

ANÁLISE ATRAVÉS DE IMAGENS DE RAIOS X DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE EVA EM CIMENTO PORTLAND

M. A. Marques¹; M. L. P. Antunes²; R. M. Montagnoli²; S. D. Mancini²

^{1,2}UNESP/Campus Experimental de Sorocaba

^{1,2}NATEL – Núcleo de Automação e Tecnologias Limpas

¹Departamento de Engenharia de Controle e Automação

²Departamento de Engenharia Ambiental

Av. Três de Março, 511 – CEP: 18087-180. Sorocaba/SP, Brasil.

marciomq@sorocaba.unesp.br

RESUMO

O EVA é um composto utilizado pelas indústrias calçadistas brasileiras. Estas geram 18% de resíduos de recortes de palmilhas não reciclados ou reutilizados que podem ser reaproveitados na incorporação em cimento Portland para utilização na construção civil sem fins estruturais. O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade da análise de imagens de raios X no estudo da incorporação do material para avaliação da distribuição espacial desse resíduo nos corpos de prova. Estes foram fabricados seguindo as normas da ABNT-NBR 5738 utilizando a relação em volume areia:cimento 3:1. A mesma relação foi utilizada na confecção de argamassa com resíduo substituindo parcialmente areia por resíduo na proporção 10% e 30%. Foram obtidas imagens radiográficas dos corpos cilíndricos na projeção frontal e estas demonstram uma distribuição homogênea do resíduo, compatível com o que se deseja neste tipo de incorporação, pois pode proporcionar uniformidade nos testes de resistência à compressão.

Palavras-chaves: raios X, cimento Portland, EVA, incorporação, resíduo.

INTRODUÇÃO

O crescimento do setor industrial associado ao desenvolvimento tecnológico trouxe e continua trazendo grandes benefícios para a sociedade. Porém, a falta de controle nesse processo pode acarretar grandes malefícios ao meio ambiente, como por exemplo, a crescente geração de resíduos e a falta de gerenciamento dos mesmos, o que pode levar a diversos tipos de poluição e esgotamento na capacidade de aterros sanitários. Dentro desse contexto a disposição de resíduos poliméricos constitui-se como um sério problema ambiental, já que esses materiais não se decompõem facilmente (1). De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria de Plásticos (2) mais de oito mil empresas atuam no setor de plásticos no Brasil, sendo que grande parte destas atuam principalmente na produção de resinas termoplásticas, ramo que aumenta cerca de 1% ao ano. O consumo de resinas termoplásticas no Brasil em 2010 foi de 5,9 milhões de toneladas, sendo que o poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)], o EVA, representa cerca 1% deste montante, 59 mil toneladas.

O EVA é um copolímero utilizado principalmente na forma de brinquedos infantis, materiais de academia (tatames) e na indústria calçadista para confecção de placas expandidas que dão origem geralmente a palmilhas, entressolas e solados. Ainda segundo a ABIPLAST, cerca de 58% do EVA consumido no país em 2007 foi destinado à indústria de calçados (3). O setor calçadista brasileiro produz cerca de 700 milhões de pares de calçados por ano, sendo 550 milhões direcionados ao consumo doméstico (4).

Segundo Ildefonso (5) um estudo realizado em 2001 pela Associação Brasileira de Empresas de Componentes para Couros, Calçados e Artefatos (Assintecal) demonstrou que o consumo de pares de calçados no Brasil foi de 2,3 pares por habitante por ano. De acordo com Velho (4) cada par de calçados gera em média cerca de 220 gramas de resíduos. Assim, para cada habitante brasileiro são gerados em torno de 506 gramas de resíduos de calçados por ano, totalizando 96 mil toneladas ao ano, isso se levarmos em consideração o número de habitantes brasileiros divulgado pelo censo demográfico de 2010 (190.755.799 habitantes).

