

AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO – ISOPOR DE EMBALAGENS EM CIMENTO PORTLAND ATRAVÉS DE IMAGENS DE RAIOS X

M. A. Marques¹; M. V. de Castro² e M. L. P. Antunes²
^{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 Poliestireno Expandido (EPS) possui uma produção em expansão pelo mundo, porém, a sua reutilização ou reciclagem desperta pouco interesse devido as dificuldades envolvidas com o seu processamento. Entretanto, ele pode ser reaproveitado na incorporação em cimento Portland para confecção de blocos de vedação ou arquitetônicos. Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da avaliação da distribuição espacial da incorporação do EPS na confecção de blocos de concreto, através de imagens de raios X, para verificar a viabilidade do emprego desta técnica. Foram produzidos corpos de prova com resíduo substituindo parte da areia pelo isopor na proporção de 50% e 75%. Testes de resistência à compressão demonstram uma redução dessa propriedade com o aumento da incorporação de isopor. As imagens de raios X desses corpos mostram que a distribuição do resíduo é homogênea, compatível com o que se deseja neste tipo de incorporação, proporcionando uniformidade nos resultados.

Palavras-chave: imagens de raios X, cimento Portland, Poliestireno Expandido, resíduo.

INTRODUÇÃO

O Poliestireno Expandido (EPS) mais conhecido como "Isopor®", marca registrada da Knauf Isopor Ltda. foi descoberto em 1949 e se trata de um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água e expandido posteriormente por pentano. Sabe-se que tal produto não contamina solo, água e ar,

e que o mesmo pode ser reaproveitado ou reciclado, no entanto isso pouco acontece (1, 2).

Com uma produção em expansão pelo mundo inteiro, superando os 2,95 milhões de toneladas anualmente, o EPS como produto é muito importante em diversas áreas, como em embalagens industriais, artigos de consumo, agricultura e até mesmo na construção civil (3).

No Brasil, o EPS participa do mercado de embalagens com cerca de 18 mil toneladas ao ano. Porém, após o uso e descarte das mesmas, o seu destino final, em geral, é o aterro sanitário. Apesar desse material não ser biodegradável ele é reciclável. Entretanto, devido ao seu baixo valor de mercado e o fato de ocupar muito espaço, existem poucas fábricas de reciclagem espalhadas pelo país, fazendo com que o EPS acabe não sendo um resíduo interessante de se tratar na coleta seletiva (4).

Encontrar uma solução economicamente atraente para o EPS é algo extremamente necessário, e uma possível alternativa seria a incorporação do mesmo em processos produtivos, substituindo outra matéria prima de valor econômico maior e gerando assim uma vantagem econômica, tornando-se uma alternativa viável, barata, fácil e atraente, atingindo diversos aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Por outro lado, a construção civil muitas vezes utiliza a incorporação de resíduos em seu processo. Os blocos de vedação destinados ao fechamento de vãos na construção civil ou mesmo, com função decorativa, são constituídos basicamente de cimento Portland, agregados graúdos e miúdos (areia, pó de pedra, brita, dentre outros) e água. Assim, uma alternativa viável é a substituição de uma porcentagem dos agregados por um determinado resíduo. Nesta perspectiva, existe a possibilidade do uso do EPS na confecção de blocos de concreto, o que poderá contribuir para as características térmicas e acústicas do novo material produzido.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da avaliação da distribuição espacial da incorporação do EPS na confecção de blocos de concreto, através de imagens de raios X, para verificar a viabilidade do emprego desta técnica. Além disso, visa verificar a relação desta distribuição com as propriedades mecânicas dos corpos produzidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Resíduo Utilizado

O EPS utilizado neste trabalho é proveniente de embalagens alimentícias pós-consumo. Estas embalagens foram trituradas manualmente, utilizando-se uma tesoura. A Figura 1 mostra as embalagens originais (a) e após a trituração (b).

