

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

STEPHANIE MACEDO CASTRO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO ADITIVO LINEAR ALQUIL
BENZENO SULFONATO DE SÓDIO COMO INCORPORADOR DE
AR EM CONCRETO**

CAMPO MOURÃO
2017

STEPHANIE MACEDO CASTRO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO ADITIVO LINEAR ALQUIL
BENZENO SULFONATO DE SÓDIO COMO INCORPORADOR DE
AR EM CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof^ª Dr^ª Fabiana Goia Rosa de Oliveira

Co-orientador: Prof^ª Dr^ª Darlene Lopes do Amaral Oliveira

CAMPO MOURÃO
2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO ADITIVO LINEAR ALQUIL BENZENO
SULFONATO DE SÓDIO COMO INCORPORADOR DE AR EM CONCRETO**

por

Stephanie Macedo Castro

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13h do dia 21 de novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^ª. Dr. Jorge Luis Nunes de Goes

(UTFPR)

Téc. Fábio Rodrigo Kruger

(UTFPR)

**Prof. Dr^ª. Fabiana Goia Rosa de
Oliveira**
(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao carinho e dedicação dos meus pais Marcos e Graça e minhas irmãs Daiany e Caroline, pois eu não teria chegado até aqui sem o apoio e força que me deram. Também minha eterna gratidão ao meu companheiro Túlio que esteve ao meu lado me apoiando incondicionalmente em todos os momentos bons e ruins dessa jornada.

Sinto-me muito agradecida pela minha orientadora, professora Dr^a. Fabiana Goia Rosa de Oliveira que me acolheu e me guiou com toda calma e compreensão em um momento de caos deste trabalho.

Agradeço a minha coorientadora Darlene Lopes do Amaral Oliveira, que me auxiliou durante todo o processo, e ao técnico do laboratório de Materiais, Fábio Rodrigo Kruger, por toda a ajuda e dedicação durante os ensaios necessários para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos Letícia, Heloísa H., Victor e Renan que despuseram de seu tempo para me auxiliar quando necessário e pela amizade e companheirismo durante todos esses anos acadêmicos.

Aos meus amigos Fernando A., Fernando D., Eduarda, Heloisa T., Thais, Leandro e os já citados que compartilharam de todos os momentos bons e também ruins dessa vida acadêmica, muito obrigada á vocês que se tornarem minha família em Campo Mourão.

RESUMO

Aditivos são produtos químicos que adicionados à argamassa ou concretos, em teor menor que 5%, têm a capacidade de modificar e/ou melhorar as propriedades do concreto. Entre os tipos de aditivos encontrados no mercado, há os incorporadores de ar (AIA) que são compostos tensoativos que reduzem a tensão superficial da água e introduzem estáveis microbolhas de ar no concreto, melhorando a trabalhabilidade, coesão e a resistência ao gelo e degelo do mesmo. Atualmente emprega-se o detergente como aditivo incorporador de ar devido a sua disponibilidade, atoxicidade e por sua fórmula química semelhante a aditivos tensoativos aniônicos disponível no mercado. Por isso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho do detergente neutro como aditivo incorporador de ar no concreto em comparação ao aditivo comercial de acordo com ensaios laboratoriais. Utilizou-se cimento Portland CP – II – Z, agregado graúdo grosso e agregado miúdo fino com traço 1:2:3 com relação a/c de 0,56 para realização de misturas com detergente neutro, com aditivo comercial e um de referência. Para concreto em estado fresco foi determinado o índice de consistência e teor de ar incorporado, e para concreto em estado endurecido foram realizados ensaios de resistência à compressão e de absorção de água por imersão produzindo quatro corpos de prova para cada traço, vinte e oito corpos de prova no total. Os resultados mostraram que o detergente é eficiente como aditivo incorporador de ar e em comparação ao aditivo comercial obteve, em âmbito geral, um comportamento muito semelhante, porém com desempenho levemente inferior.

Palavras – chave: Concreto. Aditivo incorporador de ar. Detergente neutro.

ABSTRACT

Additives are chemicals that added to the mortar or concrete, in a less than 5% proportion, have the ability to modify and / or improve the properties of the concrete. Among the types of additives found on the market, there are air incorporators (AIAs) which are surface-active compounds that reduce the surface tension of the water and introduce stable air microbubbles into the concrete, improving its workability, cohesion and ice resistance and its melting. Detergent is currently used as an air incorporator additive because of its availability on the market, non-toxicity and because its chemical formula is similar to commercially available anionic surfactant additives. Therefore, the present work aims to evaluate the performance of the neutral detergent as an air incorporator additive for concrete compared to the commercial additive according to laboratory tests. Portland cement CP-II-Z, coarse aggregate and fine aggregate with 1: 2: 3 trace with an a / c ratio of 0.56 were used to make mixtures with neutral detergent, commercial additive and a reference one. For concrete in the fresh state, the consistency index and the incorporated air content were determined, and for concrete in the hardened state, compressive strength and water absorption tests were performed by immersion, producing four specimens for each trait, twenty-eight specimens in total. The results showed that the detergent is efficient as an air incorporator additive and, in comparison to the commercial additive, obtained, in general, a very similar behavior, but with a slightly lower performance.

Keywords: Concrete. Air incorporator additives. Neutral detergent.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bolhas de ar estável com AIA	18
Figura 2 - Ação tensoativa do AIA.....	18
Figura 3 - Formação de gelo numa bolha de ar incorporado	21
Figura 4 - Representação esquemática de um tensoativo	21
Figura 5 - Formação de micela.....	22
Figura 6 - Estrutura molecular dos detergentes.	23
Figura 7 - Ferramentas utilizadas para a determinação da massa específica do cimento.....	26
Figura 8 - Agitador automático e peneiras de série normal.....	27
Figura 9 - Estabilidade da espuma da solução com aditivo comercial	32
Figura 10 - Adensamento da camada	33
Figura 11 - Medição do corpo de prova P0	34
Figura 12 - Molde de metal com base rosqueada	36
Figura 13 - Corpos de prova submersos em um tanque de água	37
Figura 14 - Corpo de prova submetido a uma força de compressão.....	37
Figura 15 - Determinação da massa seca, em gramas, do corpo de prova	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais utilizados para a mistura de concreto	25
Tabela 2 - Massa específica real do cimento	26
Tabela 3 – Quantidade de agregado miúdo retida em cada peneira.....	28
Tabela 4 - Quantidade de agregado graúdo retida em cada peneira.....	29
Tabela 5 - Dosagem do detergente em relação a massa do cimento	31
Tabela 6 - Dosagem do aditivo comercial em relação a massa do cimento.....	31
Tabela 7 – Ensaio de índice de consistência com aditivo proposto	41
Tabela 8 – Ensaio de índice de consistência com aditivo comercial.....	41
Tabela 9 – Tipos de trabalhabilidade e variação do abatimento	41
Tabela 10 - Classe de trabalhabilidade e variação do abatimento	42
Tabela 11 – Teor de ar incorporado no concreto com las	43
Tabela 12 – Teor de ar incorporado no concreto com aditivo comercial	43
Tabela 13 - Resistência à compressão para traços com detergente.....	45
Tabela 14 – Resistência à compressão para traços com aia comercial.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 objetivo geral	12
2.2 objetivos específicos	12
3 JUSTIFICATIVA	13
4 REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 concreto de cimento portland	14
4.2 aditivos.....	15
4.3 Aditivo incorporador de AR (AIA)	17
4.3.1 Fatores que influenciam na incorporação de ar	19
4.3.2 Vantagens	20
4.3.3 Desvantagens	20
4.3.4 Principais aplicações	20
4.3.5 Tensoativo.....	21
4.4 Detergente.....	22
4.4.1 Detergente como aditivo.....	23
5 METODOLOGIA	25
5.1 Componentes do concreto	25
5.1.1 Cimento	25
5.1.2 Areia	27
5.1.3 Brita	29
5.1.4 Aditivos.....	30
5.2 Dosagem	31
5.3 Preparo do concreto	32
5.4 Estabilidade do sistema de espuma	32
5.5 Índice de consistência	33
5.6 Teor de ar incorporado	34
5.7 Resistência à compressão	36
5.8 Índice de vazios, absorção de água e massa específica	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
6.1 Estabilidade do sistema de espuma.....	40
6.2 Índice de consistência	41
6.3 Teor de ar incorporado	43

6.5 Resistência à compressão	44
6.5 Índice de vazios, absorção de água e massa específica	46
7 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Quase tão antigo quanto o cimento, os aditivos são considerados por Giammusso (1992), como o quarto componente do concreto por muitas vezes serem imprescindíveis à composição. Entretanto, seu desenvolvimento aumentou após a descoberta do cimento Portland.

Em 1824, Joseph Aspdin solicitou e obteve a Patente para um aperfeiçoamento no método de produzir a pedra artificial. Aspdin deu-lhe o nome de Cimento Portland por sua semelhança, com a famosa pedra calcária branco-prateada que se extraía há mais de três séculos de algumas pedreiras existentes na pequena península de Portland no Condado de Dorset (CARVALHO, p. 25, 2008).

No século XIX, alemães e franceses já misturavam graxa de cal ao cimento como aditivo para melhorar a trabalhabilidade da massa, entretanto, apenas no século XX começou a sua comercialização.

Os aditivos têm como finalidade modificar uma ou mais propriedades específicas do concreto, mas de acordo com Beraldo e Freire (2003), pode-se dizer que o desempenho do aditivo para um determinado fim só será observado em concretos criteriosamente dosados e tendo-se em conta as suas propriedades e limitações.

Os aditivos incorporadores de ar, segundo Mendes (2016), têm como propriedade introduzir pequenas bolhas de ar dispersas pela matriz. As microbolhas ou microporos de ar incorporado dificultam a penetração de água na massa da matriz, tornando o concreto menos permeável e mais trabalhável. Devido a sua característica, esse aditivo especificamente deve ser criteriosamente dosado e estudado antes de sua mistura na massa cimentícia, pois uma má dosagem pode prejudicar a resistência mecânica do concreto.

Atualmente, encontram-se estudos sobre o uso de Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS), detergente em lava-louças, como um novo aditivo incorporador de ar biodegradável devido a sua disponibilidade no mercado, atoxicidade e por sua fórmula química ser semelhante a aditivos tensoativos aniônicos encontrados no mercado construtivo.

O LAS, princípio ativo dos detergentes lava-louças doméstico, é uma família de detergentes sintéticos que compõem as principais substâncias utilizadas como aditivos incorporadores de ar pela indústria de construção civil (MENDES, p. 03, 2016).

