

Novo Aditivo Incorporador de Ar Biodegradável de Alta Performance

Concepção e Objetivos

Aditivo é qualquer material (excetuando-se água, agregados, cimento ou fibras) adicionado à matriz cimentícia antes ou durante a mistura, com o objetivo de modificar algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições. Existem mais de 20 finalidades importantes para os aditivos, entre elas: aumentar a trabalhabilidade do concreto ou argamassa sem aumentar o consumo de água, reduzir a exsudação e a segregação, retardar ou acelerar o tempo de pega, diminuir a retração, controlar o desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, incorporar microbolhas de ar, entre outros. O emprego de aditivos no concreto é em grande parte responsável pelos avanços da indústria de construção civil nos últimos anos, possibilitando desenvolver materiais com maior resistência, maior durabilidade e estruturas mais esbeltas e esteticamente agradáveis. São centenas de tipos e marcas de aditivos, e nos países desenvolvidos, 80 a 90% de todo o concreto produzido possui um ou mais tipos (Mehta & Monteiro, 2014). No Brasil, embora não existam dados oficiais, profissionais afirmam que este uso é aproximadamente 15%.

Os aditivos incorporadores de ar (AIA) introduzem pequenas bolhas de ar (ou vazios) dispersas pela matriz. As microbolhas ou microporos de ar incorporado, de diâmetro até 300µm, homogeneamente distribuídas, dificultam a penetração de água na matriz, devido a sua tensão superficial. Este efeito permite aumentar a resistência à ação de agentes agressivos, como ácidos, cloretos, e demais elementos constituintes da atmosfera. Ainda, os AIA melhoram a coesão nos concretos e argamassas; reduzem a tendência de segregação e exsudação nas matrizes frescas, facilitam as ações de bombeamento e aumentam o isolamento térmico. Os AIA são indicados para concretos sujeitos a ciclos de gelo e degelo (em alguns países frios, é obrigatório o uso de AIA em qualquer concreto de ambiente externo); para concretos leves e concretos bombeados. Um efeito da incorporação de ar é a melhoria da trabalhabilidade das misturas. Com o aumento da plasticidade, é possível reduzir a relação água/cimento da matriz, o que também contribui para a redução da permeabilidade e consequente aumento de sua durabilidade. Todos os incorporadores de ar, bem como alguns tipos de aditivos plastificantes, são compostos por substâncias tensoativas ou surfactantes.

Substâncias surfactantes diminuem a tensão superficial da água, devido ao balanço de forças entre as moléculas na interface da superfície do líquido e atmosfera. Por definição, essas substâncias contêm uma, ao menos uma, porção apolar (hidrofóbica) e pelo menos uma polar (hidrofílico). Na matriz de cimento, os surfactantes componentes dos AIA estabilizam as bolhas de ar englobadas durante a mistura dos materiais. Na fase aquosa da matriz cimentícia, os grupos polares reduzem a tensão superficial, evitando a tendência das bolhas de se desfazerem. Simultaneamente, na interface cimento-água, os grupos polares se ligam ao cimento, mantendo os grupos apolares orientados para a fase aquosa, tornando a superfície do cimento hidrofóbica e assim o ar pode deslocar a água e permanecer ligado às partículas sólidas em forma de bolhas (Du e Folliard, 2005). Este mecanismo é responsável pelos efeitos do AIA nos concretos e argamassas – plasticidade, ar incorporado e coesão.

As moléculas do Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS), surfactante componente ativo do detergente doméstico, contêm uma longa porção apolar (hidrofóbica) e um pequeno grupo polar (hidrofílico). Assim, o detergente interage tanto com a gordura (parte apolar) quanto com a água (parte polar) e promove a limpeza das superfícies.

Dessa forma, baseado nas similaridades entre os componentes ativos do detergente e dos AIA, o presente trabalho apresenta um novo aditivo incorporador de ar, com amplo potencial para contribuir com a melhoria das características dos concretos produzidos in loco ou em usinas, baseado em LAS proveniente de detergentes lava-louças.