O processo de corte de chapas expandidas de EVA na indústria calçadista gera em torno de 18% em massa de refugos, sendo o total estimado deste tipo de descarte de 5 mil toneladas em 2007 (6). Grande parte desses resíduos ainda não

possui soluções adequadas de reuso ou reciclagem resultando em um grande volume de material descartado que contribui para degradação ambiental. A armazenagem ou disposição a céu aberto causa problemas que vão desde a poluição visual, até a possibilidade de proliferação de insetos vetores de doenças e combustão do material (7).

Diante deste panorama, uma alternativa é o reaproveitamento deste resíduo na incorporação em cimento Portland visando utilizá-lo na construção civil sem fins estruturais. A substituição de areia por EVA moído seria interessante para a obtenção de argamassas e concretos mais leves, uma vez que a massa específica do resíduo de EVA é de cerca de $0,37 \text{ g/cm}^3$ contra $2,7 \text{ g/cm}^3$ da areia fina (8) (9). A leveza do material polimérico em relação aos outros materiais da mistura, como a própria areia e o cimento (de massa específica típica de $3,1 \text{ g/cm}^3$) (10), pode levar à dificuldades de homogeneização do agregado de EVA, o que tende a resultar em comportamentos não uniformes do material em uso.

Assim, o objetivo deste trabalho é o de verificar a viabilidade do emprego da análise de imagens de raios X no estudo da incorporação do EVA para se fazer uma avaliação da distribuição espacial desse resíduo nos corpos de prova e futuramente, em conjunto com outras pesquisas que estão sendo realizadas, verificar a relação desta distribuição com as propriedades mecânicas dos corpos produzidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do Resíduo Quanto a Sua Granulometria

Nesse trabalho foram utilizados resíduos calçadistas provenientes de rebarbas da etapa de corte de chapas expandidas de EVA de coloração preta utilizadas pela Grendene Farroupilha/RS. Para tanto, cerca de 20 kg do resíduo, que possuía tamanho e forma variada (Figura 1a) foi moído (Figura 1b) na empresa TRM Resinas Plásticas, em um moinho de facas TRM 5CR – Pallman.

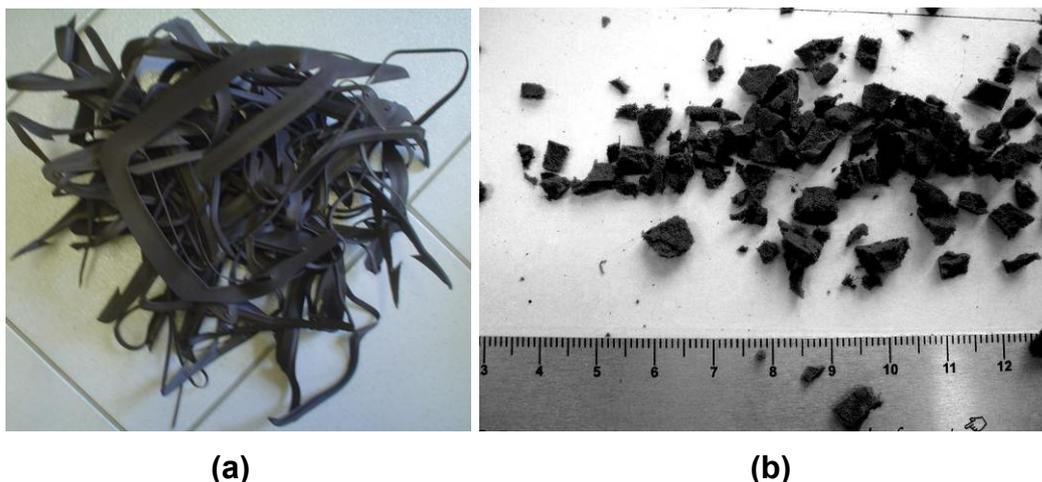


Figura 1: Resíduo de EVA da indústria calçadista proveniente da etapa de corte de chapas expandidas. Em (a) tem-se o resíduo em sua forma de origem e em (b) o resíduo após moagem.