Entretanto, devido a poucos estudos relacionados ao desempenho do LAS como aditivo incorporador de ar, não há resultados suficientes para

concluir se o seu desempenho como incorporador de ar é equivalente aos encontrados no mercado.

2 OBJETIVOS

2.1 objetivo geral

Avaliar o desempenho do detergente neutro como aditivo incorporador de ar no concreto de cimento Portland em comparação ao aditivo comercial.

2.2 objetivos específicos

- Estudar sobre a influência do detergente neutro no concreto de cimento Portland como aditivo incorporador de ar;
- Realizar em concretos com o aditivo proposto, com aditivo comercial e com o de referência, sem aditivo, os seguintes ensaios laboratoriais:
 - Verificação da estabilidade do sistema de espuma;
 - Índice de consistência pelo abatimento do tronco de cone segundo ABNT NBR NM 67/98;
 - Teor de ar incorporado pelo método gravimétrico seguindo a norma ABNT NBR 9833/87;
 - Resistência à compressão de acordo com a norma ABNT NBR 5739/2007.
 - Índice de vazios, massa específica e absorção de água seguindo a norma ABNT NBR 9778/87;
 - Comparar o desempenho dos concretos com aditivos entre si.

3 JUSTIFICATIVA

A busca por novas tecnologias é importante e muito explorada mundialmente, seja para melhoria de processos, diminuição de custo, praticidade, produção em grande escala ou menor impacto ambiental.

Na construção civil, diversas substâncias são empregadas como aditivos no concreto para melhorar determinada propriedade e, atualmente, emprega-se o detergente como aditivo incorporador de ar por ser simples de manusear, ser atóxico e por ser biodegradável. Entretanto, ainda há poucos estudos relacionados ao seu desempenho no concreto.

Assim, este presente trabalho propõe uma análise do desempenho do Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio como aditivo incorporador de ar, para aplicação em concretos leves, bombeados e/ou submetidos a ciclos de gelo e degelo, em comparação a um aditivo comercial para este fim.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 concreto de cimento portland

O concreto é uma mistura homogênea composta basicamente por aglomerantes, agregados graúdos, agregados miúdos e água, podendo ter adições de sílica ativa, metacaulim ou aditivos químicos.

Na história, o concreto foi considerado um dos materiais mais importante feito pelo homem, pois com ele construiu-se obras com grande durabilidade como edificações, aquedutos e barragens, além de monumentos.

Na antigüidade foram os romanos os que mais se destacaram na aplicação dos concretos e argamassas, que lhes possibilitou criar espaços amplos em forma de arco, abóbadas e cúpulas, de grandes dimensões [...] Como exemplos mais marcantes de construções romanas que aplicaram o concreto existente na época podem ser citados o Panteão e o Coliseu (BASTOS, 2006, p 01).

Nas literaturas antigas, o principal componente do concreto era o cimento, aglomerante hidráulico que endurece sob a ação da água e responsável por envolver os agregados por sua propriedade ligante. Os agregados graúdos e miúdos, comparados ao cimento, eram apenas materiais inertes baratos que correspondiam a três quartos do volume da mistura. Porém, é importante salientar que os agregados são, sim, tão importantes para o comportamento do concreto como o cimento, pois seu calor de hidratação feito apenas com cimento e água, agravado em países quentes, levaria a grandes fissuras por conta da retração que seria quase dez vezes maior do que se a mistura tivesse agregados (NEVILLE, 2010).

Entretanto, os mesmos ingredientes utilizados para fazer concreto de boa qualidade atendendo as especificações do projeto, são os que podem gerar um concreto ruim, sendo, infelizmente, muito comum na construção. Esse material, de acordo com Neville (2010), entende-se por uma substância com consistência similar a uma sopa, que endurece com um aspecto de uma colmeia, não homogêneo e fraco. Este problema pode ser justificado pelo acréscimo de água indevido, ultrapassando a quantidade limite especificada no traço para atingir um abatimento adequado para o lançamento.

Atende-se como concreto bom àquele que em estado fresco tenha boa coesão para ser transportada e lançada sem segregação e consistência para

que consiga adensá-lo por um método disponível no canteiro de obra, e que em estado endurecido resista à compressão previamente calculada no projeto. Para melhorar essas e outras qualidades do concreto em condições muitas vezes difíceis ou até mesmo impossíveis, utiliza-se outro ingrediente muito importante: os aditivos.

Atualmente, é difícil se pensar em produzi-lo sem a utilização destes materiais, uma vez que proporcionam excelentes melhorias nas principais propriedades do concreto, tanto no estado fresco, quanto endurecido. Diante da alta resistência e durabilidade requeridas para os concretos atuais, bastante pronunciadas pelo concreto de alto desempenho (CAD), o uso de aditivos torna-se extremamente necessário, promovendo uma importante propagação desta indústria. (MARTINS, 2005, p.59).

4.2 aditivos

Aditivos são produtos químicos que adicionados no concreto de cimento Portland durante a mistura em pequena porcentagem em relação à massa do cimento, teor menor que 5%, tem a capacidade de modificar e/ou melhorar as propriedades do concreto.

Ele, juntamente com o concreto, vem sendo usado desde os romanos quando se utilizava sangue, leite, banha e clara de ovo em pequenas quantidades em concretos com pozolanas para melhorar a trabalhabilidade e a durabilidade. Contudo, a comercialização só começou por volta de 1910, tendo, de acordo com Freire e Beraldo (2003), gerado certas suspeitas no seu uso, devido a experiências mal sucedidas, por emprego de substâncias não convenientemente estudadas, em concretos mal fabricados e até mesmo com dosagens erradas.

Já hoje com grande avanço na tecnologia da construção, os aditivos são considerados o quarto componente do concreto devido ao seu extenso uso, sendo muitas vezes indispensável na dosagem do mesmo. Mas é de grande importância ressaltar que não se espera que eles sejam um “remédio” para um concreto mal dosado ou que melhore a falta da qualidade dos ingredientes da massa (NEVILLE, 1997).

Os principais motivos que levam a utilização de aditivos são para modificar o estado fresco do concreto como, por exemplo, melhorar a trabalhabilidade mantendo ou até mesmo diminuindo a quantidade de água na mistura, diminuir a segregação, maior ou menor tempo de pega, melhor

bombeamento, etc. Entretanto, para garantir resultados esperados, é importante levar em consideração a dosagem correta do concreto, do aditivo e seguir as recomendações de uso.

Os aditivos são, geralmente, misturados na água de amassamento ou diluídos separadamente com o final da água de descarga para a melhor homogeneização. A dosagem correta deveria ser com equipamentos devidamente calibrados e misturados na hora e na vazão correta, pois segundo Neville (1997), variações do procedimento de mistura do concreto podem alterar seu desempenho. Entretanto, esse método se torna inexecutável na produção do concreto no campo de obra, por isso é de extrema importância que o efeito do aditivo não seja muito sensível a variações de dosagem.

No mercado encontram-se diversos tipos de aditivos designados por seu desempenho sobre o concreto, os listados abaixo são reconhecidos pela ABNT NBR 11768/92:

- Aditivo plastificante (Tipo P): Melhora a plasticidade da mistura mantendo ou reduzindo cerca de 6% da quantidade da água de amassamento;
- Aditivo retardador (Tipo R): Retardam o início da pega em casos que precisam de um tempo maior antes da aplicação do concreto devido ao transporte;
- Aditivo acelerador (Tipo A): Aceleram o endurecimento do concreto e diminui os tempos de início e fim de pega;
- Aditivo plastificante retardador (Tipo PR): produto que combina com os efeitos dos plastificantes e dos retardadores;
- Aditivo plastificante acelerador (Tipo PA): produto que combina com os efeitos dos plastificantes e dos aceleradores;
- Aditivo superplastificante (Tipo SP): Melhora a plasticidade da mistura reduzindo cerca de 12% da quantidade da água de amassamento para atingir determinada consistência;
- Aditivo superplastificante retardador (tipo SPR): produto que combina com os efeitos dos superplastificantes e dos retardadores;
- Aditivo superplastificante acelerador (tipo SPA): produto que combina com os efeitos dos superplastificantes e dos aceleradores;

- Aditivo incorporador de ar (tipo IAR): produto que incorpora pequenas bolhas de ar no concreto.

Segundo Martins (2005), no Brasil há certa resistência ao uso de aditivos devido: ao elevado custo de alguns tipos; variedade de cimento no mercado que podem modificar seu desempenho quando misturados; necessidade de realização de testes preliminares; e dificuldade em adotar novas tecnologias que podem afetar a resistência mecânica do concreto.

4.3 Aditivo incorporador de AR (AIA)

Na década de 30 em Nova York, foi descoberto um aditivo acidentalmente quando se notou que pavimentos de cimento moído com gordura animal, adicionado como agente de moagem, produziam concreto mais durável do que os outros pavimentos, logo se descobriu que esses agentes funcionavam como incorporadores de ar.

Os AIAs são compostos tensoativos que reduzem a tensão superficial da água e que incorporam microbolhas de ar no concreto, na ordem de 0,05 mm e evitam que as já existentes se desfaçam.

É naturalmente introduzido na mistura cerca de 1,0% a 2,0% de ar, formando bolhas aprisionadas que devido a sua instabilidade podem se agrupar formando canais de escoamento de água e bolhas com maiores dimensões que tentam emergir durante o lançamento da massa e que por vezes, se fixam nos agregados graúdos diminuindo a aderência e consequentemente reduzindo a resistência mecânica do concreto.

Segundo Yang (2012), a instabilidade dessas pequenas bolhas formadas no concreto sem aditivo pode ser explicada pela teoria termodinâmica. As pequenas bolhas de ar tendem a se agrupar por terem uma pressão interna maior que a externa, formando bolhas maiores, que escapam facilmente da massa devido à densidade ser muito menor.

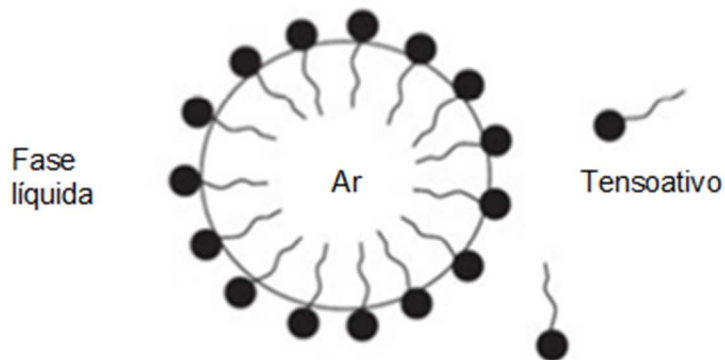
A função do aditivo é estabilizar as bolhas descritas acima, garantindo uma película protetora de ar incorporado de tamanhos adequados que repelem entre si, assegurando uma distribuição homogênea de ar na pasta endurecida (MENDES, 2016).