Alguns dos benefícios do uso de detergentes lava-louças, comparativamente aos AIA disponíveis comercialmente, são: ampla disponibilidade, baixo custo, atoxicidade e menor impacto ambiental, visto que são substâncias biodegradáveis por regulamentação da ANVISA. Ainda, enquanto os aditivos comerciais são vendidos em volumes mínimos de 1l, geralmente em baldes de 15l, detergentes domésticos são facilmente adaptáveis para pequenas concretagens.

Escopo e desenvolvimento do trabalho

A metodologia desenvolvida busca determinar a viabilidade técnica do uso de LAS proveniente de detergente lava-louças como aditivo incorporador de ar (AIA) para matrizes cimentícias. Para melhor caracterização dos modelos experimentais propostos, foram produzidos 300 corpos de prova cilíndricos (5×10cm) de argamassa de concreto. Utilizou-se traço padrão para determinação da resistência compressão de cimentos Portland (NBR 7215), para determinar a influência dos AIA nessas matrizes. O traço adotado, 1:3:0,48, possui a areia dividida em 4 frações iguais: grossa, média grossa, média fina e fina (NBR 7214).

Materiais

Para este trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland CP-II-F-32. O CP-II-F foi escolhido pois possui menor teor de adições entre as classes de cimento disponíveis comercialmente.
- Frações previamente separadas de areia de rio regional.
- Água potável.
- Aditivo incorporador de ar proposto (AIA proposto), compreendendo soluções aquosas de Detergente neutro em variadas concentrações. De acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), o produto é composto por uma associação de tensoativos aniônicos entre 6 e 10%, compreendendo LAS, (CAS: 25155-30-0); Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Trietanolamina (CAS: 27323-41-7) e Lauril Éter Sulfato de Sódio (CAS: 9004-82-4).
- Aditivo incorporador de ar comercial (AIA comercial) baseado em Lauril Éter Sulfato de Sódio (CAS: 9004-82-4), concentração de 5% a 25%.

Dosagens

As soluções e dosagens do AIA proposto variaram de 0,0005% a 0,8% sobre a massa do cimento. Do AIA comercial, entre 0,02% a 0,2%, conforme indicação do fabricante. Um tratamento sem aditivo (0%) foi utilizado como referência.

Ensaio Realizados

Para a avaliação das alterações nas reações de hidratação do cimento com a adição do aditivo proposto, foram realizados ensaios de tempo de pega do cimento com aparelho de Vicat (NBR NM 65). Adicionalmente, foi traçada a curva de calor de hidratação do cimento com e sem aditivos. Essa curva exibe a temperatura no interior de uma pasta de cimento de consistência normal inserida em um recipiente adiabático hermeticamente fechado.

No estado fresco, foram realizados os seguintes ensaios: Índice de Consistência, segundo NBR 7215 e Teor de Ar Incorporado pelo método pressométrico. Por sua vez, no estado endurecido, na idade de 28 dias, foram realizados os seguintes ensaios de caracterização: Massa específica Aparente, (NBR 13280); Índice de Vazios e Absorção de água (NBR 9778); Resistência à compressão (NBR 7215); Módulo de elasticidade dinâmico, (NBR 15630); Análise morfológica e microestrutural do sistema de vazios de ar, através de Microscopia Óptica e Microscopia (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Resultados Quantitativos

Cabe ressaltar que os valores exibidos nesta seção já são os valores significativos, segundo os tratamentos estatísticos aplicáveis da normalização de referência.

Resultados com a Pasta de Cimento

De acordo com a Figura 1, observa-se um retardo do tempo de início de pega, embora pouco pronunciado, conforme o aumento da dosagem do AIA proposto. O tempo de fim de pega sofreu um atraso mais significativo, chegando a 27 minutos para a dosagem de 0,8%. Esse valor, entretanto, não chega a classificar o aditivo proposto como “retardador”, pois está dentro do limite de 60 minutos de tolerância para os tempos de pega (NBR 11768).

