

## Análise da resistência mecânica e porosidade de um compósito cimentício leve com EVA e reforçado com fibras de piaçava

R. M. Silva<sup>1\*</sup>, D. S. Dominguez<sup>2</sup>, R. C. Alvim<sup>2</sup>, S. M. Iglesias<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz, Mestrado em Ciência, Inovação e Modelagem de Materiais  
Campus Soane Nazaré de Andrade, Rodovia Jorge Amado, Km 16, Bairro Salobrinho. Ilhéus-Ba

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Campus Soane Nazaré de Andrade, Rodovia Jorge Amado, Km 16, Bairro Salobrinho. Ilhéus-Ba

(Recebido em 23/11/2012; revisado em 28/12/2012; aceito em 02/05/2013)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

Atualmente, uma grande quantidade de resíduos sólidos é descartada no meio ambiente. Um desses resíduos é o EVA (Etil Vinil Acetato) que tem na indústria calçadista, seu principal consumidor. O volume crescente de resíduos de EVA descartados compromete o meio ambiente, seja pela geração de resíduos não biodegradáveis ou acúmulo de material não degradável. Estudos estão voltados ao reaproveitamento destes materiais, especialmente na Construção Civil, onde este material pode ser empregado como agregados leves para a produção de Argamassas Leves. Devido às características específicas do concreto leve, surge a necessidade de reforço desses materiais. A palmeira *Attalea funifera Martius*, conhecida por piaçava, pode representar uma excelente alternativa como elemento de reforço em misturas de cimento leve. Neste trabalho, verifica-se a resistência mecânica de um compósito cimentício leve com EVA e reforçado com Fibras de Piaçava; e a porosidade do compósito a partir do processamento de imagem digital obtida por microtomografia computadorizada. A técnica de obtenção de imagens digitais através da microtomografia por raios X e processamento destas imagens com o objetivo de se estudar propriedades de materiais, mostrou-se como um método não destrutivo aceitável e eficiente por seus resultados..

**Palavras-chave:** Compósito; argamassas leves; fibras de piaçava; resistência mecânica; porosidade.

### Abstract:

Nowadays, a lot of solid waste material is discarded into the environment. One of these residues is the EVA (Ethyl Vinyl Acetate) which has the footwear industry, as its main consumer. Studies are focused on the reusing of these materials, particularly in the civil construction, where is used as an aggregate in the production of light mortars. Due to the specific characteristics of lightweight concrete, is necessary to reinforce these materials. The palm *Attalea Funifera Martius*, known as piaçava, may be an excellent alternative as a reinforcement element in light cement mixes. In this work, it's verified the mechanical strength of a composite lightweight cementitious with EVA and reinforced with Piaçava fibers, also, the porosity of the new material was measured. To evaluate the mechanical properties of this new material was made mechanical tests and verified the importance of vegetal fibers as the material reinforcing. For the compound porosity evaluation, samples were studied using microcomputer tomography ( $\mu$ TC). With images processing techniques we identify and quantify the pores. The processing digital images through  $\mu$ TC showed up as a non-destructive method for efficient and acceptable results.

**Keywords:** Composite; light mortars; piassava fibers; mechanical strength; porosity.

### 1. Introdução

Com o objetivo de se obter novos materiais para construção civil e reduzir o impacto ambiental gerado por este setor, estudos [1-5] têm sido feitos utilizando agregados oriundos de resíduos industriais. Um destes resíduos é o Etileno-Acetato de Vinila (EVA), proveniente principalmente da indústria de calçados e bolas. O EVA é um resíduo que

possui baixa massa específica, grande capacidade de se deformar, boas características acústicas e térmicas, é estável, inerte e não suscetível a fungos. Pode-se, a partir dele, desenvolver-se um tipo de material que permita associar as funções de vedação e conforto térmico com a leveza [1,2].