O aditivo forma uma camada monomolecular com seu radical polar (acróforo) sobre as partículas soltas. Este posicionamento das

moléculas acarreta a flotação ou agrupamento das partículas pela solubilidade dos restos apolares (BAUER, 2009, p. 140).

O agrupamento das partículas acaba formando uma película protetora em volta das bolhas de ar como é representada pela Figura 1:

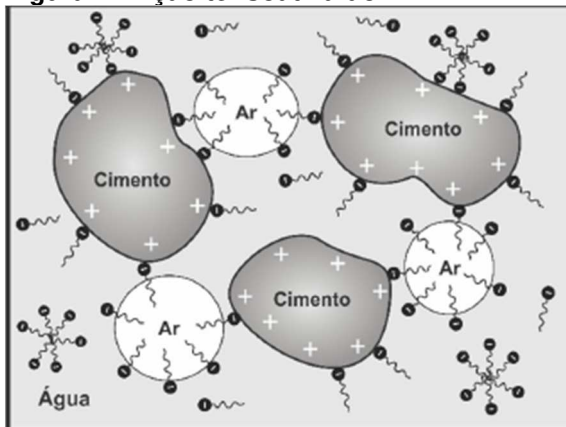
Figura 1 - Bolhas de ar estável com AIA



Fonte: DU e FOLLIARD, 2005 (Adaptado pelo autor)

Os grupos polares dos AIA, misturados no concreto em estado fresco, se ligam no cimento mantendo os grupos apolares orientados para a fase aquosa da mistura, tornando a superfície do cimento hidrofóbica (MENDES, 2016), como demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Ação tensoativa do AIA



Fonte: MENDES, 2016 (Adaptado pelo autor)

Segundo Neville (1997), os requisitos essenciais de um aditivo incorporador de ar são produzir rapidamente um sistema de espuma finamente dividida e estável, cujas bolhas resistam à coalescência e que a espuma não tenha ação prejudicial sobre o cimento.

4.3.1 Fatores que influenciam na incorporação de ar

Para um bom desempenho de um AIA, é importante conhecer os fatores que influenciam na incorporação de ar. Neville (1997), Bauer (2009) e Mendes (2016) citam os principais fatores:

- Dosagem e natureza do aditivo: Esse fator interfere no volume de ar incorporado, na dimensão, distribuição e estabilidade das bolhas. Sabe-se também que quanto maior a dosagem do aditivo, mais bolhas serão inseridas devido à diminuição da tensão superficial e do aumento de tensoativo na mistura;
- Cimento: Quanto menos cimento na mistura do concreto, mais ar é incorporado. Acima de 300 kg/m³ dificulta a incorporação de ar por não haver espaços livres para a geração de bolhas. O tipo de cimento também interfere na sua formação, quanto mais fino, menor o volume de ar, além disso, quanto mais álcalis e menos sulfatos tiver, mais ar é incorporado;
- Relação água/cimento: tem influência no teor de ar incorporado e nas dimensões das bolhas;
- Tempo de mistura: se o tempo de mistura for muito curto, o aditivo não vai se espalhar o suficiente na massa, porém se o tempo for muito longo haverá diminuição do ar incorporado;
- Granulometria dos agregados miúdos: o volume de ar incorporado depende da granulometria dos agregados miúdos. Se a granulometria for muito fina vai ter menos ar incorporado do que se areia usada for mais grossa;
- Outras adições: misturas do AIA com outros tipos de aditivos podem ocasionar incompatibilidade entre eles;
- Qualidade da água de amassamento: as impurezas da água podem interagir com o aditivo, por exemplo, substâncias orgânicas que afetam todos os tensoativos. Além disso, macromoléculas podem influenciar a estabilidade das bolhas de ar.

4.3.2 Vantagens

O uso de aditivos incorporadores de ar no concreto apresenta as seguintes vantagens segundo Giammusso (1992):

- Melhora a consistência e a trabalhabilidade do concreto fresco, podendo reduzir a água;
- Melhora a coesão do concreto com baixo teor de cimento;
- Evita a segregação e a exsudação;
- Melhora o acabamento superficial;
- Diminui o impacto dos agentes agressivos por dificultar a penetração profunda da água;
- Melhora a resistência ao congelamento do concreto endurecido;
- Aumenta a durabilidade do concreto;
- Propicia concreto menos permeável;
- Reduz a retração do concreto;

4.3.3 Desvantagens

A resistência mecânica do concreto será reduzida com o uso de incorporadores de ar devido ao aumento da porosidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008), porém esse efeito pode ser reduzido ou até mesmo revertido se alterar a quantidade dos outros elementos da composição, principalmente o teor de água (MENDES, 2016 apud OUYANG et. al., 2008).

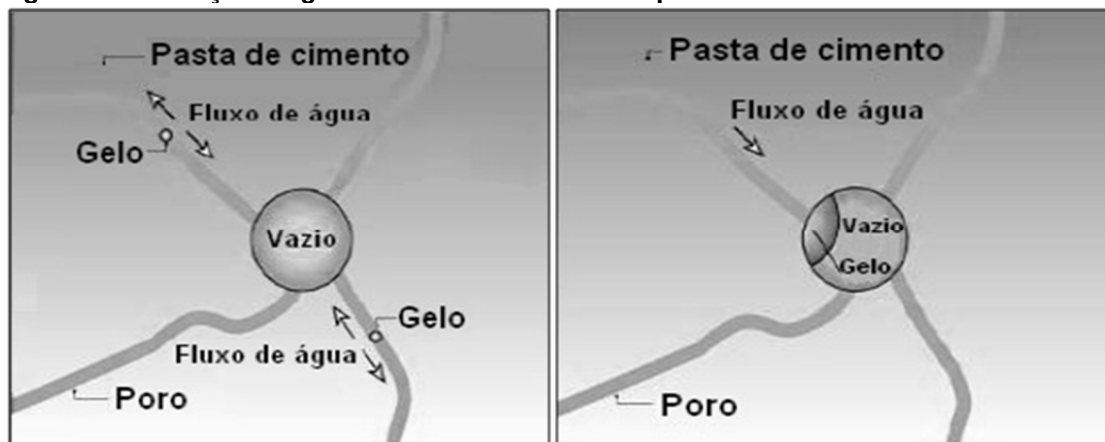
4.3.4 Principais aplicações

Uma vez que o uso de aditivo incorporador de ar reduz a segregação dos agregados, ele é aplicado para concretos leves e/ou bombeados. Além disso, é aplicado para concreto que serão submetidos ao gelo e degelo.

O efeito de gelo e degelo ocorre quando a água em estado líquido, absorvida pelo concreto, começa a congelar devido à baixa temperatura, aumentando o seu volume e gerando pressões internas de ruptura. Ao aumentar a temperatura, a água derreterá e o ciclo começará novamente, diminuindo, assim, a durabilidade do concreto.

Com o uso de AIA, as bolhas estabilizadas deixarão espaços vazios para a formação dos cristais de gelo como representado na Figura 3.

Figura 3 - Formação de gelo numa bolha de ar incorporado



Fonte: MEHTA e MONTEIRO, 2008

4.3.5 Tensoativo

Tensoativo é um tipo de molécula que apresenta uma parte com característica apolar ligada a outra parte com característica polar. Dessa forma, esse tipo de molécula é polar e apolar ao mesmo tempo (DALTIM, 2011), como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Representação esquemática de um tensoativo



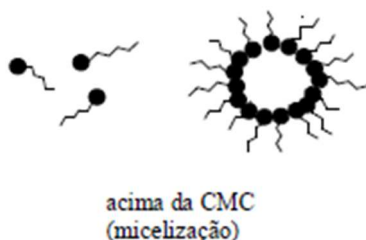
Fonte: Misirli, 2002

A parte apolar dessa molécula geralmente é de uma cadeia carbônica, pois não geram concentração de cargas eletrostáticas. Entretanto, a parte polar deve haver essas concentrações formando polos positivos ou negativos que são solúveis em água devido à atração eletrostática com moléculas próximas.

As propriedades físico-químicas dos tensoativos sofrem uma mudança brusca a partir de uma dada concentração, conhecida como Concentração Micelar Crítica (ROSSI et al., 2006). Acima dessa concentração, são formadas

as micelas que é a tendência das moléculas tensoativas de se agruparem pela proximidade de suas partes hidrofóbicas formando uma estrutura organizada (DALTIM, 2011). A organização é ilustrada na Figura 5.

Figura 5 - Formação de micela



Fonte: (ROSSI et al., 2006)

Os tensoativos podem ser classificados de acordo com a carga da cabeça hidrofílica em aniônicos, catiônicos, não iônicos, e zwitter-iônicos (PENTEADO et. al., 2006).

4.3.5.1 Tensoativo aniônico

Tensoativo que apresenta cargas negativas na parte polar da molécula, alta polaridade e alta capacidade de atração de moléculas de água. Isso faz com que os tensoativos aniônicos sejam muito solúveis em água. (DALTIM, 2011). Os principais representantes desta classe são os sabões, os aminocompostos e os compostos sulfatados, sulfonados e fosfatados (ARAÚJO, 2003).

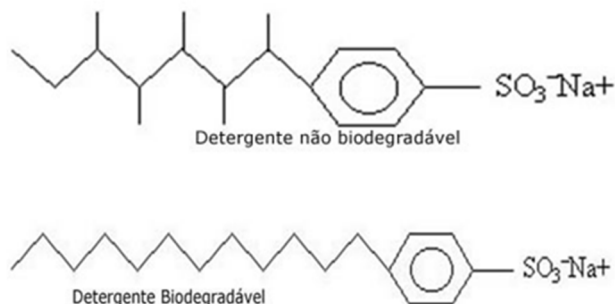
4.4 Detergente

O detergente neutro biodegradável, linear alquil benzeno sulfonato de sódio (LAS), é um tensoativo aniônico constituído por uma mistura de homólogos e isômeros de posição de cadeias lineares, que auxilia na remoção de resíduos de determinada superfície.

Um detergente não biodegradável (Figura 6) tem em sua estrutura molecular ramificações na cadeia carbônica que não são reconhecidas pelos microrganismos responsáveis pela decomposição. Por outro lado, o LAS tem, em sua estrutura molecular, cadeia carbônica linear que, segundo Química

Amparo LTDA (2011), se degrada cerca de 95% em vinte e oito dias. Nota-se que ambos têm ramificação carbônica sendo a parte apolar da molécula ligada a uma parte polar (SO_3Na).

