

## **Utilização de cinzas de lodo agroindustrial na elaboração da argamassa para construção civil**

### **Use of industrial sludge ash in the preparation of mortar for construction**

**Bruna Paola de Moraes Simoka, brunapaolams@gmail.com**

**Crisleine Zottis dos Reis**

**Hevelin Tabata Boni**

Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC, Chapecó, Santa Catarina

Submetido em 30/03/2016

Revisado em 31/03/2016

Aprovado em 05/06/2016

**Resumo:** O presente estudo tem por objetivo utilizar cinzas de lodo, como adição em argamassa de cimento Portland, visando reaproveitar este resíduo, através da sua incorporação na construção civil e garantir o desempenho das argamassas no atendimento às especificações técnicas da ABNT. As frações utilizadas de cinzas foram de 10% a 30%, sendo realizados ensaios com a argamassa fresca e no estado endurecido. Os resultados mostraram que é possível utilizar até 15% de cinzas na argamassa sem comprometer a qualidade do produto final.

**Palavras chave:** Cinzas de Lodo, Argamassa, Construção Civil.

**Abstract:** This research involves the study of sludge ash in addition to Portland cement mortar, aiming to take advantage of this residue through its incorporation in construction and ensure the performance of mortars in compliance with the technical specifications of the ABNT. This gray additions were studied in proportions of 10% to 30% by mass of cement. The mortar characterization tests was carried out in fresh and hardened state. The results showed that it is possible to use up to 15% sludge ash in the mortar without compromising final product quality.

**Keywords:** Sludge Ash, Mortar, Construction.

## 1. Introdução

A construção civil é um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matéria-prima. Em virtude do desenvolvimento tecnológico, os centros urbanos vêm crescendo a cada dia e junto com eles uma produção ilimitada de resíduos. Segundo Geyer (2001) *apud* Fontes (2003), os resíduos sólidos e líquidos urbanos (lixo, resíduos de E.T.E e de tratamento industriais) tornaram-se dentre outros, agentes causadores da poluição nas grandes áreas urbanas. A maior parte destes resíduos tem destino incerto e, na maioria das vezes, ficam expostos ao meio ambiente, poluindo-o, ou acabam sendo encaminhados, quando estes têm capacidade, aos aterros sanitários urbanos. Esta situação é comum em praticamente todo o país e também em quase todo o mundo (MOREIRA et al, 2001 *apud* FONTES, 2003). Porém, hoje existem leis de proteção ambiental com novas diretrizes no que tange à gestão de lodos e resíduos para a sociedade na intenção de um desenvolvimento sustentável. Portanto, é necessário o desenvolvimento e a implementação de métodos alternativos e eficientes em substituição ao simples descarte desses resíduos em aterros (FONTES, 2003).

A Construção Civil mostra-se como potencial consumidora de resíduos provenientes de outras indústrias. Tal fato se deve a vários fatores, tais como a necessidade de redução do custo da construção, a elevada quantidade de matéria-prima consumida e a grande diversidade de produtos consumidos na produção, o que abre uma série de opções de uso de resíduos com diferentes funções na edificação (NOLASCO, 1993 *apud* LIMA, 2008).

Visando minimizar o uso de recursos naturais na construção civil, vêm se estudando o uso de cinzas de lodo na formulação de argamassas em substituição a parte das matérias primas utilizadas.

Diante do exposto, justifica-se o desenvolvimento desta pesquisa, que tem por objetivo a utilização de cinzas de lodo gerado nas estações de tratamento de efluentes, em substituição parcial de alguns componentes presentes na argamassa, como por exemplo o cimento, visando obter um material de igual ou superior qualidade quando comparado ao já existente. Tornando-se assim obras com sustentabilidade no decorrer de sua operação efetiva. Que seja esta a premissa, e os objetivos convirjam para viabilizar o

aproveitamento do resíduo gerado, garantindo, assim, a qualidade ambiental da região.