Estudos mostraram uma redução de resistência mecânica do concreto leve quando comparado ao concreto convencional, surgindo a necessidade de reforçar os

\*Email: [regilan@hotmail.com](mailto:regilan@hotmail.com) (R. M. Silva)

componentes construídos com argamassa e concreto leve, com a finalidade de aumentar a capacidade em suportar tensões de tração, principalmente. [1-3] Algumas pesquisas [3-5] tem verificado a influência da adição de fibras vegetais na resistência à tração. Os resultados destas pesquisas mostraram que as fibras vegetais aparecem com potenciais perspectivas de aumentar a resistência à tração ou mesmo modificar o modo de ruptura desses materiais, tendo em vista que as matrizes cimentícias possuem baixa resistência à tração e são frágeis. As fibras funcionam como ponte de transferência de tensões quando solicitada ao carregamento, proporcionando ao compósito maior capacidade de deformação. Busca-se verificar o impacto da adição de fibras na tração exatamente porque a tração é o ponto fraco das argamassas de cimento. E espera-se que a fibra, por ser resistente à tração, compense a baixa resistência da argamassa. Paralelamente, ensaios de compressão precisariam ser feitos, mas outros estudos [3,4] mostraram que a resistência à compressão do material não é aumentada com a adição de fibras, sendo que pode diminuir, dependendo da quantidade. Neste trabalho as fibras da palmeira *Attalea funifera* Martius, conhecida por piaçava, é utilizada como elemento de reforço de compósitos cimentícios leves em virtude de ser uma planta endêmica e abundante na região sul da Bahia, por possuir baixo aproveitamento econômico para outras aplicações e apresentar, elevada resistência à tração [5]. A análise da resistência a tração do cimento leve reforçado com fibras, deve-se também o fato de que sua principal aplicação está na fabricação de blocos de alvenaria, telhas e pisos. Por isso, a necessidade de buscar uma matriz de cimento leve e resistente o suficiente para transporte e manipulação durante o processo construtivo.

O estudo desse tipo de matriz cimentícia vem sendo explorado para substituição das matrizes de fibrocimento produzidas com amianto, muito embora busque ser uma alternativa ao uso de poupa celulósica, a partir do uso da fibra *in natura*, e, portanto, com menor processamento industrial. Como o Brasil é um país com alta produção de fibras vegetais, é natural buscar substitutos como a piaçava para essas aplicações industriais. Outro aspecto relevante é que matrizes de argamassa leve têm aplicações na produção de blocos de alvenaria e telhas, mas é necessário compensar as perdas de resistência mecânicas, quando comparadas as argamassas tradicionais. O uso da fibra de piaçava mostra-se satisfatório para compensar tais perdas, obtendo-se um material mais leve e com parte da resistência recuperada pela adição das fibras [3-5].

Dentre as diferentes formas de análise do concreto, as técnicas de Ensaios Não Destrutivos (END) vêm se destacando devido ao aprimoramento das técnicas utilizadas. Após a identificação da grande eficiência da Tomografia Computadorizada (TC) de raios X na medicina, foram iniciados vários estudos [6-10] com a finalidade de implementar e aplicar a técnica no campo da indústria. Diante

dos bons resultados apresentados no uso da TC em materiais da indústria, surge a possibilidade de aplicação dessa técnica na avaliação interna de amostras de concreto. Esta pesquisa tem como objetivo geral realizar um estudo com uma argamassa leve produzida com a incorporação de resíduos industriais de EVA, e reforçadas com fibras curtas de piaçava. O estudo visa determinar a resistência mecânica do material; e avaliar a porosidade de corpos-de-prova através da análise de imagens de microtomografia computadorizada por transmissão de raios X ( $\mu$ CT).

## 2. Materiais e Métodos

Inicialmente foram desenvolvidos corpos-de-prova (CP), com traço de 1:2:0,4, para quatro tipos de misturas assim distribuídas:

- mistura A: água, cimento e areia.
- mistura B: água, cimento, areia e agregado leve de EVA (1%).
- mistura C: água, cimento, areia, agregado leve de EVA (1%) e fibras de piaçava (1%).
- mistura D: água, cimento, areia e fibras de piaçava (1%).

