 1Y - CEP: 38400-902 – Uberlândia – MG – Brasil; e-mail: liviaborba@ufu.br

RESUMO

Os Polímeros Superabsorventes (SAP) têm sido estudados por vários pesquisadores ao redor do mundo. Isso ocorre, principalmente, pelos resultados encontrados na mitigação dos efeitos da retração autógena em concretos de alta resistência (CARs). O SAP é definido de acordo com a RILEM como um material sintético com capacidade de absorver elevada quantidade de líquido do ambiente e retê-lo sem dissolução em sua estrutura. A mitigação da retração autógena é gerada por um processo de cura interna a partir da presença do SAP. Diante disso, neste trabalho foram realizados alguns ensaios baseados em métodos recomendados pelo comitê 260-RSC da RILEM para determinar o teor de absorção do SAP, intitulados: *tea-bag* e filtragem. Além desses dois métodos citados, também foi realizado o ensaio de espalhamento de argamassa que possui o objetivo de determinar o índice de consistência da argamassa, este ensaio foi baseado na ABNT NBR 13276:2016. A partir desses ensaios foi possível observar a diferença no teor de absorção do SAP quando modificado o meio em que ele está exposto (aquoso e cimentício) e que os métodos propostos pela recomendação técnica não são indicados para a determinação do teor de absorção do polímero para aplicação em meio cimentício.

Palavras-chave: polímero superabsorvente; concreto de alta resistência; rilem; retração autógena, filtragem, tea-bag, espalhamento de argamassa.

ABSTRACT

Superabsorbent Polymers (SAP) have been studied by several researchers around the world. This occurs mainly due to the results found in mitigation on the effects of autogenous shrinkage on High Strength Concrete (CAR). SAP is defined according to RILEM as a synthetic material capable of absorbing a high amount of liquid from the environment and retaining it without dissolution in its structure. The mitigation of autogenous shrinkage is generated by an internal healing process from the presence of SAP. Therefore, in this work, some tests were performed based on methods recommended by the 260-RSC committee of RILEM to determine the SAP absorption content, entitled: *tea-bag* and filtration. In addition to these two methods mentioned, the slump flow method was also performed, which has the goal of determining the mortar consistency index, this essay was based on ABNT NBR 13276:2016. From these tests it was possible to observe the difference in SAP absorption content when modified the environment in which it is exposed (aqueous and cementitious) and that the methods proposed by the technical recommendation are not indicated for the determination of the absorption content of the polymer par application in cementitious environment.

Keywords: superabsorbent polymer; high strength concrete; rilem; autogenous shrinkage, filtration, tea-bag, slump flow.

1. INTRODUÇÃO

Um material que está cada vez mais comum no âmbito da engenharia civil é o concreto de alta resistência (CAR), definido pela ABNT NBR 8953:2015 como todo concreto de finalidade estrutural que possui valores de resistência à compressão entre 55 a 100 MPa. Este material representa um importante avanço na tecnologia do concreto, porém possui uma particularidade que é o consumo elevado de cimento, visto que para atingir a alta resistência é necessário uma baixa relação água/cimento. Diante disso, o resultado é uma estrutura porosa refinada, gerando elevadas tensões capilares. Com essa característica, o material torna-se suscetível a fissuras nas idades iniciais e perdas expressivas em suas características mecânicas e de durabilidade devido ao fenômeno da retração autógena (LOPES, 2011; SILVA, 2007).

A retração autógena não é algo novo no estudo do concreto. De acordo com Jensen e Hansen (2001), no ano de 1900, Le Chatelier, referencia em estudos sobre o cimento um registro sistemático a respeito das propriedades da pasta com cimento. A retração autógena pode ser explicada por um fenômeno que proporciona a diminuição da reserva de água em reações de hidratação do cimento. Sua ação acontece a partir da soma de dois fenômenos: a retração de autosecagem e a contração de Le Chatelier, também conhecida como retração química. Apenas em concretos de alta resistência (CARs) a retração autógena é considerada. Isso ocorre, pelo fato de que nesse tipo de concreto há uma baixa relação água/cimento (a/c) e, visto que a baixa relação a/c é diretamente relacionado a criação de meniscos nos capilares dado pelo consumo de água para a hidratação, a retração autógena é gerada de forma impactante. Logo, a retração autógena se tornou uma consequência expressiva e negativa para os mesmos, pois prejudica os principais objetivos desse material: as funções de alta resistência e de alta durabilidade.

O Polímero Superabsorvente (SAP) é um material ainda considerado inovador na construção civil. Este material sintético é formado por poliacrilatos e são conhecidos pela característica de possuírem grande afinidade pela água. O SAP é conhecido e amplamente usado em diversos segmentos, como: higiene pessoal, agricultura e construção. Porém, é importante destacar a utilização em grande escala pela indústria de cosméticos na produção de fraldas descartáveis e também de absorventes. Diante disso, esse material possui como a principal propriedade a grande capacidade de absorção e retenção de líquidos devido a formação de suas cadeias hidrofílicas. Esse fato pode ocasionar em uma absorção de até mil vezes maior que sua própria massa (BUCHHOLZ & GRAHAN, 1998). O SAP passou a ser produzido no Brasil a partir do ano de 2015 por meio da primeira planta de superabsorvente da América Latina, no estado da Bahia, pela BASF. Essa fábrica possui capacidade de suprir toda a demanda do continente da América do Sul (ALBUQUERQUE, 2011; MAIA, 2011; BASF, 2015). Entretanto, mesmo com a produção no Brasil, a forte comercialização do SAP é no exterior.

A eficiência do polímero superabsorvente nos concretos de alta resistência já foi

comprovada no meio científico por meio de pesquisas e de testes (MANZANO, 2016; AGOSTINHO, 2021; PALMA E SILVA, 2022). A presença do SAP no concreto tem como objetivo proporcionar um processo de cura interna, visando mitigar a ação do fenômeno de retração autógena e assim, otimizar o desempenho dos CARs na construção civil, garantindo que eles tenham suas principais características de alta resistência e durabilidade mantidas (MANZANO,2016). Entretanto, por se tratar de um produto ainda recente e com poucos dados de utilização no mercado, ainda se faz necessária a contribuição de estudos e pesquisas para entendimento da aplicação do produto como inovação tecnológica.

Dessa forma, em 2009 houve-se a criação de um comitê técnico TC 255 SAP pela RILEM, que é uma associação internacional de pesquisa focada em análises científicas em materiais de construção. Diante disso, este comitê teve o objetivo de estudar o uso do SAP em micro-concretos. Posteriormente, em 2012, foi publicado por esse comitê, o documento *Application of superabsorbent polymers (SAP) in concrete construction: state-of-the-art report* (RILEM, 2012), juntamente com um artigo contendo resultados interlaboratoriais. Essa publicação visava tornar o SAP comumente conhecido, para assim impulsionar o incentivo de pesquisas sobre o tema e utilização do material pelo mercado da construção civil. Já em 2015, foi criado então o comitê TC 260-RSC da RILEM que possui foco no estudo das recomendações para o uso do SAP no concreto.

Dessa forma, este artigo tem como objetivo a realização de dois ensaios estabelecidos pelo comitê TC 260-RSC da RILEM pela recomendação técnica que visa a determinação do teor de absorção do SAP para uso em meios cimentícios Snoeck, Schröfl and Mechtcherine, (2018). Além disso, houve a execução de um terceiro ensaio recomendado por Manzano (2016) e Andrade Neto (2014). Em todas as três metodologias de ensaios o objetivo final é determinar a absorção do SAP, ou seja, quantas gramas de água são absorvidas em uma grama de SAP. Os ensaios recomendados pela RILEM são intitulados em *tea-bag* (sachê de chá) e filtragem, já o ensaio descrito por Manzano e Andrade Neto é o espalhamento de argamassa.

Assim, o objetivo deste artigo em determinar o teor de absorção do SAP no meio aquoso e cimentício, justifica-se pelo fato de que com a absorção de água pelo SAP, as misturas cimentícias podem sofrer quedas na trabalhabilidade, logo, a importância desta definição para garantir a aplicação do polímero de forma adequada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução dos ensaios deste trabalho, foram realizados dois tipos de ensaios baseados nas recomendações da RILEM TC 260-RSC. Estes ensaios foram o *tea-bag* e o filtragem. Ademais, o terceiro ensaio realizado foi o de espalhamento, de acordo com Manzano (2016), Palma e Silva (2022) e Andrade Neto (2014). Cada um dos métodos utilizados possuem diferentes tipos e quantidades de materiais.