Também foi estudada a evolução do calor de hidratação da pasta de cimento com e sem a adição de AIA, como mostra a Figura 2. Através da análise dos dados obtidos pela instrumentação, é possível observar que o pico de calor se dá por volta de 9h após a mistura, alcançando temperaturas da ordem de 58°C. O pico de temperatura para o calor de hidratação da dosagem 0,004% ocorreu antes do traço de referência; contudo, com o aumento da dosagem de AIA, nota-se que o pico se atrasa, e ocorre a temperaturas mais baixas. A temperatura máxima do traço de referência, 0%, foi 58,21°C às 8h e 57 minutos após o início da mistura; enquanto o traço 0,8% alcançou 53,52°C após 9h e 22 minutos. Estes valores significam uma redução de 8% na temperatura e um atraso de 35 minutos. Por sua vez, a curva do traço comercial, 0,2%, seguiu consideravelmente similar ao traço 0,4%, inclusive com picos muito próximos de temperatura: 55,36 °C para o AIA comercial e 55,32 °C para o AIA proposto, ambos às 9h e 06 minutos.

As curvas de calor de hidratação estão em alinhamento com o aumento do tempo de início e final de pega demonstrado na Figura 1, onde as reações de endurecimento da pasta aditivada são adiadas em relação à pasta de referência. Microscopicamente, devido à sua natureza polar-apolar, as moléculas de surfactantes tem suas extremidades polares adsorvidas às partículas de cimento e repelem-se mutuamente devido à suas extremidades apolares (Du e Folliard, 2005). Esse fenômeno é responsável pela redução da tensão superficial da água, o melhor espalhamento das partículas de cimento, a estabilidade das bolhas de ar na matriz e o ligeiro atraso do tempo de pega. Para o traço 0,004%, sugere-se que o adiantamento do pico de temperatura em relação à matriz de referência deva-se à melhor dispersão das partículas de cimento sob ação das moléculas deste surfactante.

A redução da temperatura máxima de pico das demais dosagens é provavelmente devida à relativa menor intensidade do ataque da água às partículas de cimento. Como essa reação reconhecidamente exotérmica está mais distribuída ao longo do tempo, a temperatura da matriz como um todo não se eleva aos patamares da matriz de referência, onde as reações químicas ocorrem em um período mais concentrado. A diminuição da temperatura de pico é favorável às aplicações das matrizes cimentícias, uma vez que sugere a possibilidade de redução de trincas por retração térmica.

Resultados no Estado Fresco

No estado fresco, foram avaliados para as argamassas de concreto o índice de consistência e teor de ar incorporado (Figura 3). É possível observar na Figura 4 uma tendência clara para o aumento da plasticidade com o uso do AIA proposto, demonstrado

pelo aumento do espalhamento dos corpos de prova, a partir da dosagem 0,04%. A taxa de crescimento se reduz, entretanto, a partir da dosagem 0,2%. Os traços 0,0005% a 0,02% não demonstraram alteração significativa em relação ao traço de referência. Esse fato indica que as concentrações de surfactantes destas dosagens não afetaram a pasta de modo efetivo.

Os traços de 0% a 0,02% sofreram desagregação. Dessa forma, diz-se que são não plásticos, e seu espalhamento está fixado aos 120 mm, que é a dimensão inicial assumida pelo molde tronco cônico do ensaio. O traço 0,04% pode ser considerado uma dosagem de transição, na qual a pasta começa a desenvolver uma coesão devido aos efeitos do AIA. A partir da dosagem 0,05%, as moléculas de surfactantes proporcionam uma melhor dispersão das partículas de cimento bem como uma redução efetiva da tensão superficial, tornando a pasta mais fluida e trabalhável. O AIA proposto alcançou espalhamento de 223,83 mm para a maior dosagem proposta, 0,8%, representando um incremento no espalhamento de 86% em relação à sua forma inicial. O aditivo comercial, por sua vez, alcançou um espalhamento de 213,80 mm (+78%) na maior dosagem recomendada pelo fabricante. Para a mesma dosagem máxima do aditivo comercial, 0,2%, o espalhamento do aditivo proposto foi de 209,88 mm (+75%). Esta similaridade é esperada, uma vez que ambos os AIA são surfactantes sintéticos aniônicos, com mecanismo de ação similar.