A granulometria dos grãos de EVA utilizados nas misturas B e C variam de 850  $\mu$ m a 1180  $\mu$ m. As fibras curtas de piaçava *in natura* possuem tamanho de 1 cm. Os elementos foram misturados com auxílio de uma argamassadeira e moldados em fôrmas com 4,0 cm de largura e altura, e 16 cm de comprimento, para a produção dos CP prismáticos e em formas com 5,0 cm de diâmetro e 10,0 cm de altura para os CP cilíndricos. A desforma e identificação dos corpos-de-prova foram realizadas 24 horas após a moldagem e imediatamente os CP foram imersos em um tanque com água para iniciar a cura úmida por 28 dias.

Para a determinação da resistência mecânica das argamassas produzidas, utilizou-se uma máquina universal de ensaios, sendo os CP selecionados para os ensaios de compressão ensaiados até a ruptura. Os CP selecionados para os ensaios de tração na flexão foram inicialmente ensaiados até a ruptura e variando a carga em 25%, 50% e 75%.

Após a realização dos ensaios de resistência mecânica à tração na flexão, foram extraídas amostras dos corpos-de-prova utilizados para a aquisição de imagens de  $\mu$ CT. Inicialmente os corpos-de-prova foram cortados transversalmente usando uma serra de mármore industrial, em 16 fatias, cada fatia com comprimento de 1 cm, conforme a figura 1. Como não é possível determinar a região onde se concentram os elementos que são analisados por imagens, já que os grãos de EVA e as fibras curtas são misturados de forma aleatória pela argamassadeira, foi escolhido e padronizado uma fatia entre o centro do corpo de prova (onde a carga é aplicada) e uma das extremidades, sendo escolhida a fatia N° 12 (vide Figura 1).

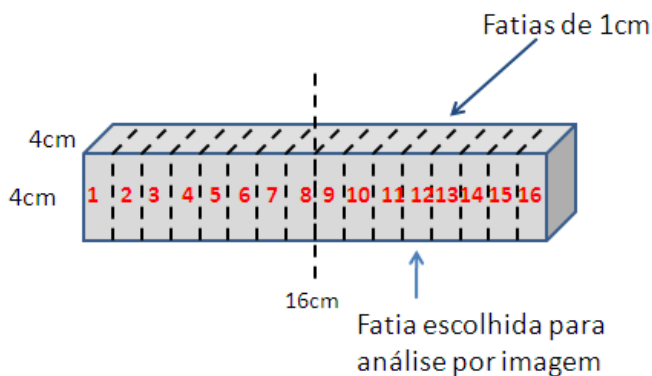


Figura 1. Esquema de corte transversal em fatias de 1 cm para aquisição de imagens de microtomografia.

Devido ao limite dimensional das amostras do microtomógrafo disponibilizado para os experimentos, da fatia Nº 12 foi extraído duas amostras, medindo 1 cm<sup>2</sup> de base e 2 cm de altura. Estas amostras são usadas para obter as imagens microtomográficas da argamassa leve estudada.

O sistema de microtomografia de raios X usado nesta pesquisa foi o Skyscan®, modelo 1174, composto por um tubo de raios x de microfoco com fonte de alta tensão (50 KV e 0.800 mA), um porta amostra com manipulador de precisão e um detector baseado em uma câmara CCD de 1.3Mp (1200x1024 pixel).

Para o processamento das imagens adquiridas através de  $\mu$ CT e cálculo do índice de porosidade, foi utilizado neste trabalho a ferramenta MATLAB versão 2011. As imagens originais de  $\mu$ CT foram binarizada, ou seja, transformadas de tons de cinza para apenas preto e branco. Desta forma foi possível criar uma imagem composta por duas regiões: uma representando a pasta de cimento, água e areia; e a outra representando as fibras, grãos de EVA, poros e microfissuras. A Figura 2 ilustra o processo de binarização realizado.