Na metodologia do *tea-bag* foram testadas três amostras em meio aquoso assim como na metodologia do filtragem. No método de filtragem também foram realizados mais 2 ensaios em meio cimentício. E por último foi realizado o ensaio de espalhamento de argamassa. A distinção dos ensaios pode ser acompanhada na Tabela 1.

Tabela 1: Definição dos ensaios

ENSAIOS	MEIO AQUOSO	MEIO CIMENTÍCIO
<i>Tea-bag</i>	X	-
Filtragem	X	X
Espalhamento	-	X

Fonte: Autor (2023).

2.1 MATERIAIS

Para a realização desses ensaios foram utilizados materiais disponíveis na região, exceto o SAP que foi obtido por meio de doação pelo prof. Ole Mejlhede Jensen da DTU (Denmark Technical University). Os materiais foram utilizados na forma como fornecidos pelos fabricantes, sem beneficiamento.

2.1.1 Cimento

Para a execução dos ensaios que envolvem massa cimentícia, foi utilizado o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CPV-ARI. Essa escolha foi baseada pela quantidade de clínquer presente neste cimento que se aproxima das características do CEM I, recomendado pelo comitê da RILEM (TC 225 SAP). O cimento CPV ARI é parametrizado pela ABNT NBR 16697 (2018) em que admite ter até 5% de material carbonático. Ademais, o cimento CPV-ARI é o cimento mais comum quando se trata de concreto de alta resistência no Brasil.

2.1.2 Aditivo Superplastificante (SP)

O aditivo utilizado neste artigo foi do tipo redutor de água de grande eficiência (superplastificante de 3º geração). A base deste produto é policarboxilato, fornecido pela BASF. As características disponibilizadas pelo fabricante encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização físico-químicas do aditivo superplastificante fornecidos pelo fabricante

Característica	Aditivo empregado na produção das pastas
Base química	Éterpolicarboxilato
Função principal	Superplastificante
Aspecto	Líquido viscoso
Cor	Branco turvo
Viscosidade	< 150 cps
Massa específica (g/cm ³)	1,067 – 1,107
pH	6,0 ± 1,0
Teor de cloretos (%)	Isento

Fonte: Agostinho (2021)

2.1.3 Polímero Superabsorvente (SAP)

O polímero utilizado neste trabalho foi desenvolvido na Universidade Técnica da Dinamarca (DTU) e doado pelo Prof. Ole Mejlhede Jensen. Este SAP teve sua caracterização feita por Palma e Silva (2022) e teve a absorção determinada por meio do ensaio de espalhamento de argamassa. O valor encontrado foi de 18g/g, ou seja, cada grama do polímero seco absorve 18 gramas de fluido quando em meio cimentício. Este resultado é de extrema importância para que seja definida a quantidade de água absorvida pelo polímero e o quanto sua absorção irá interferir na trabalhabilidade da mistura. Este procedimento será detalhado no subcapítulo de métodos. Na Tabela 3 estão exibidas as características deste SAP.

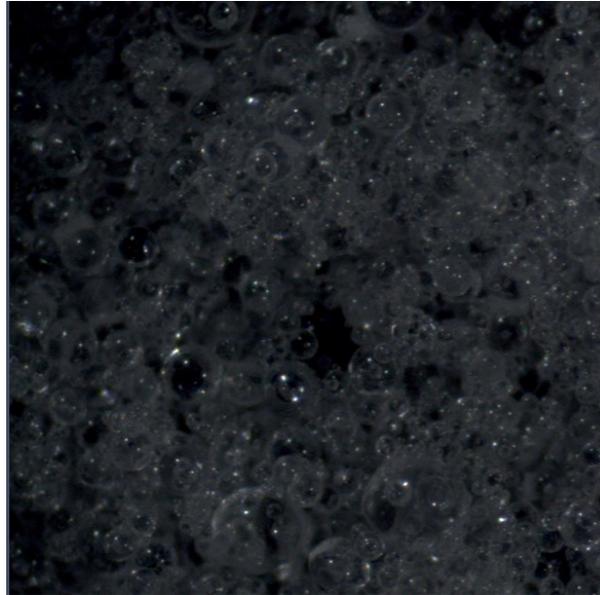
Tabela 3 - Características do Polímero Superabsorvente

Diâmetro médio	100 µm
Forma das partículas	Esférica
Processo de produção	Suspensão inversa
Massa específica (g/cm ³)	1,32

Fonte: Adaptado de Palma e Silva (2022)

Foram realizadas algumas imagens em microscópio óptico para ilustrar a determinação de Palma e Silva (2022) sobre as características do polímero seco. Na Figura 1 é possível visualizar a imagem do polímero a partir de um microscópio óptico. Vale ressaltar que foram retiradas algumas medidas do diâmetro do SAP a partir do microscópio e encontrado valores próximos de 0,1 milímetros.

Figura 1: Imagem do SAP pelo microscópio



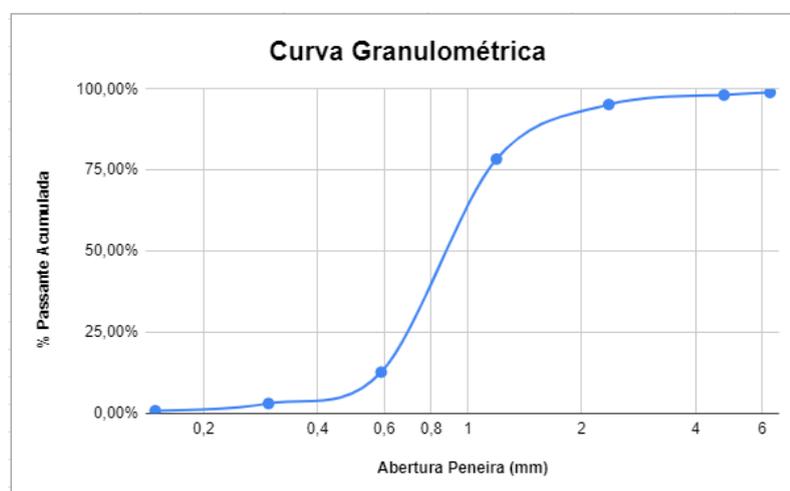
Fonte: Autor (2023)

2.1.4 Agregado miúdo

Como agregado miúdo, fez-se uso de uma areia natural quartzosa média. O material passou pelo processo de peneiramento para a determinação da curva granulométrica. As peneiras utilizadas neste ensaio foram a série padrão entre 0,15mm e 6,3mm.

Observa-se que a curva granulométrica do agregado miúdo é bem distribuída pois abrange diversos valores no eixo de abertura das peneiras, indicando que o material está bem graduado. Além disso, nota-se que o agregado atendeu aos limites definidos pela ABNT NBR 7211:2019. Na Figura 2 é possível visualizar a curva granulométrica do agregado miúdo utilizado no ensaio de espalhamento de argamassa.

Figura 2: Curva Granulométrica



Fonte: Autor (2023)

2.2 MÉTODOS

Foram realizados dois tipos de ensaios baseados na recomendação da RILEM TC 260-RSC de acordo com Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018). Estes ensaios foram o *tea-bag* e o filtragem. Além disso, o terceiro ensaio realizado foi o de espalhamento de argamassa, de acordo com (ANDRADE NETO, 2014, MANZANO, 2016 e PALMA E SILVA, 2022). Em todos os ensaios, a primeira etapa é a conferência se todos os materiais e equipamentos necessários estão presentes, além de realizar a pesagem dos mesmos.

2.2.1 Tea-bag

O ensaio do *tea-bag* foi baseado nas recomendações do TC 260-RSC da RILEM de acordo com Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018). Esse método consiste em colocar partículas de SAP secas em um saco permeável, como um saquinho de chá (origem do nome), e então submergi-las no fluido a ser absorvido. Este ensaio busca acompanhar por um período de tempo determinado (até 24 horas), o quanto o SAP dentro do sachê de chá e imerso em água irá expandir e aumentar seu tamanho e, conseqüentemente, seu peso. Com o valor encontrado em todas as pesagens nos tempos determinados, é feito um cálculo para encontrar a absorção. A equação utilizada está descrita posteriormente. Neste experimento foram realizadas três amostras para garantir maior grau de confiabilidade. Na Tabela 4 estão descritos resumidamente os equipamentos e materiais necessários deste ensaio.

