

INFLUÊNCIA DE LIGANTES NAS PROPRIEDADES DE MATRIZES CIMENTÍCIAS

Vanessa Gabrielle da Silva, Indira Teixeira Bessa de Oliveira, Ivone Regina de Oliveira

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, vanessa.sgabrielle@gmail.com, argindiraoliveira@gmail.com, ivonero@univap.br

Resumo

A matriz cimentícia, formada por cimento e água, constitui o elemento básico dos concretos utilizados na construção civil, contendo também outros materiais finos como areia e agregados como a brita. Essa mistura endurece por meio da hidratação do cimento, transformando-se em um material sólido e resistente. As propriedades mecânicas da matriz cimentícia podem ser melhoradas conforme a formulação utilizada e com a adição de produtos específicos visando o aumento da durabilidade de concretos a ambientes agressivos. A presente proposta investigou dois tipos de matriz cimentícia, a de referência, com cimento Portland (PO) aditivado com 1%-p de cristalizante, e a matriz cimentícia projetada com ligante hidráulico a base de alumina entre outros finos visando a aplicação para o setor de pré-tratamento de esgoto (ETE). Assim, o comportamento dos sistemas de matriz cimentícia foram analisados por meio de ensaios de resistência mecânica à flexão e a resistência mecânica à compressão uniaxial e porosidade aparente. Observou-se que o sistema projetado apresentou uma superior resistência mecânica e baixa porosidade comparado ao sistema de referência.

Palavras-chave: Matriz cimentícia. Durabilidade. Resistência. ETE.

Área do Conhecimento: Engenharia de materiais.

Introdução

Nos últimos anos, a durabilidade das estruturas de concreto, especialmente aquelas expostas em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e outros ambientes que entram em contato com efluentes, tem se tornado uma preocupação crescente. Esse aumento na atenção se deve tanto a razões econômicas quanto a considerações sociais e ambientais. Embora os materiais comerciais ofereçam versatilidade na execução dessas estruturas, eles podem apresentar desempenho inadequado quando expostos a fatores ambientais adversos. Consequentemente, novas formulações de concreto estão sendo investigadas com o objetivo de melhorar o desempenho dessas estruturas em ambientes agressivos. O processo de tratamento de esgoto geralmente envolve várias etapas (Von Sperling, 2005).

O pré-tratamento envolve a remoção de sólidos grandes e detritos por meio de grades e peneiras, além da separação de areia e pedras, conforme ilustrado na Figura 1a. No tratamento primário, a água passa por tanques de sedimentação, onde os sólidos suspensos se depositam no fundo, formando o lodo primário, enquanto a espuma e outros materiais flutuantes são removidos da superfície (Figura 1b). No tratamento secundário, processos biológicos são empregados para decompor a matéria orgânica dissolvida no esgoto, utilizando métodos como lodos ativados, filtros biológicos e lagoas aeradas. O lodo secundário é então separado da água tratada (Figura 1c). Finalmente, o tratamento terciário, que é opcional, inclui processos adicionais para a remoção de nutrientes, metais pesados, patógenos e outros poluentes específicos, podendo envolver filtração, cloração, ozonização ou tratamento UV. O efluente tratado é então descarregado em corpos d'água ou reutilizado para fins como irrigação e processos industriais, enquanto o lodo gerado é tratado e disposto adequadamente, podendo ser utilizado como fertilizante ou incinerado (Figura 1d).

Figura 1 – Estação de tratamento de esgoto



Fonte: Autora do projeto

Apesar dos avanços, o pré-tratamento em ETEs enfrenta diversos desafios, incluindo a manutenção, operação e durabilidade das peças de concreto, compostas por matriz cimentícia, areia e brita. Para garantir a eficácia do pré-tratamento, é crucial que as instalações sejam bem projetadas, construídas e operadas. Nesse contexto, o desenvolvimento de concretos e matrizes cimentícias que ofereçam maior resistência mecânica é essencial para aumentar a durabilidade das estruturas (Boldman, 2000).

