

# 150<sup>a</sup> DEFESA DE TESE EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI



### THIAGO FRANCISCO DE SOUZA



[pei@ufba.br](mailto:pei@ufba.br)



[www.pei.ufba.br](http://www.pei.ufba.br)



@peiufba



@peiufba



PEI TV

#### Orientadores:

- Prof. Dr. Ricardo de Araújo Kalid (PEI/UFSB);
- Prof. Dr. José Renato de Castro Pessôa (PROCIMM/UESC);
- Prof. Dr. Franco Dani Rico Amado (PROCIMM/UESC).

#### Banca Examinadora:

- Prof. Dr. Ricardo de Araújo Kalid (PEI/UFSB);
- Prof. Dr. José Renato de Castro Pessôa (PROCIMM/UESC);
- Prof. Dr. Franco Dani Rico Amado (PROCIMM/UESC);
- Prof. Dr. Joaquim Teixeira de Assis (IPRJ/UERJ);
- Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tatiane Benvenuti (MCTI);
- Prof. Dr. Wellington Ferreira de Magalhães (UFMG);
- Prof. Dr. Everton José da Silva (IFBA).

#### Suplentes:

- Prof. Dr. Marcio André Fernandes Martins (PEI-UFBA).

**Título:** "AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS NAS INFORMAÇÕES SOBRE AS RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO NA FLEXÃO E COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS COM LODO DE ETA".

**Data:** 30 de outubro de 2025 **Horário:** 09h00min

**Local:** [https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/pei\\_epufba](https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/pei_epufba)

#### Resumo:

As pesquisas envolvendo a incorporação de lodo de estação de tratamento de água (lodo de ETA) em argamassas de matriz cimentícia tem papel importante na preservação do meio ambiente, haja vista a notória preocupação com a gestão adequada dos resíduos sólidos industriais, que podem ser integrados a essas misturas, evitando seu descarte em aterros sanitários ou corpos hídricos. Este trabalho investigou a incorporação do lodo, sem calcinar e calcinado, de uma estação de tratamento de água, em argamassas cimentícias, com ênfase nas medições experimentais das resistências à tração na flexão e compressão, bem como na avaliação das incertezas dos resultados experimentais obtidos. Em paralelo, foi avaliada a trabalhabilidade de todas misturas (por meio do índice de consistência), além da realização da caracterização do lodo de ETA por meio de análise termogravimétrica (TGA), difração de raios x (DRX) e determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado (método de Chappelle modificado). O resultado do DRX mostra uma alta concentração de fase amorfa, tanto para o lodo de ETA sem calcinar como para o calcinado. Isso indica que as condições de calcinação do lodo de ETA podem não ter sido suficientes para promover a cristalização completa. A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada somente no lodo seco (sem calcinar), com o objetivo de se determinar a temperatura ideal de calcinação. O resultado indicou que a queima de matéria orgânica ocorre até cerca de 515°C, logo, essa foi a temperatura de calcinação adotada. Os resultados do índice de consistência mostram que a adição de 10 % de lodo de ETA nas misturas de argamassas reduz significativamente a trabalhabilidade, cujos valores se afastam consideravelmente do valor de uma argamassa padrão. Para o teor de incorporação 5 %, considerando o uso de aditivo superplastificante na mistura, o valor do índice de consistência (268,7 mm) é praticamente igual ao de uma argamassa padrão (que deve ser entre 255 mm e 265 mm). Os resultados das resistências à tração na flexão mostram que a incorporação do lodo de ETA sem calcinar promoveu um impacto negativo considerável nessa propriedade. Para a mistura contendo 10% de lodo de ETA sem calcinar, a redução foi de aproximadamente 64 %, em relação à mistura controle. Para as misturas com lodo calcinado, as resistências à tração na flexão foram significativamente menores que as verificadas para as misturas contendo lodo seco sem calcinar (a maior redução foi de cerca de 24 %, em relação à mistura controle). Maior resistência à compressão também foi verificada para a mistura controle, em comparação com todas as outras misturas de argamassas contendo lodo de ETA sem calcinar. A maior redução (aproximadamente 42 %) foi da mistura contendo 10 % de lodo de ETA sem calcinar, em comparação com a mistura controle. A mistura contendo 10 % de lodo de ETA calcinado apresentou redução de apenas 4,3 % em relação à mistura controle. O melhor resultado de resistência à compressão foi verificado para a mistura contendo 5 % de lodo de ETA calcinado, cujo valor foi superior ao da mistura controle em cerca de 25 %. A atividade pozolânica do lodo de ETA calcinado, confirmada por meio dos ensaios de índice de atividade pozolânica (IAP) e Chappelle Modificado, pode ter contribuído para esse aumento significativo. Para todas as misturas, os resultados da avaliação da incerteza para a resistência à tração na flexão podem ser considerados bons para medições realizadas em ambiente de laboratório, comprovados pelos baixos valores de incerteza padrão relativas (todas ficaram abaixo de 5 %). A análise dos coeficientes de Kessel mostra que a fonte de incerteza que mais contribui para as incertezas dos resultados de tração na flexão, de todas as misturas, é a repetibilidade (com valores acima de 90 %). Para a resistência à compressão, os valores das incertezas padrão relativas foram inferiores a 5 % (para todas as misturas), logo também podem ser considerados bons para medições realizadas em ambiente de laboratório. Os coeficientes de Kessel para a resistência à compressão apontam que uma maior atenção deve ser dada para as fontes de incerteza da condição de preservação das amostras e do efeito de planicidade, que podem impactar diretamente o valor de força máxima de ruptura (e consequentemente o valor da resistência à compressão). Por meio da incerteza expandida de medição, foi possível fazer a comparação dos resultados das resistências à tração na flexão e compressão das misturas com os valores especificados em normas técnicas de algumas aplicações, permitindo verificar a conformidade e a viabilidade de utilização do material (com base nessas duas propriedades). Essa abordagem permitiu considerar não apenas os valores médios das resistências, mas também a variabilidade dos dados experimentais, conferindo maior confiabilidade sobre a adequação das misturas para possíveis aplicações específicas (argamassas de uso geral, resistência do cimento Portland e blocos de alvenaria). Finalmente, este estudo alerta para a importância da avaliação da incerteza em medições experimentais, à medida que explora em detalhes os cálculos e procedimentos necessários para a correta avaliação das incertezas padrão e expandida para medições de resistência à tração na flexão e resistência à compressão de corpos de prova prismáticos.

**Palavras-chave:** argamassas cimentícias; Lodo de ETA; resistência à tração na flexão; resistência à compressão; incerteza de medição.