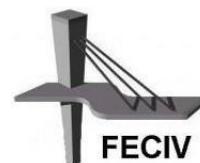




UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



OCTÁVIO FERREIRA SANTOS

AVERIGUAÇÃO DA PRESENÇA DE POLÍMERO
SUPERABSORVENTE EM COMPOSTOS CIMENTÍCIOS NO
ESTADO FRESCO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

UBERLÂNDIA
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

OCTÁVIO FERREIRA SANTOS

**AVERIGUAÇÃO DA PRESENÇA DE POLÍMERO
SUPERABSORVENTE EM COMPOSTOS CIMENTÍCIOS NO
ESTADO FRESCO**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

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

UBERLÂNDIA
2022

OCTÁVIO FERREIRA SANTOS

**AVERIGUAÇÃO DA PRESENÇA DE POLÍMERO
SUPERABSORVENTE EM COMPOSTOS CIMENTÍCIOS NO
ESTADO FRESCO**

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, 10/08/2022.

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. Dra. Maria Cláudia de Freitas Salomão – FECIV – UFU/MG
Examinadora Interna

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter cumprido suas promessas e me sustentado até aqui. Obrigado Papai, por estar comigo em cada momento de dificuldade e por todo zelo e carinho comigo. Seu amor me constrange.

À minhas duas mães Silvia e Eunice, que sempre cuidaram de mim com tanto empenho, amor e cuidado. Obrigado por terem sido base em minha vida, obrigado por muitas vezes terem aberto mão da vida de vocês em favor da minha. Palavras não expressam meu amor e gratidão por vocês. Nunca vou ser capaz de retribuir o que fizeram e ainda fazem por mim.

Ao meu irmão gêmeo Arthur, pelo privilégio que é dividir cada momento da vida com você. Obrigado por ser meu parceiro nesses 25 anos, obrigado por ser meu ombro amigo e por ser meu maior incentivador.

Aos meus avós, Dulce e Leônidas que mesmo distantes sempre foram minha maior representação de amor, simplicidade e aconchego. Obrigado serem tão bons e gentis comigo, obrigado por me ensinarem tanto e pela honra que é poder aprender com vocês.

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

Aos meus primos Raíssa, Netto e Eduarda, obrigado por cada momento vivido até aqui, é um prazer dividir a vida com vocês.

Ao meu pai Ademar, por cada apoio, ajuda e palavra de incentivo todos esses anos. Obrigado pelo esforço em cuidar de mim.

À minha companheira de vida Bruna, que me ajudou, apoiou, sustentou e encorajou durante todo esse processo. Seus conselhos, sempre gentis e dóceis, me fizeram suportar muitos dias difíceis. Sou grato à Deus por Ele ter colocado você em minha vida, Ele é bom.

À todos meus amigos, pela maravilha, a honra e o prazer que é dividir a vida com vocês. Vocês são únicos e incríveis. Me orgulho de andar com cada um de vocês.

À minha orientadora Lívia e à professora Maria Cláudia, 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.

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

Averiguação da Presença de SAP em compostos cimentícios no estado fresco.

Octávio Ferreira Santos¹; 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: octavyow@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: livaborba@ufu.br

RESUMO

A crescente tendência de construção de empreendimentos cada vez mais altos e esbeltos e os empreendimentos situados em ambientes agressivos, causaram um aumento no uso do Concreto de Alta Resistência (CAR) o que consequentemente estimulou pesquisadores a cada vez mais, buscarem novos materiais que visam solucionar as deficiências dos mesmos. Um desses materiais é o Polímero Superabsorvente (SAP), que 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. O intuito da aplicação do SAP nos CARs é gerar um processo de cura interna a fim de interromper a propagação do fenômeno da retração autógena. A ausência de procedimentos padronizados para averiguação da presença de SAP em grandes lotes de concreto em um canteiro de obras, torna necessária a realização de ensaios interlaboratoriais que visam estabelecer padrões de averiguação para que o lote possa ser aceito ou rejeitado. Este trabalho tratou da realização e análise de resultados de um ensaio interlaboratorial, estabelecido e recomendado pelo comitê 260-RSC da RILEM, acerca da presença do Polímero Superabsorvente (SAP) em compostos cimentícios de alta resistência no estado fresco.

Palavras-chave: polímero superabsorvente; concreto de alta resistência; rilem; retração autógena.

ABSTRACT

The growing trend of building increasingly tall and slender projects and projects located in aggressive environments caused an increase in the use of High Strength Concrete (CAR) which consequently stimulated researchers to increasingly seek new materials that aim to solve their shortcomings. One of these materials is the Superabsorbent Polymer (SAP), which is defined according to RILEM as a synthetic material with a great capacity to absorb a large amount of liquid from the environment and retain it without dissolution in its structure. The purpose of applying SAP in CARs is to generate an internal healing process to stop the propagation of the autogenous shrinkage phenomenon. The absence of standardized procedures to verify the presence of SAP in large batches of concrete at a construction site makes it necessary to carry out interlaboratory tests that aim to establish verification standards so that the batch can be accepted or rejected. This work dealt with the performance and analysis of the results of an interlaboratory test, established and recommended by the 260-RSC committee of RILEM, about the presence of Superabsorbent Polymer (SAP) in high-strength cementitious compounds in the fresh state.

Keywords: superabsorbent polymer; high strength concrete; rilem; autogenous retraction.

1. INTRODUÇÃO

O material conhecido como concreto de alta resistência (CAR) é definido pela ABNT NBR 8953:2015 como todo concreto de finalidade estrutural que possui valores de resistência à compressão entre 55 a 100 MPa. Ele possui como característica principal uma baixa relação água/cimento, necessitando assim de um elevado consumo de materiais cimentícios, resultando em uma microestrutura porosa. Devido à esse fato, o material pode vir a sofrer com 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 é, por definição, um fenômeno causador da diminuição da reserva de água em reações de hidratação do cimento. Sua ação acontece a partir da soma de dois fenômenos: a retração de autosssecagem e a contração de Le Chatelier, também conhecida como retração química. Em concretos comuns, a retração autógena é considerada como desprezível pois os mesmos possuem uma ótima relação água/cimento. Porém, devido à baixa relação água/cimento dos CARs, a retração autógena se torna um fenômeno expressivo e desvantajoso para os mesmos, pois prejudica suas funções de alta resistência e alta durabilidade.

O Polímero Superabsorvente (SAP) é um material sintético, formado por cadeias de copolímeros ramificados (poliacrilatos), considerado inovador na indústria da construção civil. Ele já é conhecido e amplamente usado em grande escala pela indústria de cosméticos na produção de fraldas descartáveis e também de absorventes. Esse material possui como principal característica uma grande capacidade de absorção e retenção de líquidos devido a formação de suas cadeias hidrofílicas, podendo absorver uma quantidade de líquidos até mil vezes maior que sua própria massa (BUCHHOLZ & GRAHAN, 1998). O SAP ainda não é comercializado no mercado brasileiro de construção civil, porém pode ser encontrado no mercado internacional com o nome de “Mastersphere 2000” (BASF, 2020).

