



ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE ACETATO DE ETIL-VINILA E POLIURETANO E SUA UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO LEVE EM ARGAMASSAS ÁLCALI-ATIVADAS

Fabiano André Trein, Michel Vinícius Flach, Alexandre Silva de Vargas, Marco Antônio Siqueira Rodrigues*

** Universidade Feevale – fabianotrein@feevale.br*

SÚMULA

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica do processamento de resíduos sólidos têxteis recobertos com poliuretano (PU) com acetato de etil-vinila (EVA), oriundos das empresas coureiro-calçadistas do Vale do Rio dos Sinos e sua utilização como agregados leves em matrizes à base de argamassas álcali-ativadas, visando o desenvolvimento de elementos não estruturais. As técnicas escolhidas para o processamento dos resíduos foram a moagem mecânica e a extrusão. Após o processamento dos resíduos de PU e EVA em 3 diferentes proporções: 30/70, 50/50 e 70/30, os materiais foram novamente cominuídos em um moinho de facas. Argamassas álcali-ativadas de referência foram preparadas com traço, em massa, de 1:2 (cinza volante + metacaulim: areia convencional de construção). As argamassas contendo os resíduos de PU/EVA foram preparadas a partir da substituição parcial da areia natural pelo resíduo em percentagens de 10%, 20%, 30% e 40%, em relação ao volume da areia. Em todas as argamassas os ativadores utilizados foram o NaOH e o Na₂SiO₃. As argamassas foram curadas à temperatura de 80°C/21 h, sendo posteriormente removidas dos moldes e mantidas à temperatura ambiente até a realização dos ensaios de caracterização com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nas idades de 7, 28 e 91 dias complementada com ensaios de Resistência à Compressão. Com base na caracterização por MEV e nos resultados de Resistência à Compressão, conclui-se a viabilidade técnica, sob o aspecto mecânico, da utilização dos resíduos de PU/EVA processados para a produção de componentes não estruturais para a construção civil.

Palavras-chave: Processamento PU/EVA. Agregado leve. Argamassa álcali-ativada.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL FEASIBILITY OF ETHYLENE-VINYL ACETATE AND POLYURETHANE SOLID WASTE PROCESSING AND THE USE IN ALKALI-ACTIVATED MORTARS

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the technical feasibility of polyurethane (PU) coated textile wastes processed with ethylene-vinyl acetate (EVA) from the leather and shoes cluster as lightweight aggregates in fly ash-based and alkali-activated metakaolin mortars, targeting the development of non-structural elements for civil construction. The methods chosen for the waste material processing were the mechanical milling and extrusion. The PU/EVA waste was processed in three different proportions: 30/70, 50/50 and 70/30. Reference mortars were prepared using a 1:2 (fly ash + metakaolin: conventional construction sand) ratio, by mass. The PU/EVA-waste-containing mortars were prepared via partial replacement of natural sand with the waste in percentages of 10%, 20%, 30% and 40%, relative to the volume of the sand. The activators used in all mortars were NaOH and Na₂SiO₃. The mortars were cured at 80 °C for 21 hours and subsequently removed from the molds and maintained at room temperature until characterization

testing using VEM and compressive strength (at ages of 7, 28 and 91 days). Based on the results for VEM analysis and compressive strength, which, from a mechanical standpoint, allows for the production of non-structural elements for civil construction.

Keywords: PU/EVA Processing. Light-weight aggregates. Alkali-activated mortars.

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas ambientais da atualidade é o grande volume de resíduos sólidos gerados pela indústria para suprir a demanda por bens de consumo da população mundial. A cadeia produtiva de calçados não destoa desta realidade, gerando grandes quantidades de material de descarte nas regiões onde o complexo produtivo está instalado. Exemplos são os resíduos de acetato de etil-vinila (EVA) e resíduos têxteis recobertos com poliuretano (PU), encaminhados a centros de armazenamento permanente devido à falta de métodos de reintrodução destes materiais ao processo fabril. [1]

As indústrias de calçados localizadas no Rio Grande do Sul/Brasil geram aproximadamente 4.600 m³ de resíduos de acetato de etil-vinila (EVA) e de laminados sintéticos de poliuretano (PU) por mês. Todo este resíduo é disposto em aterros industriais, gerando altos custos às empresas geradoras.