Tabela 4: Equipamentos e materiais do *Tea-bag*

MATERIAL	QUANTIDADE
Balança de precisão (4 casas decimais)	1
SAP	0,05g
Sachê de chá	3
Água	100ml

Fonte: Autor (2023)

2.2.2 Etapa Inicial

Para todas as amostras foram pesados os sachês de chá vazios, o SAP, a água utilizada e os grampos que garantem o fechamento do sachê de chá. Além disso, também foram pesados os sachês de chás úmidos para identificar o quanto de água é absorvido pelo sachê, visto que é um valor necessário para o cálculo final (M0). Na Figura 3 é possível visualizar a balança de

precisão, o béquer e os sachês utilizados.

Figura 3: Materiais do *Tea-bag*



Fonte: Autor (2023)

2.2.3 Etapa de Execução

A recomendação técnica da RILEM (SNOECK, SCHRÖFL AND MECHTCHERINE, 2018) sugere a utilização de 0,2 a 0,3 gramas de SAP, porém foi realizado um teste com esses valores no qual não obteve-se sucesso, visto que o sachê de chá não suportou tal quantidade logo com 5 minutos imersos em água. A principal causa do rompimento do sachê de chá foram as dimensões, pois os sachês encontrados na região para o ensaio possuem proporções menores do que o recomendado. Dessa forma, esse valor foi adaptado para 0,05 gramas de SAP por amostra.

Após colocar a quantidade de SAP definida no sachê de chá, o sachê foi imerso em um béquer com água e aguardou-se primeiramente 1 minuto. Em seguida, retirou-se o sachê de chá do béquer e secou-o rapidamente com um pano seco ou papel toalha, por no máximo 30 segundos. A partir disso, realizou-se em uma balança de precisão a leitura da massa dessa amostra após 1 minuto em água.

Diante disso, foi necessário repetir o experimento para os tempos de 5, 10, 30, 60, 180 (3 horas) e 1440 (24 horas) minutos. Neste momento, vale ressaltar que em cada ensaio foi utilizado apenas 1 saquinho de chá, ou seja, cada um dos saquinhos de chá representa uma amostra. Dessa forma, a mesma amostra logo que pesada após 1 minuto imersa em água, ela é reimersa em água até completar o tempo para a próxima leitura. Este procedimento é feito até que a mesma amostra alcance o tempo de 24 horas.

Logo, com todas as leituras feitas é possível organizar esses dados com as seguintes informações: massa do sachê de chá seco (M_{seco}), massa do SAP (M_{sap}), massa do grampo (M_{gramp}) e a massa encontrada em cada uma das leituras estipuladas ($Massa \times min$). Por fim, para definir qual a absorção de uma grama do SAP em relação a água, utiliza-se a seguinte equação:

Equação 1:

$$\text{Absorção} = (\text{Massa } X \text{ min} - M_{\text{gramp}} - M_{\text{sap}} - M_0) / (M_{\text{sap}} - M_{\text{seco}})$$

Sendo que:

Massa X min: é a medida encontrada na balança de precisão a cada período de tempo estipulado;

M_{sap} : massa de SAP usada na amostra;

M_0 : quantidade de água absorvida pelo sachê de chá;

M_{seco} : massa do sachê de chá seco.

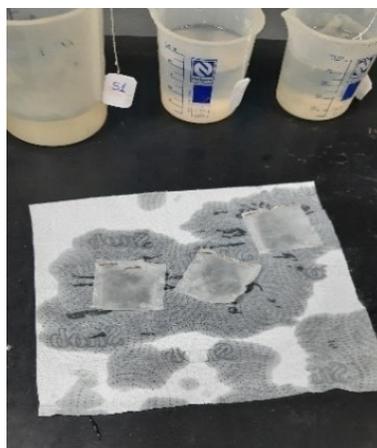
Para exemplificar o experimento *tea-bag* é possível observar nas Figuras 4, 5 e 6 os procedimentos executados no laboratório. Na Figura 4 é possível visualizar os sachês de chá imersos em água, no momento em que antecede as leituras a cada período de tempo. Em seguida, na Figura 5, é possível visualizar o momento em que os sachês de chá são retirados do béquer com água e há o processo de secagem de no máximo 30 segundos, antes da realização da leitura. Já na Figura 6 é possível identificar o momento em que é feita a pesagem da amostra.

Figura 4: Sachês de chá imersos em água



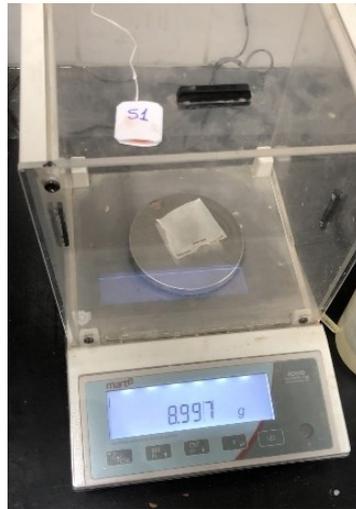
Fonte: Autor (2023)

Figura 5: Sachês de chá no processo de secagem



Fonte: Autor (2023)

Figura 6: Resultado Final da Amostra



Fonte: Autor (2023)

2.2.4 Filtragem

O ensaio de filtragem foi baseado, principalmente, na recomendação técnica do TC 260-RSC da RILEM de acordo com Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018). Além disso, outros pesquisadores foram referenciados para encontrar a melhor metodologia de execução deste ensaio (Yang et al, 2022; Wehbe and Ghahremaninezhad, 2017). Vale destacar que neste ensaio foram realizadas três amostras no meio aquoso e outras duas amostras no meio cimentício.

Este ensaio consiste em utilizar um fluido (água ou meio cimentício) com a presença de SAP e realizar a filtragem desta mistura a cada período de tempo determinado. O material passante no filtro é pesado e entende-se que ficou retido no papel filtro o SAP inchado, podendo a partir de uma equação, que será descrita posteriormente neste trabalho, determinar a quantidade de fluido absorvido pelo polímero. Este passo a passo foi repetido até completar todas as leituras, ou seja, após 24 horas. Para a execução deste ensaio são necessários alguns equipamentos e materiais que podem ser observados na Tabela 5. O material cimento foi utilizado somente para os ensaios em meio cimentício.

Tabela 5: Equipamentos e materiais do filtragem

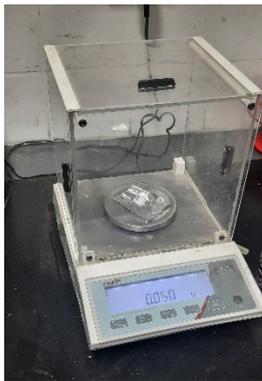
MATERIAL	QUANTIDADE
Balança de precisão (4 casas decimais)	1
SAP	0,05g
Filtro de café	3
Água	100ml
Cimento *	20g*

Fonte: Autor (2023)

2.2.5 Etapa Inicial

Para todas as amostras foram pesados o fluido utilizado (água ou cimento) e a quantidade de SAP utilizada. Na Figura 7 é possível identificar os materiais utilizados na filtragem.

Figura 7: Materiais para a Filtragem a) SAP b) Béquers, fluido e filtro de café



a)



b)

Fonte: Autor (2023)

2.2.6 Etapa de Execução

O principal objetivo deste experimento é realizar um teste para determinar a capacidade máxima de absorção das partículas SAP, de forma que imersas em um béquer com água consigam expandir.

O primeiro passo é colocar a quantidade de polímero determinada dentro de um béquer com água. De acordo com Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018), o ponto de atenção neste momento é garantir que a expansão do SAP caiba dentro do béquer com água utilizado, sendo que a recomendação não especifica a quantidade de polímero e fluido a ser utilizado. Neste experimento foi utilizado em média 0,05 gramas de SAP em 100ml de água, seguindo a mesma

quantidade utilizada no ensaio do *tea-bag*.

Em seguida, a cada 1, 5, 10, 30, 60, 180 (3 horas) e 1440 (24 horas) minutos deve-se filtrar a solução com as partículas. A massa de líquido passante foi pesada para cada um desses tempos, sendo intitulada de “M3”, conforme Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018). Por fim, após encontrados os valores para todos os tempos foi possível determinar qual a absorção de uma grama do SAP em relação a água, utilizando a seguinte equação:

Equação 2:

$$Absorção = (M_{fluido} - M_3) / M_{sap}$$

Sendo que:

M_{fluido}: é a massa da água utilizada;

M₃: a massa do material filtrado encontrado em cada um dos tempos pré-determinados;

M_{sap}: massa do polímero superabsorvente utilizado.