Figura 6 - Estrutura molecular dos detergentes.



Fonte: Souza, 2015 (Adaptado pelo autor)

4.4.1 Detergente como aditivo

Assim como os aditivos incorporadores de ar comerciais que formam uma película protetora em volta das bolhas para estabilizá-las, os detergentes funcionam de forma parecida. Eles deslocam as partículas de sujeiras, que são de natureza apolar, para o interior das micelas, “película protetora”, mantendo-as em suspensão, e evitando que a sujeira volte a ser depositada sobre a superfície que está sendo limpa (MENDES, 2016).

Isso se deve ao fato de que ambos os produtos são tensoativos e que o LAS é um detergente sintético que compõe as principais substâncias encontradas no aditivo incorporador de ar que será utilizado neste trabalho.

Vale ressaltar que, assim como todos os aditivos, se mal dosados podem prejudicar as propriedades do concreto ao invés de melhorá-las, por isso é de extrema importância o estudo sobre o detergente empregado como aditivo incorporador de ar.

4.4.1.1 Reações químicas

De acordo com o Boletim Técnico 106/2003 – Guia básico de utilização do cimento Portland, impõe um limite máximo de 4% de teor de SO_3 , molécula predominante na composição química do detergente, nos cimentos CPI, CPII, CPIII e CPIV. Entretanto, a concentração de tensoativo na composição do

linear alquil benzeno sulfonato de sódio está entre 6% a 10%, e segundo ABNT NBR 11768/2011, um produto é considerado aditivo quando adicionado durante o processo de preparação do concreto em quantidade não maior que 5%, portanto, se adicionar 5% de detergente, em relação à massa de cimento, contendo uma concentração de 10% de tensoativo, no final será acrescentado no concreto 0,5% de tensoativo, sendo assim tendo um valor menor que o limite máximo exigido de SO_3 .

Para melhor efeito de detergência, são acrescentadas substâncias sequestrantes no detergente que podem interagir com substâncias presentes no concreto.

[...] São adicionados aos detergentes substâncias sequestrantes, que interagem com os íons responsáveis pela dureza da água, principalmente o Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}) e Ferro (Fe^{+3}). Esse mecanismo evita a formação de sais insolúveis que podem interferir na função do detergente (MENDES, p. 27, 2016).

Porém, a concentração desses sequestrantes é de no máximo 5% (LAI, 2005), quantidade insuficiente para causar efeitos significativos no concreto.

A cada 1000g de cimento, estarão presentes de 0,01g a 2,5g de surfactantes; e de 0 a 0,5g de sequestrantes. Desta forma, o efeito da formação de precipitados com o LAS ou sais solúveis com os sequestrantes é desprezível em relação às outras consequências promovidas pela adição de surfactantes nas matrizes cimentícias, como o aumento da porosidade (MENDES, p. 28, 2016).

5 METODOLOGIA

5.1 Componentes do concreto

Para o desenvolvimento das misturas de concreto foi utilizado traço padrão de 1:2:3 em volume e com relação a/c também fixa de 0,56. Na Tabela 1, apresenta-se a massa de cada material utilizado para a confecção dos traços.

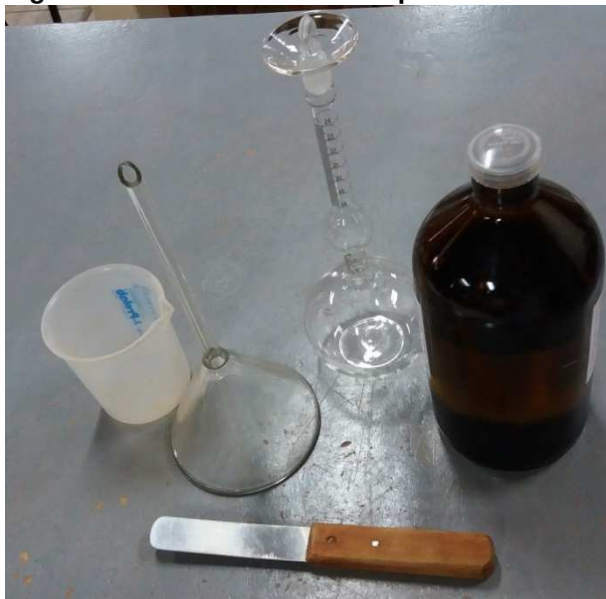
Tabela 1 - Materiais utilizados para a mistura de concreto

MATERIAL	MASSA (g)
Cimento Portland CP-II-Z 32	6000
Areia	15000
Brita III	23344
Água	3360
Aditivo	12-30

5.1.1 Cimento

Para este trabalho realizou-se o ensaio da determinação da massa específica real do cimento Portland CP-II-Z-32, conforme a norma ABNT NBR 6474/1984 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Os utensílios utilizados neste experimento são mostrados na Figura 7.

Figura 7 - Utensílios utilizados para a determinação da massa específica do cimento



Fonte: Do autor

Colocou-se o líquido não reagente com no frasco de *Le Chatelier*, com o auxílio do funil de haste longa, até a marca de 1cm³ e em seguida secou-se a parte de cima do seu nível com papel absorvente. Determinou-se a leitura inicial (L_i).

Foi coletada uma amostra de 60g de cimento (M) que aos pouco foi colocada no frasco com auxílio do funil de haste curta e da espátula. Posteriormente foram feitos movimento pendulares para que fosse possível a saída de pequenas bolhas de ar formadas no frasco durante o processo. Efetuou-se a leitura final (L_f).

Determinou-se a massa específica real do cimento (γ_c), expressa em g/cm³, pela seguinte equação:

$$\gamma_c = \frac{M}{L_f - L_i} \quad \text{Equação (1)}$$

O ensaio foi realizado duas vezes para que o cálculo do valor médio. Na Tabela 2 representam-se os resultados encontrados.

Tabela 2 - Massa específica real do cimento

MASSA (g)	L_i (cm ³)	L_f (cm ³)	γ_c (g/cm ³)
60,00	0,90	21,00	2,985
60,00	0,60	20,70	2,985

Portanto, a massa específica real do cimento utilizado foi 2,985g/cm³.

5.1.2 Areia

5.1.2.1 Granulometria

Para a caracterização do agregado miúdo foi realizado o ensaio de granulometria de acordo com a ABNT NBR 7211/2005 – Agregados para concreto – Especificação.

Foi separada uma amostra de 1000g de agregado miúdo seco e peneirada por 8 minutos no agitador automático com série normal de peneiras. O agitador automático é mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Agitador automático e peneiras de série normal



Fonte: Do autor

Após esse processo, o material retido em cada peneira foi separado e pesado para então determinar-se a dimensão máxima característica e o módulo de finura. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 3 – Quantidade de agregado miúdo retida em cada peneira

PENEIRA	PESO RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
4,75mm	2,66	0,27	0,27
2,36mm	7,73	0,77	1,04
1,18mm	41,47	4,15	5,19
0,60mm	105,94	10,59	15,78
0,30mm	684,68	68,47	84,25
0,15mm	142,92	14,29	98,54
FUNDO	14,60	1,46	-
TOTAL	1000	100	-

Com os resultados da Tabela 3, pôde-se concluir que a Dimensão Máxima Característica foi 2,36 e Módulo de Finura foi 2,05. Portanto, o agregado miúdo é caracterizado como fino.

5.1.2.2 Massa específica absoluta

Para a realização do ensaio do teor de ar incorporado pelo método gravimétrico, foi-se necessário à determinação da massa específica real do agregado miúdo utilizado. Para este fim, seguiu-se a norma ABNT NBR 9776/1987 – Determinação da massa específica real ou absoluta do agregado miúdo por meio de frasco de Chapman.

Colocou-se a água no frasco de Chapman até a marca de 200cm³ com cuidado para que não ficasse água aderida nas paredes.

Foi coletada uma amostra de 500g de agregado miúdo (M), seca em estufa, e colocada cuidadosamente no frasco com o auxílio de funil e espátula. Ligeiramente inclinado, foram feitos movimentos pendulares de modo a propiciar a saída das bolhas de ar. Determinou-se a leitura (L).

A massa específica absoluta (γ_m), expressa em g/cm³, foi calculada pela fórmula:

$$\gamma_m = \frac{M}{L-200} \quad \text{Equação (2)}$$

Duas determinações foram feitas consecutivas para o cálculo do valor médio. A média da massa específica absoluta encontrada foi 2,632 g/cm³.

5.1.3 Brita

5.1.3.1 Granulometria

Para caracterizar o agregado graúdo foi realizado o ensaio de granulometria do agregado graúdo para a determinação do seu Módulo de Finura conforme a norma ANBT NBR 7211/2005 – Agregados para concreto – Especificação.

Foi selecionada uma amostra de 1000g de agregado graúdo seco e peneirada por 8 minutos no agitador automático com série normal de peneiras mostrado no item 5.1.2.1.

Após esse processo, o material retido em cada peneira foi separado e pesado para então determinar-se a Dimensão Máxima Característica e seu Módulo de Finura. Na Tabela 4 apresenta-se os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 4 - Quantidade de agregado graúdo retida em cada peneira

PENEIRA	PESO RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
25,0mm	0	0	0
19,0mm	20,45	2,05	2,05
12,5mm	523,21	52,32	54,37
9,5mm	249,65	24,97	79,34
5,6mm	181,49	18,15	97,49
4,75mm	7,71	0,77	98,26
FUNDO	17,49	1,75	-
TOTAL	1000	100	-

Com os resultados da Tabela 4, pôde-se concluir que a dimensão máxima característica foi 19,0 e Módulo de Finura foi 3,32. Portanto, o agregado graúdo é caracterizado como grosso.

5.1.3.2 Massa específica absoluta

Outro experimento necessário para a determinação do teor de ar incorporado pelo método gravimétrico foi o da massa específica absoluta do agregado graúdo. Para tanto, seguiu-se a norma ABNT NBR 9937/1987 –

Determinação da absorção e da massa específica absoluta dos agregados graúdos.

Para o ensaio foi coletado 3kg de amostra do agregado devido a sua dimensão máxima característica, determinada no item 5.1.3.1.

A amostra foi lavada e seca em estufa e após o seu esfriamento, foi imersa em água por 24 horas. Depois desse período o agregado foi removido e enxugado com um pano absorvente para a retirada da água de sua superfície. Determinou sua massa na condição de saturada de superfície seca (B).

Zerou-se uma balança que continha engatado um cesto e uma corrente, imersos em água. A amostra (B) foi colocada no cesto para determinar uma nova massa (C).

Secou-se a amostra até a constância da massa e pesou-se novamente, definindo sua massa na condição seca (A).