Após a moagem foi feita uma análise granulométrica utilizando cerca de 10% de amostras aleatórias do EVA moído, um agitador mecânico e um conjunto de peneiras de diferentes aberturas: 3,35 mm; 1,7 mm; 1 mm; 0,6 mm e 0,3 mm. Inicialmente, as peneiras foram acopladas em ordem decrescente de diâmetro da parte superior para a inferior. Em seguida, a peneira superior foi preenchida com o EVA moído e o conjunto foi agitado por 3 minutos com frequência máxima. Depois deste procedimento ser repetido para cerca de 2 kg de material moído, a massa de resíduo retida em cada peneira foi aferida em uma balança semianalítica obtendo-se, assim, a classificação granulométrica do material.

Confecção dos Corpos de Prova de Argamassa

Os corpos de prova (CPs) foram produzidos utilizando-se moldes confeccionados em PVC conforme a Norma NBR 5738 (11), sendo utilizado como base o traço 3:1, areia e cimento, em relação ao volume dos componentes. Para tal, a areia fina e o cimento utilizados foram peneirados e permaneceram em estufa por 24 horas a 80 °C para eliminar qualquer umidade.

Foram produzidos dois lotes de argamassa utilizando amostras do EVA moído com granulometria maior que 3,35 mm. A Tabela 1 descreve as proporções em volume de cimento, areia e resíduo utilizadas na confecção desses lotes, onde o EVA substituiu, respectivamente, 10% do volume de areia no primeiro lote e 30% no segundo.

Tabela 1 – Proporção em volume dos CPs confeccionados.

Modelo	Cimento (mL)	Areia (mL)	Resíduo de EVA(mL)
LOTE 1 (10%)	150	405	45
LOTE 2 (30%)	150	315	135

A Figura 2 mostra os moldes de PVC e os corpos de prova sendo produzidos.



Figura 2: Moldes dos corpos de prova de argamassa com 10% e 30% de resíduos de EVA com granulometria maior que 3,35 mm incorporados como substitutos parciais da areia.

Obtenção das Imagens de Raios X

Como os corpos de prova possuem um formato cilíndrico com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro, foram obtidas imagens na projeção frontal utilizando um equipamento de raios X industrial X-ray Philips MG/450 com uma distância foco/filme de 3,5 m e dois conjuntos de parâmetros, como mostra a Tabela 2. Foram utilizados dois conjuntos de parâmetros para que fosse possível obter uma penetração maior dos raios X na parte central dos corpos de prova.

As imagens foram então obtidas utilizando um aparelho de radiografia computadorizada CR 30-X AGFA.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados no aparelho de raios X.

Parâmetros	Conjunto 1	Conjunto 2
Voltagem (kVp)	50	60
Corrente (mA)	2	2
Tempo (s)	10	10

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Granulométrica do Resíduo

A Tabela 3 apresenta a porcentagem em massa encontrada em cada peneira utilizada no processo.

Tabela 3 – Análise granulométrica do resíduo de EVA.

Peneira (mm)	Porcentagem (%)
3,35	82,79
1,7	15,05
1,0	1,56
0,6	0,46
0,3	0,12
< 0,3	0,02

Através da Tabela 3 é possível observar que 82,79% do material possuía mais que 3,35 mm de diâmetro em uma de suas dimensões e outros 15,05% possuíam diâmetro entre 1,7 e 3,35 mm. Esses resultados mostram que a maior parte do material possuía partículas de dimensões relativamente grandes.

Análise das Imagens de Raios X

A Figura 3 mostra a imagem de raios X obtida utilizando-se os parâmetros do Conjunto 2 da Tabela 2 para o corpo de prova com argamassa sem resíduo e que serve como referência. Uma imagem semelhante foi obtida utilizando-se os parâmetros do Conjunto 1 da Tabela 2.