Foi feita uma análise granulométrica utilizando paquímetro e micrômetro de uma fração da amostra.



Figura 1: (a) Embalagens originais de EPS e (b) após trituração (resíduo).

Confecção dos Corpos de Prova de Cimento Portland

Os corpos de prova (CPs) foram produzidos utilizando-se moldes confeccionados em PVC conforme a Norma NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto (5).

Foram produzidos 3 lotes com diferentes porcentagens de EPS triturado. Cada lote foi constituído de 3 corpos idênticos. No primeiro lote, utilizou-se um traço de 1:1:1,5 areia, cimento e pó de pedra, respectivamente, em relação ao volume. Este lote foi denominado neste trabalho de lote 0%, pois não foi incorporado nenhuma porcentagem de resíduo. Nos demais lotes foram utilizados o mesmo traço, entretanto houve uma substituição de parte da areia pelo EPS na porcentagem de 50% e 75% do volume de areia.

Após 24 horas da confecção dos corpos, eles foram desmoldados e submetidos à cura em água por 28 dias, segundo a norma NBR 5738.

Ensaio de Compressão

Os ensaios foram realizados no laboratório da Supermix Concreto S/A em Sorocaba, utilizando-se uma prensa hidráulica EMIC® (Figura 2).



Figura 2: Prensa hidráulica para ensaio de compressão.

A leitura na prensa hidráulica EMIC® é fornecida em tonelada-força (**tf**) e para o cálculo da pressão foram utilizadas as equações (A) e (B). Através de uma curva de calibração relaciona-se a força aplicada com a compressão exercida (6).

$$P = F / A \quad (A)$$

Onde:

P: Pressão (Kgf/cm²)

F: Força (Kgf)

A: Área do topo do corpo de prova (cm²)

O valor médio usado para a área do topo dos corpos de prova foi 78,54 cm².

Portanto, a resistência característica dos corpos de prova à compressão (**fck**) em Mega Pascal (MPa) pode ser obtida através da equação (B) (7):

$$fck = P / 10,1972 \quad (B)$$

Obtenção das Imagens de Raios X

Como os corpos de prova possuem um formato cilíndrico com 20 cm de altura e 10 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 1. 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 1 – Parâmetros utilizados no aparelho de raios X.

Parâmetros	Conjunto 1	Conjunto 2
Voltagem (kVp)	83	130
Corrente (mA)	2	10
Tempo (s)	10	10

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Granulometria do Resíduo Utilizado

Após a trituração das embalagens de isopor foram medidas as dimensões do material obtido. O resultado médio das dimensões do resíduo corresponde a 0,8 (±0,1)cm x 0,5 (±0,1)cm x 0,25 (±0,05)cm. Estas dimensões são maiores do que a granulometria da areia, porém optou-se por substituir uma fração do agregado miúdo por esse material.

Ensaio de Compressão

A Figura 3 mostra alguns corpos de prova com as suas respectivas porcentagens do resíduo incorporado.