A massa específica absoluta (γ_g), expressa em kg/dm^3 , foi calculada pela fórmula:

$$\gamma_g = \frac{A}{B-C} \quad \text{Equação (3)}$$

Portanto, a massa específica real do agregado graúdo é de $2,916\text{g}/\text{cm}^3$.

5.1.4 Aditivos

Devido à dificuldade comercial de se obter um aditivo recomendado para concreto, o aditivo incorporador de ar comercial utilizado neste trabalho é recomendado para argamassas de assentamento e revestimento, entretanto, assim como todos aditivos incorporadores de ar ele é baseado em componentes surfactantes. Nesse especificamente há dois componentes, (N° CAS não disponível), um deles com concentração maior que 1,5% e o outro maior que 2%.

De acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) (Química Amparo Ltda., 2011), o detergente é composto pelos tensoativos aniônicos Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (CAS: 25155-30-0), Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Trietanolamina (CAS: 27323-

41-7) e Lauril Éter Sulfato de Sódio (CAS: 9004-82-4) com concentrações variando entre 6 e 10%.

5.2 Dosagem

De acordo com Mendes (2016), recomenda-se o uso de detergente neutro como aditivo incorporador de ar em dosagens entre 0,05% a 0,15%, pois dosagens acima de 2% provocam resultados indesejáveis, entretanto, foram escolhidas duas dosagens acima do recomendado, para equiparar-se com as dosagens recomendadas pelo fabricante do aditivo comercial, e uma dosagem dentro dos limites sugeridos pela autora, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Dosagem do aditivo proposto neutro em relação à massa do cimento
AIA PROPOSTO

REF	0,000%
P1	0,100%
P2	0,200%
P3	0,500%

Para fins de comparação, as dosagens de aditivo comercial escolhidas foram idênticas as do aditivo proposto. Na Tabela 6 resume-se as informações.

Tabela 6 - Dosagem do aditivo comercial em relação a massa do cimento
AIA COMERCIAL

C1	0,100%
C2	0,200%
C3	0,500%

Portanto, foram realizados três traços de concreto com aditivo comercial, três com aditivo proposto e um traço de referência (sem aditivos) para a realização dos ensaios. O volume de água na mistura foi ajustado de acordo com o acréscimo de aditivo na mistura para que a relação a/c se mantivesse fixa.

5.3 Preparo do concreto

Prepararam-se no dia da confecção dos corpos de prova as soluções da água de amassamento com o aditivo comercial e aditivo proposto de acordo com as dosagens já estabelecidas no item 5.2. Cada solução foi misturada em betoneira juntamente com a areia e a brita já separadas e pesadas, conforme o traço descrito no item 5.1. Após um minuto, foi acrescentado o cimento e misturado por mais dois minutos, assim obteve-se a mistura final.

5.4 Estabilidade do sistema de espuma

A estabilidade do sistema de espuma formada pelo aditivo comercial e pelo aditivo proposto foi avaliada de acordo com o método utilizado por Mendes (2016).

Nesse ensaio foi preparada uma solução com água e aditivo numa concentração de 0,05%, ou seja, 0,5g de aditivo para cada 1000g de água. Despejou-se 20 ml dessa solução em uma proveta graduada de 100 ml e agitou-se manualmente por 15 segundos cronometrados, então foi calculado o volume de espuma formada. Na Figura 9 ilustra-se a espuma do aditivo comercial após a agitação.

Figura 9 - Estabilidade da espuma da solução com aditivo comercial



Fonte: Do autor

Após a leitura manteve-se a proveta em repouso por 5 minutos e em seguida foi feita a leitura final do volume da espuma. A diferença entre esses volumes em relação ao tamanho da proveta indica a estabilidade do sistema de espuma.

5.5 Índice de consistência

O índice de consistência foi determinado segundo as recomendações da norma ABNT NBR NM 67/98 – Índice de consistência pelo abatimento do tronco de cone.

O ensaio foi realizado para cada dosagem de aditivo comercial e proposto e para o concreto de referência, totalizando sete amostras.

O molde e a placa de base foram limpos de modo a ficarem úmidos para cada realização do ensaio.

Após a preparação da mistura de concreto, o molde foi colocado sobre a placa base e fixado com os pés sobre suas aletas a fim de mantê-lo estável para o seu preenchimento. O concreto coletado foi assentado em três camadas, aproximadamente iguais, e cada uma foi adensada com a haste de sacamento em 25 golpes. Na Figura 10 demonstra-se o processo.

Figura 10 - Adensamento da camada



Fonte: Do autor

Ao término do preenchimento e compactação da última camada, removeu-se o complemento auxiliar do tronco-cônico a fim de, posteriormente, rasar a superfície do concreto com a haste. Em seguida retirou-se o molde lenta e cuidadosamente na direção vertical.

Logo após, foi medido o abatimento do concreto pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo da amostra. Na Figura 11 ilustra-se o ensaio.

Figura 11 – Ensaio da amostra P0



Fonte: Do autor

5.6 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado no concreto fresco foi determinado ao realizar o ensaio referente à norma ABNT NBR 9833/87 – Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico.

Para aferição do recipiente pesou-o junto com uma placa de vidro plana, ambos secos, e posteriormente enchido com água e coberto com a placa, de modo que não ficassem bolhas de ar, e novamente foi determinada a massa do conjunto. A capacidade volumétrica do recipiente (V_{cf}) foi dada pelo quociente da diferença das massas pelo valor da massa específica da água.

Após o preparo do concreto, foi coletada uma amostra para o preenchimento do recipiente em duas camadas, com alturas aproximadamente iguais. Cada camada foi adensada manualmente com a haste de adensamento

em 30 golpes. Após o adensamento, bateu-se levemente na face externa do recipiente para o fechamento de eventuais vazios deixado pela haste e efetuado o rasamento. Determinou-se sua massa (m_{cf}).

A massa específica do concreto fresco (γ_{cf}) foi encontrada pela divisão da sua massa (m_{cf}) pelo volume do recipiente (V_{cf}) e o teor de ar incorporado a partir da seguinte equação:

$$\text{Teor de ar(\%)} = \left(1 - \frac{\gamma_{cf}}{\gamma_{ca}}\right) \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo:

- γ_{cf} massa específica do concreto fresco, expressa em quilograma em g/cm^3 ;
- γ_{ca} massa específica do concreto fresco, expressa em g/cm^3 , sem considerar o volume de ar incorporado, calculada pela equação:

$$\gamma_{ca} = \frac{M_c + M_m + M_g + M_a}{\frac{M_c}{\gamma_c} + \frac{M_m}{\gamma_m} + \frac{M_g}{\gamma_g} + M_a} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

- M_c massa do cimento;
- M_m massa do agregado miúdo seco;
- M_g massa do agregado graúdo seco;
- M_a massa da água;
- γ_c massa específica real do cimento, determinada no item 5.1.1, conforme a norma ABNT NBR 6474;
- γ_m massa específica absoluta do agregado miúdo, determinada no item 5.1.2.2, conforme a norma ASTM-C-128;
- γ_g massa específica do agregado graúdo, determinada no item 5.1.3.2, conforme ASTM-C-127.

O ensaio foi realizado para cada traço de concreto, totalizando sete ensaios.

5.7 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 5739/2007: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Para sua realização foram confeccionados quatro corpos de prova para cada traço de concreto, totalizando vinte oito corpos de prova.

Os moldes de metal utilizados para a confecção dos mesmos têm base rosqueada e um formato cilíndrico com diâmetro interno de 100mm e altura interna de 200mm (Figura 12). Antes da confecção, foi passado desmoldante para facilitar a desforma.

Figura 12 - Molde de metal com base rosqueada



Fonte: Do autor

Os moldes foram preenchidos com concreto, após o seu preparo descrito no item 5.3, em duas camadas aproximadamente iguais. Em cada camada foram aplicados 12 golpes, uniformemente distribuídos, com uma haste de adensamento. Em seguida, bateu-se levemente na face externa do molde, para o fechamento de eventuais vazios deixados pela haste, e rasada a superfície.

Depois de três dias em processo de cura ao ar livre, os corpos de prova foram desmoldados e armazenados submersos em um tanque de água por 28 dias para atingir a máxima hidratação possível do cimento. Na Figura 13 mostra-se o armazenamento dos corpos de prova.

Figura 13 - Corpos de prova submersos em um tanque de água



Fonte: Do autor

As bases dos corpos de prova foram retificadas de forma que ficassem com superfícies planas e perpendiculares para adequá-los para a realização deste ensaio.

O corpo de prova foi posicionado no centro do prato inferior da prensa para então ser submetido a um carregamento contínuo de compressão até sua ruptura. Na Figura 14 ilustra-se um corpo de prova no centro da máquina de ensaio.

Figura 14 - Corpo de prova submetido a uma força de compressão



Fonte: Do autor

A resistência de compressão final (σ_c) é dada pela razão entre a carga de ruptura (F) pela área do corpo de prova (A).

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad \text{Equação (6)}$$

5.8 Índice de vazios, absorção de água e massa específica

Este item foi ensaiado conforme a norma ABNT NBR 9778/1987: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.

Quatro corpos de prova foram confeccionados para cada traço de concreto, totalizando vinte e oito corpos de prova. Estes foram os mesmos usados no ensaio de resistência à compressão, portanto, sua produção e cura foram descritas no item 5.7.

Todos os corpos de prova foram para estufa por 72 horas à temperatura de aproximadamente de 105°C. Após esse período esfriou-os ao ar seco em temperatura ambiente e determinou-se sua massa seca em gramas (M_s), Figura 15.

Figura 15 - Determinação da massa seca, em gramas, do corpo de prova



Fonte: Do autor

A seguir foram completamente imersos em um tanque com água por 72 horas sendo que a cada 24 horas eram retirados da água e enxugados superficialmente com pano absorvente para pesá-los. Obteve-se a massa saturada em gramas (M_{sat}).

Por fim, procedeu-se a pesagem dos corpos de prova em balança hidrostática para definir suas massas, em gramas, imersas em água (M_i).