Como apresentam baixa massa específica (entre 230 e 365 kg/m³), são materiais potenciais para serem utilizados como agregados leves na construção civil [2]. Diversos resíduos com baixa massa específica tem sido objeto de estudo como agregados leves e fibras na preparação de argamassas e concretos, entre eles: EVA [3], [4]; [5]; PET: [6]; [7]; [8] e [9]; espuma de poliuretano: [10]; [11]; [12]; [13] e [14]; canos de PVC: [15]; espuma de PS expandida: [16]; [17]; [18] e [19].

Uma revisão sobre o uso de plástico em argamassas e concretos pode ser obtida no trabalho de Saikia et al. (2012) [20]. Como apresentado, resíduos de EVA e PU foram pesquisados por outros autores. Entretanto, os resíduos de laminados sintéticos de PU apresentam apenas 10% de PU na superfície do material, sendo o restante composto por fibras de poliéster. Este material, pelo fato de ser composto de 90% de fibras de poliéster, apresenta alto índice de absorção e dificulta a sua homogeneização na massa cimentante.

Neste sentido, um beneficiamento deste material é necessário para permitir seu uso em materiais cimentantes.

Os cimentos álcali-ativados, muitas vezes denominados geopolímeros, são cimentos isentos de clínquer, obtidos a partir de materiais aluminossilicatos (cinzas volante, metacaulim, entre outros) submetidos a um ambiente altamente alcalino, através de soluções simples ou combinadas de NaOH, KOH, Na₂SiO₃, para citar os mais comuns. O processo de álcali-ativação tem como vantagens a baixa emissão de gases de efeito estufa (principalmente CO₂ e NO_x) - of greenhouse gases (essentially CO₂ and NO_x) e o baixo consumo de energia, quando comparado ao processo de fabricação do cimento Portland.

2. OBJETIVO

Este estudo tem o objetivo de avaliar a viabilidade técnica do processamento mecânico de resíduos processados de PU/EVA e sua utilização como agregados leves em matrizes à base de materiais cimentícios álcali-ativados visando o desenvolvimento de elementos não estruturais para a construção civil (resistência à compressão mínima de 2,5 MPa).

3. MÉTODOS

A proposta metodológica prevê a caracterização mecânica, ambiental, física e micro-estrutural de argamassas álcali-ativadas com o objetivo de determinar qual será o melhor (ou melhores) teores de substituição da areia convencional pelo agregado processado à base de laminados sintéticos PU e EVA.

Para o preparo das argamassas álcali-ativadas foram utilizadas a cinza volante (CV), gerada em uma usina termelétrica localizada no estado do Rio Grande do Sul (RS), e o metacaulim (MK), de uso comercial.

A composição química destes materiais é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química das cinzas volantes e do metacaulim comercial (% em massa).

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	K ₂ O	SO ₄
Cinza Volante	63,09	24,02	1,15	6,85	0,22	1,77	0,81	1,75	0,34
Metacaulim	54,53	41,46	0,01	2,96	0,06	0,00	0,16	0,82	0,00

Os reagentes utilizados como ativadores alcalinos foram o NaOH (97% pureza) e o Na₂SiO₃ (P.A.). A relação molar Na₂O/SiO₂ para todas as argamassas foi de 0,325.

Embora a norma de cimentos estabeleça para argamassas a utilização do agregado miúdo (areia) em 4 granulometrias distintas: 2,36; 1,18; 0,60 e 0,30 utilizou-se uma 5ª granulometria de 0,15 em função da distribuição granulométrica dos resíduos processados.

3.1 PREPARO DAS AMOSTRAS DOS RESÍDUOS

No processo de fabricação de calçados, na obtenção dos elementos construtivos do calçado como cabedais, forros e palmilhas (Figura 1), geram-se os resíduos de laminados sintéticos de PU e de EVA (Figura 2) que foram coletados em uma indústria calçadista localizada na região do Vale do Rio dos Sinos, no estado do Rio Grande do Sul (RS).