Sua eficiência nos CARs já foi comprovada no meio científico por meio de pesquisas e testes (AGOSTINHO, 2021; MANZANO, 2016; MENDES & AZAMBUJA, 2019; PALMA E SILVA, 2022; SANTOS, 2016; SILVA JUNIOR, 2017). A sua utilização tem como objetivo promover um processo de cura interna, visando mitigar a ação do fenômeno de retração autógena e assim, aperfeiçoar o desempenho dos CARs na construção civil, garantindo que eles tenham suas principais características de alta resistência e durabilidade mantidas (MANZANO, 2016). No entanto, por se tratar de um produto ainda recente e com poucos dados de utilização em mercado, ainda se faz necessária a contribuição de estudos e pesquisas para entendimento da aplicação do produto como inovação tecnológica. Neste contexto, no ano de 2009, o comitê

técnico TC 255 SAP foi criado pela RILEM para estudar o uso do SAP em micro-concretos. Em 2012 foi publicado por esse comitê, o documento intitulado *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 mais conhecido, para assim, garantir que futuramente existisse o incentivo para pesquisas sobre o tema e utilização do material pelo mercado da construção civil.

Dando sequência aos estudos do comitê TC 255 SAP, foi criado então o comitê TC 260-RSC que possui foco no estudo das recomendações de uso do SAP no concreto. Nesse comitê foi proposto um estudo interlaboratorial de verificação da presença e da quantidade de SAP no concreto.

Desta forma, este artigo tem como objetivo a realização deste ensaio interlaboratorial, estabelecido pelo comitê TC 260-RSC da RILEM, sendo um de caráter qualitativo e dois de caráter quantitativo, acerca da presença do Polímero Superabsorvente (SAP) em microconcretos de alta resistência no estado fresco. O ensaio qualitativo tem como objetivo verificar, de forma visual e tátil, a presença de SAP nas misturas e os dois ensaios quantitativos possuem como objetivo verificar precisamente a quantidade de SAP presente no concreto fresco.

2. MATERIAIS

Para a realização dos ensaios interlaboratoriais deste trabalho, foram produzidos 10 micro-concretos de acordo com as recomendações RILEM TC 260-RSC. As misturas tratam-se de concretos de cimento, agregados, água, aditivo superplastificante e SAP em quantidades estabelecidas pelo comitê (Tabela 1).

Tabela 1: Quantidade de Materiais

MATERIAL	MASSA (g)
Cimento (Local)	700
Água (a/c 0.40)	280
SAP	1,05
Agregados	3850
Aditivo Superplastificante	De acordo com a trabalhabilidade desejada

Adaptado de RILEM (2021).

Devido à falta de informação sobre a quantidade específica de cada tipo de agregado (graúdo e miúdo), foram testadas misturas contendo somente agregado miúdo, algumas variações de quantidades de agregados miúdo e graúdo e diferentes teores de aditivo superplastificante para obtenção de uma mistura com boa trabalhabilidade. Após esses testes, foi determinado o traço padrão como sendo 1:2,5:3:0,4 (cimento:areia:brita:água) com a adição de 1,5% de aditivo em relação à massa de cimento. O SAP foi adicionado com o valor referente à 0,15% do valor da massa de cimento, conforme orientado pelo comitê. Mesmo após esses testes de dosagem, obteve-se uma mistura bastante seca.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

2.1.1. Cimento

Foi utilizado o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) devido a sua pureza e à sua semelhança ao cimento CEM I 42.5N, recomendado pelo comitê, no que se refere ao teor de clínquer. Outro fato que colaborou a favor do uso do cimento CPV-ARI é que o mesmo é o cimento comercial mais utilizado em dosagem de CARs no Brasil (AGOSTINHO, 2021).

Tabela 2: Propriedades do Cimento

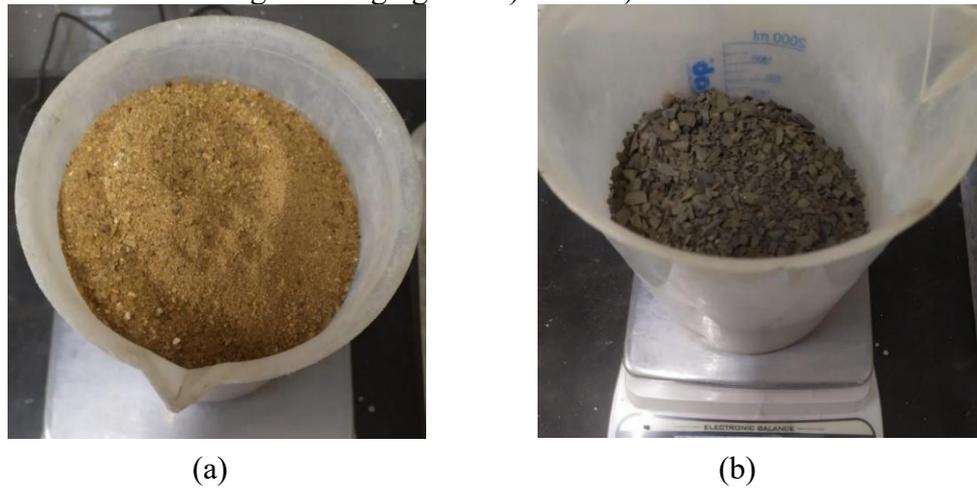
PROPRIEDADE	VALOR	REFERÊNCIA
Superfície Específica (cm ² /g)	5200	ABNT NBR 16372:2015
Resistência à compressão, 1 dia (MPa)	23,2	ABNT NBR 7215:2019
Resistência à compressão, 3 dias (MPa)	37,3	ABNT NBR 7215:2019
Resistência à compressão, 7 dias (Mpa)	46,7	ABNT NBR 7215:2019
Resistência à compressão, 28 dias (MPa)	58,1	ABNT NBR 7215:2019
Massa Específica	3,06	ABNT NBR NM 52:2009

Fonte: SPINI (2021).

2.1.2. Agregados

Como agregado miúdo, fez-se uso de uma areia natural quartzosa média (Figura 1a) que passou pelo processo de peneiramento na peneira de 4,8 mm, a fim de remover partículas de maior dimensão. Como agregado graúdo, fez-se uso de brita 0 que passou pelo processo de peneiramento entre as peneiras de abertura 4,8 mm e 0,15 mm. O material retido na peneira de abertura 0,15 mm foi lavado a fim de retirar o material pulverulento restante (Figura 1b). Ambos os agregados foram obtidos e disponibilizados pelo Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

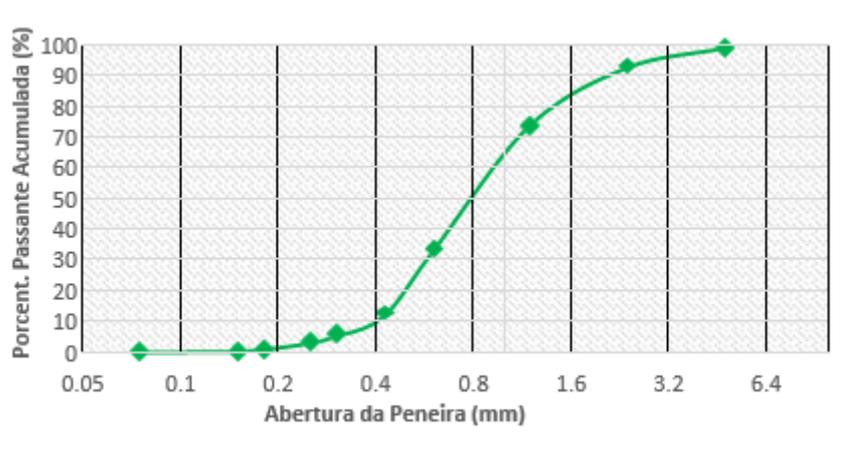
Figura 1: Agregados a) Areia b) Brita



Fonte: Autor (2022).