O concreto, um material fundamental na construção civil, é composto por uma mistura de cimento, agregados (areia e brita), água e, ocasionalmente, aditivos. Cada componente desempenha um papel crucial na formação e nas propriedades do concreto. O cimento, um aglomerante hidráulico, ao reagir com a água, forma uma pasta que endurece e liga os outros componentes. Os agregados, que podem ser miúdos (areia) ou graúdos (brita), conferem ao concreto suas propriedades mecânicas, enquanto a água é necessária para a hidratação do cimento, sendo fundamental na trabalhabilidade e resistência do material. Os aditivos, quando usados, modificam propriedades específicas do concreto, como a coesão ou o tempo de pega (Struble, 1998).

A microestrutura do concreto é composta por uma matriz cimentícia, formada pela pasta de cimento hidratada. A hidratação do cimento é um processo químico que ocorre quando os compostos do cimento reagem com a água, formando produtos que conferem resistência e durabilidade ao concreto. O cimento Portland é o material estrutural mais utilizado na construção civil atualmente, e seu clínquer é composto por alita, belita, aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico, representados respectivamente por C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF na nomenclatura dos compostos do cimento (Tenório, 2003).

Alternativamente, o cimento à base de alumina, quando hidratado, atua como ligante, garantindo a resistência mecânica do concreto ou argamassa, mesmo nos estágios iniciais de cura, devido à sua presa rápida e resistência à corrosão por ácidos. Acima de $50^{\circ}C$, forma-se um hidrato estável, C_3AH_6 , que contribui para a durabilidade do material (Macias, Kindness, Glasser, 1996).

Este estudo investigou duas matrizes cimentícias: uma matriz de referência composta por cimento Portland e aditivo cristalizante, e uma matriz projetada contendo um ligante à base de alumina e outros materiais finos. O objetivo foi avaliar propriedades mecânicas como a resistência à flexão e à compressão uniaxial dessas matrizes e a porosidade, visando identificar formulações de concreto mais resistentes e duráveis para aplicação em ambientes agressivos, como as ETEs.

Metodologia

Foram preparados dois tipos de matriz cimentícia, o sistema de referência com cimento Portland (MC-PO) aditivado com 1%-p de cristalizante. Já a composição projetada foi elaborada com ligante hidráulico (MC-ANE) a base de alumina entre outros finos (protegido por patente BR 10 2024 005093 2).

Executaram-se as matrizes cimentícias (de referência e a projetada) com adição de água, formando pastas. As pastas obtidas foram colocadas em matrizes cilíndricas (16 mm de diâmetro x 18 mm de altura) e em formato de barras (75 mm de comprimento x 12,5 mm de altura x 12,5 mm de largura).

Os corpos de prova (CP's) do sistema contendo Portland foram curados em solução saturada de cal (hidróxido de cálcio), e os CP's contendo o sistema projetado foram curados à seco, ambos em temperatura ambiente durante 28 dias.

Após o processo de cura ser finalizado, os CDP's foram caracterizados por meio de ensaios de resistência mecânica à flexão, resistência mecânica à compressão uniaxial e porosidade aparente.

Quanto ao ensaio mecânico de resistência à flexão em três pontos foram utilizadas amostras na forma de barras, usando uma máquina de ensaios mecânicos DL 10000, da marca EMIC (obedecendo à norma ASTM C674/2006) com a velocidade de 0,5 mm/min. Para o cálculo do módulo de ruptura (σ_R) foi empregada a equação a seguir:

$$\delta_R = \left[\frac{3Fl}{2bd^2} \right] \quad (1)$$

onde F (N) é a força máxima da fratura, l (mm) é a distância entre os apoios, b (mm) é largura e d (mm) é a espessura da amostra (Ortiz, 1991).