## 2. Metodologia

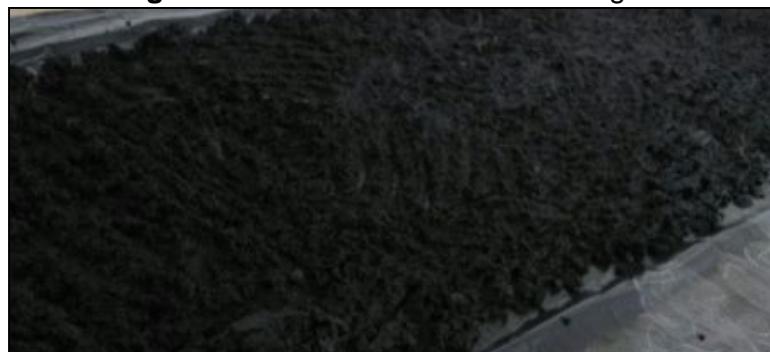
Este projeto de pesquisa foi desenvolvido na Universidade UNOESC com colaboração da Empresa Concreoeste Usina de Concretos. Os testes foram realizados no laboratório de química e de solos da UNOESC e no laboratório da Empresa Concreoeste.

O cimento Portland CP IV-32 RS, da marca ITA e a areia fina utilizados foram gentilmente doados pela empresa Concreoeste Usina de Concretos. O lodo foi coletado na lagoa anaeróbica de tratamento de efluentes de uma indústria frigorífica do município de Chapecó.

### 2.1. Coleta e preparo do lodo

O lodo foi coletado na lagoa anaeróbica de tratamento de efluentes de uma indústria frigorífica. Após a drenagem do lodo do fundo da lagoa, este, foi colocado no leito de secagem, onde permaneceu por 30 dias, para evaporação do excesso de água, conforme Figura.

**Figura1-** Lodo bruto no leito de secagem



Em seguida o lodo foi calcinado em mufla à 850 °C por 3 h. Após a calcinação o lodo foi macerado para torná-lo um pó e peneirado em peneira de 0,075 mm. A Figura (b) mostra as cinzas prontas para uso nas argamassas.

**Figura 2 -** (a) Lodo calcinado; (b) Lodo macerado e peneirado, pronto para uso.



## 2.2. Análise de sólidos

Após os 40 dias de secagem, o lodo foi avaliado em relação ao teor de matéria orgânica e percentual de cinzas, por meio de análises de sólidos do lodo bruto.

### - Sólidos totais.

Coloca-se de 25 a 50 g do lodo em um cadiño (previamente pesado) e pesa-se. Em seguida é colocado na estufa de 103 a 105 °C durante a noite. Resfria-se em dessecador até à temperatura equilibrar e pesa-se novamente. Repete-se as etapas de secagem (1 h), refrigeração em dessecador e pesagem até que a mudança de peso seja inferior a 4% ou 50 mg. Analisa-se, pelo menos, 10% de todas as amostras em duplicata. Determinações em duplicata devem concordar dentro de 5% de seu peso médio.

### - Sólidos fixos e sólidos voláteis.

Transfere-se o resíduo seco (do item anterior), para um forno de mufla, a 550 °C, e é inflamado durante 1 h. Esfria-se em dessecador para equilibrar temperatura e pesa-se. Repete-se os passos de queima (30 min), resfriamento em dessecador e pesagem até que a mudança de peso seja inferior a 4% ou 50 mg. Analisa-se, pelo menos, 10% de todas as amostras em duplicata. Determinações em duplicata devem concordar dentro de 5% de seu peso médio.

A seguir são apresentadas as equações utilizadas para os cálculos:

$$\text{Sólidos Totais \%} = \frac{(A - B) * 100}{C - B} \quad (01)$$

$$\text{Sólidos Voláteis \%} = \frac{(A - D) * 100}{A - B} \quad (02)$$

$$\text{Sólidos Fixos \%} = \frac{(D - B) * 100}{A - B} \quad (03)$$

Onde:

A: Peso do resíduo seco mais o prato, mg

B: Peso do prato, mg

C: Peso da amostra molhada mais o prato, mg

D: Peso do resíduo após ignição mais o prato, mg

### **2.3. Preparo da argamassa**

Com base no trabalho realizado por Costa (2014) o traço da argamassa adotado foi 1:3 de cimento/areia.