Em relação ao teor de ar incorporado, a precisão do equipamento é influenciada pela consistência das argamassas. Melhores resultados são obtidos com argamassas mais plásticas. Dessa forma, o teor de ar incorporado dos traços até a dosagem 0,02% foram desprezados.

Os resultados mostram um teor de ar incorporado crescente a partir do traço 0,04%, alcançando 55% para o traço 0,8%. Em outras palavras, 55% do volume da argamassa resultante é ar. Este fator tem um impacto negativo nas propriedades mecânicas da matriz, mas um efeito positivo em relação à sua produtividade, trabalhabilidade, isolamento térmico e acústico. Pode-se observar que o aditivo proposto é um incorporador de ar mais eficiente do que o aditivo comercial.

Resultados no Estado Endurecido

A Figura 5 exibe os resultados para os ensaios de índice de vazios e a absorção de água dos corpos-de-prova. Observa-se que todos os tratamentos tiveram aproximadamente o mesmo comportamento, para índice de vazios de 16,8% e absorção de água de 8,0%, excetuam-se os tratamentos com dosagem superior a 0,4%. Esse resultado é altamente relevante, visto que o teor de ar incorporado (Figura 3) dos tratamentos 0,1% e 0,2% é muito superior ao dos traços anteriores. A análise microestrutural e os resultados de massa específica aparente, que serão discutidos a seguir, provam que os tratamentos de 0,05% a 0,2% possuem uma matriz mais porosa do que os tratamentos anteriores também no estado endurecido; e, entretanto, esses poros adicionais não se traduzem em um aumento da permeabilidade da matriz. A manutenção do índice de vazios e absorção de água para os traços com dosagem até 0,2% indica a manutenção da resistência da matriz à entrada de agentes agressivos, e, assim, sua durabilidade.

O ensaio da massa específica, na Figura 6, demonstrou, como o esperado, uma redução na relação massa/volume do corpo-de-prova à medida que se aumenta a dosagem

de aditivo, e conseqüentemente, o teor de ar incorporado. A massa específica aparente obtida para o traço de referência foi de 2,26 g/cm³, alcançando 1,63 g/cm³ para o traço de maior dosagem de aditivo proposto, 0,8%, o que representou redução de 28% na massa da matriz para um mesmo volume. Observa-se que as argamassas dosadas com aditivo comercial apresentaram propriedades semelhantes às aditivadas com AIA proposto; apenas ligeiramente mais densas.

Finalmente, a Figura 7 exibe os resultados para resistência à compressão e módulo de elasticidade das matrizes cimentícias. É possível observar que a resistência à compressão dos corpos-de-prova aditivados com AIA proposto permaneceu aproximadamente constante, aos 31,8 MPa, até o traço 0,04%. A partir do traço 0,05%, há um decréscimo exponencial na resistência, até um patamar inferior de 2,15 MPa para a dosagem 0,8%. Este decréscimo é derivado do aumento da porosidade da matriz, como se pôde observar na análise microestrutural e no resultado do índice de vazios. Resultados similares devido ao aumento da concentração de AIA foram obtidos por Ouyang, et al. (2008), Yang et al. (2000) e Chen e Zhou (2013).

Cabe lembrar que a quantidade de água nas misturas foi mantida constante, apenas variando-se a adição de AIA. Provavelmente, se a quantidade de água fosse corrigida mantendo-se como parâmetro o índice de consistência da mistura, a queda na resistência à compressão seria mitigada ou mesmo revertida.

Ainda, nota-se que o aditivo comercial apresentou desempenho mecânico relativamente melhor para as concentrações de AIA próximas. Para a concentração de 0,2% de aditivo sobre a massa de cimento, a queda de resistência em relação à matriz de referência foi -56% para o aditivo proposto, e -41% para o aditivo comercial.