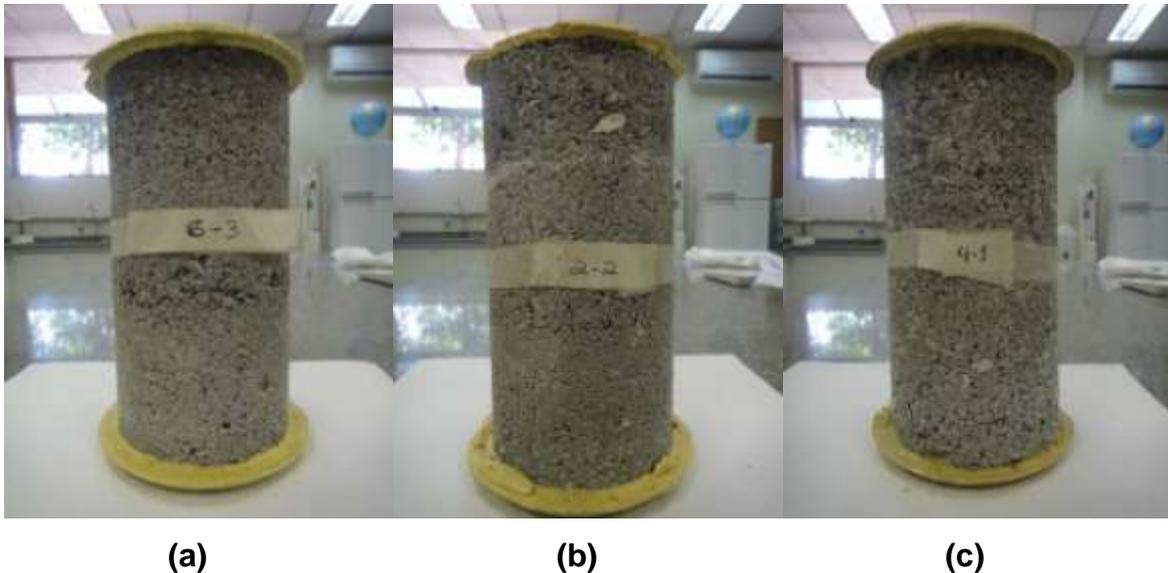


Figura 3: Corpos de prova com, respectivamente, (a) 0%, (b) 50% e (c) 75% de resíduo.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos nos ensaios de compressão.

Tabela 2 - Ensaio de Compressão dos CPs de 10x20 cm

% de Resíduo	<i>t_f</i>	<i>f_{ck}</i> (MPa)	<i>f_{ck}</i> _{Médio} (MPa)
0%	8,59	10,73	9,9 ± 0,9
	5,90	7,37	
	9,51	11,87	
50%	6,29	7,85	7,85 ± 0,09
	6,36	7,94	
	6,21	7,75	
75%	5,51	6,88	6,0 ± 0,8
	4,27	5,33	
	4,73	5,90	

É possível observar que com o aumento da concentração do resíduo, há uma diminuição na resistência a compressão.

Nota-se que para os lotes produzidos com 50% de resíduo em substituição a areia, ocorre uma redução de aproximadamente 20% em relação à compressão que se obtém sem o uso do resíduo. Já para os corpos produzidos com substituição de

75% do volume de areia por resíduo a redução chega a 39%. Estes resultados indicam que a porcentagem de resíduo não deve ser superior a 50% do volume de areia.

Quando se comparam os limites de exigência mecânica determinados pela norma ABNT-11578, que estipula valores superiores a 25 MPa para concreto, notou-se que todos os lotes apresentaram valores com baixa resistência mecânica, até mesmo o lote sem resíduo. Sendo assim, a incorporação de EPS em cimento Portland obtida neste trabalho, indica que a mesma não pode ser utilizada em substituição ao concreto, porém pode-se confeccionar blocos de vedação utilizando este material.

Análise das Imagens de Raios X

As Figuras 4a e 4b mostram as imagens de raios X obtidas utilizando-se, respectivamente, os parâmetros dos Conjuntos 1 e 2 da Tabela 1 para os corpos de prova sem incorporação de resíduo e que servem como referência.