O ensaio mecânico de resistência à compressão uniaxial foi realizado em amostras cilíndricas, (obedecendo à norma ABNT NBR 7215/1996) com a utilização da mesma máquina de ensaios mecânicos, com uma velocidade de 0,15 mm/min. A tensão de ruptura σ_R (MPa) foi calculada de acordo com a equação:

$$\delta_R = \left[\frac{4P}{\pi D^2} \right] \quad (2)$$

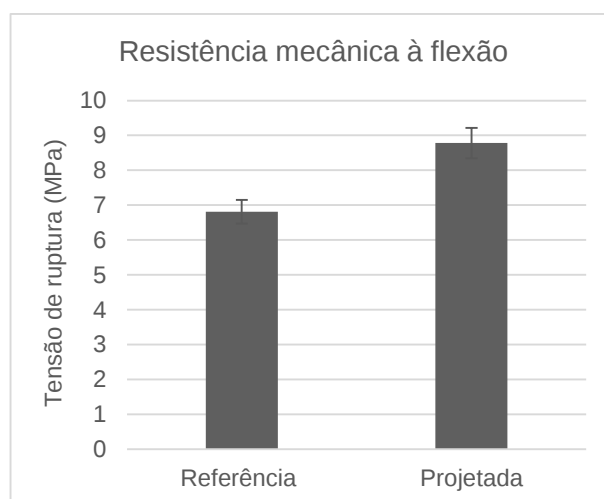
onde P (N) é a carga máxima exercida para fraturar cada amostra e D (mm) é o diâmetro médio das amostras (Nash; Potter, 2014)

O ensaio de porosidade aparente foi realizado usando as amostras cilíndricas. Estas foram mantidas em 110 °C em estufa por 24 horas, após as amostras em triplicatas foram inicialmente pesadas a seco (M_s) e após 1 hora de imersão em querosene sob vácuo, as amostras foram, novamente, pesadas quando imersas no líquido (M_i) e úmidas (M_u); cujo intuito foi avaliar o volume dos poros abertos. Nesse ensaio é usado o princípio de Arquimedes, (obedecendo à norma ABNT NBR 6220/2011). Assim, a porosidade aparente é calculada pela massa de líquido retida em seus poros abertos como apresentado pela equação (Mehta, 2013):

$$PA = \left[\frac{(M_u - M_s)}{(M_u - M_i)} \right] \times 100 \quad (3)$$

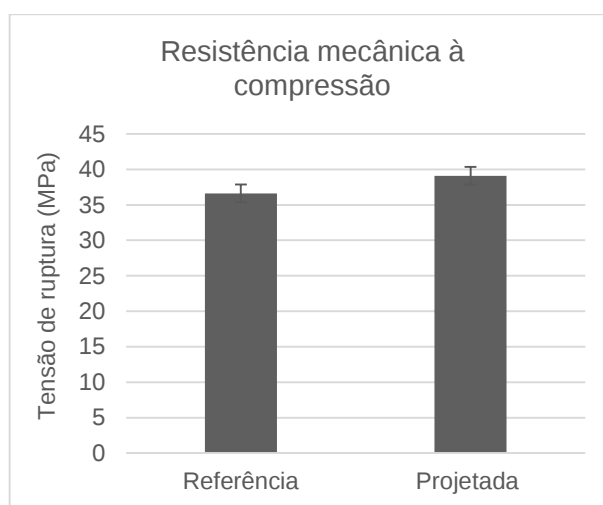
Resultados

Gráfico 1 – Resistência mecânica à flexão de matriz cimentícia, produzida com cimento Portland aditivado com 1%-p de cristalizante (referência) e preparada com ligante hidráulico a base de alumina entre outros finos (projetada).