Argamassas num traço de 1:3 são indicadas para serem usadas em alvenaria de bloco de concreto autoportante, alvenaria de pedras irregulares, alvenaria de elementos vazados de concreto, chapisco, assentamento de soleiras e peitoris e base reguladora para pisos (COSTA, 2014).

A quantidade de água (fator água/cimento) adicionada aos materiais secos foi diferente em toda pesquisa, e determinada conforme NBR 13276 (2005), que recomenda adotar a água necessária para obter índice de consistência de  $260 \pm 5$  mm.

Seguindo o proposto por Costa (2014) as porcentagens de adição de cinza adotadas foram de 10, 15, 20, 25 e 30% em relação à massa do cimento. O padrão corresponde à argamassa sem adição de cinzas.

Para a elaboração dos corpos de prova, utilizou-se a norma NB 13279 (2005), ao qual se moldou 3CP's prismáticos (4 x 4 x 16 cm) Figura, para cada um dos traços indicados anteriormente. Os corpos de prova foram desmoldados entre  $48 \pm 24$ h e depois foram curados no incorporador de ar até atingir seus 28 dias, onde foram realizadas as análises em estado endurecido. Essa etapa foi realizada no laboratório da empresa Concreoeste.

**Figura 3 - Molde prismático com 3CP's.**



#### **2.4. Ensaios da argamassa no estado fresco**

##### *- Índice de consistência.*

O índice de consistência das argamassas foi obtido de acordo com a norma NBR 13276 (2005). O ensaio consistiu em preencher um molde tronco-cônico com três camadas de argamassa de mesma altura, as quais foram adensadas homogeneousmente, respectivamente, com 15, 10 e 5 golpes. Foi retirado o excesso e o molde e aplicado 30 quedas de mesa durante 30 segundos, aproximadamente (Figura 4). O índice de consistência foi obtido através da média aritmética de três diâmetros ortogonais medidos após o abatimento.

**Figura 4 – Determinação do índice de consistência.**



*- Densidade e teor de ar incorporado.*

O teor de ar incorporado e a densidade de massa no estado fresco foram obtidos conforme a norma NBR 13278 (2005). Consistindo em pesar um recipiente cilíndrico, devidamente calibrado e de volume conhecido vazio, pesase o mesmo recipiente com água e depois se adiciona a argamassa no recipiente, formando três camadas de alturas aproximadas. Cada camada deve ser adensada com 20 golpes de espátula, inserida e retirada verticalmente. Após o preenchimento do recipiente, deve-se efetuar três quedas dele, com altura próxima a 3 cm, rasá-lo e pesá-lo com a argamassa.

## 2.5. Ensaios da argamassa no estado endurecido

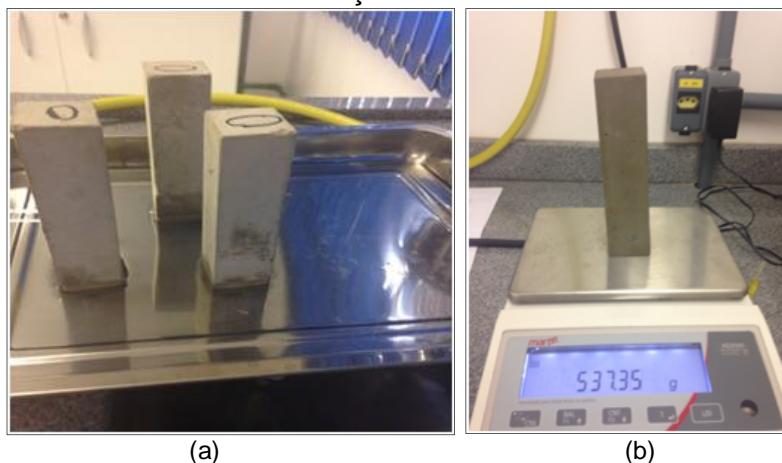
*- Densidade*

A densidade de massa no estado endurecido foi obtida conforme a NBR 13280 (2005). O ensaio consiste em aos 28 dias medir a massa e as dimensões (largura, altura e comprimento) dos corpos-de-prova, seguido pelo cálculo da razão da massa pelo volume.

*- Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade*

A absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade foram obtidos conforme a norma NBR 15259 (2005). O ensaio consiste em aos 28 dias lixar a superfície do corpo de prova e determinar sua massa, posicionar os corpos de prova com a face quadrada sobre os suportes no recipiente de ensaio, com nível de água constante a  $(5 \pm 1)$  mm acima da face em contato com a água e determinar a massa de cada peça aos 10 e 90 min (Figura 5).

**Figura 5 -** (a) CP no recipiente de ensaio com água constante, (b) Determinação da massa.



- *Resistência à tração na flexão e à compressão.*

A resistência à tração na flexão e à compressão foram obtidas conforme a norma NBR 13279 (2005). O ensaio consiste em aos 28 dias romper os corpos-de-prova à tração na flexão e, usando suas metades restantes, romper à compressão, solicitando o mesmo corpo-de-prova duas vezes aos citados esforços. Estes testes foram realizados no laboratório de Solos, Materiais e Asfalto da Unoesc campus Joaçaba.

### 3. Resultados

#### 3.1. Análise de sólidos

Foram realizados testes de sólidos para identificar o teor de matéria orgânica e o teor de cinzas presente no lodo bruto. A Tabela 1 apresenta os resultados. Percebe-se que o teor de matéria orgânica é alto, em torno de 55%, segundo Bueno (2010) a matéria orgânica pode ocasionar possíveis patologias na argamassa, como trincas nos revestimentos e diminuição da resistência a compressão.

**Tabela 1:** Resultados para sólidos totais, fixos e voláteis para o lodo bruto

Material	Sólidos totais %	Sólidos voláteis %	Sólidos fixos %
Lodo bruto	12,69	55,17	44,77

Em relação aos sólidos fixos (cinzas), o lodo apresentou um porcentual de cinzas de aproximadamente 45%.