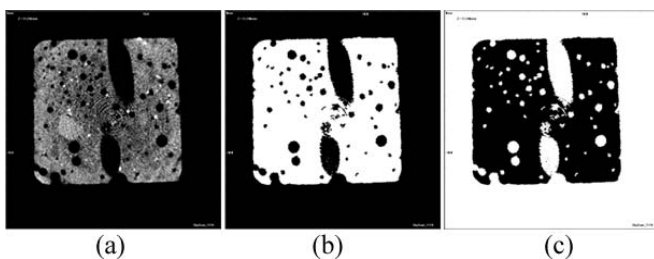


Figura 2. Processo de binarização das imagens. (a) Imagem original (b) Imagem binarizada (c) Imagem invertida.

Uma vez executada a binarização, é possível separar as regiões relativas da imagem através de um processo de segmentação. Os resultados após a segmentação podem incluir dados como a área, perímetro, comprimento, largura, morfologia e percentagens dos elementos encontrados. Após

as etapas citadas nesta seção, às imagens e o cálculo da porosidade estão prontas para serem analisadas.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Ensaio de resistência mecânica

Os valores das tensões médias de resistência à compressão e tração na flexão nas misturas analisadas estão apresentados na figura 3 e figura 4 respectivamente.

Da análise da figura 3 e da figura 4 é possível constatar que o comportamento dos quatro tipos de mistura, na resistência à tração na flexão e na compressão, são semelhantes. A mistura B apenas com EVA apresenta propriedades de resistência inferiores à argamassa pura. As misturas C e D, com fibras, apresentam uma melhora na resistência em relação à mistura B, entretanto suas propriedades são inferiores a argamassa pura.

A comparação entre as misturas C e D não apresenta diferenças significativas, sendo a mistura D, que não contém EVA, ligeiramente superior.

Os resultados dos ensaios de tração na flexão foram coerentes e compatíveis com os ensaios de compressão, ou seja, a fibra diminui o efeito da redução da resistência à tração e compressão pela incorporação do EVA. O uso da fibra de piaçava se mostrou satisfatório para compensar tais perdas, obtendo-se um material mais leve e com parte da resistência recuperada pela adição das fibras.

Os valores de resistência foram também considerados satisfatórios tendo em vista as possíveis aplicações na indústria da construção civil.

Verifica-se pelas curvas experimentais, visualizadas na figura 5, que representam as forças aplicadas em função do deslocamento no centro do corpo-de-prova, que não foi possível verificar mudanças significativas do modo de ruptura e comportamento do material em fase inicial de carregamento, ou seja, na fase elástica, mas verificou-se uma maior capacidade de deformação nas misturas C e D.

Os resultados dos ensaios de tração na flexão foram coerentes e compatíveis com os ensaios de compressão, ou seja, a fibra diminui o efeito da redução da resistência à tração e compressão pela incorporação do EVA. Estes resultados foram compatíveis com outros encontrados em pesquisas financiadas pela FAPESB e vinculadas ao Laboratório de ensaios mecânicos e resistências dos materiais (LEMER) da UESC, apresentados em Lopes (2011) [5] e Araújo (2011) [1].