Para exemplificar o experimento filtragem é possível observar nas Figuras 8 e 9 os procedimentos executados no laboratório. Na Figura 8 é possível verificar o fluido “em espera” até que seja o momento de realizar a leitura da filtragem. Em seguida, o próximo passo foi realizar a filtragem da amostra, exemplificado na Figura 9.

Figura 8: Fluido em espera



Fonte: Autor (2023)

Figura 9: Momento da filtragem



Fonte: Autor (2023)

Após essa filtração, o último passo do procedimento é realizar a pesagem do fluido filtrado. Entretanto, antes de repetir todo o procedimento para cumprir cada um dos tempos recomendados por Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018), há uma ação importante. Após a filtração, as partículas de SAP ficam retidas no filtro de café, logo, é aconselhável realizar a raspagem do material retido e reinserir esse material no fluido para que a próxima medida não seja prejudicada. É possível visualizar essa ação na Figura 10.

Figura 10: Raspagem das partículas SAP



Fonte: Autor (2023)

2.2.6 Filtração com a Calda de Cimento

O ensaio da filtração com o fluido sendo a calda de cimento é basicamente idêntico ao fluido sendo a água. Todo o passo a passo é semelhante, o ponto que difere é na preparação da calda de cimento. De acordo com Yang *et al* (2022) e Wehbe and Ghahremaninezhad (2017) é recomendado adotar o fluido deste ensaio com uma relação a/c igual a 5. Logo, este foi o valor adotado no experimento deste artigo.

De acordo com a Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018) a recomendação para o preparo da calda é que antes de iniciar o experimento, deve-se colocar a mistura em um misturador magnético por 24 horas para que fique em constante movimento e garanta a mistura mais homogênea possível. Entretanto, em outras pesquisas, como a de Wehbe and Ghahremaninezhad (2017) no ensaio de filtração também é viável que ao invés de aguardar as 24 horas em agitação, deixe a mistura (água e cimento) em decantação por 45 minutos. Após esse período, retira-se o fluido para utilizar no decorrer do ensaio.

Neste ensaio uma amostra foi executada seguindo as recomendações de Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018) (24 horas em agitação) e a outra amostra foi realizada a partir da mistura com decantação de 45 minutos, para que seja possível analisar possíveis divergências.

2.2.7 Espalhamento de argamassa

O ensaio de espalhamento de argamassa, é um ensaio feito para a determinação do índice de consistência e é definido pela ABNT NBR 13276:2016. O conceito do método é comparar o espalhamento de uma argamassa, contendo uma quantidade determinada de SAP com o espalhamento de argamassas sem SAP e diferentes relações a/c totais. Assumindo-se que a água absorvida pelo SAP não contribui para o espalhamento e então, fazendo com que o SAP funcione como agregado miúdo nas misturas, determina-se sua capacidade de absorção. Para isso, considera-se que a quantidade de água não absorvida pelo SAP é igual à quantidade de água adicionada à argamassa sem SAP que apresenta a curva de espalhamento similar à do traço com SAP.

Logo, neste ensaio houve uma amostra utilizada como referência, ou seja, sem adição de SAP. Em seguida, outra amostra de argamassa foi feita, contendo SAP, porém com um acréscimo de água, pois parte da água da mistura estaria retida no interior do polímero. Para que seja comprovado que essa água extra adicionada equivale à água absorvida pelo polímero, o espalhamento deve ser equivalente ao da amostra sem SAP.

A partir da caracterização do SAP realizada por Palma e Silva (2022), foi considerado que a absorção do SAP é de 18g/g, ou seja, cada grama de SAP seco absorve 18g de fluido em meio cimentício. Como foram utilizados 2,1 gramas de SAP (0,3% em relação à massa de cimento), o acréscimo de água foi de 37,8 gramas inicialmente. A execução deste experimento foi referenciada, principalmente, por Manzano (2016) e Andrade Neto (2014).

2.2.8 Relação água/cimento

As primeiras pesquisas realizadas utilizando SAP em compostos cimentícios tinham a premissa de utilizar água extra de cura interna, conforme também recomendava o comitê técnico internacional da RILEM TC 225 – SAP. Essa era uma estratégia utilizada para que mesmo com a presença de SAP, fosse garantida a trabalhabilidade.

Entretanto, conforme defende Agostinho (2021) quando analisados os resultados obtidos por Manzano (2016), observou-se que a água presente no interior do SAP também participava das reações de hidratação. Concluía-se que a adição de SAP causava uma perda nas propriedades mecânicas que, inicialmente, foi justificada pela presença de macro-poros deixados onde havia um SAP inchado.

Diante disso, é viável refletir sobre a atuação do SAP ter sido mal interpretada quando relacionada com as propriedades mecânicas, porque se a água de cura interna participa das reações de hidratação, a comparação justa com a mistura de referência deveria ser com a mistura

de mesma relação água/cimento (a/c).

Assim, nessa pesquisa adotou-se que todas as misturas tivessem a mesma relação a/c, visto que outros pesquisadores atuais como Agostinho (2021) e Palma e Silva (2022) concluíram que a água absorvida pelo polímero participa das reações de hidratação e não prejudica as propriedades mecânicas. Logo, é aconselhável que utilize a mesma relação a/c em todas as misturas com e sem SAP, para comparação adequada. Assim, a relação a/c utilizada neste experimento seguindo os autores citados anteriormente foi adequada para um padrão de 0,35 em todas as misturas, diferente do a/c de 0,30 utilizado por Manzano (2016) e Andrade Neto (2014). Além disso, o material utilizado para garantir a trabalhabilidade foi a variação na quantidade de aditivo da mistura.

2.2.9 Etapa Inicial

O quantitativo dos materiais descritos anteriormente em cada uma das amostras de argamassa foi baseado a partir da caracterização do SAP feita por Palma e Silva (2022). Na Tabela 6 é possível visualizar o quantitativo e na Figura 11 os materiais utilizados neste ensaio.

Tabela 6: Materiais Espalhamento de argamassa

MATERIAL	QUANTIDADE (g)
Cimento	700
Água	245
Areia	1246
SAP	0,3% = 2,1g
Aditivo	1,8% = 12,6g

Fonte: Autor (2023).

Figura 11: Materiais utilizados no ensaio de espalhamento a) Areia b) Cimento c) Água d) Aditivo



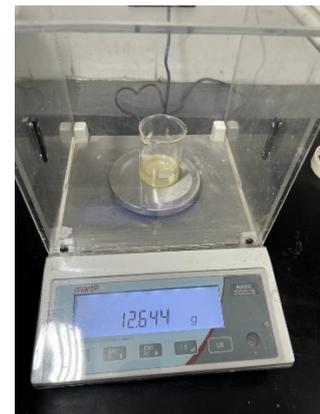
a)



b)



c)



d)

Fonte: Autor (2023)

O roteiro de mistura para a produção das argamassas seguiu as orientações da RILEM TC 225-SAP. Vale ressaltar que neste roteiro de mistura houveram pequenas adaptações para garantir a melhor mistura da argamassa. Essas adequações foram no modo de preparo da argamassa, em que a homogeneização dos componentes secos deixou de ser 4 minutos para ser 3 minutos, a mistura inicial passou de 3 para 2 minutos e a mistura final deixou de ser variável para ser fixada em 3 minutos. Na tabela 7 é possível visualizar o roteiro da produção de argamassa.

Tabela 7: Roteiro da produção da argamassa

Ação	Duração de cada Etapa (min)
Homogeneização dos componentes secos	3
Adição de SAP*	1
Adição de Água incluindo o aditivo pré-dissolvido	1
Mistura Inicial	2
Raspagem das paredes do misturador	1
Mistura final	3

Adaptado de RILEM (2012).

2.2.10 Etapa de Execução

O primeiro passo deste ensaio é produzir a argamassa com o traço de referência. Em seguida, buscando comparar os valores de espalhamento, e a partir do valor de absorção de 18g/g, obtido por Palma e Silva (2022), adicionou-se essa quantidade de água extra. Espera-se que o resultado do espalhamento da mistura com SAP e água extra acompanhe o resultado do espalhamento da mistura de referência.

Andrade Neto (2014) utilizou a relação água/cimento (a/c) do traço da argamassa de referência de 0,30. Entretanto, neste trabalho foi utilizada a relação a/c de 0,35 baseado nos estudos de Palma e Silva (2022) e Agostinho (2021) que utilizaram essa relação a/c para todas as misturas, incluindo a de referência.. Na tabela 8 é possível visualizar o traço da argamassa.