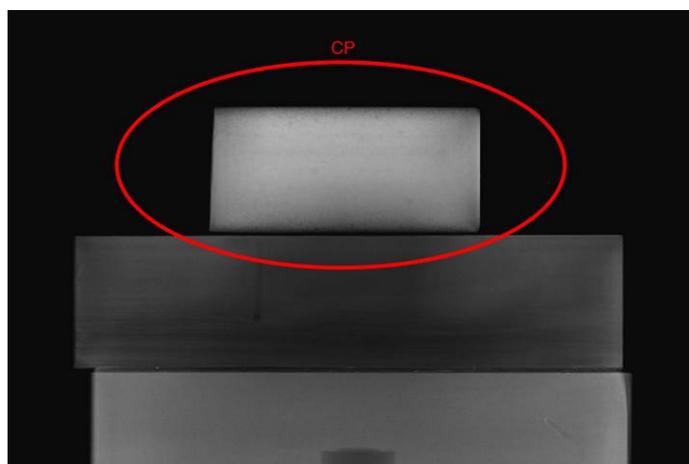
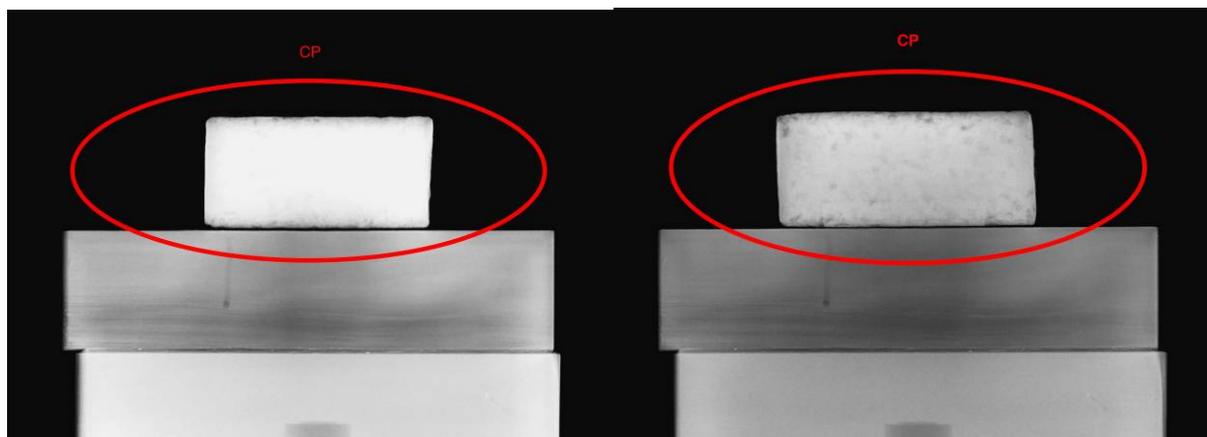
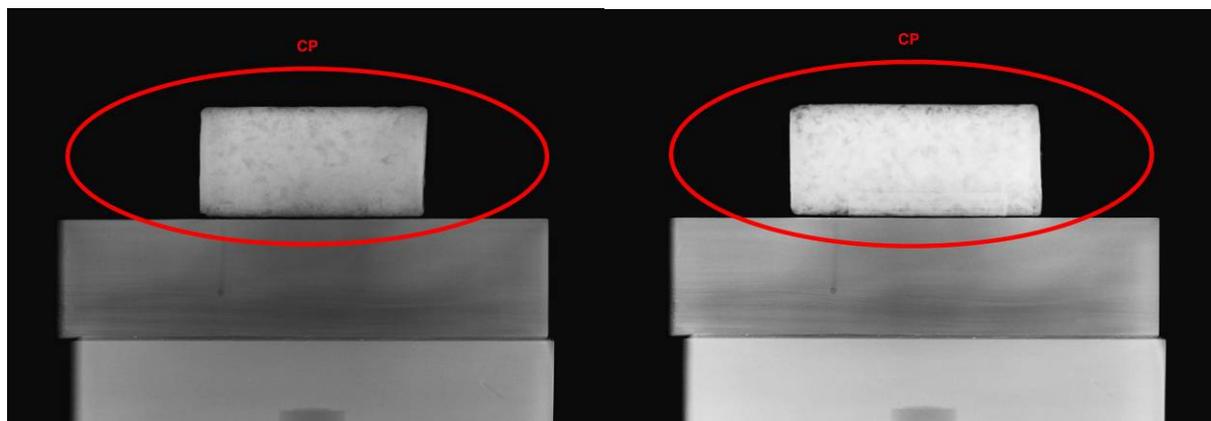