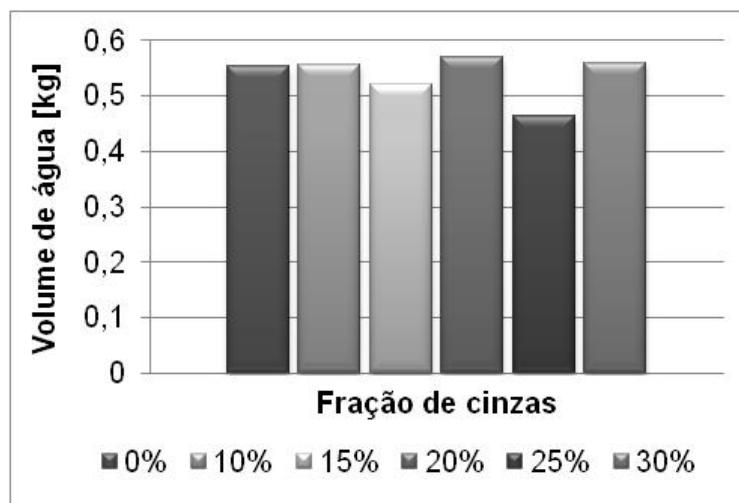
### 3.2. Análises no estado fresco

#### - Índice de consistência

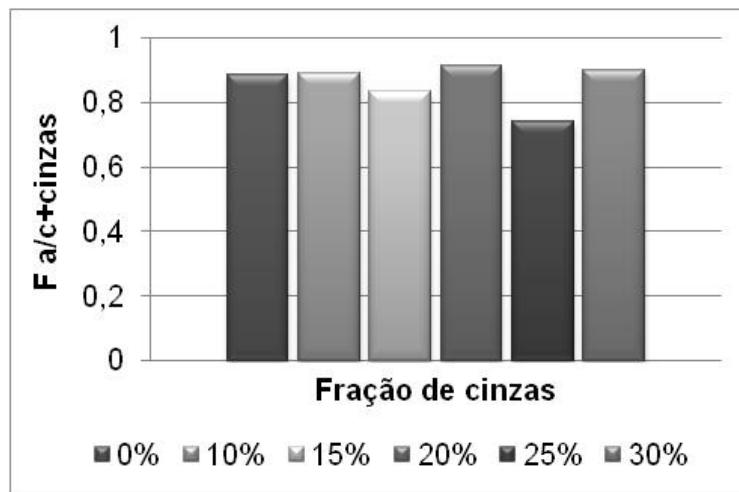
O índice de consistência estabelecido para as argamassas é igual a 260  $\pm$  5 mm de acordo com a NBR 12376 (2005), foi utilizado a quantidade de água necessária até ser atingido o índice necessário para uma boa consistência. A Figura 6 apresenta os resultados para o volume de água necessários para se atingir o índice de consistência e a Figura 7 apresenta o fator água/cimento+cinzas. Pela Figura 6 verifica-se que não houve uma grande variação na quantidade de água entre as frações de cinzas utilizadas, com exceção da fração de 25% que apresentou uma variação maior. O mesmo conclui-se para o fator água/cimento+cinzas (Figura 7).

Conforme Metha e Monteiro (1994) a consistência da argamassa depende de fatores tais como a relação entre água/cimento (a/c), a relação pasta/inerte, tipo de inerte, granulometria, dimensão, forma, teor de finos, porosidade, a natureza do ligante e a presença de aditivos na mistura.

**Figura 6** – Volume de água utilizado para elaboração do corpo de prova para cada fração de cinzas.



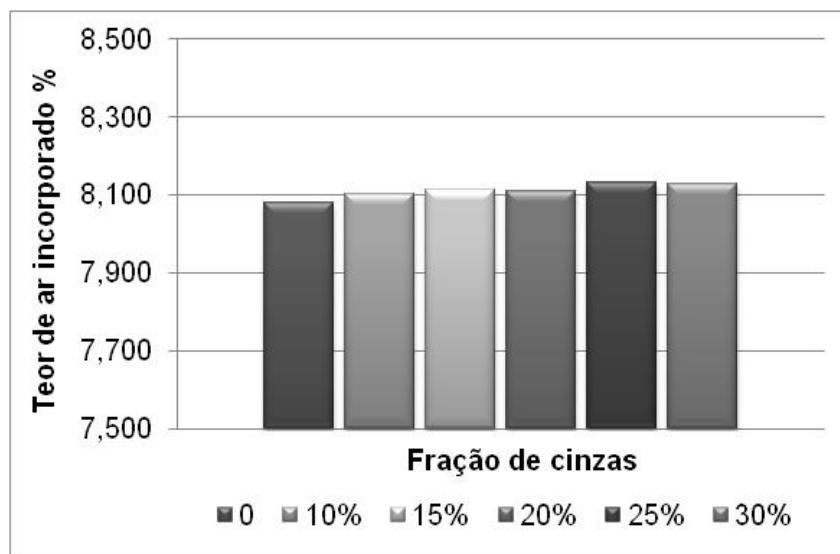
**Figura 7** – Fator de água/cimento+cinzas para cada fração de cinzas.



#### - Densidade e teor de ar incorporado

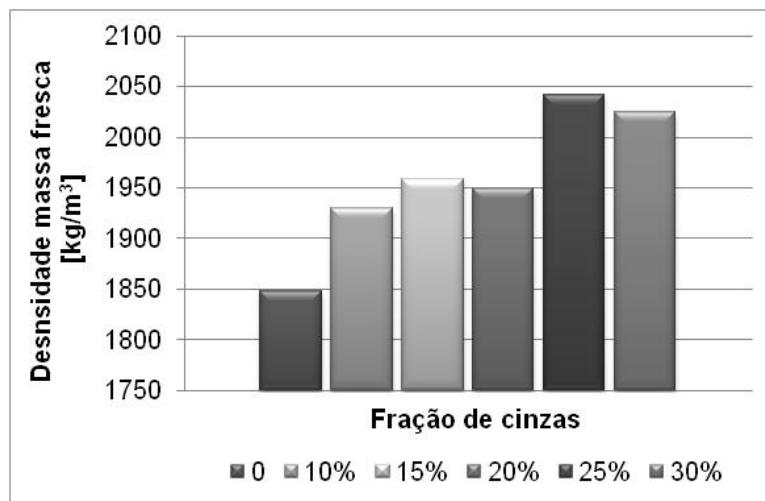
Os resultados em relação ao teor de ar incorporado são indicados na Figura 8, onde se verifica que não houve variação significativa no teor de ar, pois não foi utilizado na elaboração da argamassa um incorporador de ar.