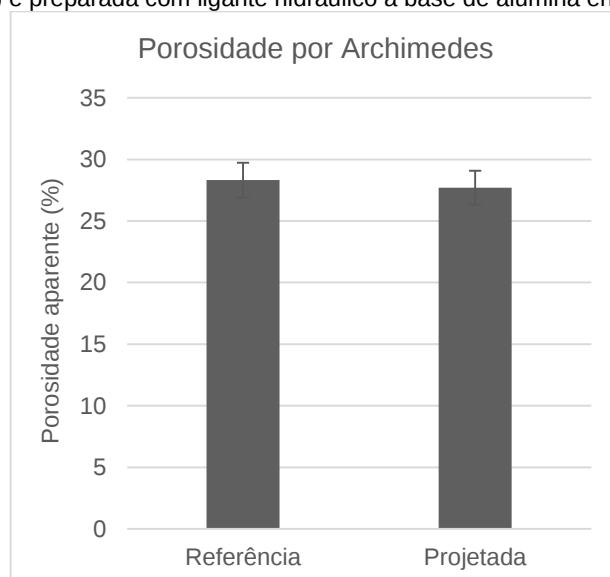
Fonte: Autora do projeto

Gráfico 2 – Resistência mecânica à compressão uniaxial de matriz cimentícia, produzida com cimento Portland aditivado com 1%-p de cristalizante (referência) e preparada com ligante hidráulico a base de alumina entre outros finos (projetada).



Fonte: Autora do projeto

Gráfico 3 - Porosidade aparente para a matriz cimentícia, produzida com cimento Portland aditivado com 1%-p de cristalizante (referência) e preparada com ligante hidráulico a base de alumina entre outros finos (projetada).



Fonte: Autora do projeto

Discussão

Nos ensaios de resistência mecânica à flexão, as amostras do sistema projetado se destacaram com uma diferença de 29% comparado aos CDP's do sistema de referência, como apresentado no gráfico 1.

Nos ensaios de resistência mecânica à compressão uniaxial, as matrizes cimentícias foram elaboradas para que a tensão de ruptura fosse igual a 30 MPa, coerente com o que é previsto para edificações convencionais. A matriz cimentícia de referência apresentou um valor de tensão acima do que foi previsto. Por outro lado, a matriz cimentícia projetada alcançou tensão próximo a 40 MPa, como apresentado no gráfico 2.

No ensaio de porosidade, a matriz de referência apresentou maior valor do que a matriz projetada, concordando com os resultados de resistência mecânica.

Conclusão

A matriz cimentícia projetada apresentou um melhor desempenho, se compara à matriz cimentícia de referência, elaborada com aditivo cristalizante. Esta composição apresentou menor porosidade e com isso também obteve uma maior resistência mecânica quanto à flexão e à compressão apontando para um melhor desempenho em ETE.

Referências

- BOLDMAN, P.; LATZ, M. Ceramic membranes and their application in food and beverage processing. *Filtration & Separation*, v. 37, p. 36-38, 2000.
- INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL – INPI. Pedido nacional de invenção, modelo de utilidade, certificado de adição de invenção e entrada na fase nacional do PCT. BR 10 2024 005093 2.
- MACIAS, A.; KINDNESS, A.; GLASSER, F. P. Corrosion behaviour of steel in high alumina cement mortar cured at 5, 25 and 55° C: chemical and physical factors. *Journal of Materials Science*, 1996.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: microstructure, properties, and materials. New York: McGraw-Hill Education, 2013.
- NASH, W. A.; POTTER, M. C. Resistência dos materiais. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2014.
- ORTIZ BERROCAL, Luis. Resistencia de materiales. Madrid: McGraw-Hill, 1991. ISBN 84-7651-512-3.
- STRUBLE, L. et al. Rheology of cement paste and concrete. *Cement, Concrete and Aggregates*, v. 20, n. 2, p. 269-277, dez. 1998.
- TENÓRIO, J. A. S. et al. Decomposição da fase majoritária do cimento Portland, Parte I: alita pura. REM, 2003.
- VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005.

Agradecimentos

Agradeço à minha família por todo o apoio, e por me incentivar a correr atrás dos meus objetivos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Ivone Regina de Oliveira por todo o tempo e paciência para me ensinar.

À minha coorientadora, Me. Indira Teixeira Bessa Bastos de Oliveira por toda disponibilidade e paciência de me ensinar e me introduzir na área da construção civil.

Aos alunos do mestrado e doutorado do laboratório de processamento de materiais do IP&D, que me ajudaram e me incentivaram nessa trajetória de pesquisa e desenvolvimento.

À Univap pelo suporte e infraestrutura e ao PIBIC-CNPq pelo apoio financeiro, permitindo a elaboração desse projeto.