Tabela 8: Traço da argamassa

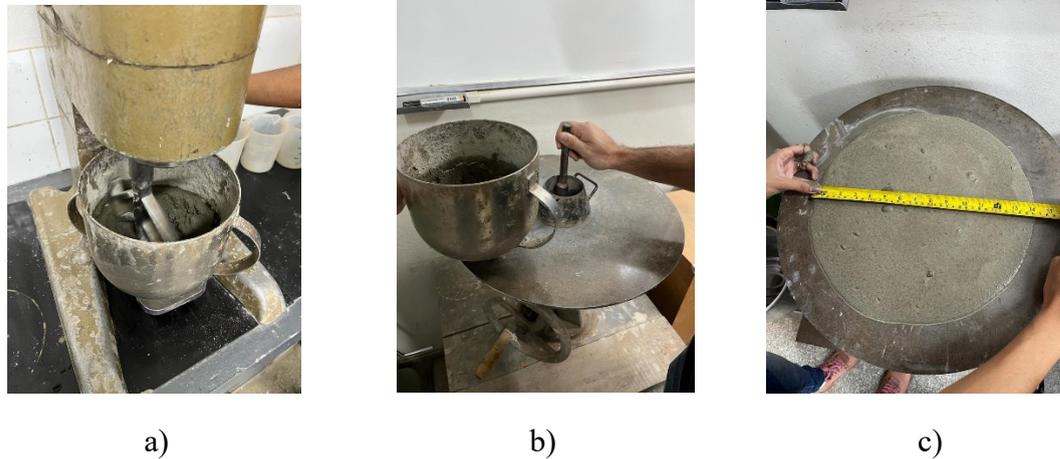
Argamassa	Traço	Cimento (g)	Areia (g)	Água (g)	A/C (g)	% SAP	% Aditivo
REF	1:1,78:0,35	700	1246	245	0,35	0,3	1,8

Fonte: Autor (2023)

A fim de comparação entre os valores de espalhamento da argamassa com SAP com o traço de referência foi considerada a idade mais avançada, conforme defende Monnig (2015) e Assmann (2013), sendo 56 minutos após o início da adição de água. A determinação do espalhamento foi de acordo com a ABNT NBR 13276:2016, que caracteriza o índice de consistência da argamassa.

O tronco de cone foi preenchido em três camadas e, conforme orientação da norma citada acima, a primeira camada recebe 15 golpes, a segunda camada recebe 10 golpes e a terceira, e última, camada recebe 5 golpes. As medições foram realizadas a cada 6 minutos, até os 56 minutos após a adição da água. Na Figura 12 é possível visualizar as etapas do ensaio de espalhamento.

Figura 12: Ensaio de espalhamento a) Mistura Argamassa b) Golpes por camada c) Medições do espalhamento



Fonte: Autor (2023)

Para a determinação do espalhamento das argamassas, inicialmente, foi ensaiada a argamassa sem a presença de SAP com a/c de 0,35. Para a argamassa com a presença de SAP (referência), foi adicionado 0,3% de SAP em relação a massa de cimento, equivalente a 2,1 gramas do polímero. Na amostra subsequente, em que houve a adição de água extra, esse acréscimo foi de 37,8 gramas de água que é equivalente à absorção de 18g/g, esse valor foi baseado no estudo de Palma e Silva (2022). Por último, com o objetivo de contraprova, também foi ensaiada outra argamassa com a mesma quantidade de SAP, porém com um acréscimo de 42 gramas de água, sendo equivalente a uma absorção de 20 gramas de água por grama de SAP.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e analisados os resultados obtidos em cada um dos ensaios referentes ao teor de absorção do polímero superabsorvente: *tea-bag*, filtragem e espalhamento de argamassa.

3.1 Tea-bag

Para a metodologia denominada *tea-bag* foram realizadas três amostras. Entretanto, apenas as amostras TB1 e TB2 obtiveram resultados com alto grau de confiabilidade até a última medida de 24h. Para a amostra 3, a última medida (24 horas), percebe-se que é muito inferior quando comparado com os encontrados nas amostras 1 e 2. O motivo desse problema foi a perda de material durante o processo. Neste ensaio foram utilizados pequenos sachês de chá em que para garantir o estanqueamento total foram utilizados grampos para fechar o sachê. Diante

disso, o valor de 24 horas da amostra 3 foi desconsiderado nas análises. Na Tabela 9 é possível visualizar a discrepância na medida de 24 horas quando comparadas às três amostras e na Figura 13 o sachê de chá rompido.

Tabela 9: Resultados *Tea-bag*

	TB1	TB2	TB3
Tempo (min)	Absorção (g/g)	Absorção (g/g)	Absorção (g/g)
1	117,592	123,117	121,742
5	140,032	145,138	137,575
10	142,772	145,138	142,596
30	153,372	159,388	151,825
60	159,692	165,242	159,575
180	174,932	185,596	170,679
1440	169,232	181,950	46,325

Fonte: Autor (2023)

Figura 13: Sachê de chá rompido



Fonte: Autor (2023)

Assim, na Tabela 10 é possível visualizar o resultado em cada uma das amostras (TB1, TB2 e TB3) a média calculada e o desvio padrão, sendo que para o tempo de 24 horas, foi excluído o valor obtido a partir da amostra TB3.

Tabela 10: Resultados da média do *Tea-bag*

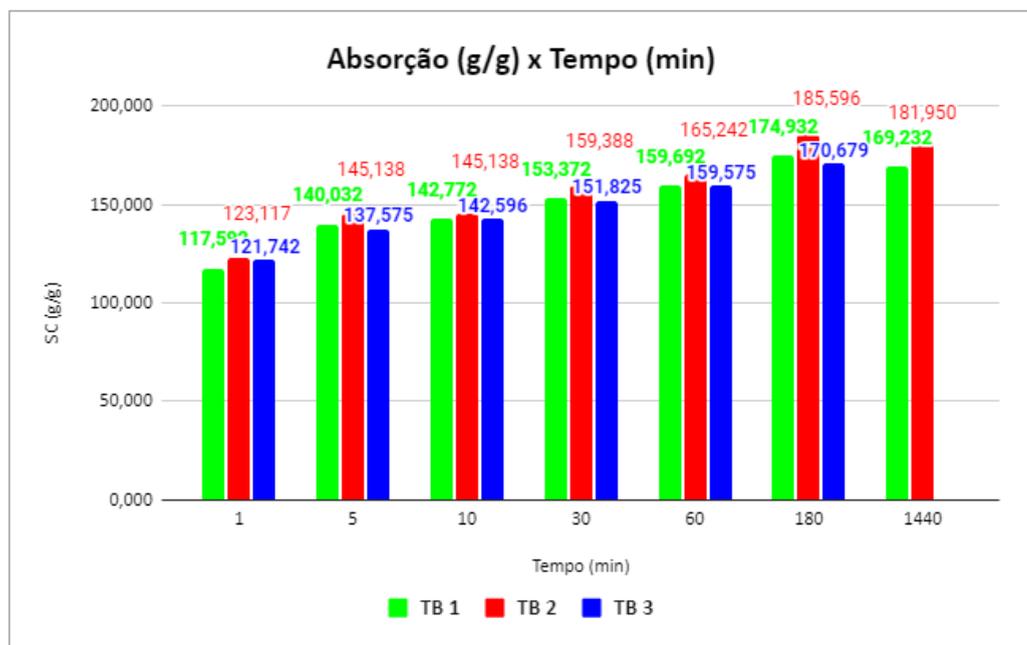
Média e Desvio Padrão (TB1, TB2, TB3)		
Tempo (min)	Média da Absorção (g/g)	Desvio Padrão
1	120,82	2,88
5	140,91	3,86
10	143,50	1,42
30	154,86	4,00
60	161,50	3,24
180	177,07	7,68
1440	175,59	8,99

Fonte: Autor (2023)

De acordo com Andrade Neto (2014), o polímero superabsorvente é um material que existe em dois estados distintos: colapsado e saturado. Diante disso, a transição de um estado para o outro justifica a dinâmica analisada no ensaio do *tea-bag*. Visto que essa transição é o resultado de forças repulsivas, que agem para expandir a rede do polímero, e forças atrativas que agem para retrainar essa rede, no SAP há a presença de grupos ionizáveis que sofrem dissociação quando em solução. Por essa causa, há uma alta concentração de íons no interior do SAP, que são responsáveis por levar água para dentro do SAP por osmose.