Com as massas definidas, acima foram feitos os seguintes cálculos, através da média dos corpos de prova:

- Absorção de água por imersão, em porcentagem:

$$A. A. = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação (7)}$$

- Índice de vazios, em porcentagem:

$$I. V. = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad \text{Equação (8)}$$

- Massa específica real:

$$\gamma_r = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad \text{Equação (9)}$$

- Massa específica aparente:

$$\gamma_{ap} = \frac{m}{V} \quad \text{Equação (10)}$$

Onde:

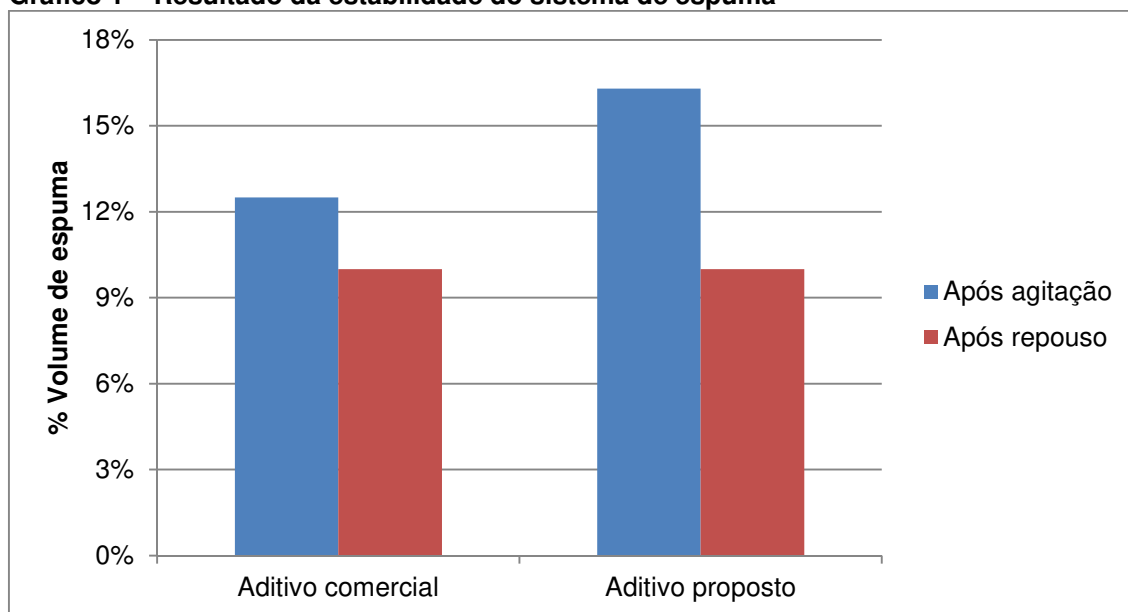
- m é a massa da amostra em gramas e;
- V é o volume da amostra em cm^3 .

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Estabilidade do sistema de espuma

Após duas repetições deste ensaio obteve-se a média do volume de espuma formado em relação ao volume livre da proveta graduada, expressa em porcentagem. O resultado pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resultado da estabilidade do sistema de espuma



Com os resultados apresentados no Gráfico 1 é possível observar que para a mesma concentração, o aditivo proposto produziu maior volume de espuma em comparação ao aditivo comercial, provavelmente devido a sua maior concentração de tensoativo em sua composição. Mas, o sistema de espuma formado pelo comercial é mais estável por ter variado apenas 2,5% de seu volume após o repouso, enquanto que o proposto obteve uma diferença de 6,3%.

Segundo Yang (2012), a formação de espuma é um processo de extrema importância para incorporação de ar, porém esse acréscimo de bolhas de ar seria irrelevante se elas estourassem em consequência da instabilidade do sistema. Portanto, o aditivo comercial obteve melhor desempenho no quesito estabilidade do sistema de espuma, ou seja, atingiria menor variação no teor de ar incorporado no processo de endurecimento do concreto.

6.2 Índice de consistência

A partir da realização do ensaio de consistência por abatimento de cone obteve-se os seguintes resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Ensaio de índice de consistência com aditivo proposto

CORPO DE PROVA	ABATIMENTO (mm)
REF	60
P1	75
P2	80
P3	90

Tabela 8 – Ensaio de índice de consistência com aditivo comercial.

CORPO DE PROVA	ABATIMENTO (mm)
C1	75
C2	85
C3	110

Nota-se que os concretos com dosagens maiores tiveram um índice de consistência também mais elevada do que os que continham menos aditivos, esse fato conseqüentemente melhora a trabalhabilidade do mesmo, pois de acordo com a relação entre trabalhabilidade e abatimento de Neville (2015), os traços P1 e C1 são considerados concretos de média trabalhabilidade enquanto que os demais traços foram considerados de alta trabalhabilidade. Na Tabela 9 apresenta-se essa relação.

Tabela 9 – Tipos de trabalhabilidade e variação do abatimento

TIPO DE TRABALHABILIDADE	ABATIMENTO (mm)
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 - 10
Baixa	15 - 30
Média	35 - 75
Alta	80 - 155
Muito Alta	160 ao colapso

Fonte: Neville, 2015

Já para a classe de trabalhabilidade (Tabela 10), todos os traços foram classificados como S2 exceto o C3 que foi da classe S3.

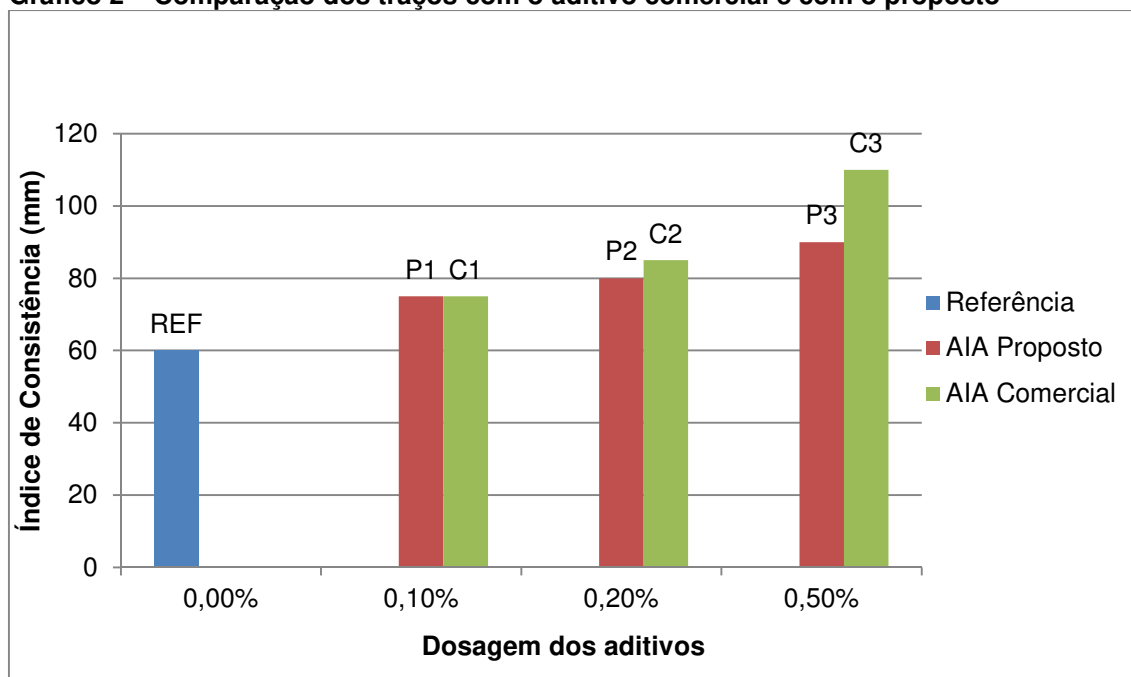
Tabela 10 - Classe de trabalhabilidade e variação do abatimento

CLASSE DE TRABALHABILIDADE	ABATIMENTO (mm)
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	≥ 160

Fonte: Neville, 2015

Segundo Rosa (2013), a melhoria na trabalhabilidade está relacionada ao fato de que as bolhas de ar incorporadas se mantêm esféricas devido à tensão superficial, isso faz com que elas se comportem como um agregado miúdo com baixo atrito superficial e elevada plasticidade.

As variações dos índices de consistência dos traços com aditivo proposto e comercial são comparadas no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Comparação dos traços com o aditivo comercial e com o proposto

Observa-se em C1 e P1 aumenta-se o abatimento em 25% com relação ao traço de referência, já nas dosagens seguintes os traços com AIA comercial obtiveram um comportamento melhor do que o proposto, como o abatimento de C3 22% maior que o P3.

6.3 Teor de ar incorporado

Os resultados obtidos neste ensaio são apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 11 – Teor de ar incorporado no concreto com aditivo proposto

	γ_{cf} (g/cm ³)	γ_{ca} (g/cm ³)	Teor de ar (%)
REF	2,416	2,498	3,26
P1	2,286	2,498	8,47
P2	2,283	2,498	8,61
P3	2,272	2,498	9,03

Tabela 12 – Teor de ar incorporado no concreto com aditivo comercial

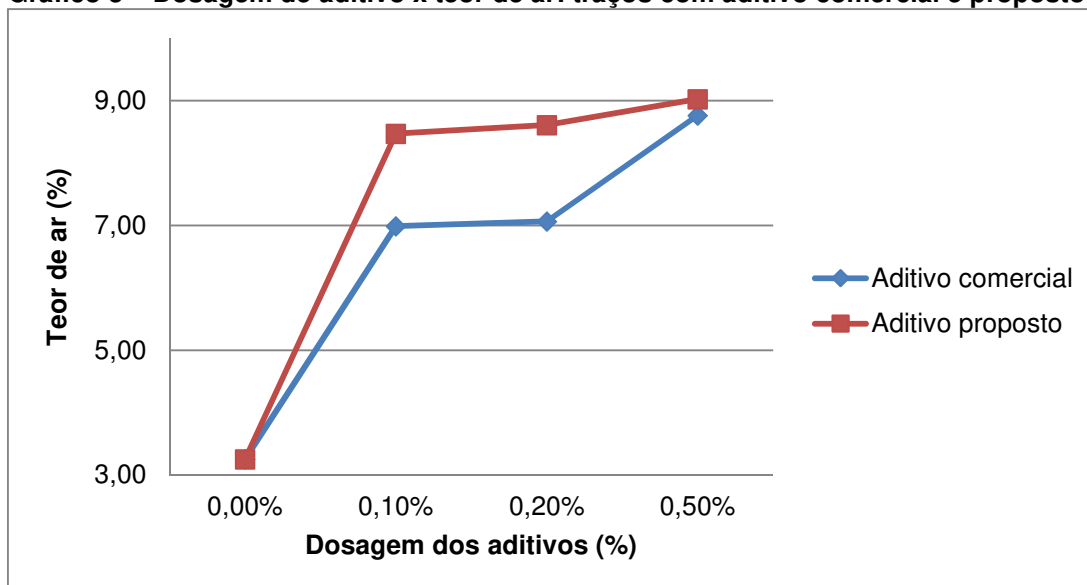
	γ_{cf} (g/cm ³)	γ_{ca} (g/cm ³)	Teor de ar (%)
REF	2,416	2,498	3,26
C1	2,323	2,498	6,99
C2	2,321	2,498	7,06
C3	2,279	2,498	8,76

Nota-se que ambos os aditivos obtiveram resultados melhores que o concreto de referência logo na primeira dosagem, porém o aditivo proposto se mostra mais eficiente na incorporação de ar em todas as dosagens, provavelmente devido à capacidade de produzir mais espuma como testado no item 6.1.