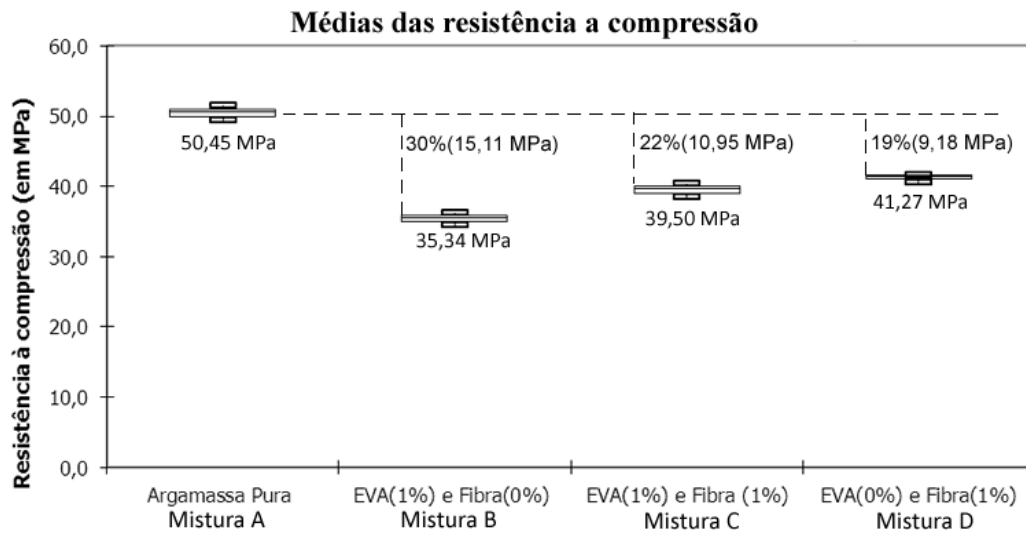


Figura 3. Médias de resistência à compressão.

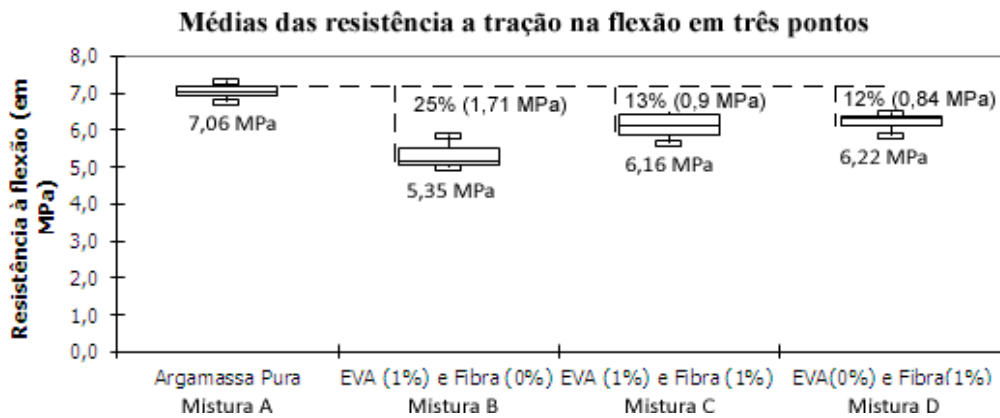


Figura 4. Médias de resistência à tração na flexão em 3 pontos.

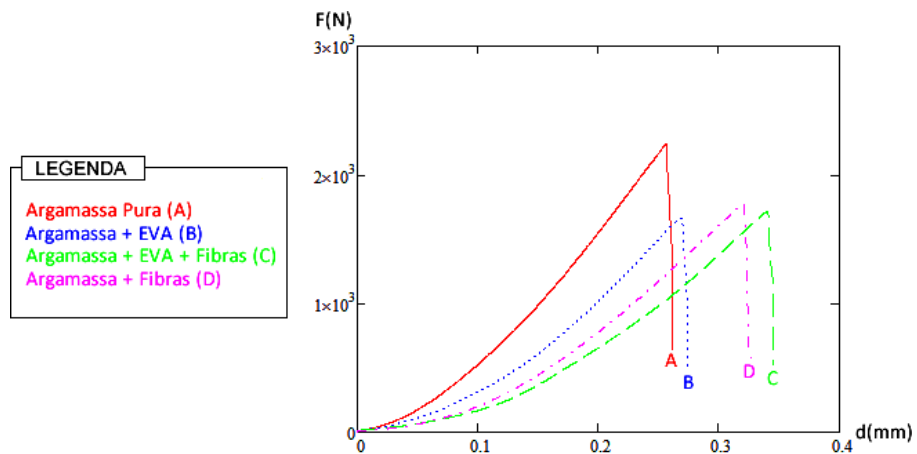


Figura 5. Curvas experimentais de força versus deformação até a ruptura para os quatro tipos de misturas