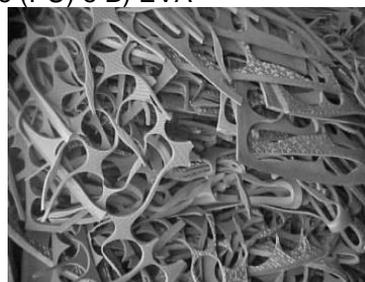
Figura 1: Cabedal esportivo.



Figura 2: A) Resíduo de poliuretano (PU) e B) EVA



A



B

Após a coleta, os resíduos foram cominuídos separadamente em um moinho de facas (do tipo Seibt, Modelo MG HS 1.5/85 50kg/h 1125rpm série A2/11) equipado com peneira de malha 6 mm com a finalidade de homogeneizar a sua granulometria.

Para o processamento destes resíduos foram preparadas 3 diferentes proporções entre PU/EVA: 30/70, 50/50 e 70/30, conforme Tabela 2. Adicionou-se EVA virgem, látex e óleo vegetal saturado para auxiliar e atuar como promotor de fluxo no processo de extrusão.

Tabela 2: Composição entre os resíduos de PU/ EVA (em massa)

Amostra	Denominação da amostra	Quantidade de resíduos de PU (Kg)	Quantidade de resíduos de EVA (Kg)	Quantidade de EVA virgem (Kg)	Quantidade de látex (Kg)	Quantidade de óleo vegetal saturado (Kg)
1	30/70 (PU/EVA)	30	60	10	2	1
2	50/50 (PU/EVA)	50	40	10	2	1
3	70/30 (PU/EVA)	70	20	10	2	1

Após a cominuição em moinho de facas, os resíduos passam por uma extrusão e nova cominuição.

As amostras 1, 2 e 3 foram processadas em escala piloto com uma quantidade de EVA virgem e óleo vegetal saturado através de uma extrusora monorosca, modelo Seibt ES25 A56/11 de 4cv, com capacidade de 5kg/h, com cabeçote de saída em forma retangular e calandra acoplada na saída. A extrusora é equipada com uma rosca de perfil simples com velocidade de rotação de 50 rpm e contêm quatro estágios de aquecimento localizados no início, meio e final da rosca e no cabeçote de saída da extrusora com temperaturas de operação de 145°C com variação de +/- 3°C nos quatro estágios.

O produto resultante deste processo de extrusão foi novamente moído no moinho de facas, de modo a facilitar sua incorporação nos corpos de prova (cp's).

O produto resultante é ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Resíduo de PU/ EVA após os processos de extrusão e cominuição.



Na Tabela 3 é apresentada a caracterização granulométrica das amostras 1, 2 e 3 após o processo de cominuição.

De acordo com a Tabela 3, pode-se verificar que os módulos de finura (MF) das amostras 1, 2 e 3 foram de 3,40, 3,59 e 3,73, respectivamente, e que o tamanho máximo de agregado das três amostras foram de 2,36 mm. Observa-se que o MF aumentou com o incremento do conteúdo de poliuretano (PU) na mistura produzido devido ao fato deste apresentar uma característica expansiva maior, em relação ao resíduo de EVA. Conclui-se ainda que os três agregados são considerados agregados miúdo-grosso segundo a norma NBR 9935:2011.

Tabela 3: Distribuição granulométrica das amostras 1, 2 e 3

Malha (mm)	Retido (%)			Retido acumulado (%)		
	Amostra 1 30/70	Amostra 2 50/50	Amostra 3 70/30	Amostra 1 30/70	Amostra 2 50/50	Amostra 3 70/30
2,360	60,08	66,50	77,86	60,08	66,50	77,86
1,180	27,17	28,80	19,59	87,25	95,30	97,45
0,600	7,52	2,55	1,22	94,78	97,85	98,67
0,300	3,45	1,23	0,61	98,22	99,08	99,29
0,150	1,78	0,92	0,71	100,00	100,00	100,00
Total	100,00	100,00	100,00			
Módulo de Finura				3,40	3,59	3,73