Figura 3: Imagem do CP com argamassa sem resíduo (Conjunto 2).

As imagens de raios X obtidas utilizando-se os parâmetros do Conjunto 1 da Tabela 2 para os corpos de prova com 10% e 30% de resíduo são mostradas, respectivamente, nas Figuras 4a e 5a. Já as Figuras 4b e 5b mostram as imagens de raios X obtidas através da utilização dos parâmetros do Conjunto 2 da Tabela 2 para os corpos de prova com, respectivamente, 10% e 30% de resíduo.



(a) (b)
Figura 4: Imagens dos CPs com 10% de resíduo.



(a) (b)
Figura 5: Imagens dos CPs com 30% de resíduo.

Pode-se verificar nas imagens das Figuras 4b e 5b (projeção frontal) que a distribuição do resíduo EVA nos CPs é homogênea.

Foram realizadas ainda imagens de raios X utilizando-se os parâmetros do Conjunto 1 da Tabela 2 para os três corpos de prova juntos, com 0% de resíduo (corpo da esquerda), com 10% (corpo central) e com 30% de resíduo (corpo da direita) (Figura 6). Já a Figura 7 mostra a imagem de raios X obtida utilizando-se os parâmetros do Conjunto 2 da Tabela 2 para os três corpos de prova juntos.