A partir da análise do gráfico, nota-se que o módulo de elasticidade dinâmico também decresceu com o aumento da concentração de AIA a partir da dosagem 0,01%, tanto para o AIA proposto quanto para o AIA comercial. De modo geral, o módulo de elasticidade foi afetado aproximadamente na mesma intensidade que a resistência à compressão. As propriedades elásticas de materiais compósitos variam conforme o volume e o tamanho dos poros, bem como com as interconexões entre eles. Assim, com o aumento da dosagem de AIA tem-se um compósito com maior deformabilidade, o que reduz o potencial de fissuração da matriz. Resultados similares devido ao aumento da concentração de AIA foram obtidos por Ouyang, et al. (2008), Yang et al. (2000) e Chen e Zhou (2013).

Resultados Qualitativos

Morfologia

As seções mostradas nas Figuras 8 e 9, obtidas através de microscopia óptica e MEV, mostram os efeitos da adição de incorporadores de ar na matriz cimentícia. A matriz de referência e as matrizes com baixa dosagem de aditivo, representadas pela imagem do 0% e 0,02% do AIA comercial, apresentam poros maiores, mais escassos, bem espalhados e mais angulosos, deixando áreas amplas de matriz íntegra. Os agregados estão mais justapostos na matriz, o que sugere melhor desempenho mecânico, como foi verificado.

Por sua vez, os vazios das seções com dosagem intermediária de surfactante – 0,04% a 0,2% - são representados pela imagem da matriz 0,1% do AIA proposto e 0,11% do AIA comercial. Os poros são menores, bem distribuídos pela matriz e menos angulosos. Isso é resultado do aumento da concentração de moléculas de surfactante na mistura, que impedem a coalescência dos vazios, quando formados, e sua movimentação para a superfície do corpo-de-prova. Até estas concentrações de AIA, a permeabilidade da matriz não é afetada, como mostrado no resultado de Índice de Vazios.

Por fim, as seções das matrizes com maior dosagem de aditivo (acima de 0,2% do AIA proposto) se apresentaram frágeis e quebradiças, devido ao alto teor de ar incorporado. É possível observar um sistema de poros numeroso, com vazios de diferentes tamanhos e bem distribuídos pela matriz. São observados microporos nas bordas de poros maiores; e também se nota que os agregados estão mais espaçados entre si, devido a microporos internos que os separam. Esta configuração é devida à ampla disponibilidade de moléculas de surfactante, que produzem um sistema de vazios extremamente estável e, portanto, originam uma matriz excessivamente porosa, o que compromete sua resistência mecânica e estanqueidade. De modo geral, como também observado por Atahan et al. (2008) observou-se que à medida em que se aumentava a dosagem de surfactante, os vazios de ar incorporado gradualmente aumentavam em quantidade, espalhando-se mais pela seção e diminuindo sua área íntegra.

Resumindo as observações, a Figura 10 exibe a porcentagem de poros sobre a área total da seção no estado endurecido. Como esperado, a razão de poros aumenta com o aumento da dosagem de surfactantes, mais expressivamente para os traços com dosagem intermediária de AIA. A seção do traço 0,2% de AIA proposto tem em média 59.4% da sua superfície coberta por poros. A mesma tendência foi observada para os traços com AIA comercial. O comportamento da curva para o AIA proposto foi similar aos resultados de Teor de Ar Incorporado, embora o AIA comercial não tenha atingido os mesmos níveis. Esta relação indica que o AIA proposto tem a capacidade de estabilizar os vazios de ar mais eficientemente do que o AIA comercial. Dessa forma, os poros incorporados durante a mistura se mantêm após o endurecimento da matriz com AIA proposto, indicando uma boa qualidade do aditivo. As seções dos corpos-de-prova dos traços acima de 0,2% eram muito irregulares e não permitiram a análise.