O aumento da incorporação de ar melhora a resistência do concreto em relação aos ciclos de congelamento e descongelamento e no aumento da trabalhabilidade, porém quantidades excessivas têm efeitos negativos em suas propriedades mecânicas, portanto, ter melhor eficiência na incorporação de ar não significa ser necessariamente o melhor aditivo a ser usado.

Tanto os traços com aditivo comercial como os com o proposto apresentaram uma aumento de teor de ar, conforme aumentou-se a dosagem de aditivo, essa tendência pode ser observada no Gráfico 2.

Gráfico 3 – Dosagem de aditivo x teor de ar: traços com aditivo comercial e proposto



Observa-se que o aditivo proposto tem um bom rendimento na incorporação de ar na faixa de dosagem recomendada por Mendes (2016) e que após esse intervalo seu desempenho cai, visto que a dosagem é mais que duplicada. O oposto acontece com o comercial, sua incorporação de ar com dosagem de 0,1% é 1,5% menor que do proposto, no entanto, na faixa recomendada pelo fabricante (0,2% a 0,5%) o produto se torna mais eficaz atingindo quase a mesma incorporação que o detergente.

Neville (2015) relata que a quantidade de ar incorporado por meio de aditivos não é proporcional ao teor de aditivos a partir de uma determinada dosagem, mas neste presente trabalho não foi possível verificar o ponto a partir do qual a dosagem não influenciaria mais no teor de ar incorporado no concreto.

6.5 Resistência à compressão

Na Tabela 13 apresenta-se o resultado do ensaio de resistência à compressão dos traços com aditivo proposto.

Tabela 13 - Resistência à compressão para traços com aditivo proposto

	A (mm²)	F (KN)	σ_c (MPa)	Coef. Variação (%)
REF	7803,02	137,63	17,64	5,55
P1	7903,15	128,03	16,20	2,13
P2	7901,21	114,38	14,48	3,00
P3	7850,08	101,20	12,89	4,00

É possível observar uma redução de aproximadamente 8% da resistência mecânica do traço de referência para a dosagem P1 e atingindo 27% de perda para P3. Um resultado esperado, visto que quanto maior o teor de ar incorporado maior será o volume de vazios contido no concreto e conseqüentemente menor será sua resistência, como afirma Neville (2015), “a resistência do concreto é, principalmente, uma função do volume de vazios contidos nele”.

Na Tabela 14 mostra-se um comportamento semelhante dos traços com AIA comercial.

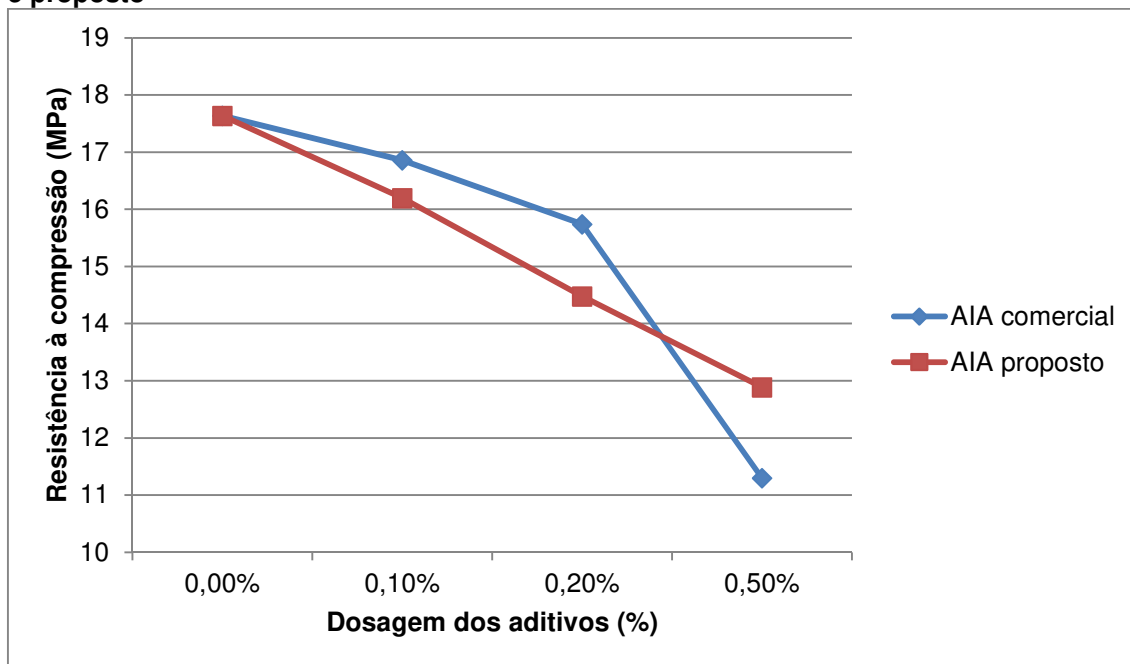
Tabela 14 – Resistência à compressão para traços com AIA comercial

	A (mm²)	F (KN)	σ_c (MPa)	Coef. Variação (%)
REF	7803,02	137,63	17,64	5,55
C1	7903,24	132,91	16,82	2,20
C2	7899,29	124,35	15,74	2,32
C3	7901,21	89,25	11,30	3,00

Assim como o aditivo proposto, a adição do incorporador de ar comercial no concreto fez com que reduzisse significativamente a resistência mecânica do mesmo. Esse fator mostra a extrema importância do cuidado que deve haver na dosagem desse aditivo, posto que seu excesso seja prejudicial para essa propriedade.

No Gráfico 4 representa-se a comparação entre as resistências obtidas com AIA comercial e a com o aditivo proposto.

Gráfico 4 - Dosagem de aditivo x resistência à compressão: traços com aditivo comercial e proposto

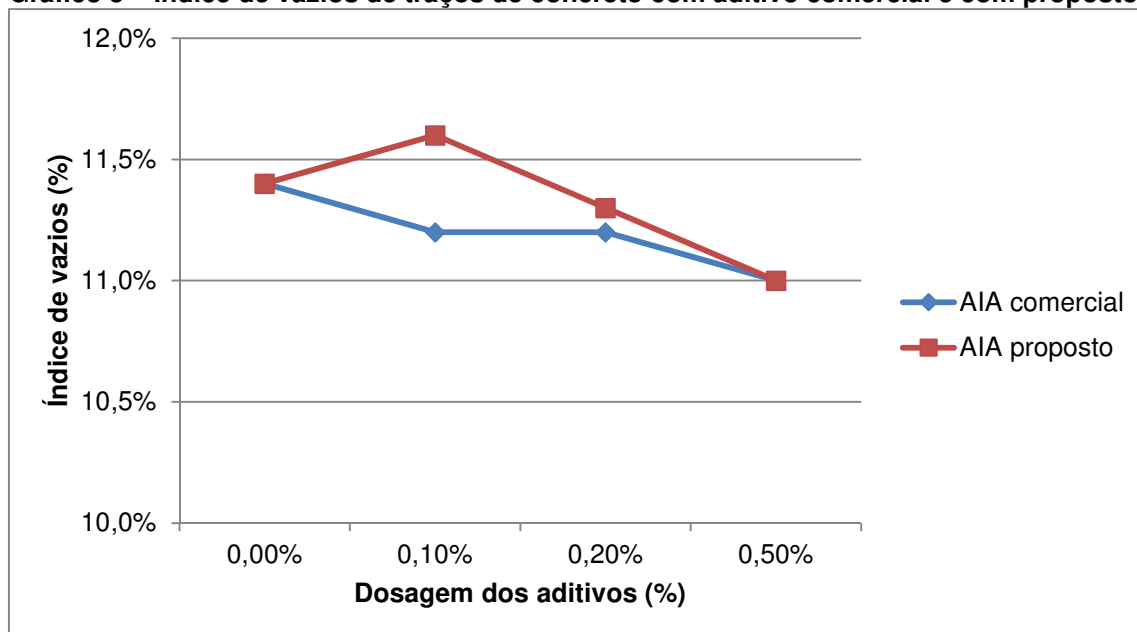


Nota-se nos traços com AIA comercial uma pequena vantagem nas duas dosagens, sua resistência foi 4% maior na primeira e aproximadamente 9% maior na segunda. Entretanto, na última dosagem ela caiu consideravelmente, enquanto que, a redução no traço com aditivo proposto continuou linear, ficando cerca de 14% maior que o comercial.

Vale salientar que essa queda de resistência poderia ter sido evitada se obtivesse como parâmetro o índice de consistência enquanto que a quantidade de água fosse corrigida à medida que aumentasse a dosagem do aditivo.

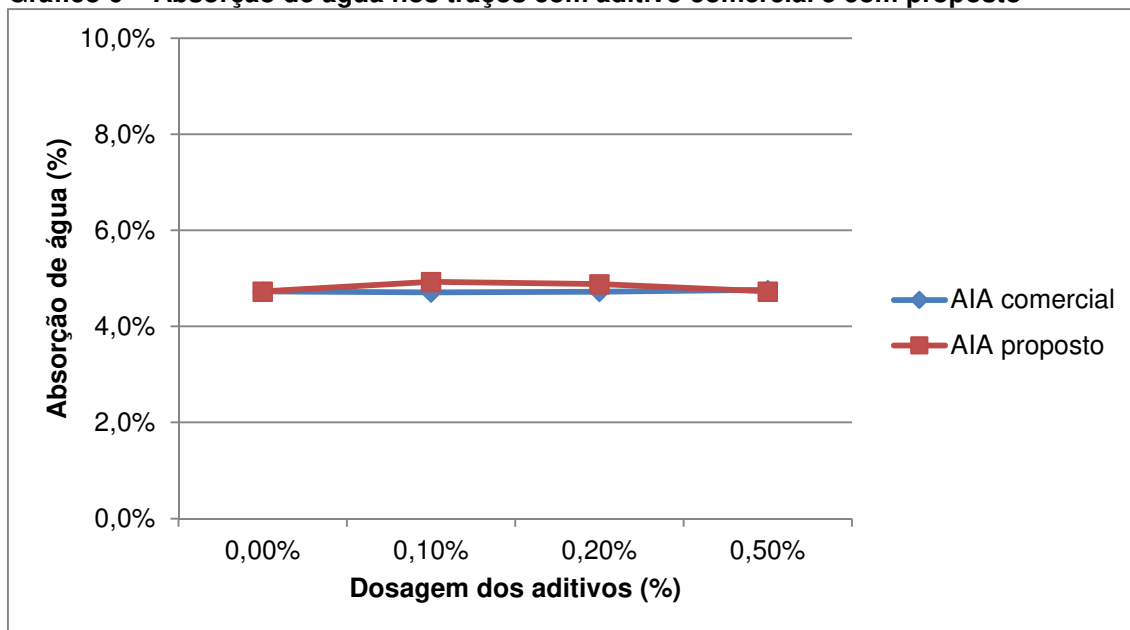
6.5 Índice de vazios, absorção de água e massa específica

No Gráfico 4 exibe-se os resultados obtidos no ensaio de índice de vazios dos corpos de prova.