3.2 PREPARO DAS ARGAMASSAS ÁLCALI-ATIVADAS

Foi preparada uma argamassa álcali-ativadas referência (branco) com traço em massa de 1:2 (cinza volante (CV) + metacaulim (MK): areia) e relação molar $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ (N/S) de 0,325. Para este cálculo foram considerados os óxidos de sódio presentes nas soluções alcalinas (NaOH e Na_2SiO_3) e os óxidos de silício presentes nas matérias-primas (CV e MK) e no Na_2SiO_3 . É importante salientar que tanto a combinação entre CV e MK como a relação molar N/S adotados neste trabalho foram determinadas em estudos preliminares utilizando pastas álcali-ativadas, conforme será descrito a seguir.

Inicialmente, para o preparo das pastas foi adotado um intervalo para a relação molar N/S de 0,30 a 0,45 (PACHECO-TORGAL, 2013). As amostras foram curadas a $80^\circ\text{C}/21\text{h}$, sendo desenformadas e testadas após 24hs a temperatura ambiente. A relação molar que originou as maiores resistências mecânicas de compressão foram as de 0,325 e 0,30 com resistência mecânica de compressão de 9,68 MPa e 7,10 MPa, respectivamente. As amostras com relação molar acima de 0,35 originaram corpos de prova com menores resistências mecânicas de compressão.



O agregado natural (areia) foi adicionado seguindo a mesma distribuição granulométrica do resíduo utilizado, nas 5 dimensões: 0,15mm, 0,3mm, 0,6mm, 1,2mm e 2,4 mm.

Outras doze argamassas foram preparadas havendo a substituição de areia pelos resíduos de PU/EVA em teores de 10%, 20%, 30% e 40%, em relação ao volume de areia, conforme Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Mapa de ensaios realizados.

Número de Corpos de Prova (cp's)			
Idade de cura	PU/ EVA (30/70)	PU/ EVA (50/50)	PU/ EVA (70/30)
7 dias	4cp's	4cp's	4cp's
28 dias	4cp's	4cp's	4cp's
91 dias	4cp's	4cp's	4cp's
180 dias	4cp's	4cp's	4cp's

Tabela 5: Formulação das argamassas álcali-ativadas.

Metacaulim (em massa)	Cinza volante (em massa)	Areia (em massa)	Relação PU/EVA	% de substituição da areia por PU/EVA (em volume)	N/S*	Água/cv+mk**
0,7	0,3	2	30/70	0	0,325	0,64
		1,8		10		0,62
		1,6		20		0,77
		1,4		30		0,77
		1,2	40	0,96		
		1,8	50/50	10		0,72
		1,6		20		0,82
		1,4		30		0,83
		1,2		40		0,90
		1,8	70/30	10		0,74
		1,6		20		0,78
		1,4		30		0,82
1,2	40	0,92				

* N/S relação molar $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$

** relação água/CV+MK para que o índice de consistência da argamassa, determinada na *flowtable*, fosse de $16 \pm 2,0$ cm. Este índice foi definido neste trabalho como o ideal para o lançamento das argamassas em moldes cilíndricos de \varnothing 5 cm e altura de 10 cm sem a presença de exudação de água.

Após a determinação do índice de consistência, as argamassas foram lançadas em moldes cilíndricos de 5cm de diâmetro e 10 cm de altura, de acordo com a Norma NBR 7215:1996.

As argamassas foram curadas à temperatura de 80°C/21 h. Após este período, as amostras foram desenformadas e mantidas à temperatura ambiente até as idades de: 7, 28 e 91 dias.