**Figura 8** - Dados de teor de ar incorporado da argamassa para cada fração de cinzas estudada.



A densidade de massa no estado fresco indica que houve um aumento conforme se aumenta a fração de cinzas utilizada (Figura 9). Narciso (2006) verificou que argamassas produzidas com agregado com maior teor de finos como cinza, apresentaram maior densidade de massa em relação às argamassas que não possuíam. Isso porque os finos ocupam os vazios entre os grãos, aumentando o empacotamento do conjunto.

**Figura 9** – Dados de densidade da massa no estado fresco para cada fração de cinzas estudada.

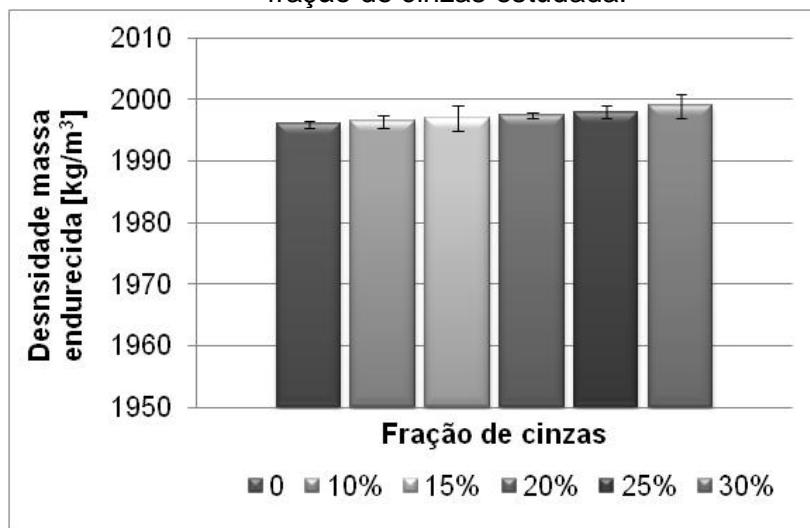


### 3.3. Ensaios da argamassa no estado endurecido

#### - Densidade

A densidade de massa no estado endurecido (Figura 10) indica um aumento com o aumento da fração de cinzas, porém essa variação é baixa, o menor valor para 0% foi de 1996 kg/m<sup>3</sup>, enquanto que para o maior valor de 30% foi de 1999 kg/m<sup>3</sup>.

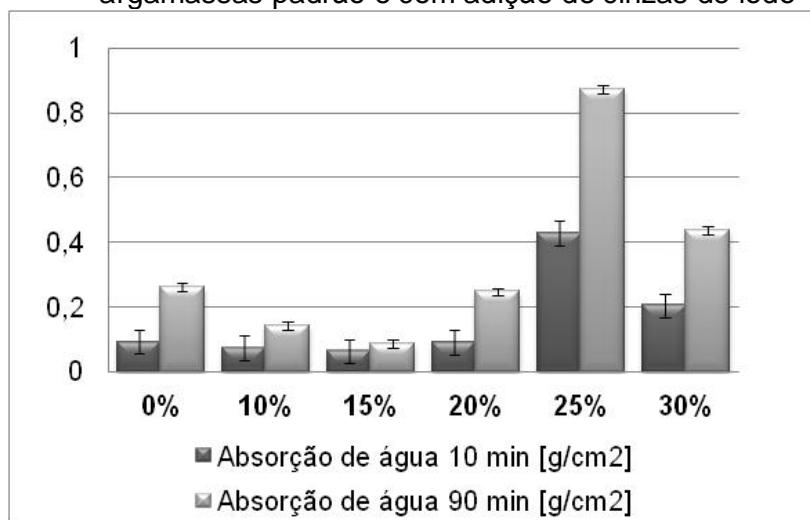
**Figura 10** – Dados de densidade da massa no estado endurecido para cada fração de cinzas estudada.



#### - Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

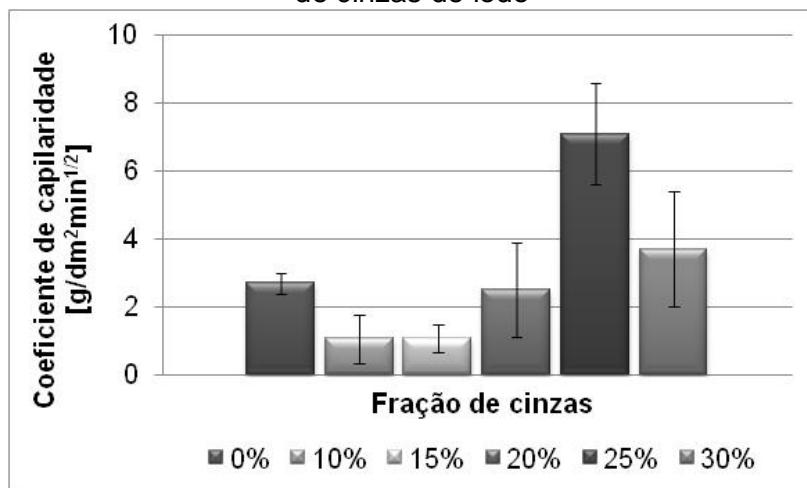
Os resultados relativos à absorção de água por capilaridade aos 10 e 90 min (Figura 11) indicam que há uma diminuição na absorção de água até a fração de 20% e depois a absorção de água aumenta. Segundo Costa (2014) a diminuição na absorção de água pode ser decorrente de um melhor empacotamento das argamassas com adição de cinza, que ocupam os vazios dificultando a percolação de água na estrutura da argamassa. Pode-se observar que a absorção aos 90 min é maior que a absorção aos 10 min, pois aos 90 min há mais tempo, ou seja, mais contato com a água.

**Figura 11** - Absorção de água por capilaridade aos 10 e 90 min das argamassas padrão e com adição de cinzas de lodo



Em relação ao coeficiente de capilaridade, o resultado indica que as adições das cinzas de lodo influem no coeficiente, já que o coeficiente não é o mesmo valor para todos os teores, sendo assim, o maior coeficiente de capilaridade foi a argamassa com adição de 25%, Figura 12. As argamassas apresentando baixo coeficiente de capilaridade representam que há um baixo valor de permeabilidade, ou seja, contribuem com a impermeabilidade, durabilidade e resistência destas argamassas, sendo assim, as argamassas com adição de 10% e 15% apresentam bons resultados.

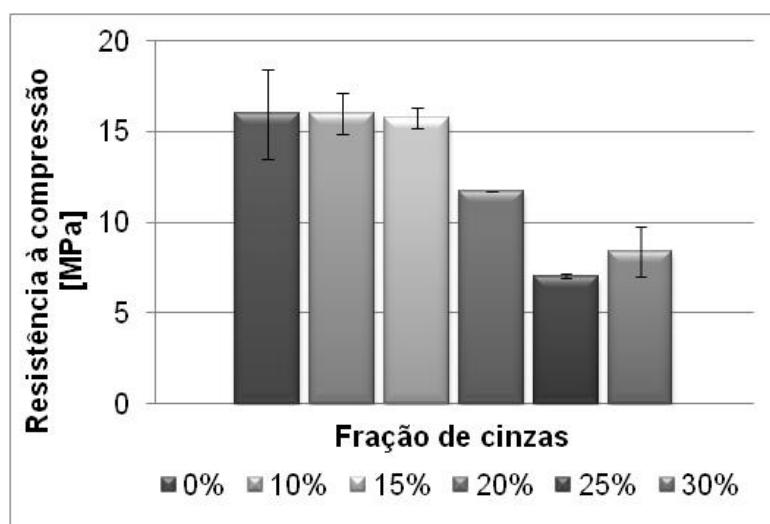
**Figura 12** - Coeficiente de capilaridade das argamassas padrão e com adição de cinzas de lodo