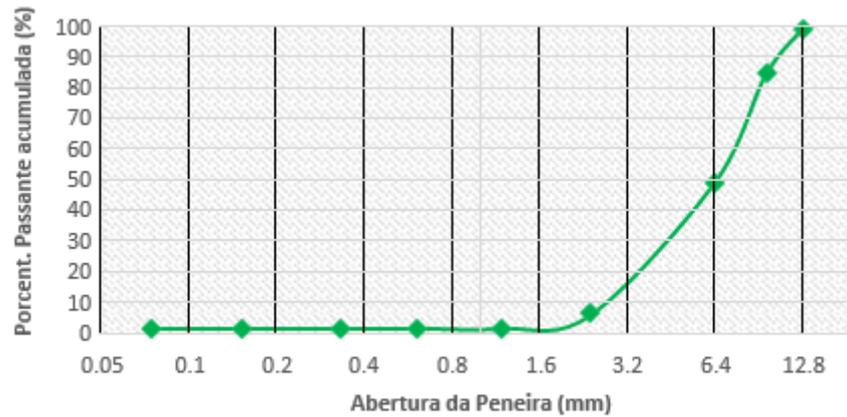
Os agregados foram caracterizados em laboratório e suas curvas granulométricas estão ilustradas nas Figura 2 e 3. Observa-se que a curva granulométrica do agregado miúdo é bem distribuída pois abrange uma extensa faixa de valores no eixo de abertura das peneiras, indicando que o material está bem graduado. Já a curva granulométrica do agregado graúdo abrange uma pequena faixa de valores no eixo de abertura das peneiras e possui um trecho quase horizontal, indicando que o material não está bem graduado. Nota-se que os dois tipos de agregados atendem os limites definidos pela ABNT 7211:2019.

Figura 2: Curva Granulométrica – Agregado Miúdo



Fonte: Autor (2022).

Figura 3: Curva Granulométrica – Agregado Graúdo



Fonte: Autor (2022).

2.1.3. Aditivo Superplastificante

A proporção de materiais recomendada pelo comitê resultou em um traço de concreto bastante seco e com baixa plasticidade. Dessa forma foi utilizado o aditivo Master Glenium 3500 da BASF. As suas especificações e características físico-químicas estão representadas na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização físico-químicas do aditivo utilizado

Características	Informações
Aspecto	Líquido
Cor	Amarelo Escuro
Base Química	Éter policarboxilato
Massa Específica (g/cm ³)	1,00 -1,20
Função Principal	Superplastificante

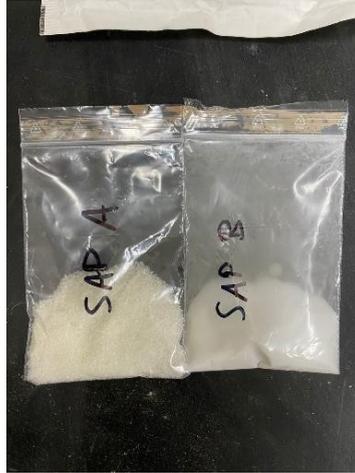
Fonte: Fabricante (2022).

2.1.4. Polímero Superabsorvente (SAP)

Para a realização e desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados dois tipos diferentes de SAP secos, em pó granular, ambos doados pelo comitê TC 260-RSC da RILEM (Figura 4). O SAP denominado “A” é produzido por processo de polimerização por solução ou polimerização em gel. Ele é apresentado em cor clara (ligeiramente turva) e odor suave e possui um formato irregular que se assemelha a vidro quebrado como é mostrado na Figura 5. O SAP denominado “B” é produzido pela técnica de polimerização

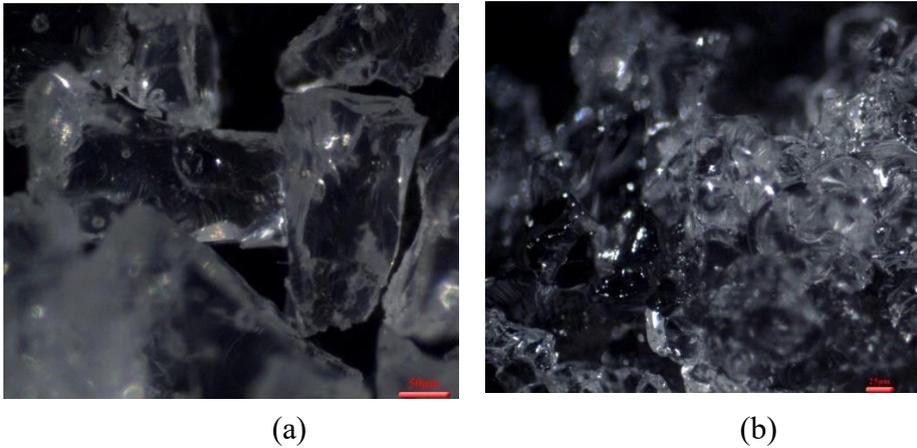
por suspensão inversa (JENSEN e HANSEN, 2001), possui formato regular e esférico como é mostrado na Figura 6, cor clara (ligeiramente turva) e odor suave. Aparentemente, as partículas de SAP “A” apresentam tamanho maior do que as partículas do SAP “B”. Suas dimensões não foram determinadas experimentalmente, essa análise foi feita a partir de imagens obtidas por meio da lupa “AxioCam Icc 5” e do microscópio “Stemi 508”.

Figura 4: SAPs “A” e “B” enviados pelo comitê.



Fonte: Autor (2022)

Figura 5: SAP “A”: a) Em ambiente seco (50 μm), b) Em ambiente aquoso (25 μm).

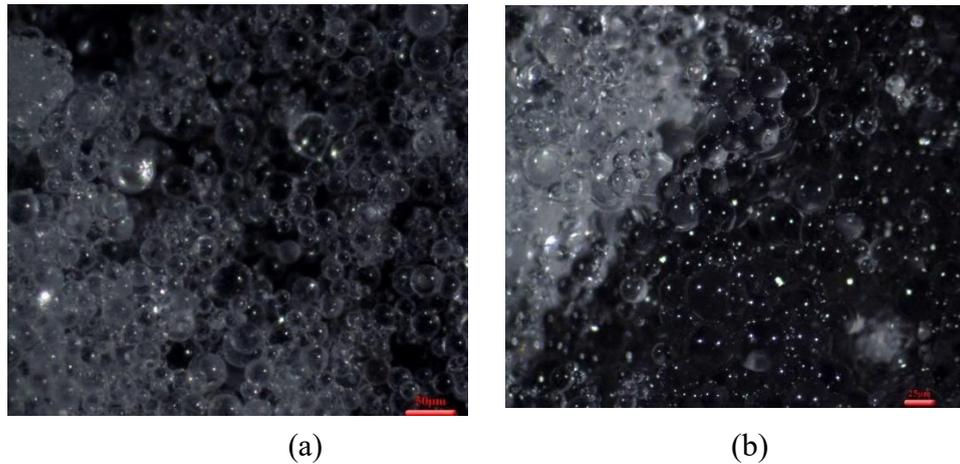


(a)

(b)

Fonte: Autor (2022).