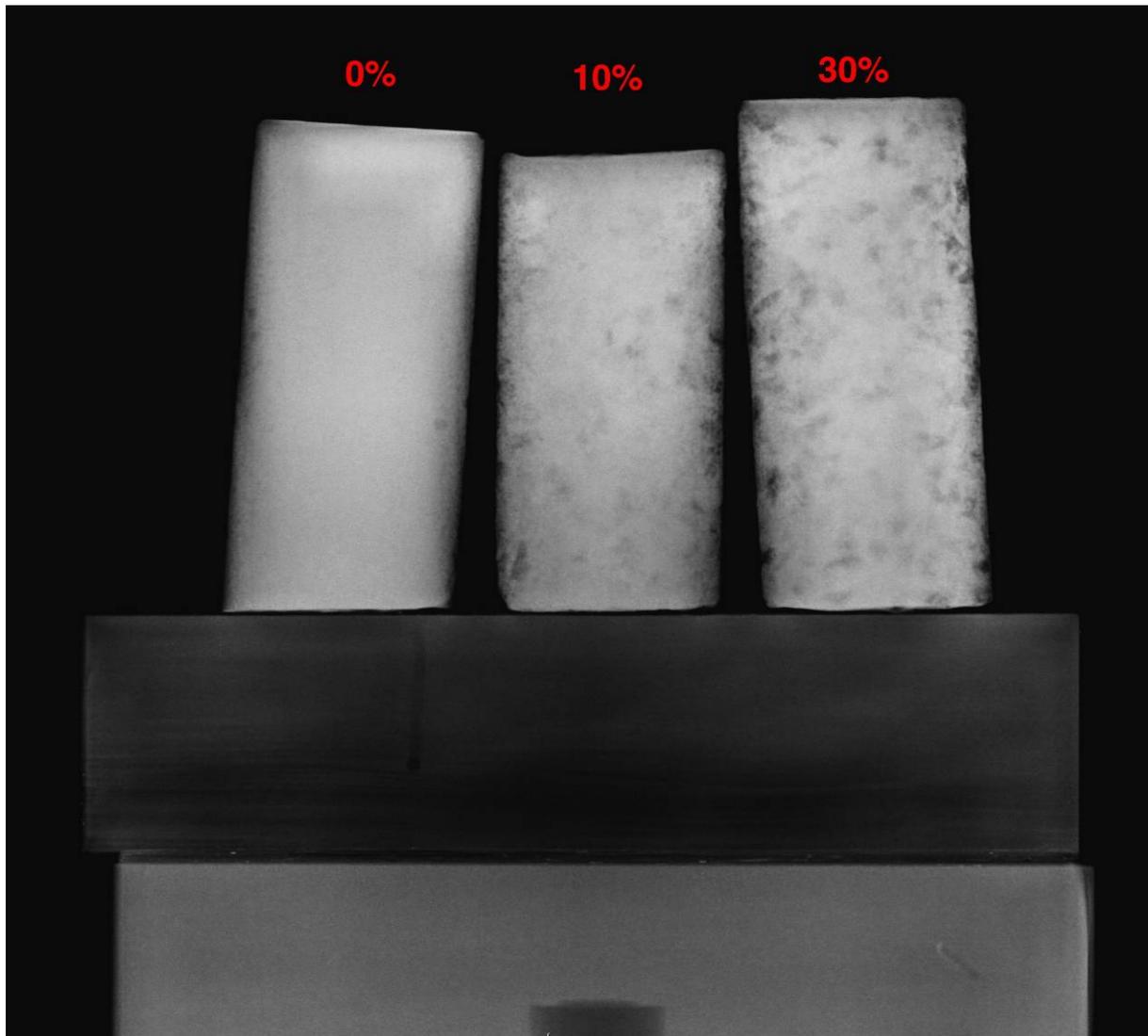


Figura 6: Imagens dos CPs utilizando os parâmetros do Conjunto 1.