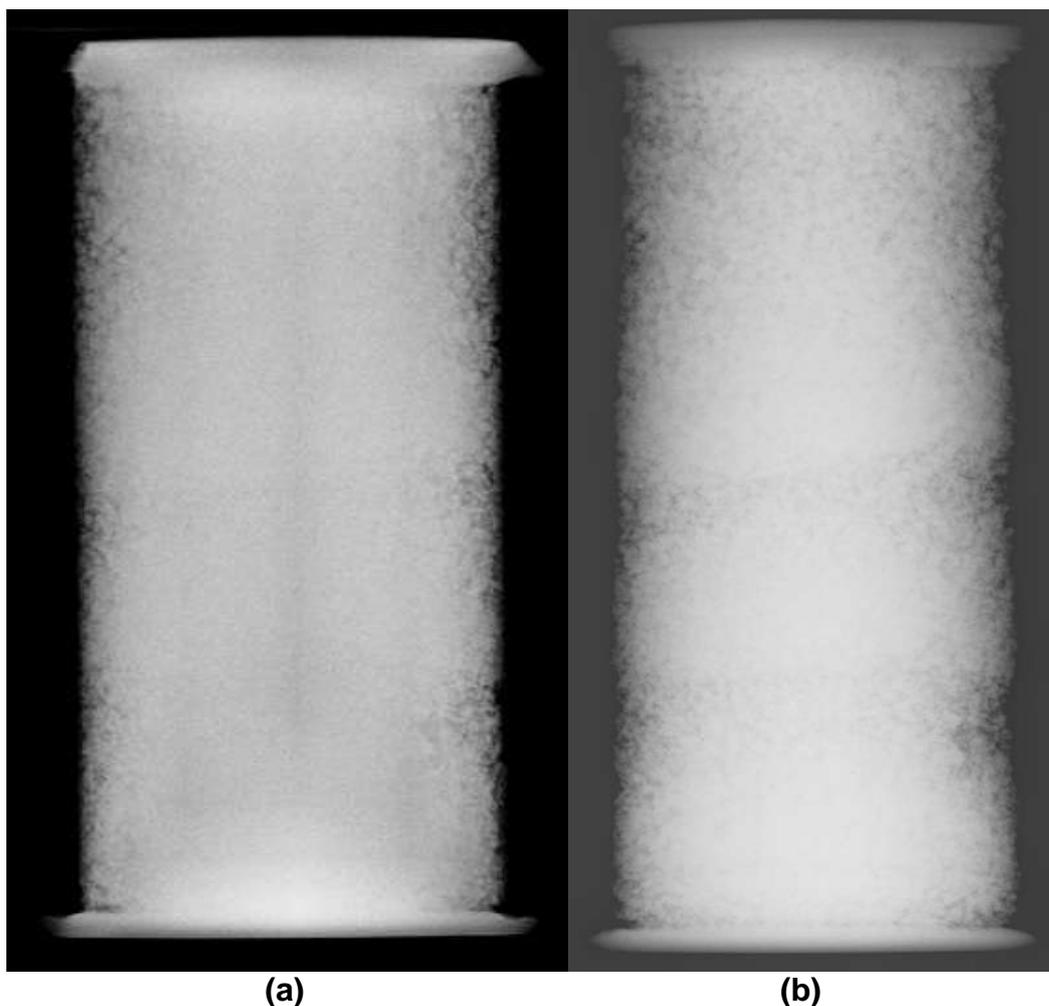


Figura 4: Imagens dos CPs sem incorporação de resíduo.

As imagens de raios X obtidas utilizando-se os parâmetros do Conjunto 1 da Tabela 1 para os corpos de prova com 50% e 75% de resíduo são mostradas, respectivamente, nas Figuras 5a e 6a. Já as Figuras 5b e 6b mostram as imagens de raios X obtidas utilizando-se os parâmetros do Conjunto 2 da Tabela 1 para os corpos de prova com, respectivamente, 50% e 75%.