Figura 6: SAP “B”: a) Em ambiente seco (50 μm), b) Em ambiente aquoso (25 μm).



Fonte: Autor (2022).

3. METODOLOGIA

Para a realização do ensaio, foi seguida a metodologia descrita e orientada pelo comitê TC 260-RSC da RILEM, tanto para o ensaio qualitativo quanto para os quantitativos. Para cada um dos dois métodos, o comitê recomendou a preparação e o uso de duas misturas diferentes, visando garantir que nos ensaios todo SAP adicionado na mistura seja utilizado. Os dois tipos de SAPs enviados pelo comitê (A e B) foram testados em dez misturas produzidas, nomeadas conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4: Separação dos SAPs para ensaio

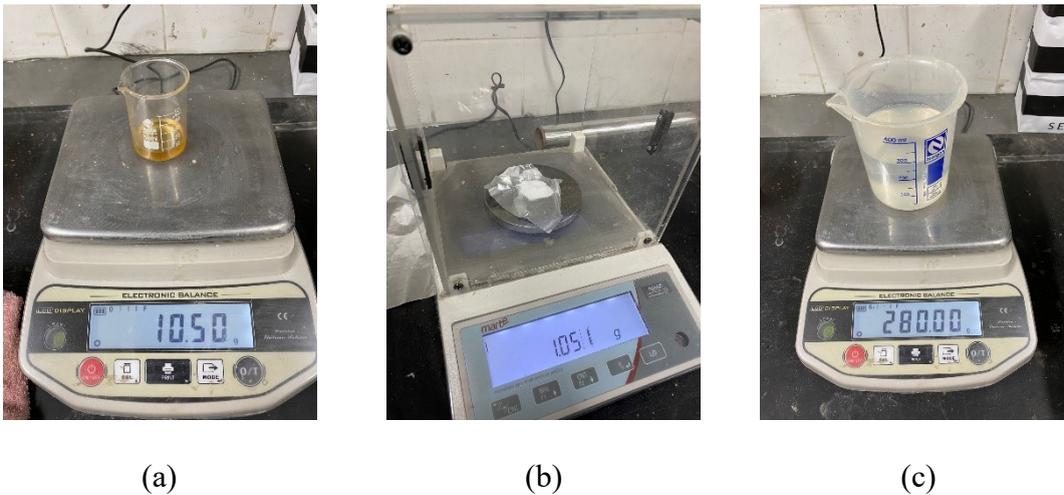
TIPO DE ENSAIO	SAP	IDENTIFICAÇÃO
Quantitativo Método Maçarico	A	SAPA-MAÇARICO1 SAPA-MAÇARICO2
	B	SAPB-MAÇARICO1 SAPB-MAÇARICO2
Quantitativo Método MUFLA	A	SAPA-MUFLA1 SAPA-MUFLA2
	B	SAPB-MUFLA1 SAPB-MUFLA2
Qualitativo	A	QLA
	B	QLB

Fonte: Autor (2022).

3.1. Preparação das Misturas

A preparação das dez misturas consistiu na pesagem do cimento, da água, do aditivo e dos agregados em uma balança de precisão com duas casas decimais, e na pesagem dos dois tipos de SAP em uma balança de precisão de quatro casas decimais (Figura 7).

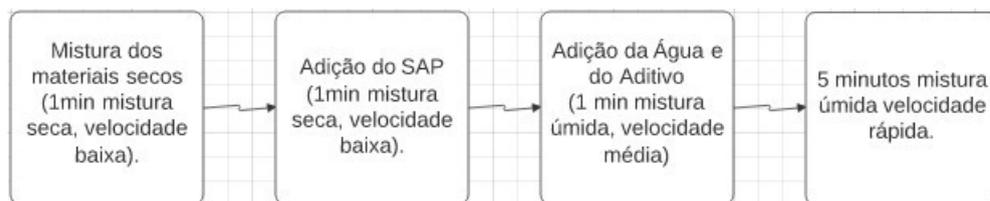
Figura 7: a) Pesagem do Aditivo, b) Pesagem do SAP, c) Pesagem da água



Fonte: Autor (2022).

Após a pesagem dos materiais, deu-se início ao processo de mistura, seguindo um processo de homogeneização dos materiais secos (agregados e cimento) seguido da adição do SAP e posteriormente, após a mistura seca, foi realizada a adição da água com o aditivo. O procedimento está ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Procedimento de mistura adotado para homogeneização



Fonte: Autor (2022).

3.2. Ensaio Qualitativo

O ensaio qualitativo possui a finalidade de verificar, a partir de uma análise visual, a presença de SAP no concreto fresco. O ensaio foi realizado uma vez para cada tipo de SAP (A e B). Após o processo de mistura, 0,3kg de concreto fresco foi colocado diretamente em uma peneira com malha de 2 mm com um recipiente coletor abaixo. Em seguida, uma grande

quantidade de água foi despejada sobre o material (Figura 9), obtendo dentro do recipiente coletor, um tipo de material pastoso semelhante a lama. Este material pastoso foi transferido para uma peneira com malha de 0,063 mm e novamente foi lavado com movimentos circulares para promover a separação das partículas de SAP. Após essa lavagem, uma avaliação visual (Figura 10) e tátil foi realizada. Em sequência, repetiu-se todo o processo de lavagem, peneiramento e análise visual e tátil, porém com uma massa de 0,6kg de concreto fresco.

Figura 9: Lavagem da mistura na peneira 2mm.



Fonte: Autor (2022).

Figura 10: Análise visual e tátil: a) SAP A, b) SAP B



(a)

(b)

Fonte: Autor (2022).

3.3. Ensaio Quantitativo

Seguindo as orientações do comitê, foram realizados dois tipos diferentes de ensaio quantitativo. Ambos possuem a finalidade de encontrar a quantidade de SAP (“A” e “B”) que foi adicionado no processo de mistura do concreto. Os dois possuem a mesma metodologia de lavagem e peneiramento, divergindo apenas em sua etapa final, na qual para realizar a queima dos materiais utiliza-se em um o maçarico culinário e em outro o forno MUFLA. Cada um deles foi realizado com duas amostras de cada tipo de SAP, totalizando oito ensaios. As amostras foram separadas para os dois tipos de ensaio e numeradas conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5: Separação e numeração das amostras de SAP.

Amostras SAP "A"	Amostras SAP "B"	Tipo de Ensaio
SAPA-MAÇARICO1	SAPB-MAÇARICO1	Maçarico
SAPA-MAÇARICO2	SAPB-MAÇARICO2	Maçarico
SAPA-MUFLA1	SAPB-MUFLA1	MUFLA
SAPA-MUFLA2	SAPB-MUFLA2	MUFLA

Fonte: Autor (2022).