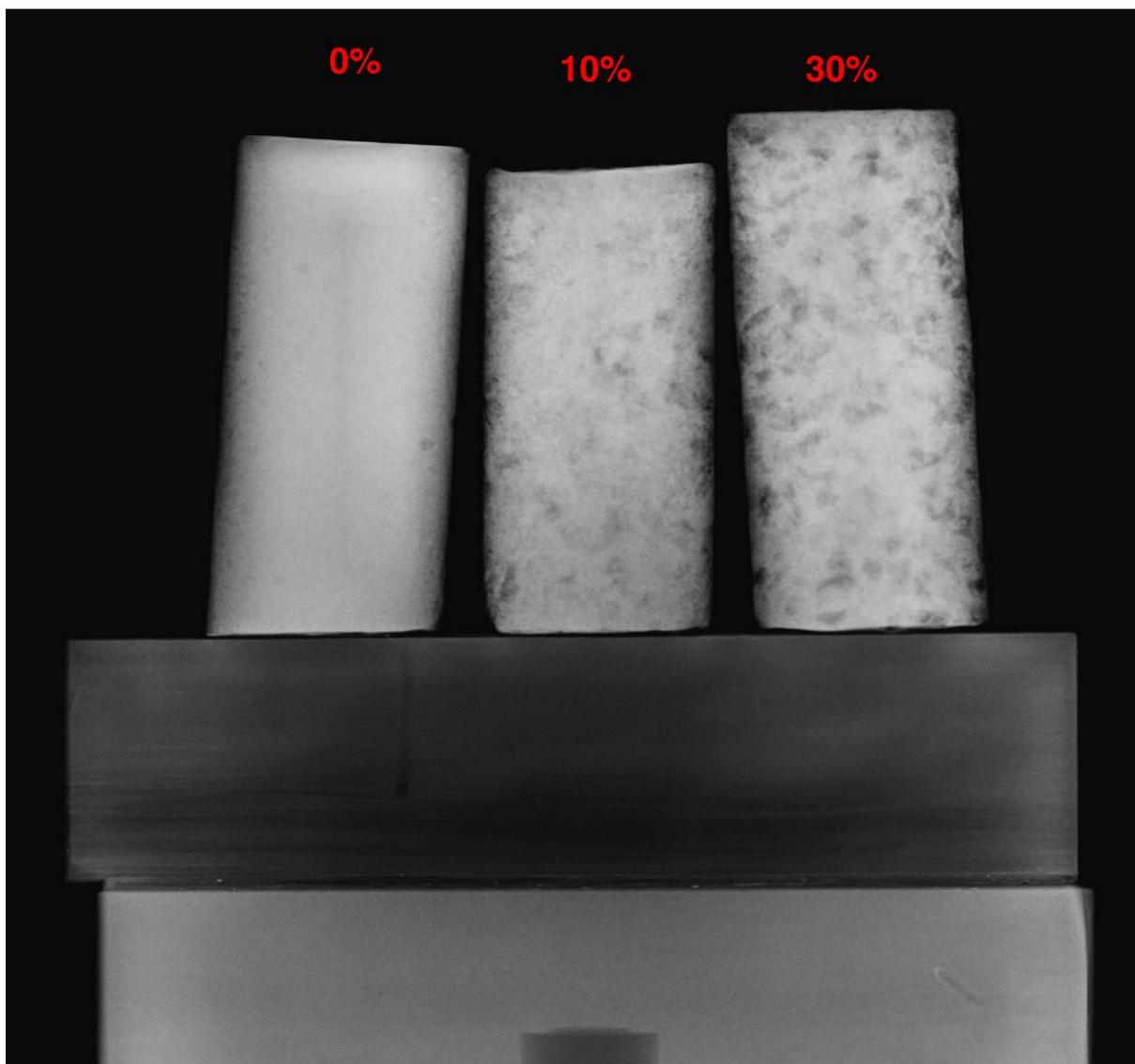


Figura 7: Imagens dos CPs utilizando os parâmetros do Conjunto 2.

Observando as Figuras 6 e 7, pode-se notar com mais nitidez que a distribuição do resíduo nos CPs é homogênea. Analisando a Figura 7 onde foi utilizada uma voltagem maior (Tabela 2), conclui-se que, realmente os resíduos tiveram uma distribuição homogênea nos CPs visto que as imagens com incorporação mostram uma penetração maior dos raios X do que a imagem sem resíduo da Figura 3.

Corpos de Prova de Argamassa

Os CPs obtidos com a incorporação de EVA à argamassa mostraram-se visualmente firmes e bem estruturados em ambas as porcentagens de substituição

(10% e 30%), como podem ser observados na Figura 8, o que poderá proporcionar uniformidade nos resultados de testes de resistência à compressão.



Figura 8: Corpos de prova com resíduos de EVA maiores que 3,35 mm em substituição aos agregados finos em 10% e 30%.

CONCLUSÕES

As imagens da projeção frontal mostram uma distribuição homogênea dos resíduos nos corpos de prova mais evidente naquelas onde foi utilizada uma voltagem maior, o que pode proporcionar uniformidade nos resultados de testes de resistência à compressão que serão realizados futuramente. Também pode ser visto nas imagens, que a forma utilizada para a incorporação do resíduo resulta na sua distribuição uniforme, compatível com o que se deseja neste tipo de incorporação.

Além disso, métodos de processamento digital de imagens poderão ser aplicados nas imagens para auxiliar a visualização e a diferenciação da distribuição do resíduo de EVA incorporado.