A partir dos resultados apresentados, é importante analisar dois aspectos principais. O primeiro é que como explicado por Andrade Neto (2014), o SAP com o decorrer do tempo na presença do fluido (aquoso) realmente há o crescimento de absorção, ou seja, até as 3h iniciais é nítido este avanço. Na Figura 14 é possível visualizar graficamente o resultado das amostras 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 14: Resultado das amostras TB1, TB2 e TB3



Fonte: Autor (2023)

Porém, outro aspecto importante de averiguar é que em ambas as amostras (TB1 e TB2) a medida de 24 horas foi inferior à de 3 horas, porém em um percentual de cerca de 3% essa diferença é um valor que pode ser considerado igual tecnologicamente, ou seja, o SAP após 3 horas conseguiu chegar ao seu limite de absorção em meio aquoso. Por fim, a partir da análise dos resultados, encontra-se que houve uma absorção do SAP de em média 175 vezes a sua massa de água por grama de polímero.

3.2 Filtragem

O ensaio de filtragem foi realizado tanto no meio aquoso quanto em meio cimentício.

Para discorrer sobre os resultados encontrados é necessário esclarecer que houve uma pequena adequação na equação recomendada por Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018) para o cálculo de absorção pelo método de filtragem. A equação proposta na recomendação técnica, não previa que o papel filtro absorve uma quantidade de fluido. Sendo assim, foi realizada a determinação da absorção exclusivamente do papel filtro, para que seja possível descontar dos cálculos este valor e assim deixar os resultados ainda mais precisos. Dessa forma, a adequação na fórmula usada para o cálculo da absorção resultou em:

$$\text{Absorção} = (M_{\text{fluido}} - M_3 - M_0) / M_{\text{sap}}$$

Sendo M_0 o valor absorvido pelo papel filtro. Foram testados em meio aquoso, 3 amostras de papel filtro. Na Tabela 11 é possível identificar os valores obtidos e a média da absorção do filtro quando em meio aquoso. Já na Tabela 12 é possível identificar os valores encontrados e a média da absorção do filtro quando em contato com um fluido cimentício.

Tabela 11: Absorção do papel filtro em meio aquoso

ABSORÇÃO PAPEL FILTRO			
	Massa inicial do fluido (g)	Massa final do fluido (g)	Absorção (g)
Amostra 1	59,571	55,109	4,462
Amostra 2	70,651	66,824	3,827
Amostra 3	66,824	63,921	2,903
MÉDIA (M0)			3,731
DESVIO PADRÃO			0,784

Fonte: Autor (2023)

Tabela 12: Absorção do papel filtro em meio cimentício

ABSORÇÃO PAPEL FILTRO			
	Massa inicial do fluido (g)	Massa final do fluido (g)	Absorção (g)
Amostra 1	75,863	70,87	4,993
Amostra 2	70,870	66,643	4,227
Amostra 3	66,643	62,838	3,805
MÉDIA (M0)			4,342
DESVIO PADRÃO			0,602

Fonte: Autor (2023)

3.2.1 Meio aquoso

Para a determinação da absorção do SAP em meio aquoso pelo método de filtragem foram ensaiadas 3 amostras buscando garantir a alta confiabilidade no ensaio. Na Tabela 13 são apresentados os resultados obtidos, a média entre os três resultados e o desvio padrão.

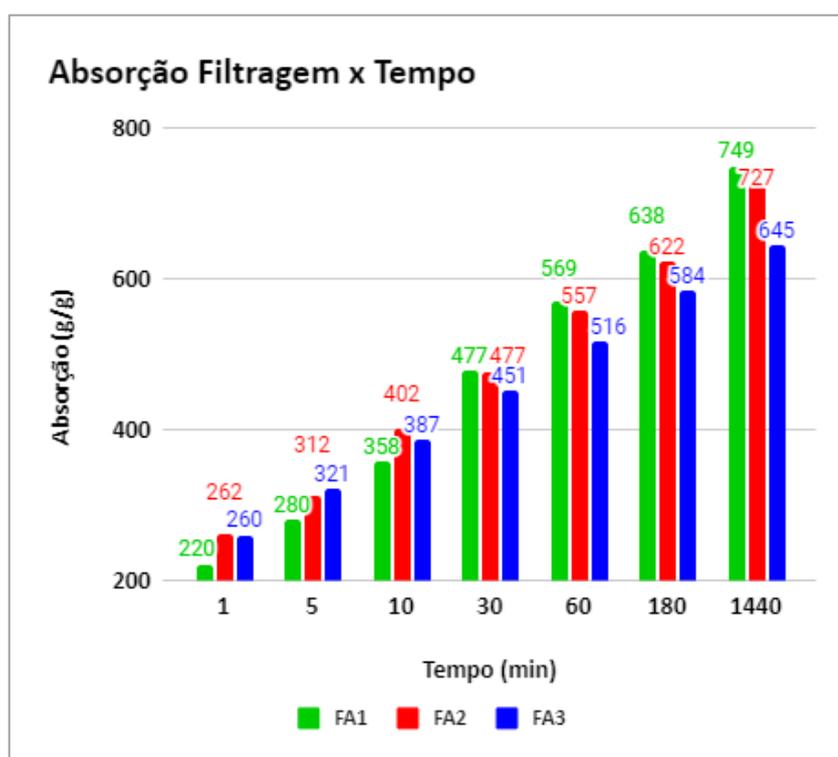
Tabela 13: Resultado de cada amostra de filtragem

	FA1	FA2	FA3		
Tempo (min)	Absorção (g/g)	Absorção (g/g)	Absorção (g/g)	Média	Desvio Padrão
1	220	262	260	247,34	23,45
5	280	312	321	304,44	21,38
10	358	402	387	382,27	22,53
30	477	477	451	468,46	15,08
60	569	557	516	547,08	27,71
180	638	622	584	614,83	27,42
1440	749	727	645	706,61	54,75

Fonte: Autor (2023)

A partir desses resultados, entende-se que no ensaio de filtragem no meio aquoso, ao fim das 24 horas de ensaio, foram absorvidos em média 706,61 gramas de água por grama de SAP. Vale destacar que nas três amostras o comportamento do SAP foi bem semelhante, visto que com o passar do tempo, conforme defende Andrade Neto (2014), houve avanço na absorção devido a presença de íons no interior do SAP responsáveis por levar água para dentro do material por meio de osmose. Na Figura 15 é possível identificar graficamente o comportamento semelhante entre as amostras e o avanço em absorção no decorrer do tempo.

Figura 15: Resultado da absorção de filtragem graficamente



Fonte: Autor (2023)

3.2.2 Meio cimentício

Na amostra FC1 deste experimento adotou-se a recomendação de Wehbe and Ghahremaninezhad (2017) (45 minutos), já na amostra FC2 adotou-se a recomendação feita por Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018) (24 horas). Na Tabela 14 são apresentados os resultados obtidos com as duas amostras realizadas em meio cimentício, além da média e do desvio padrão calculados.

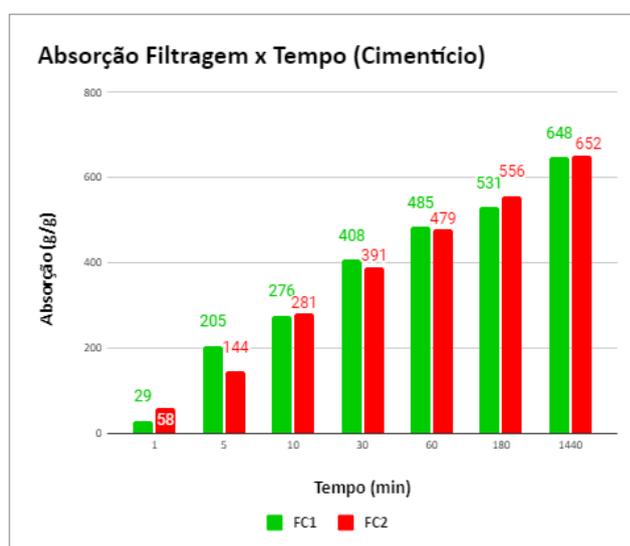
Tabela 14: Resultado de filtragem em meio cimentício

	FC1	FC2		
Tempo (min)	Absorção (g/g)	Absorção (g/g)	Média	Desvio Padrão
1	29	58	43,55	20,97
5	205	144	174,49	43,31
10	276	281	278,47	3,67
30	408	391	399,25	12,17
60	485	479	481,92	4,60
180	531	556	543,49	17,97
1440	648	652	650,31	2,94

Fonte: Autor (2023)

A partir dos resultados encontrados, é possível perceber que em todas as amostras o SAP seguiu um comportamento padrão, ou seja, crescimento do teor de absorção com o passar do tempo. Além disso, a diferença entre as amostras no que diz respeito ao modo de preparo do fluido utilizado, não foi um ponto que gerou discrepância entre os resultados. É possível afirmar este fato visto que as amostra FC1 e FC2 tiveram modos de preparo do fluido distintos e mesmo assim valores próximos em todas as medidas feitas durante o experimento. Pode-se visualizar a absorção do SAP em meio cimentício com o passar do tempo a partir do método de filtragem de maneira gráfica na Figura 16.