Após o processo de mistura, todo o material obtido foi colocado em um recipiente estanque e em seguida foi adicionado cerca de 10 litros de água sobre o material. Com a colher de pedreiro, o material foi misturado na água por 1 minuto, com movimentos circulares e colocado em repouso por 1 minuto para que o SAP pudesse se dispersar no fluido e o material pesado pudesse decantar (Figura 11).

A recomendação do comitê era de realizar a lavagem e o peneiramento apenas uma vez, porém foi necessário realizar o processo duas vezes a fim de ampliar o índice de precisão do ensaio, pois após a primeira lavagem, uma grande quantidade de SAP permanecia visivelmente aglutinada com o material residual da mistura que sobrou no recipiente.

Tendo decorrido o tempo, toda a água, agora com SAP, armazenada no recipiente foi despejada com cautela, sobre uma peneira de malha 0,125mm enquanto era peneirada com movimentos circulares (Figura 12) para que nenhuma quantidade de material fosse perdida e para que apenas a água fosse retirada.

Em todos os ensaios, foi necessário repetir o processo de adição de água, mistura e peneiramento pois era visível a remanescência de SAP no material dentro do recipiente (Figura 13). Após o processo de peneiramento, todo material retido foi transferido para um béquer de vidro (Figura 14) e colocado na estufa sob uma temperatura de 60°C por 72h.

Figura 11: Mistura em repouso.



Fonte: Autor (2022).

Figura 12: Peneiramento da mistura na peneira de abertura 0,125mm.



Fonte: Autor (2022).

Figura 13: SAP remanescente no material residual.



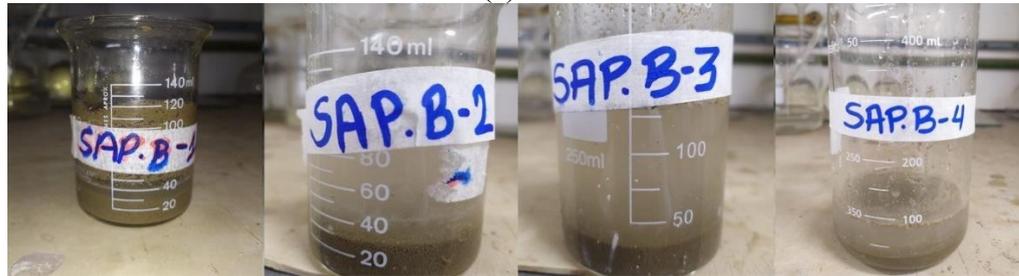
Fonte: Autor (2022).

Figura 14: Separação do material retido na peneira de abertura 0,125mm:

a) SAPs “A” b) SAPs “B”



(a)



(b)

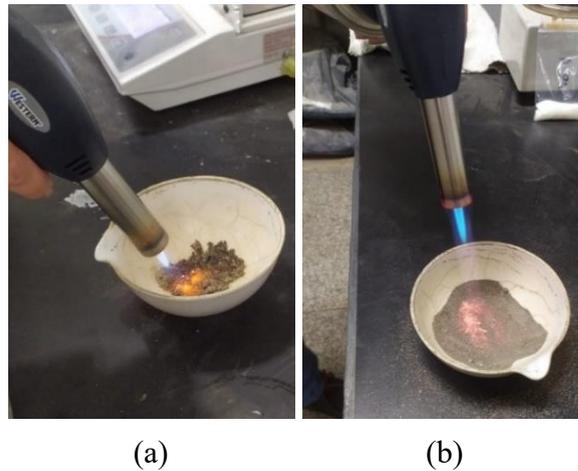
Fonte: Autor (2022).

3.3.1. Ensaio Quantitativo “1” – Método do Maçarico.

As amostras secas “SAPA-MAÇARICO1, SAPA-MAÇARICO2, SAPB-MAÇARICO1 e SAPB-MAÇARICO2” foram destinadas ao ensaio do Método do Maçarico (Tabela 5). Após serem retiradas da estufa, elas foram pesadas em uma balança de precisão com quatro casas decimais e então transferidas para recipientes de porcelana.

Uma vez que o SAP é um material sintético, para realizar o processo de separação de suas partículas dos demais componentes da mistura, utilizou-se um maçarico culinário (Figura 15) em potência baixa para que não houvesse dispersão das partículas no ar. A primeira queima teve duração de 1 minuto, com uma pausa para homogeneização, a fim de que o material retido no fundo pudesse ser queimado. A segunda queima também teve duração de 1 minuto. O material restante da queima é pesado na balança de precisão e sua massa é registrada. Em teoria, a diferença de massa entre a amostra seca da estufa e a amostra queimada deve corresponder à massa de SAP adicionada no processo inicial de mistura.

Figura 15: Queima do SAP com maçarico: a) SAP tipo A, b) SAP tipo B



Fonte: Autor (2022).

3.3.2. Ensaio Quantitativo “2” - MUFLA.

As amostras secas identificadas como “SAPA-MUFLA1, SAPA-MUFLA2, SAPB-MUFLA1 e SAPB-MUFLA2” foram retiradas da estufa após 72h, pesadas em uma balança de precisão com quatro casas decimais e transferidas para recipientes de porcelana. Para realizar o processo de separação das partículas de SAP das partículas dos outros componentes, utilizou-se do forno MUFLA que é uma câmara metálica de alta temperatura, podendo variar entre 200°C e 1800°C. Os recipientes foram identificados (Figura 16), cobertos com papel alumínio para evitar uma possível dispersão de material dentro da MUFLA pois o SAP pode “explodir” com a elevada temperatura. Os recipientes foram colocados no forno à 500°C por 3h para que toda matéria orgânica pudesse ser queimada, seguido de um resfriamento natural por 24h. O material remanescente nos recipientes foi pesado na balança de precisão. Em teoria, a diferença de massa entre a amostra seca em estufa e a amostra retirada do forno MUFLA deve corresponder à massa de SAP adicionada no processo inicial de mistura.

Figura 16: Recipientes com amostras destinadas a queima em MUFLA



Fonte: Autor (2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1. ENSAIO QUALITATIVO

Conforme orientado pelo comitê, para o ensaio qualitativo realizou-se a análise visual e tátil do material. Primeiramente as análises foram realizadas no concreto fresco composto pelo SAP “A”. Após a lavagem e peneiramento de 0,3kg do material fresco, houve uma grande dificuldade na análise visual e tátil do material retido na peneira (Figura 17a) devido a pequena quantidade de material retirado para o peneiramento.

Em seguida, retirou-se 0,6kg do material fresco para que também pudesse ser lavado, filtrado e analisado. Na análise tátil foi constatado que a superfície do mesmo possuía cor esbranquiçada e consistência gelatinosa e macia, aspecto brilhante e textura escorregadia. Na análise visual, a presença do SAP retido foi facilmente identificada e pôde-se perceber que, devido ao seu formato semelhante a vidro quebrado, mesmo após a absorção de água as partículas do polímero estavam bem distribuídas. A separação do SAP no processo de peneiramento foi realizada sem intercorrências pois como suas partículas estavam bem distribuídas as partículas do polímero não se aglutinaram muito com as partículas dos agregados e do cimento. A partir da análise visual e tátil, o resultado do ensaio qualitativo do SAP “A” foi considerado positivo (Figura 17b).