Influência da composição química dos detergentes em matrizes cimentícias

Em relação ao ataque químico, o surfactante predominante na composição dos detergentes domésticos, o LAS, não possui sulfatos (SO_4^{2-}) que poderiam reagir com os produtos de hidratação do cimento. Em sua composição química predominam os sulfonatos

(SO₃⁻¹), sobre os quais a literatura não reporta consequências deletérias para as matrizes cimentícias.

Sustentabilidade e Segurança do Trabalhador

A biodegradabilidade dos detergentes está ligada à sua estrutura molecular. Os surfactantes biodegradáveis possuem a cadeia carbônica linear (como o LAS) enquanto os não-biodegradáveis possuem ramificações na cadeia carbônica. Os microrganismos responsáveis pela decomposição do produto secretam enzimas que quebram as cadeias lineares das moléculas, mas não reconhecem as cadeias ramificadas. Assim, os surfactantes não-biodegradáveis, ao alcançar os cursos d'água a partir da rede pública coletora, acumulam-se, formando uma camada de espuma esbranquiçada e densa que prejudica a penetração de oxigênio na água, afetando o bioma aquático. Atualmente, todos os detergentes domésticos devem conter surfactantes biodegradáveis, de acordo com as exigências da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Em geral, os aditivos químicos para concreto são compostos por substâncias tóxicas tanto para os seres vivos quanto para o meio ambiente. As fichas de segurança dos produtos comumente exigem luvas e máscaras para sua manipulação. Essas substâncias podem atingir o solo e os cursos d'água durante a concretagem ou a limpeza dos equipamentos misturadores. Ao utilizar o AIA baseado em LAS, o construtor está atentando para a sustentabilidade de seu canteiro ou empresa.

Assim, os AIA baseados em LAS, além de biodegradáveis, possuem suavidade à pele, um dos principais fatores de comercialização dos detergentes domésticos, e, portanto, garantido a segurança de sua manipulação.

Impacto Social e Viabilidade

Além de reduzir a segregação em concretos de todos os tipos e a exsudação de água, os AIA também mitigam as patologias provocadas pela umidade nas argamassas. Uma das características das argamassas é seu sistema de poros e canais capilares de diferentes dimensões (Mehta e Monteiro, 2014). Devido a esse sistema de poros interconectados e à tensão superficial da água, a umidade passa a penetrá-la, o que contribui significativamente para com o efeito de degradação nos materiais (Bertolini, 2010). Dentre as consequências patológicas, podemos citar: corrosão de armaduras, eflorescência, bolor, empolamento e bolhas em tintas, entre outros, gerando riscos aos usuários e altos custos de recuperação.

Uma das formas de evitar esse efeito é o uso de aditivos impermeabilizantes. São comumente vendidos em baldes de 18 litros, ao custo médio de R\$ 75,00; ocasionalmente encontrados em embalagens de 1 l, ao custo médio de R\$ 10,00. Contudo, a impermeabilização do revestimento bloqueia a passagem da água para o meio externo, mas não impede a sua penetração na alvenaria, apenas retardando seu efeito patológico.

Uma alternativa ao uso de aditivos impermeabilizantes é a utilização dos AIA. Os poros promovidos pelo AIA previnem a ascensão de água por capilaridade, sem aumentar a absorção de água. Isso ocorre porque, quando o AIA é utilizado dentro das dosagens corretas, os vazios de ar incorporado provocam a desconexão dos capilares, dificultando a ascensão da água e permitindo sua evaporação, mas não são interligadas de forma a aumentar a permeabilidade da argamassa. Ainda, a incorporação de ar melhor a

trabalhabilidade da matriz, sua resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico, e reduz sua massa específica, acarretando melhor qualidade, maior produtividade e menor sobrecarga estrutural (Mehta & Monteiro, 2014). O AIA proposto, baseado em detergente doméstico, tem o custo médio de R\$ 4,00 por litro. Dessa forma, o AIA proposto tem o potencial de melhorar o desempenho de concretos e argamassas produzidos em obras de qualquer porte, a um preço acessível à população.

Produtividade

Por ser produzido em larga escala em uma indústria altamente tecnológica e competitiva, o AIA proposto possui controle de qualidade assegurado e mínima variabilidade de composição.