Após desmoldagem, se realizaram os seguintes ensaios:

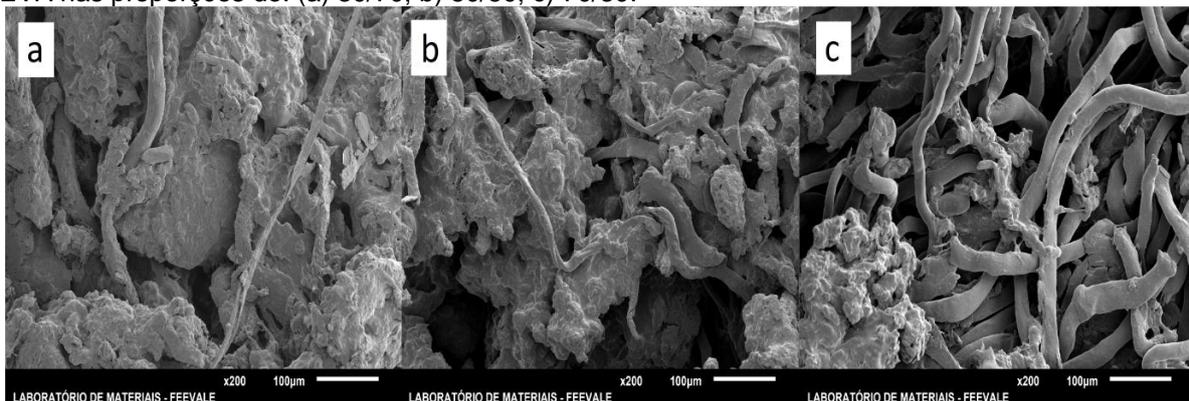
- Resistência à compressão conforme norma NBR 7215: 1996: nas idades de 7, 28 e 91 dias (foram ensaiados 3cp's por idade);
- Microscopia Eletrônica de Varredura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O processamento de resíduos de EVA e de laminado sintético de PU demonstra-se viável para as três diferentes formulações realizadas. Pode ser visto na Figura 4(a) um excesso de material em formato de “algodão”, caracterizado como resíduos de EVA, enquanto que há pequena quantidade de filamentos caracterizados como sendo do resíduo de PU, que estão totalmente ancorados na matriz de EVA. Na Figura 4(b) nota-se uma maior equidade entre os filamentos (PU) e a matriz de EVA. Já na Figura 4(c) há um excesso de filamentos, oriundos da grande presença de resíduo de PU na amostra que estão ancorados na matriz de EVA, mesmo esta em menor quantidade. Esta mistura de material filamentososo com material de matriz gera um material estável mesmo com elevadas quantidades de PU.

Figura 4: Microscopia eletrônica de varredura com elétrons secundários dos resíduos processados de PU/EVA nas proporções de: (a) 30/70; b) 50/50; c) 70/30.



4.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na figura 5 são apresentados o comportamento da resistência à compressão média, ao longo do tempo, para diferentes teores de substituição da areia pelos resíduos de PU/EVA para a amostra 1 (30/70).

Figura 5: Resistência à Compressão Média das Argamassas contendo resíduos de PU/EVA 30/70 nas idades de 7, 28 e 91 dias [MPa]

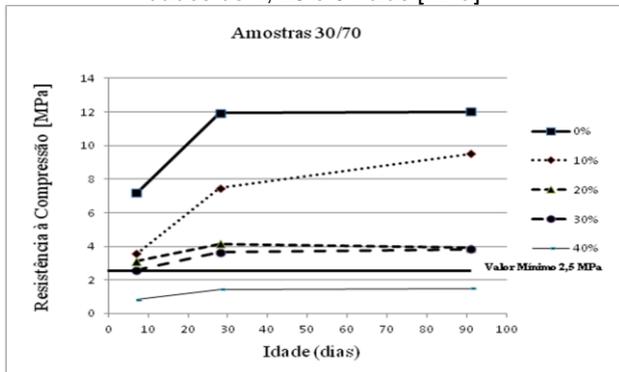
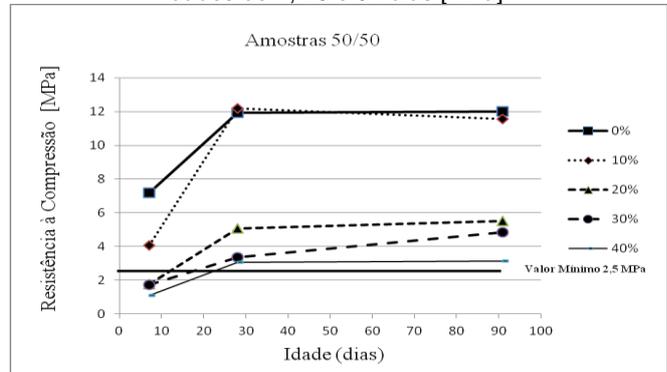