Figura 16: Resultado gráfico das amostras de filtragem em meio cimentício



Fonte: Autor (2023)

Quando comparados os valores obtidos a partir da mesma metodologia de ensaio (filtragem), porém utilizando meios de imersão do SAP diferentes (meio aquoso e meio cimentício), nota-se a diferença de absorção do polímero, que conseguiu absorver cerca de 50 gramas de água a mais por grama de polímero seco em meio aquoso. Isso mostra como a pressão osmótica e a concentração do meio são fatores fundamentais para a absorção do polímero.

3.3 Espalhamento de argamassa

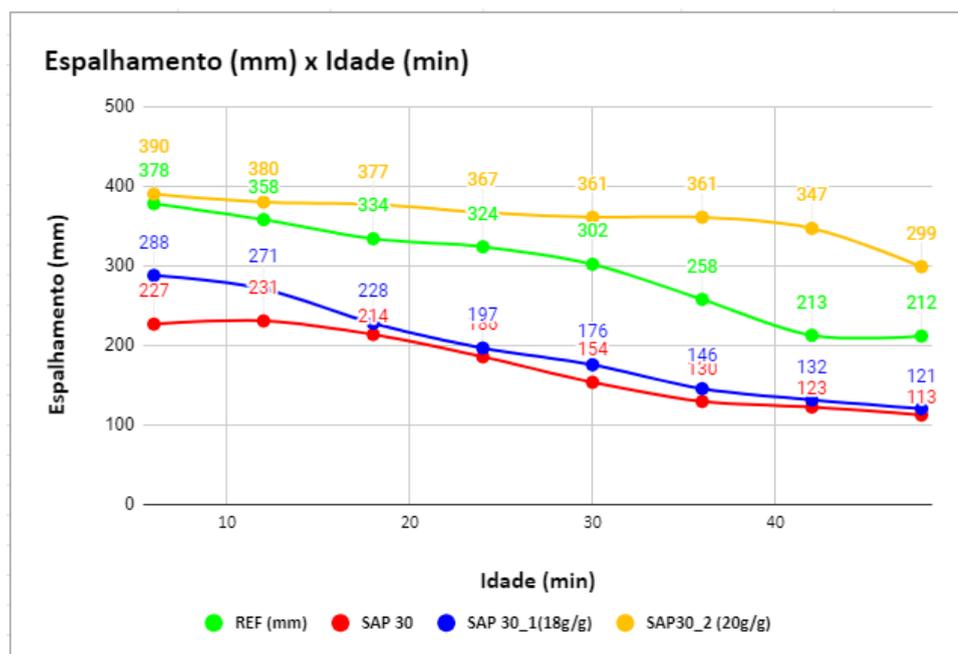
Na Tabela 15 são apresentados todos os resultados obtidos no ensaio de espalhamento, ou seja, na mistura sem adição de SAP, na mistura com a presença de SAP sem adição de água extra e nas misturas com adição de água extra (18g/g e 20g/g). Além da apresentação dos resultados de maneira detalhada em cada um dos tempos, é importante observar graficamente todos esses resultados, das quatro misturas analisadas (Figura 17).

Tabela 15: Resultado do espalhamento da referência, SAP30. SAP30_1 e SAP30_2

	REF	SAP 30	SAP30_1 (18g/g)	SAP30_2 (20g/g)
Min	Espalhamento (mm)	Espalhamento (mm)	Espalhamento (mm)	Espalhamento (mm)
6	378	227	288	390
12	358	231	271	380
18	334	214	228	377
24	324	186	197	367
30	302	154	176	361
36	258	130	146	361
42	213	123	132	347
48	212	113	121	299

Fonte: Autor (2023)

Figura 17: Resultado gráfico do espalhamento



Fonte: Autor (2023)

A partir dos resultados apresentados, observa-se que os valores encontrados até 30 minutos de ensaio na mistura nomeada SAP30_2 (com adição de água de 20g/g) são os que mais se aproximam da mistura de referência. Entretanto, após os 30 minutos a mistura SAP30_1 (absorção de 18g/g e acréscimo de 37,8g) é a que mais se aproxima dos valores da mistura de referência.

A comparação entre qual curva de comportamento de espalhamento mais se aproxima do traço com SAP é realizada nos tempos mais avançados, onde o SAP já teve tempo suficiente para alcançar sua máxima absorção. Sendo assim, admite-se que o SAP absorva cerca de 18 gramas de água por grama de polímero seco quando em misturas cimentícias.

A partir dos resultados obtidos pela metodologia do *tea-bag* e de filtragem, observou-se que o processo de absorção de fluidos pelo SAP não é constante pois ele segue absorvendo ou devolvendo (dessorção) água para o sistema.. Porém, até a medida dos 36 minutos pode-se dizer que a absorção do SAP segue uma estabilidade. Sabe-se também que a metodologia de ensaio de espalhamento de argamassa é uma metodologia técnica que não permite medições precisas que além de serem medições indiretas, ainda são medidas aproximadas das referências mais próximas. De forma que, a determinação da absorção fica presa a intervalos bem espaçados entre as referências realizadas, assim, é possível dizer que tecnologicamente o SAP absorve entre 18g/g e 20g/g.

3.4 Comparativo entre os ensaios no meio aquoso

Os resultados obtidos a partir dos diferentes métodos ensaiados (*tea-bag* e filtragem) estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Resumo dos resultados dos ensaios de absorção do SAP em meio aquoso

MÉTODO	CAPACIDADE DE ABSORÇÃO (g/g)
<i>Tea-bag</i>	175,59
Filtragem	706,61

Fonte: Autor (2023)

Os resultados mostram que o método de determinação tem grande influência nos valores obtidos para a absorção. Mesmo que em ambos os ensaios a quantidade de SAP utilizada foi a mesma, ou seja, 0,05g, percebe-se que o *tea-bag* teve uma absorção de água por grama de SAP inferior quando comparado ao ensaio de filtragem em meio aquoso. Este comportamento pode ser explicado pela limitação física ser um condicionante para o inchamento do material.

Além de que no ensaio do *tea-bag* é visível que as partículas de SAP estão confinadas

dentro de um sachê de chá, diferentemente do que acontece com o método de filtração, a recomendação de Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018) orienta que sejam utilizados sachês de chá com dimensões de 7 x 12 cm, entretanto para este ensaio as dimensões do sachê de chá foram 4 x 4 cm, mesmo que a quantidade de SAP tenha também sido reduzida.

Essa limitação física pode ser causada por um fenômeno denominado bloqueio de gel (*gel blocking*), um problema que pode ocorrer em partículas muito pequenas. Logo, quando as partículas de SAP entram em contato com a água, elas grudam umas nas outras devido a absorção na superfície, uma vez unidas, estas não mais se separam (ASSMANN, 2013), podendo limitar sua absorção. Pelo método de filtração, as partículas de SAP estão livres em um fluido e não restritas dentro de um sachê de chá, o que pode justificar o maior teor de absorção obtido por esse método.

Ademais, é importante compartilhar resultados de outros autores em ensaios semelhantes e no mesmo meio, neste caso, meio aquoso. De acordo com Kang, Hong e Moon (2017) no ensaio de tea-bag o resultado encontrado considerando a máxima absorção do SAP foi em média 160g/g. A diferença entre o valor de Kang com o encontrado neste artigo foi inferior a 10%.

3.5 Comparativo entre os ensaios no meio cimentício

Neste artigo houveram dois ensaios para a determinação do teor de absorção do SAP em meio cimentício: espalhamento de argamassa e filtração. Mais uma vez observa-se a discrepância de resultados em relação à absorção do SAP a partir de dois ensaios distintos. A fim de resumo, na Tabela 17 é possível observar os resultados obtidos em meio cimentício a partir do ensaio de espalhamento de argamassa e do método de filtração:

Tabela 17: Resumo dos resultados de teor de absorção do SAP em meio cimentício

MÉTODO	CAPACIDADE DE ABSORÇÃO (g/g)
Espalhamento	18
Filtração	650

Fonte: Autor (2023)

Os resultados mostram que o método de determinação tem grande influência nos valores obtidos para a absorção. Um dos pontos que interferem nessa diferença de resultado é a limitação física existente no ensaio de espalhamento, visto que no espalhamento de argamassa existe em sua mistura além de água e cimento com uma relação a/c reduzida, agregados miúdos que fazem com que a expansão do SAP possa ficar limitada.