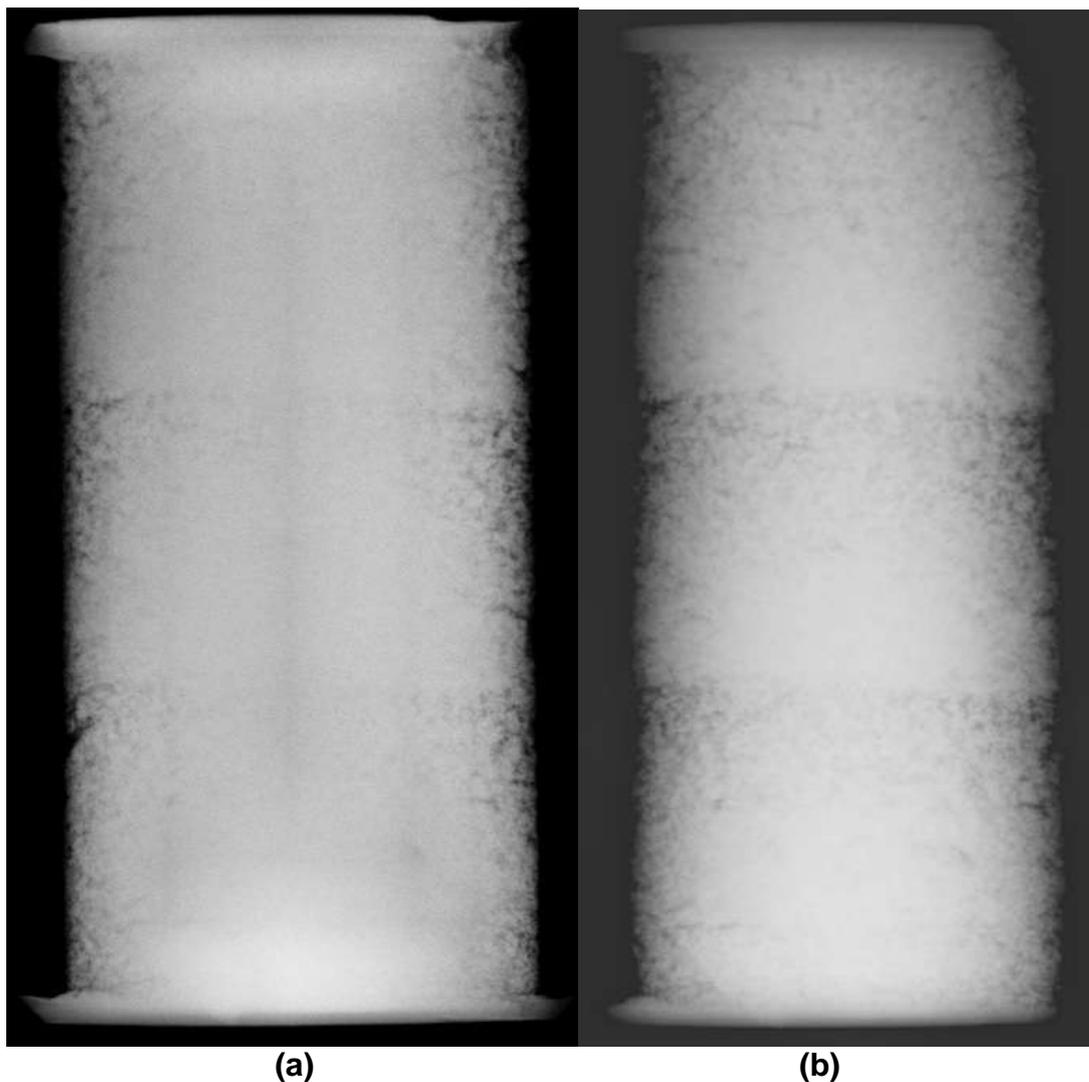