- *Resistência à tração na flexão e à compressão.*

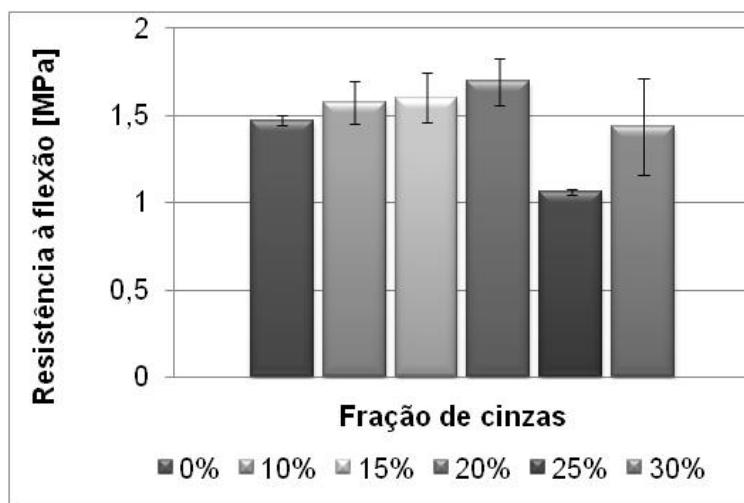
Em relação à resistência à compressão realizada aos 28 dias, percebe-se pela Figura 13 que há uma diminuição conforme se aumenta a fração de cinzas, indicando a presença de cinza compromete a resistência da argamassa à compressão. Analisando o gráfico percebe-se que até 15% de adição de cinzas não ocorre comprometimento da resistência.

**Figura 13 – Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias.**



Em relação à resistência à tração na flexão realizada aos 28 dias (Figura 14), há um aumento nesta resistência com o aumento da adição de cinzas até a proporção de 20%, já para as proporções de 25% e 30% há uma redução da resistência à tração na flexão. Como a fração de 20% não apresentou bom resultado no ensaio à compressão, conclui-se que até 15% de adição de cinzas não compromete a qualidade da argamassa.

**Figura 14 - Resistência à tração na flexão das argamassas aos 28 dias.**



#### 4. Conclusões

Foi possível com esta pesquisa avaliar a utilização de cinzas de lodo agroindustrial na elaboração da argamassa para construção civil, visando acima de tudo, a redução de impactos ambientais, bem como, a sustentabilidade e a reutilização do lodo.

Pela observação dos aspectos analisados entende-se que é possível a utilização das cinzas de lodo como substituição parcial na argamassa através do traço cimento/areia 1:3, visto que as cinzas de lodo não interferiram nas propriedades da argamassa tanto no estado fresco quanto no endurecido, até uma fração de 15%. Conclui-se então que até 15% de cinzas podem ser utilizadas na elaboração das argamassas sem comprometer sua qualidade.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PIBIC/UNOESC com fonte financiadora do Governo do Estado de Santa Catarina por meio do art. 170 e também a empresa Concreoste pela estrutura e apoio.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 15259**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
- COSTA, F. M. S. **Estudo da viabilidade da utilização de cinza de lodo de esgoto como adição em argamassa de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2014.
- FONTES, M. T. A. **Potencialidades da cinza de lodo de estações de tratamento de esgoto como material suplementar para a produção de concretos com cimento Portland**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - RJ, 2003.
- LIMA, S. A. **Análise da viabilidade do uso de cinzar agroindustriais em matrizes cimentícias: estudo de caso da cinza da casca da castanha de caju**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo e Área de concentração em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.
- NARCISO, G. S. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994.