Diante disso, no método de filtração as partículas ficaram livres em um fluido e sem

nenhuma adversidade que atrapalhasse o processo de inchamento do SAP. Assim, pode justificar o maior teor de absorção do SAP quando comparado com o método de espalhamento de argamassa.

O método de espalhamento de argamassa se mostrou eficiente ao ser utilizado para a determinação da absorção em meio cimentício. Esse procedimento foi validado para a utilização em materiais cimentícios, pois simula as condições de mistura e o tempo necessário para a absorção do polímero, além de que gerou resultados similares aos obtidos por outros pesquisadores com diferentes técnicas como Monning (2005), Assman (2013), Esteves (2014) Andrade Neto (2014) e Manzano (2016).

4. CONCLUSÃO

Este artigo possibilitou a caracterização do teor de absorção do polímero superabsorvente doado pelo professor Ole Mejlhede Jensen por meio de diferentes metodologias de ensaios propostas por diferentes pesquisadores.

O processo de caracterização do SAP foi mais complexo do que esperado, principalmente, ao que tange os resultados encontrados em algumas das metodologias propostas e como esses comportamentos são relacionados. A principal base deste estudo foi a recomendação técnica sugerida pelo comitê TC 260-RSC da RILEM, sobre ensaios para a caracterização da capacidade de absorção do polímero.

Os resultados obtidos em cada um dos ensaios realizados proporcionaram diferentes análises, porém com reflexões sobre quais ações interferem no comportamento do SAP e qual o real motivo da necessidade de estudar qual é o teor de absorção do mesmo. Dessa forma, foi possível perceber que o fato do SAP estar imerso em meio aquoso, ou em meio cimentício ou na presença de uma mistura com agregados (argamassa ou concreto), interfere diretamente no comportamento deste material.

Diante dos experimentos realizados, principalmente, em relação ao ensaio de espalhamento em argamassa, foi possível justificar a importância do tema proposto. Segundo Zhao, Jensen e Hasholt (2020), os métodos propostos atualmente, como o tea-bag e método de filtragem recomendados por Snoeck, Schröfl and Mechtcherine (2018), não preveem adequadamente o teor de absorção do SAP aplicados em concretos, devido que os resultados encontrados foram distintos e variaram de acordo com a metodologia ou o meio que o SAP foi aplicado.

Por fim, a determinação do teor de absorção do SAP a partir dos ensaios recomendados, principalmente, pela RILEM, podem ser considerados inviáveis. Isso ocorre, devido a comprovação neste artigo sobre a mudança de comportamento do SAP de acordo com o meio

em que ele está inserido.

O método do espalhamento representa uma interessante metodologia de medição indireta, tendo em vista que ele é realizado diretamente com o SAP em ação no meio cimentício. Porém, essa metodologia apresenta dificuldades. Primeiro, ela considera que o SAP inchado não influencia no espalhamento das argamassas, fato de difícil comprovação. Segundo, ela se torna muito complexa quando analisada sobre o aspecto da quantidade de trabalho necessário.

Observou-se que o SAP é um material complexo e sensível ao meio que está inserido, pois, mesmo mantendo o meio aquoso, ao mudar o método de ensaio, o polímero se comportou de forma diferente.

Em se tratando da sua aplicação em meio cimentício, ficou claro que a sua adição às misturas altera a sua trabalhabilidade, e para garantir que o concreto ou argamassa sejam aplicados de forma correta e segura (mistura, transporte, lançamento e adensamento), é preciso saber o quanto esse polímero prejudica as propriedades no estado fresco. A determinação do correto teor de absorção do SAP em misturas cimentícias ainda é imprecisa, devido à sensibilidade do material. Mesmo assim, dentre as metodologias propostas nesse trabalho, o ensaio de espalhamento de argamassa, mesmo sendo mais trabalhoso, se mostrou a melhor alternativa, por estar mais coerente com a realidade de aplicação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 7211 – **Agregados para concreto – Especificação**. p. 5, 2019

ABNT . NBR 13276 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. p. 1, 2016.

ABNT. NBR 16697 – **Cimento Portland – Requisitos**. p. 4, 2018.

ABNT NBR 8953 – **Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. p. 2, 2015.

AGOSTINHO, L.B. **ANÁLISE MICROESTRUTURAL DE PASTAS DE CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA CONTENDO POLÍMERO SUPERABSORVENTE E NANOSÍLICA**. 22 jun. 2021. Tese de Doutorado em Estruturas e construção civil departamento de engenharia civil e ambiental – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

ALBUQUERQUE, VICTOR; **Camaçari terá Polo Acrílico com investimento de R\$1,2 bilhão**. Correio da Bahia, 20 de agosto de 2011;

ANDRADE NETO, W. N. DE. **Caracterização de polímero superabsorvente para mitigação de retração autógena em microconcretos de alta resistência**. Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília - UnB, 2014.

ASSMANN, A. **Physical Properties of Concrete Modified with superabsorbent polymers**. Tese doutorado, Universidade de Stuttgart, Faculdade de Engenharia Civil e Ambiental. Stuttgart - Alemanha, 213p. 2013.

Basf investe R\$1.5 bi na Bahia para produzir polímero usado em fraldas e absorvente, Gazeta do Povo, 20 jun. 2015. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/basf-investe-r-15-bi-na-bahia-para-produzir-polimero-usado-em-fraldas-e-absorventes-11qc2i8b1f7ouja187l410d5g/> Acesso em: 23 jan. 2023.

BUCHHOLZ, F. L.; GRAHAM, A. T.; **Modern Superabsorbent Polymer Technology**; Wiley-VCH, 1998;

ESTEVES, L.P. **Recommended method for measurement of absorbency of superabsorbent polymers in cement-based materials**. In: Materials and Structures. 2014.

INTERNATIONAL UNION OF LABORATORIES AND EXPERTS IN CONSTRUCTION MATERIALS, SYSTEMS AND STRUCTURES (RILEM). [França: RILEM]. Disponível em: <https://www.rilem.net/introduction>. Acesso em: 03 jan. 2023]

JENSEN, O. M.; HANSEN, P. F. **Water-entrained cement-based materials I. Principles and theoretical background**. *Cement and Concrete Research*, v. 31, n. 6, p. 647- 654, 2001.

KANG, S; HONG, S; MOON, J. **Absorption kinetics of superabsorbent polymers (SAP) in various cement-based solutions.** *Cement and Concrete Research*, p. 73-83, 2017.

MAIA, G.; **Lançada pedra fundamental do Polo Acrílico de Camaçari-BA; obra vai gerar quase mil empregos,** *Jornal do Comércio*, 24 de agosto de 2011;

MANZANO, M. A. R. **Estudo Experimental de Materiais Cimentícios de Alta Resistência modificados com Polímeros Superabsorventes (PSAs) como Agentes de Cura Interna.** Tese de Doutorado - Brasília-DF: Universidade de Brasília, 2016.

MONNIG, S. **Water saturated super-absorbent polymers used in high strength concrete.** In: *Otto-Graf-Journal* 16, pp. 193-202, 2005.

SILVA, A.A.P. **MICROCONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA CONTENDO POLÍMERO SUPERABSORVENTE E METACALIM.** 12 jan. 2022. Dissertação de Mestrado em Estruturas e construção civil departamento de engenharia civil e ambiental – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

SILVA, E. F. **Variações dimensionais em concretos de alto desempenho contendo aditivo redutor de retração.** Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

SNOECK, D.; SCHRÖFL, C.; MECHTCHERINE, V. **Recommendation of RILEM TC 260-RSC : testing sorption by superabsorbent polymers (SAP) prior to implementation in cement-based materials.** *Materials and Structures*, v. 8, 2018.

WEHBE Y, GHAREMANINEZHAD A. **Combined effect of shrinkage reducing admixtures (SRA) and superabsorbent polymers (SAP) on the autogenous shrinkage , hydration and properties of cementitious materials.** *Constr Build Mater.* 2017;138:151-162.

YANG Z, SHI P, ZHANG Y, LI Z. **Influence of liquid-binder ratio on the performance of alkali-activated slag mortar with superabsorbent polymer.** *J Build Eng.* 2022

ZHAO, S.; JENSEN, O. M.; HASHOLT, M. T. **Measuring absorption of superabsorbent polymers in cementitious environments.** *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 53, n. 1, p. 1–16, 2020.