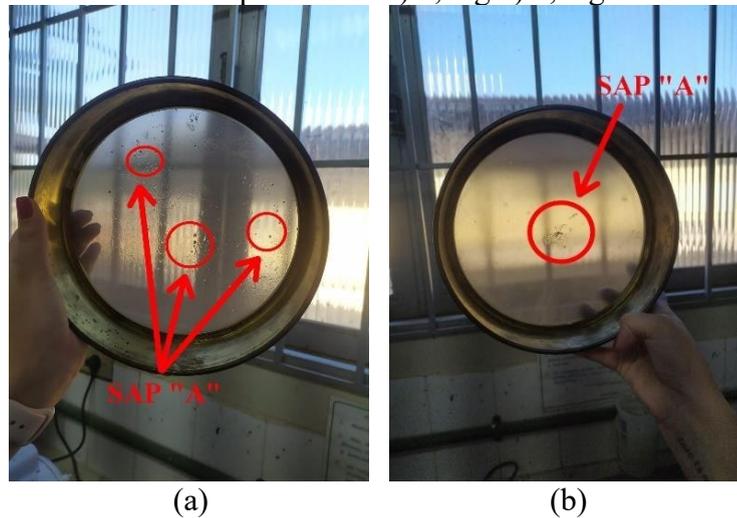
Em sequência, foram realizadas as análises no concreto fresco composto pelo o SAP “B”. Na filtragem de 0,3kg do material fresco, a separação das partículas do SAP “B” foi feita com moderada dificuldade, visto que as partículas do polímero estavam bem aglutinadas com as partículas dos agregados e do cimento, resultando em uma lama de difícil peneiramento (Figura 18a) que não foi observada nas misturas contendo o SAP “A”. A análise visual do material retido na peneira (Figura 19a) foi realizada com bastante dificuldade, devido à pequena quantidade do material retirado para o peneiramento. Retirou-se então 0,6kg do material fresco para que também pudesse ser lavado, filtrado e analisado. No processo de peneiramento de 0,6kg do material fresco, a separação das partículas do SAP “B” foi feita com bastante dificuldade, visto que as partículas do polímero se aglutinaram muito com as partículas dos agregados e do cimento, que resultou em uma lama mais espessa que a anterior e de difícil peneiramento na malha 0,063mm (Figura 18b).

Assim, para contornar a dificuldade, o material foi filtrado sob água corrente, com movimentos circulares e leves. Na análise tátil foi constatado que a superfície do mesmo possuía cor esbranquiçada e consistência gelatinosa e macia, aspecto brilhante e textura escorregadia. Em sua análise visual, a presença do SAP retido também pôde ser facilmente identificada e, diferente do SAP “A”, pôde-se observar que, devido ao seu formato esférico resultante do processo de polimerização por

suspensão inversa em sua produção, após a absorção da água as partículas estavam bem agrupadas e unidas. A partir da análise visual e tátil, o resultado do ensaio qualitativo do SAP “B” foi considerado positivo (Figura 19b).

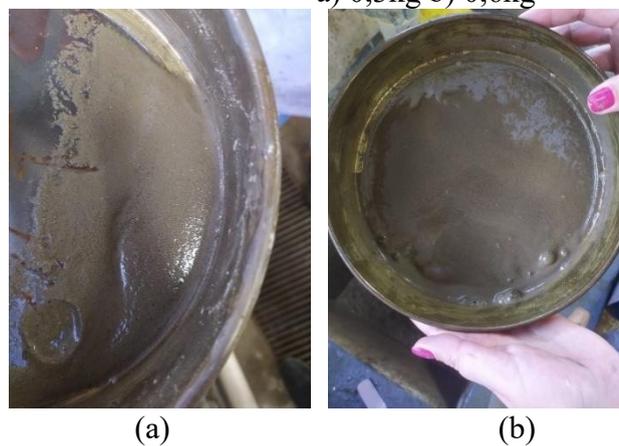
Os resultados obtidos no ensaio qualitativo foram satisfatórios para os dois tipos de SAP, pois o mesmo é simples e possui a função de apenas identificar a presença do SAP no concreto.

Figura 17 – Identificação do SAP “A” após peneiramento do material no ensaio qualitativo: a) 0,3kg b) 0,6kg



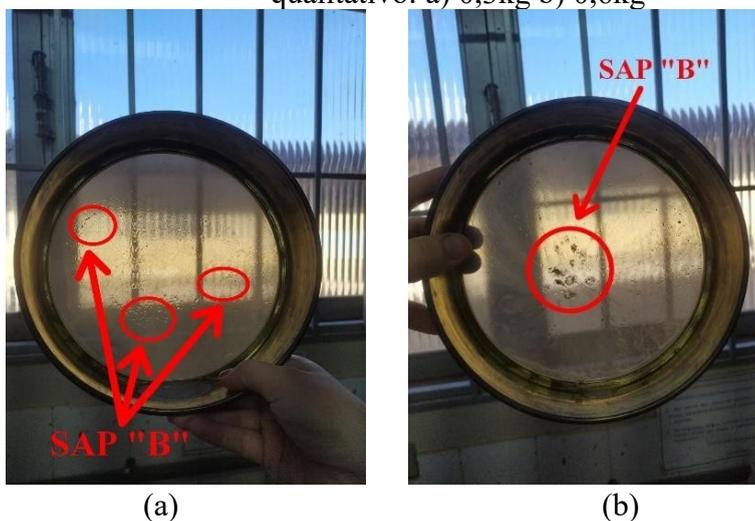
Fonte: Autor (2022).

Figura 18 – Lama resultante do peneiramento das misturas contendo SAP B: a) 0,3kg b) 0,6kg



Fonte: Autor (2022).

Figura 19 – Identificação do SAP “B” após peneiramento do material no ensaio qualitativo: a) 0,3kg b) 0,6kg



Fonte: Autor (2022).

4.2. ENSAIO QUANTITATIVO

Primeiramente foram realizados os quatro ensaios nos concretos frescos compostos pelo SAP “A” e em sequência nos concretos frescos compostos pelo SAP “B”. Os oito ensaios foram realizados por duas pessoas, e constatou-se que por mais simples que os ensaios pareçam, são repetitivos, trabalhosos e demandam um considerável esforço, tornando inviável a realização dos mesmos por apenas uma pessoa.

O processo de peneiramento e filtragem das misturas contendo SAP “A” foi realizado duas vezes de forma rápida e sem dificuldade (sem formação de lama), visto que aparentemente houve uma menor aderência dos demais constituintes da mistura ao SAP. Esse comportamento provavelmente é devido ao seu formato irregular e sua maior dimensão de partículas. As quatro amostras resultantes foram separadas em béqueres, identificadas como: “SAPA-MAÇARICO1, SAPA-MAÇARICO2, SAPA-MUFLA1 e SAPA-MUFLA2”, colocadas na estufa por 72h e destinadas aos dois diferentes tipos de ensaios quantitativos. As massas remanescentes obtidas após secagem em estufa estão apresentadas na Tabela 6, assim como a média dos resultados e o desvio padrão.

Em contrapartida, várias dificuldades foram encontradas no processo de lavagem e peneiramento das quatro misturas contendo o SAP “B”. Devido o seu formato esférico e reduzida dimensão, as partículas do polímero inchadas se agrupam entre si e com os demais constituintes da mistura (preferencialmente com partículas finas) formando uma lama espessa de difícil peneiramento na peneira de malha 0,125mm.