Gráfico 5 – Índice de vazios de traços de concreto com aditivo comercial e com proposto

Observa-se que tanto para a dosagem escolhida, devido à recomendação de Mendes (2016), quanto as escolhidas de acordo com a especificação do fabricante do AIA comercial, ocorreram pequenas variações no índices de vazios em relação ao do traço de referência (0,0% de aditivo). Isto porque o aumento da dosagem de aditivo não contribui com a entrada de água no concreto, mesmo quando aumenta-se o teor de ar, como exibido no item 6.3, pois segundo Bauer (2009), as bolhas de ar inseridas são bem distribuídas de forma a melhorar a estanqueidade do concreto, fato que “corta” os capilares do mesmo.

Esta ocorrência é enfatizada ao apresentar-se os resultados da absorção de água (Gráfico 6).

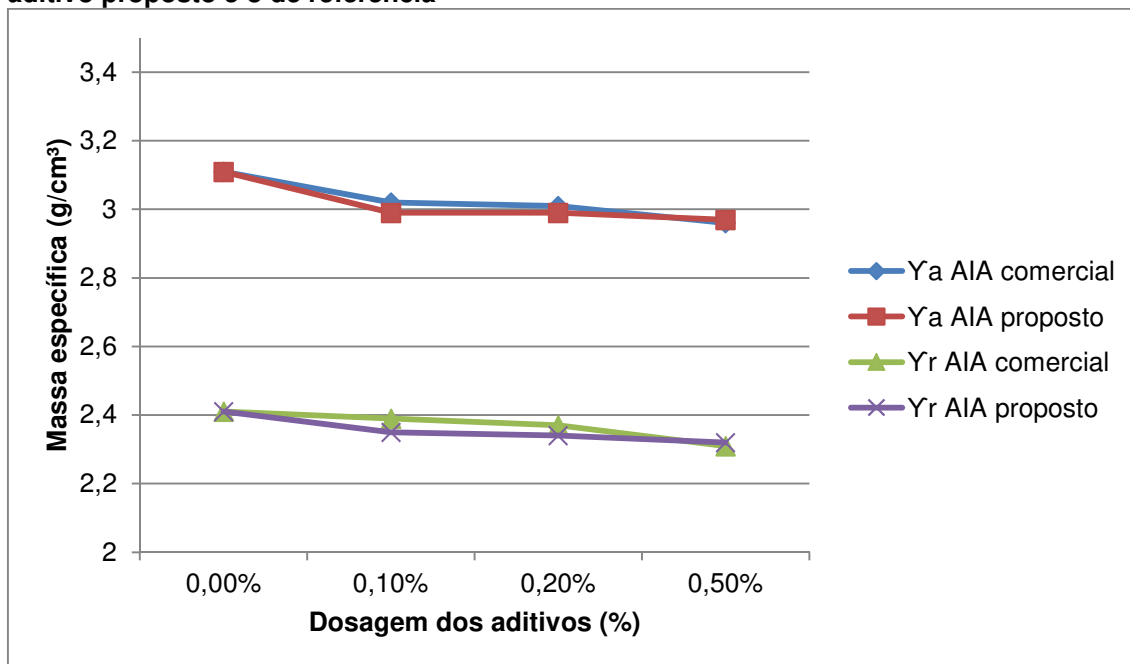
Gráfico 6 – Absorção de água nos traços com aditivo comercial e com proposto

Nota-se que a absorção de água permaneceu constante em todas as dosagens com AIA e com proposto, em torno de 4,7%, assim como o traço de referência. Este efeito sugere que as dosagens utilizadas não causaram efeitos maléficos em relação à permeabilidade do concreto, pois mesmo ao introduzir-se pequenas bolhas de ar, foi possível manter a permeabilidade do concreto, sem formar canais de escoamento de água.

É possível que a maior coesão e homogeneidade da pasta, associada à falta de continuidade entre uma microbolha e outra, seja responsável pela permeabilidade, sensivelmente menor do concreto com aditivo incorporador (ARAÚJO, p. 22, 2005).

No Gráfico 7 apresenta-se a massa específica real e aparente do concreto endurecido com aditivo comercial e com aditivo proposto.

Gráfico 7 – Massa específica real e aparente dos traços com aditivo comercial, com aditivo proposto e o de referência



Nota-se que na concentração de 0,10% tanto os traços com AIA comercial quanto com o proposto atingiram o valor de aproximadamente 3,00 g/cm³ de massa específica aparente, um pouco menor que o traço de referência com 3,11g/cm³. Nas demais concentrações, obteve-se uma queda e alcançou 2,96 g/cm³. Esse comportamento era o esperado, visto que a redução é uma consequência do acréscimo de vazios no concreto endurecido, conforme aumenta-se a dosagem do aditivo, e consequentemente, o teor de ar incorporado.

Não houve decréscimo significativo nas massas específica real nas duas primeiras dosagens de aditivos, apenas na concentração 0,50% em ambos os aditivos alcançaram o valor de 2,30 g/cm³ enquanto o traço de referência atingiu 2,40 g/cm³.

Vale ressaltar que os traços com aditivo comercial apresentaram resultado muito semelhante aos aditivados com detergente, apenas um pouco mais densos.

7 CONCLUSÕES

Os resultados da estabilidade do sistema de espuma demonstrou que o detergente é mais eficaz na produção de espuma, entretanto o aditivo comercial mostrou ser mais estável, portanto, conclui-se que nesse quesito ele teve um desempenho melhor visto que o teor de ar incorporado variaria menos no processo de endurecimento do concreto.

O comportamento dos traços com AIA comercial e com detergente foi semelhante no índice de consistência, ambos obtiveram a mesma classe de trabalhabilidade, exceto na terceira dosagem em que o comercial foi considerado mais trabalhável que o traço com aditivo proposto.

No ensaio do teor de ar incorporado, o detergente foi mais eficiente desde a primeira dosagem e manteve em vantagem nas dosagens seguintes. Isto demonstra sua eficiência na formação de espuma dita anteriormente, pois quanto mais espuma o tensoativo é capaz de formar, mais ar ele incorpora no concreto fresco.

Pode-se concluir que ambos aditivos reduziram a resistência mecânica do concreto, entretanto, em dosagens maiores, o aditivo comercial se mostrou mais prejudicial que o proposto. Porém, como todo aditivo incorporador de ar, devem-se usar apenas dosagens recomendadas pelo fabricante e realizar ensaios prévios antes de sua utilização.

Nos ensaios de índice de vazios, absorção de água por imersão e de massa específica, além de terem obtido comportamento semelhante e bom desempenho, ambos os aditivos alcançaram um resultado esperado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos – de – prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6474**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 9776**: Determinação da massa específica real ou absoluta do agregado miúdo por meio de frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9833**: Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9937**: Determinação da absorção e da massa específica absoluta dos agregados graúdos. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **BT- 106**: Guia básico de utilização do cimento Portland. 7ª ed., São Paulo, 2002.

ARAÚJO, Daliane O. de. **Injeção de vapor com aditivos para recuperação de óleos viscosos**. 2002. 94 f. Monografia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

ARAÚJO, Mauro J. de S. **Influência do teor de aditivo aerante nas propriedades das argamassas fluídas à base de cimento**. 2005. 133 f. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

BASTOS, Paulo S. dos S. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. Bauru, 2006.

BAUER, L. A FALCÃO. **Materiais de construção civil 2**: volume 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2009.

CARVALHO, João D. N. de. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. **Revista Tecnológica**. Maringá, v. 17, p. 19-28, 2008.

DALTIN, Decio. **Tensoativos**: Química, propriedades e aplicações. São Paulo: Blucher, 2011.

DU L.; FOLLIARD K. J. Mechanisms of air entrainment in Concrete. **Cement and Concrete research**. v. 35, p. 1463-1471, 2005.

FREIRE, Wesley J.; BERALDO, Antonio L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

GIAMMUSSO, SalvaDir E. **Manual do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

LAI, Kuo-Yann. **Liquid Detergents**. 2ª ed. Nova York: CRC Press, 2005.

MARTINS, Vanessa da Costa. **Otimização de processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com a utilização de aditivos**: estudo de caso. 2005. 198 f. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MEHTA, P.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto**: Microestrutura, propriedades e materiais. 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDES, Júlia C. **Viabilidade técnica do uso de Linear Alquil Benzeno sulfonato de Sódio como aditivo incorporador de ar para matrizes cimentícias**. Ouro Preto, 2016. 96 f. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

MISIRLI, Gabriel M. **Formulando detergente**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <http://www.freedom.inf.br/artigos_tecnicos/20020919/20020919.asp>. Acesso em: 24 de abril de 2017.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

PENTEADO, José C. P. et. al. Alquilbenzeno Sulfonato Linear: Uma abordagem ambiental e analítica. **Química Nova**. São Paulo, v. 29, p. 1038-1046, 2006.

QUÍMICA AMPARO LTDA. **Ficha de informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ**: Detergente Ypê Neutro, 2011.

ROSA, Priscila da. **Concreto com ar incorporado**: Variação das propriedades mecânicas em função do tempo de mistura dos materiais. Porto Alegre, 2013. 83f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em engenheiro civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ROSSI, Cátia G. F. T. et al. Tensoativos: Uma abordagem básica e perspectivas para aplicabilidade industrial. **Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra**. Seropédica – RJ, v. 25, n.1-2, p. 73-85, 2006.

SOUZA, Líria A. de. **Detergente biodegradável**. Mundo educação, 2015. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/detergente-biodegradavel.htm>>. Acesso em: 24 de abril de 2017.

YANG, Qi. **Stability of air bubbles in fresh concrete**. Suécia, 2012. 59f. Dissertação (mestrado em ciência da engenharia estrutural e design do desempenho da construção) – Chalmer University of Technology, Suécia, 2012.