Finalmente, conclui-se que a incorporação de resíduo pode levar à produção de corpos de prova mais leves do que os mesmos sem resíduo, indicando que esse material pode gerar concretos mais leves e de interesse na construção civil, além de ser uma boa alternativa para a destinação desse resíduo.

AGRADECIMENTOS

FUNDUNESP e RENGE/PROPe-UNESP.

REFERÊNCIAS

- (1) DEBAPRIYA, D.; SUKUMAR, M.; ADHIKARI, B. **Reclaiming of rubber by a Renewable Resource Material (RRM). II. Comparative Evaluation of Reclaiming Process of NR Vulcanizate by RRM and diallyl disulfide.** Journal of Applied Polymer Science, v.73, p.2951, 1999.
- (2) ABIPLAST- Associação Brasileira da Indústria de Plástico. **O perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico.** 2010. Disponível em: <www.abiplast.org.br>. Acesso em 08/10/2011.
- (3) CASTRO, F. C. **Evento discute a reciclagem do PVC.** Revista Plástico Moderno. Brasil, nº 409, 2008. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/revista/pm409/noticias/noticias01.html>>. Acesso em: 20/4/2009.
- (4) VELHO, S. R. K. **Reciclagem de calçados: atualidades e oportunidades.** Revista Tecnicouro. Brasil, Maio-Junho, p. 50-52, 2007. Disponível em: <http://www.tecnicouro.com.br/226/materias/226_at.pdf>. Acesso em: 29/4/2009.
- (5) ILDEFONSO, J. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do copolímero etileno acetato de vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas (Processo Seco).** 2007. 335p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil: Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP-São Carlos/SP, São Carlos.
- (6) ZATTERA, A. J.; BIANCHI, O; ZENI, M.; FERREIRA, C. A. **Caracterização de resíduos de Copolímeros de Etileno-Acetato de Vinila – EVA.** Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia. Brasil, v.15, n.1, p.73-78, 2005.
- (7) LIMA FILHO, M. R. F. **A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: avaliação de desempenho.** 2008. 146p. Tese (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, UEP/PA, João Pessoa.

(8) PRESTES, S.M.D. *et al.* **Caracterização dos Resíduos de EVA Provenientes da Indústria Calçadista Visando a Reciclagem Química.** In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2010, Campos do Jordão-SP. Anais em CD-ROM. São Paulo-SP: Metallum Eventos Técnicos e Científicos, 2010. p. 7923-7930.

(9) ROSSI, R.C.; *et al.* **Estudo Experimental das Propriedades Físicas e Mecânicas de Agregados para a Construção Civil Produzidos a partir de Lama Vermelha.** In: 50º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador-BA. Anais em CD-ROM. São Paulo-SP: IBRACON, 2008, p. 1-12.

(10) ROSSIGNOLO, J.A. **Avaliação da Porosidade e do Teor de CH de Pastas de Cimento Portland com Sílica Ativa e Látex SBR.** Revista Matéria, Brasil, v. 10, n.3, p. 437-442, 2005.

(11) ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR 5738/1994 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, 1994.

ANALYSIS BY X-RAY IMAGES OF EVA WASTE INCORPORATED IN PORTLAND CEMENT

ABSTRACT

The EVA is a copolymer used by Brazilian shoes industries. This material is cut for the manufacture of insoles. This operation generates about 18% of waste. The EVA waste can be reused in incorporation in Portland cement to construction without structural purposes. The aim of this work is to show X-rays images to assessment the space distribution of the wastes in the cement and to evaluate the use of this methodology. Cylindrical specimens were produced according to ABNT – NBR 5738 standards. The volume relation of sand and cement was 3:1, 10% and 30% of waste was incorporated in cement specimens. X-Rays images were obtained of cylindrical specimens in front projection. The images showed that the distribution of the waste is homogeneous, consistent with what was intended in this type of incorporation, which can provide uniformity in test results of compressive strength.

Key-words: X-rays, Portland cement, EVA, incorporation, waste.