Com isso, o processo de peneiramento teve que ser repetido de três a quatro vezes para cada ensaio pois mesmo após a segunda lavagem, muito material além do SAP ainda estava retido na peneira.

As quatro amostras resultantes foram separadas em béqueres, identificadas como: “SAPB-MAÇARICO1, SAPB-MAÇARICO2, SAPB-MUFLA1 e SAPB-MUFLA2” colocadas na estufa por 72h. Tendo decorrido as 72h, foram retiradas, pesadas na balança de precisão e destinadas aos dois tipos de ensaios quantitativos. Suas massas secas estão apresentadas na Tabela 6 assim como a média entre as amostras e o desvio padrão.

Tabela 6: Massa inicial para ensaio quantitativo

IDENTIFICAÇÃO	MASSA SECA (g)	MÉDIA (g)	DESVIO PADRÃO
SAPA-MAÇARICO1	3,5530		
SAPA-MAÇARICO2	4,2350	3,6682	0,5094
SAPA-MUFLA1	3,8563		
SAPA-MUFLA2	3,0288		
SAPB-MAÇARICO1	11,4490		
SAPB-MAÇARICO2	15,2780	12,783	2,8239
SAPB-MUFLA1	9,4428		
SAPB-MUFLA2	14,9655		

Fonte: Autor (2022).

Observa-se que as massas remanescentes obtidas a partir das misturas contendo o SAP “B”, foram cerca de 3 vezes maiores do que as obtidas dos concretos contendo o SAP “A”. Esses valores podem ser justificados a partir da dificuldade no processo de peneiramento das misturas contendo o SAP “B”, pois o SAP aparentemente, aderiu-se com mais facilidade aos demais constituintes da mistura, tornando difícil o processo de separação durante a etapa final de obtenção do material remanescente, justificando assim as maiores massas.

4.2.1. MÉTODO DO MAÇARICO

Em relação a esse método de ensaio, não houve dificuldades no processo de queima das amostras “SAPA-MAÇARICO1, SAPA-MAÇARICO2”. O tamanho e formato irregular das partículas do SAP “A” impediu que as mesmas se aderissem muito às partículas dos demais constituintes da mistura, tornando o processo de peneiramento fácil (sem presença de lama). Conseqüentemente, resultou-se em uma pequena massa de material remanescente destinado à queima, não havendo dispersão das partículas ao ar quando o material foi submetido à potência do maçarico.

Com relação ao SAP “B”, houve uma moderada intercorrência na queima das amostras “SAPB-MAÇARICO1, SAPB-MAÇARICO2”, provavelmente devido ao formato esférico e dimensão reduzida de suas partículas, que fez com que as mesmas se aglutinassem com os demais constituintes do concreto, resultando uma lama espessa que dificultou o processo de peneiramento. Assim, obteve-se uma grande massa de material remanescente, aparentemente de

grãos mais finos, resultando em uma maior dispersão ao ar de material quando submetido à potência do maçarico.

Para solucionar o problema, o maçarico foi regulado em sua menor potência disponível e a queima foi realizada com mais cautela. Após a queima, o material excedente teve sua massa pesada na balança de precisão e a diferença entre a massa inicial e a massa final das quatro amostras submetidas a esse método de ensaio estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados do Ensaio Quantitativo – Método do Maçarico

AMOSTRA	MASSA INICIAL (g)	MASSA FINAL (g)	RESULTADO (g)	MÉDIA (g)
SAPA- MAÇARICO1	3,5530	3,0340	0,5190	
SAPA- MAÇARICO2	4,2350	3,7220	0,5130	0,5160
SAPB- MAÇARICO1	11,4490	10,6940	0,7550	
SAPB- MAÇARICO2	15,2780	14,4740	0,8040	0,7790

Fonte: Autor (2022).

A partir da análise dos resultados apresentados na Tabela 7, observa-se que a perda de massa das amostras contendo o SAP “B” foi cerca de 50% maior do que as das amostras contendo o SAP “A”. Esse resultado é provavelmente devido ao menor tamanho das partículas de SAP “B” e seu formato esférico, que fez com que o polímero aderisse aos demais constituintes do concreto. Aparentemente o processo de peneiramento das misturas contendo o SAP “B” foi mais difícil, porém, os valores de perda de massa foram mais próximos meta de 1,05g de SAP adicionado à mistura, ou seja, essa maior quantidade de material retido, favoreceu a retenção de mais polímero na peneira.

4.2.2. MÉTODO DA MUFLA

Os materiais remanescentes nos recipientes de porcelana após o processo de queima em MUFLA (Figura 20) tiveram suas massas pesadas em uma balança de precisão e a diferença entre a massa inicial e a massa final representa o resultado de perda de massa, conforme exposto na Tabela 8.

Figura 20: Amostras retiradas da MUFLA



Fonte: Autor (2022).

Tabela 8: Resultados do Ensaio Quantitativo – MUFLA

AMOSTRA	MASSA INICIAL (g)	MASSA FINAL (g)	RESULTADO (g)	MÉDIA (g)
SAPA- MUFLA1	3,8563	3,2114	0,6449	
SAPA- MUFLA2	3,0288	2,5485	0,4803	0,5626
SAPB- MUFLA1	9,4428	8,7171	0,7257	
SAPB- MUFLA2	14,9655	14,0543	0,9112	0,8185

Fonte: Autor (2022).

A partir da análise dos resultados apresentados na Tabela 8, assim como no método do maçarico, observou-se que a perda de massa das amostras contendo o SAP “B” foi cerca de 45% maior do que as das amostras contendo o SAP “A”. Mostrando que o método de queima das amostras não interfere na quantificação do SAP.

4.2.3. ANÁLISE DE RESULTADOS DOS ENSAIOS QUANTITATIVOS

Os resultados coletados nos ensaios de cinza quantitativos foram satisfatórios mesmo não tendo sido encontrado o valor exato da massa dos SAPs adicionados inicialmente no processo de mistura. Acredita-se que a quantidade inicial não foi alcançada devido à remanescência de partículas de polímero que ficaram aprisionadas no material residual que não sofreu lavagem (material que ficou no balde e foi para descarte, sem passar por peneiramento).

Nas Tabelas 9 e 10, estão expostas as médias e o desvio padrão dos resultados obtidos

nos ensaios quantitativos do maçarico e da mufla, respectivamente.

Tabela 9: Média e Desvio Padrão do Ensaio Quantitativo – Maçarico

<u>IDENTIFICAÇÃO</u>	<u>MÉDIA (g)</u>	<u>DESVIO PADRÃO</u>
SAPA-MAÇARICO1	0,5160	0,0042
SAPA-MAÇARICO2		
SAPB-MAÇARICO1	0,7795	0,0346
SAPB-MAÇARICO2		

Fonte: Autor (2022).

Tabela 10: Média e Desvio Padrão do Ensaio Quantitativo – MUFLA

<u>IDENTIFICAÇÃO</u>	<u>MÉDIA</u>	<u>DESVIO PADRÃO</u>
SAPA-MUFLA1	0,5626	0,1164
SAPA-MUFLA2		
SAPB-MUFLA1	0,8184	0,1312
SAPB-MUFLA2		

Fonte: Autor (2022).