### 3.2. Porosidade do compósito através de aquisição de imagens de microtomografia

Com a aquisição das imagens de microtomografia, foi possível visualizar a porosidade do material, as fibras de piaçava e os grãos de EVA, pois nestas seções microfotografadas são detectadas diferentes fases de atenuação que dependem da densidade e do número atômico do material que é investigado. Imagens de microtomografia das amostras analisadas são apresentadas nas figuras 6 e 7. Verificamos que a presença das fibras de piaçava e EVA aparecem como vazios (regiões escuras) na imagem. Calculando o percentual destas regiões, poros, fibras ou EVA, para cada tipo de amostra, para todo o conjunto de imagens analisadas, obtêm-se os resultados apresentados na figura 8.

Da análise da figura 8, é possível concluir que, conforme esperado, nas amostras de argamassa pura, a área das regiões de cor branca, ou seja, o índice de vazios é menor do que nos demais tipos de amostras, tendo em vista que a presença de

EVA e fibras de piaçava aumentam o volume de vazios da mistura. As misturas que continham fibras de piaçava obtiveram maiores percentuais de regiões de cor branca, tendo em vista que o volume da fibra é superior ao volume do EVA e dos poros.

Quando as amostras foram ensaiadas até a ruptura (100% de carga) é observado um aumento das regiões de cor branca em todos os tipos de amostras (vide figura 7-b), indicando a presença de outro elemento, além dos poros e agregados, neste caso as microfissuras, resultantes do processo de ensaio de resistência à tração na flexão ao qual o material foi submetido. Também foi verificado um aumento da área de brancos (vide figura 7-b) com o incremento das cargas de danificação.

Todavia, parte esses valores não são sempre superiores aos valores iniciais, que podem ser mais altos em função do processo de retração da argamassa, com microfissuração, ou da técnica empregada para corte das amostras, que pode, pela vibração, induzida, provocar microfissuras nas amostras.

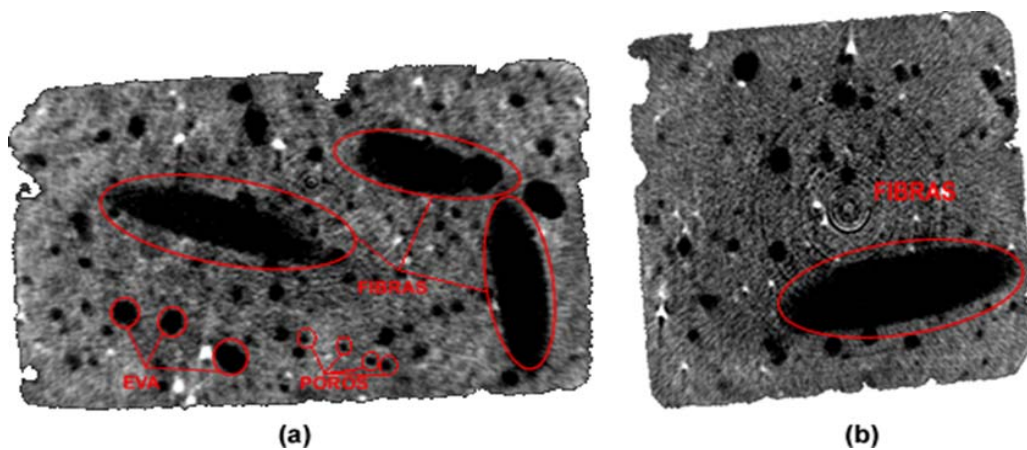


Figura 6. Imagens de microtomografia de amostras de argamassa: Argamassa com EVA e Fibras (a e b).