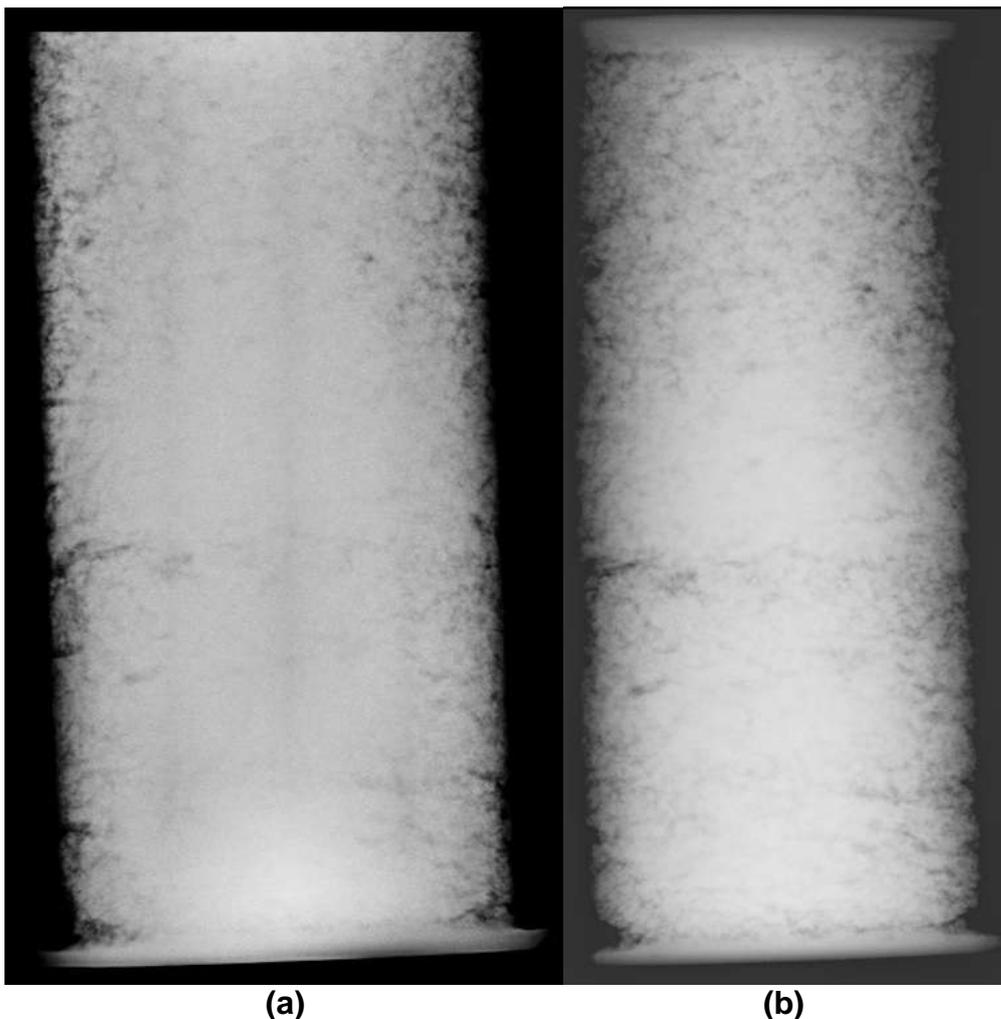