Grau de Inovação

Devido à ampla aplicação em diversos tipos de matrizes cimentícias, a busca por novos princípios ativos para AIAs é corrente no meio acadêmico, como mostra Ouyang et al. (2008), Yang et al. (2000) e diversos outros. O desafio consiste em obter um surfactante que promova um sistema de vazios eficiente, garantindo a manutenção do teor de ar incorporado do estado fresco para o estado endurecido; não prejudicial à matriz cimentícia do ponto de vista químico; estável e relativamente barato (Du & Folliard, 2005). Dessa forma, a aplicação do LAS proveniente de detergentes domésticos preenche todos os requisitos para um AIA de qualidade, com as vantagens da biodegradabilidade, acessibilidade, atoxicidade e custo. De acordo com busca nas bases de dados de publicações nacionais, internacionais e patentes, esse produto nunca havia sido antes testado.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que as dosagens de 0,05% a 0,15% de Aditivo Incorporador de Ar (AIA) proposto melhoram as características da matriz sem redução significativa da resistência mecânica. Assim, conclui-se que o AIA biodegradável baseado em LAS proveniente de detergente doméstico produz um sistema de espuma eficaz e estável, assegurando, assim, a conservação das propriedades de interesse no estado fresco e endurecido. Com o aumento da sua dosagem, o AIA proposto:

- Melhora significativamente a trabalhabilidade e a coesão no estado fresco;
- Reduz a massa específica, diminuindo o esforço estrutural;
- Distribui melhor o calor das reações de hidratação do cimento ao longo do tempo, sugerindo uma redução potencial de fissuração térmica;
- Não altera a porosidade e a absorção de água na faixa de dosagem indicada;
- Não altera de modo relevante o tempo de início de pega, mas retarda ligeiramente o tempo de fim de pega;
- Provoca queda nas propriedades mecânicas, o que é comum a todos os AIA, podendo ser mitigado pela correção do traço e da relação a/c;

O AIA proposto promoveu uma maior incorporação de ar e um sistema de vazios mais estável do que o AIA comercial para as mesmas dosagens. Esta observação é mostrada pelo maior teor de ar incorporado; maior aumento da trabalhabilidade da mistura; menor massa específica da matriz resultante; e pela razão de poros, indicando maior volume de vazios no estado endurecido para os traços com AIA proposto. Para os demais ensaios, os aditivos comercial e proposto exibiram comportamentos similares. Isso significa que o AIA proposto promove as mesmas características do AIA comercial com dosagens mais baixas, ou seja, com economia de material.

Portanto, o novo AIA baseado em LAS foi provado técnica e ambientalmente viável dentro das dosagens recomendadas. Cabe notar que o princípio ativo do AIA proposto é extremamente acessível aos usuários, relativamente barato, de fácil aplicação, atóxico para a pele e ainda biodegradável. Dessa forma, o novo AIA surge para contribuir com o desenvolvimento tecnológico das matrizes cimentícias brasileiras, bem como com a economia e sustentabilidade do setor da construção civil.

Principais Referências

- Atahan et al., 2008. The morphology of entrained air voids in hardened cement paste generated with different anionic surfactants. *Cem & Concr Comp*, Volume 30, p. 566–575.
- Bertollini, L. *Materiais de Construção*. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- Chen & Zhou, 2013. Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. *Construction and Building Materials*, Volume 40, p. 869–874.
- Du & Folliard, 2005. Mechanisms of air entrainment in concrete. *Cem and Concr Res*, Volume 35, p. 1463–1471.
- Mehta & Monteiro, 2014. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 2ª, IBRACON.
- Ouyang, et al, 2008. The feasibility of synthetic surfactant as an air entraining agent for the cement matrix. *Construction and Building Materials*, Volume 22, p. 1774–1779.
- Yang et al., 2000. Properties of concrete with a new type of saponing air-entraining agent. *Cem and Concr Res*, Volume 30, pp. 1313-1317.