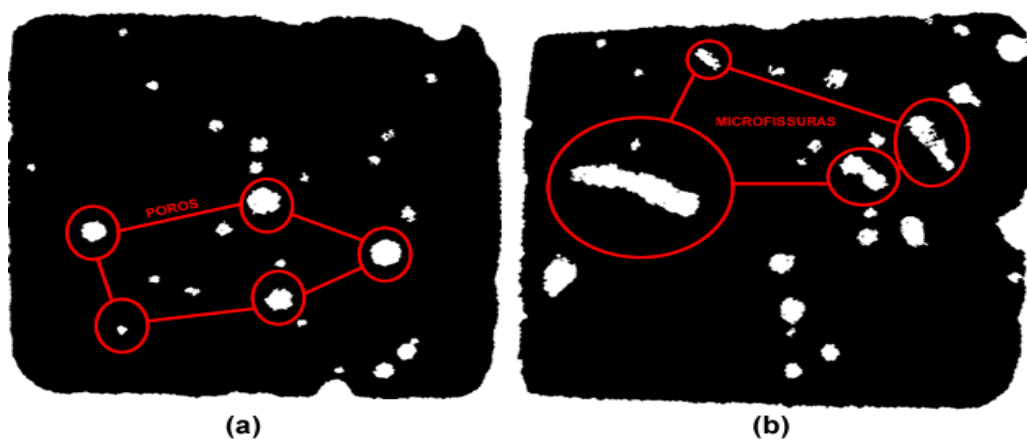


Figura 7. Imagens microtomográficas binarizadas de amostra de argamassa: (a) sem ensaiar (b) ensaiados a tração.

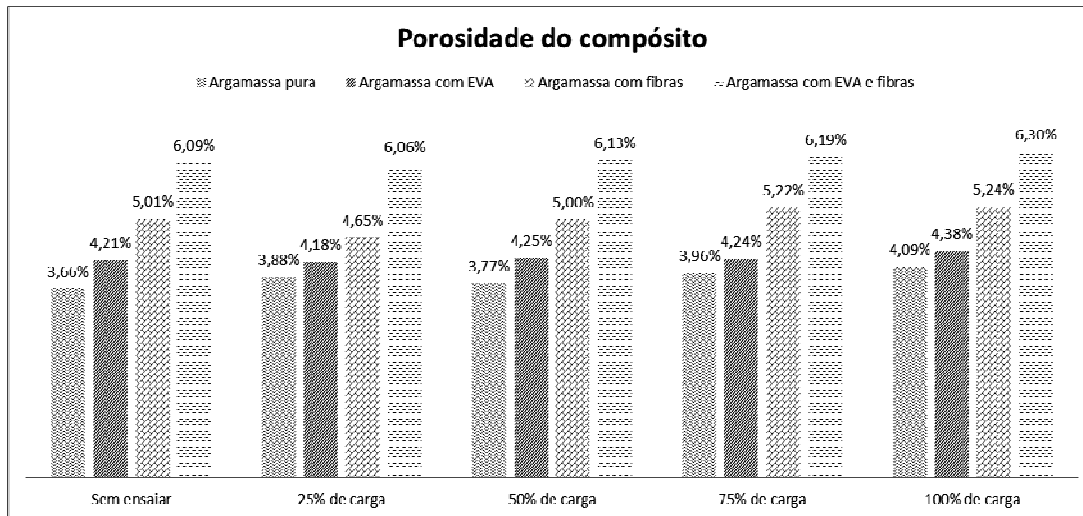


Figura 8. Porosidade do compósito.

#### 4. Conclusões

As matrizes de argamassa leve têm aplicações na produção de blocos de alvenaria e telhas, mas, conforme verificado neste trabalho, é necessário compensar as perdas de resistência mecânicas, quando comparadas as argamassas tradicionais. O uso da fibra de piaçava mostrou-se satisfatório para compensar tais perdas, obtendo-se um material mais leve e com parte da resistência recuperada pela adição das fibras.