Figura 5: Imagens dos CPs com 50% de resíduo.



(a) **(b)**
Figura 6: Imagens dos CPs com 75% de resíduo.

Pode-se verificar nas imagens das Figuras 4a, 5a e 6a (projeção frontal) que a distribuição do resíduo e pó de pedra nas bordas dos CPs é homogênea, pois houve uma penetração maior dos raios X nessa região. Por outro lado, esta distribuição passa a ser mais visível na parte central dos CPs quando utilizamos a proporção de 75% de resíduo (Figura 6b).

Observando as Figuras 4b, 5b e 6b pode-se notar com mais nitidez que a distribuição do resíduo e pó de pedra nos CPs é homogênea. Além disso, como a voltagem aplicada no tubo de raios X foi bem maior do que a utilizada para obter as imagens anteriores (Figuras 4a, 5a e 6a), pode-se concluir que realmente o resíduo teve uma distribuição homogênea nos CPs, pois, as imagens mostram uma penetração ligeiramente maior dos raios X mesmo na parte central dos corpos, isso quando comparadas com a Figura 4b cujo corpo de prova foi produzido sem resíduo agregado.

CONCLUSÕES

As imagens da projeção frontal mostram que as bordas dos corpos de prova tiveram uma boa penetração dos raios X, inclusive para o corpo de prova sem resíduo. Pode-se observar também, que a parte central dos corpos de prova teve uma ligeira penetração pelos raios X, mesmo para o corpo de prova sem resíduo. Por outro lado, esta penetração foi maior para o corpo de prova com 75% de resíduo e o uso de uma tensão no tubo de raios X de 130 kVp (Figura 6b).

Assim, podemos concluir que a distribuição do resíduo é homogênea, e por isso proporcionou uniformidade nos resultados de testes de resistência à compressão. Também pode ser visto nas imagens, que a forma utilizada para a incorporação do resíduo resulta na sua distribuição uniforme, pois em todas as imagens não houve nenhuma área do corpo de prova “super” penetrada pelos raios X, demonstrando que a distribuição do resíduo é compatível com o que se deseja neste tipo de incorporação.

Pelo fato de ter sido utilizado pó de pedra na confecção dos corpos de prova, novos testes com a utilização de outros parâmetros no aparelho de raios X serão realizados para verificar a possibilidade de identificar e melhorar a visualização dos resíduos nas imagens. Além disso, métodos de processamento de imagens digitais poderão ser aplicados nas imagens para auxiliar a visualização e a diferenciação entre o resíduo incorporado e os outros componentes dos corpos de prova.

Finalmente, podemos concluir que a incorporação de resíduo leva à produção de corpos de prova com menor resistência mecânica do que os mesmos sem resíduo, indicando que esse material não pode ser utilizado como concreto, porém, o mesmo pode ser usado para confecção de blocos de vedação, indicando que esta metodologia de incorporação do resíduo pode ser uma boa alternativa para a destinação do EPS.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.

REFERÊNCIAS

- (1) Associação Brasileira do Poliestireno Expandido - Abrapex. Disponível em <<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>>. Acesso em 25 mar. 2013.
- (2) SILVA, C.A. da; STRECKER, K.; PANZERA, T.H.; OLIVEIRA, L.S. de; LAUAR, D.F. **Caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de isopor, variando o teor de areia**. In: 55º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2011, Porto de Galinhas, PE. Anais em CD-ROM. São Paulo: Metallum Eventos Técnicos e Científicos, 2011, p.1380-1391.
- (3) Associação Brasileira do Poliestireno Expandido - Abrapex. Disponível em <<http://www.abrapex.com.br/04Producao.html>>. Acesso em 25 mar. 2013.
- (4) Associação Brasileira do Poliestireno Expandido - Abrapex. Disponível em <<http://www.abrapex.com.br/32Embala.html>>. Acesso em 25 mar. 2013.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT – *Norma NBR 5738/1994 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*, 1994.
- (6) PINTO, C. A. **Estudo da estabilização por solidificação de resíduos contendo metais pesados**. 2005. 229 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, USP-São Paulo/SP, São Paulo.
- (7) Portal do Concreto. Disponível em <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/fck.html>>. Acesso em 25 mar. 2013.

EVALUATION OF INCORPORATION OF EXPANDED POLYSTYRENE - STYROFOAM PACKING - IN PORTLAND CEMENT BY X-RAY IMAGES

ABSTRACT

The Expanded Polystyrene (EPS) has a production expanding around the world, but its re-use or recycling arouses little interest. However, it can be reused in incorporation in Portland cement blocks for elaboration of sealing or architectural purposes. This work aim to show X-rays images to assessment the spatial distribution of the EPS waste in the cement and to evaluate the use of this methodology. Cylindrical specimens were produced according to ABNT - NBR 5738 standards. The volume ratio of sand, cement and grit was 1:1:1.5, 50% and 75% of waste was incorporated in cement specimens. A reduction in the mechanical strength occurred as the waste additions were increased. X-rays images showed that 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-ray images; Portland cement; Expanded Polystyrene; waste.