Nota-se que o desvio padrão possui um valor baixo, o que assegura que mesmo com todas as intercorrências na realização do ensaio quantitativo e a não obtenção exata da massa de SAP adicionada no processo de mistura, os resultados são homogêneos e confiáveis.

A partir da comparação entre os dois métodos propostos de quantificação, observa-se que tanto o método do maçarico quanto o método da MUFLA obtiveram massas semelhantes pós queima de amostras contendo o mesmo SAP, o que atesta a eficiência dos dois métodos, e a correta execução dos ensaios descritos neste artigo.

Como mencionado anteriormente, mesmo com a maior dificuldade em realização do peneiramento das amostras contendo o SAP “B”, foi possível melhor quantificação do polímero dessas misturas, conseguindo atingir cerca de 75% da massa esperada. Esse resultado indica que partículas maiores de SAP, provavelmente ficam facilmente aprisionadas entre o material remanescente e tem maior dificuldade em se dissipar durante o processo de dispersão e decantação da mistura que precede o peneiramento. Entende-se que as partículas de SAP “A” não se dispersaram no líquido por serem maiores e consequentemente mais pesadas. Ou seja, é provável que elas tenham decantado junto com os demais constituintes da mistura, sendo possível quantificar somente cerca de 50% da massa esperada.

Sugere-se, portanto, que o processo de lavagem da mistura seja feito na totalidade dos componentes, pois no método sugerido, parte do material não passou pelo processo de peneiramento e lavagem. Assim, não é possível garantir a dispersão do SAP que fica retido no material remanescente.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no ensaio interlaboratorial de cunho qualitativo, estabelecido pelo comitê TC 260-RSC, acerca da presença de SAP em compostos cimentícios frescos de alta resistência, são satisfatórios uma vez que os polímeros foram identificados visualmente com facilidade e apresentaram as características indicadas pelo comitê na análise visual e tátil.

Porém, os resultados obtidos a partir dos ensaios quantitativos, deixaram a desejar quanto ao alcance da massa inicial procurada após peneiramento (1,05g de SAP). Para o SAP “A” obteve-se cerca de 50% da massa esperada, e para o SAP “B” cerca de 75%. Esses percentuais mostram deficiência na metodologia proposta para quantificação do SAP, uma vez que o intuito do ensaio é a quantificação exata de polímero. Sugere-se adequações na metodologia do ensaio quantitativo no processo de peneiramento e lavagem, pois entende-se que foi nessa etapa que o SAP possa ter ficado retido junto ao material que não passou por processo de lavagem/peneiramento.

Observa-se também que devido à baixa variabilidade dos resultados pós queima dos métodos do maçarico e mufla, que essa etapa final dos ensaios se mostrou efetiva para ambos os métodos. Para aplicação tecnológica desses ensaios, entende-se que o ensaio qualitativo é eficaz e simples para execução em campo, visando identificação em concretos, do polímero superabsorvente independentemente de sua forma e tamanho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABNT. NBR 7215 - **Cimento Portland e outros materiais em pó - determinação da massa específica**. p. 8, 2019.

ABNT. NBR 16372 : **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)**. p. 12, 2015.

ABNT. NBR NM 52: **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. v. 0002, p. 85, 2009.

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. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/41242?locale=fr>. Acesso em: 03 ago. 2022.

AGOSTINHO, L.B. **ESTUDO REOLÓGICO DE PASTAS DE CIMENTO PORTLAND MODIFICADAS COM POLÍMERO SUPERABSORVENTE E NANO PARTÍCULAS DE SÍLICA**. 18 abr. 2017. Dissertação de Mestrado em Estruturas e construção civil departamento de engenharia civil e ambiental – Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/23310>. Acesso em: 03 ago. 2022.

APL ENGENHARIA (Brasil). **CONCRETO PARA FINS ESTRUTURAIIS: Especificações da NBR 8953:2015**. Montes Claros, 2020. Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/concreto-para-fins-estruturais-especificacoes-da-nbr-89532015/>. Acesso em: 03 ago. 2022.

BIOVERA EQUIPAMENTOS DE LABORATÓRIO E ASSISTÊNCIA TÉCNICA (Brasil). **O que é um forno mufla e suas principais características**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.biovera.com.br/noticias/o-que-e-um-forno-mufla-e-suas-principais-caracteristicas/>. Acesso em: 03 ago. 2022.

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

FRIEDRICH, S.; HERTH, G., **BASF water-swellaable polymers for cement-based materials**, United States, 2020.

INTERNATIONAL UNION OF LABORATORIES AND EXPERTS IN CONSTRUCTION MATERIALS, SYSTEMS AND STRUCTURES (RILEM). **260-RSC: Recommendations for use of superabsorbent polymers in concrete construction**. France, 2019. Disponível em: <https://www.rilem.net/groupe/260-rsc-recommendations-for-use-of-superabsorbent-polymers-in-concrete-construction-327>. Acesso em: 03 ago. 2022.

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 ago. 2022]

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.

MANZANO, M.A.R. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE MATERIAIS IMENTÍCIOS DE ALTA RESISTÊNCIA MODIFICADOS COM POLÍMEROS SUPERABSORVENTES (PSAs) COMO AGENTES DE CURA INTERNA.** 10 jan. 2017. **Tese de Doutorado em** Estruturas e construção civil departamento de engenharia civil e ambiental – Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/22140>. Acesso em: 03 ago. 2022.

MECHTCHERINE, V. *et al.* Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction—update of RILEM state-of-the-art report. **Materials and Structures.** Germany, v. 54, n. 80, p.1-20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01668-z>. Acesso em: 03 ago. 2022.

MENDES, C.A.M.; AZAMBUJA, C.M. **DURABILIDADE DE CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA COM ADIÇÃO DE POLÍMERO SUPERABSORVENTE E NANO PARTÍCULAS DE SÍLICA.** 04 jun. 2019. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/25072>. Acesso em: 07 ago. 2022.

SANTOS, T. A. C. E. **Estudo da adição de polímero superabsorvente e nano partículas de sílica para melhorar propriedades de concretos de alta resistência.** Dissertação de Mestrado—Brasília: Universidade de Brasília - UnB, 2016.

SILVA, A.A.P. **MICROCONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA CONTENDO POLÍMERO SUPERABSORVENTE E METACAULIM.** 12 jan. 2022. Dissertação de Mestrado em Estruturas e construção civil departamento de engenharia civil e ambiental – Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/43570>. Acesso em: 08 ago. 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.

SILVA JR, P. F. **Estudo da estabilidade dimensional de concretos de alta resistência com adição de polímero superabsorvente e nanopartículas de sílica.** Tese de Doutorado – Brasília-DF. UnB, 2017.

SPINI, Gabriel Pandolfi. **Efeito do método de mistura nas propriedades de argamassas com poliestireno expandido.** 2021. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Materiais de Construção Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

WYRZYKOWSKI M.; MECHTCHERINE, V.; SCHROEFL. C.; TOROPOVS. N. **Verification of the presence and quantity of superabsorbent polymer (SAP) in as delivered concrete.** France, 2020. Disponível em: <https://www.rilem.net/groupe/260-rsc-recommendations-for-use-of-superabsorbent-polymers-in-concrete-construction-327>. Acesso em: 03 ago. 2022.