O uso de imagens de  $\mu$ CT em argamassas leves produzidas com resíduos de EVA e reforçadas com fibras de piaçava mostrou-se eficiente na análise e avaliação das regiões que

compõem a estrutura interna de corpos-de-prova.

Por meio dessa técnica, é possível observar e quantificar a porosidade da amostra e a distribuição dos agregados, parâmetros difíceis de estudar com outras técnicas de caracterização de materiais. Verificou-se que, devido a sua baixa densidade, o EVA e as fibras de piaçava aparecem nas imagens como regiões de vazios, e calculando os percentuais desta regiões nota-se um aumento das regiões de vazios a medida que estes elementos são adicionados nas misturas.

O aumento das regiões de vazios está relacionado com a redução da resistência mecânica, observado nas misturas onde foram adicionados os grãos de EVA e as fibras de piaçava.

A utilização de técnicas não destrutivas como a microtomografia computadorizada em matrizes cimentícias pode contribuir para o maior esclarecimento da estrutura interna deste material e, conseqüentemente, levar ao desenvolvimento de novas tecnologias de produção, que permitam obter materiais mais eficientes, com maior resistência e durabilidade.

Os desdobramentos futuros desta pesquisa incluem o aprofundamento das análises de imagens micro-tomográficas para identificar os tipos de agregados e o aparecimento de fissuras

#### Referências

- [1] Araújo, G. A. B., Alvim, R. C., Alvim, R. A. A. Uso de resíduos industriais de borracha tipo "EVA" para fabricação de produtos da construção civil. 17º Seminário de Iniciação Científica e 11ª Semana de Pesquisa e Pós-Graduação, UESC, Ilhéus, 2011.
- [2] Santiago, E. Q. R., Utilização de Agregados de EVA e RCD para obtenção de concretos leves. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santa (UEFS), Feira de Santana, 2008
- [3] Lima, P. R. L., Análise Teórica e Experimental de Compósitos Reforçados com Fibras de Sisal. Tese (Doutorado) - COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- [4] Toledo, Filho, R. D. , Kuruvilla, J., Ghavami, K., Leslie, G., The use of sisal fibre as reinforcement in cement based composites. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p.245-25. 1999.
- [5] Lopes, P. S., Alvim, R. C., Alvim, R. A. A., Tratamento de fibras de Piaçava para reforço de compósitos de cimento leve. 17º Seminário de Iniciação Científica e 11ª Semana de Pesquisa e Pós-Graduação, UESC, Ilhéus, 2011.
- [6] Assis, J. T., Einsfeld, R. A., Carvalho, G., Pessôa, J. R. C., Estudo da porosidade em concretos de alto desempenho por técnicas de processamento de imagens. In: X Encontro de Modelagem

- Computacional, 2007, Nova Friburgo. [Anais] do X Encontro de Modelagem Computacional. Nova Friburgo: UERJ. IPRJ, 2007.
- [7] Bourguignon, A. S., Caracterização de Concreto Reforçado com Fibras pela Técnica de Microtomografia Computadorizada por Transmissão de Raios X. Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2011.
- [8] Liu, C., Shi, B., Zhou, J., Tang, C., Quantification and characterization of microporosity by image processing, geometric measurement and statistical methods: Application on SEM images of clay materials. *Applied Clay Science* 54, 2011.
- [9] Marinono, N., Pavese, A., Foi, M., Trombino, L., Characterisation of mortar morphology in thin sections by digital image processing. *Cement and Concrete Research*, 2005.
- [10] Pessôa, J. R. C., Breder, R. L. B., Rodrigues, G. J. O., Lima, I. C. B., Carvalho, G., de Assis, J. T., Análise de Imagens Digitais obtidas através de microtomografia por raios-X para estudo de propriedades do concreto. Artigo... XII Encontro de Modelagem Computacional, UERJ, Nova Friburgo, 2010.