Figura 6: Resistência à Compressão Média das Argamassas contendo resíduos de PU/EVA 50/50 nas idades de 7, 28 e 91 dias [MPa]



Conforme visualizado na figura 5, a resistência mínima de 2,5 MPa somente não foi atingida pelas amostras contendo 40% de PU/EVA, independente da idade. Ou seja, para amostras 30/70 o teor máximo ideal para substituição da areia pelo PU/EVA é de 30 %.

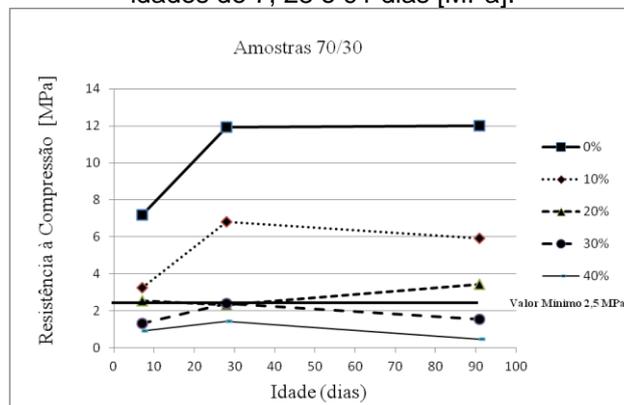
Na figura 6 são apresentados o comportamento da resistência à compressão média, ao longo do tempo, para diferentes teores de substituição da areia pelos resíduos de PU/EVA para a amostra 2 (50/50).

Na figura 6 observa-se na idade de 7 dias que apenas as amostras contendo 10% de PU/EVA atingiram resistência superior a 2,5 MPa. Esta resistência é superada para as amostras contendo 20, 30 e 40% a partir da idade de 28 dias. É interessante notar que para as amostras 50/50 PU/EVA o teor de 40% atingiu a resistência aos 28 dias, diferente das amostras 30/70 que não atingiram esta resistência em nenhuma das idades analisadas. Neste caso, amostras preparadas com 50/50 poderiam ter a substituição de 40% da areia pelo resíduo de PU/EVA para o preparo de elementos não estruturais da construção civil, o que seria muito interessante sob o aspecto sustentável da cadeia produtiva deste setor.

Na figura 7 são apresentados o comportamento da resistência à compressão média, ao longo do tempo, para diferentes teores de substituição da areia pelos resíduos de PU/EVA para a amostra 3 (70/30).

Na figura 7 constata-se que na idade de 7 dias somente amostras contendo 10% do resíduo atingiram resistências acima de 2,5 MPa. As amostras com 20% atingem a resistência de 3,4 MPa somente na idade de 91 dias.

Figura 7: Resistência à Compressão Média das Argamassas contendo resíduos de PU/EVA 70/30 nas idades de 7, 28 e 91 dias [MPa].





Observando as figuras 5, 6 e 7 observa-se que houve decréscimo da resistência à compressão na medida em que houve o aumento do teor de substituição da areia pelo resíduo de PU/EVA. Portanto, concentrações mais elevadas do resíduo contribuíram para diminuir a resistência final à compressão das amostras ativadas.

Conforme outras pesquisas, o poliuretano em pó ou em partículas é muito utilizado na construção civil. Por serem excelentes absorvedores de líquidos, geralmente óleos, sua utilização em larga escala na construção civil é explicada propiciando uma considerável redução de peso, isolamento térmico e acústico e de fácil aplicação pela plasticidade da massa cimentícia. A utilização de compostos poliuretânicos em elementos da construção civil trás inúmeras vantagens adicionais indiretas, [10][11] tais como:

- Reduzir um resíduo que se encontra na natureza causando problemas de saúde e degradação ambiental;
- Otimizar a vida útil dos aterros sanitários, já que a degradação dos resíduos de poliuretanos podem durar até 240 anos;
- Reduzir o consumo das fontes naturais de agregados normalmente empregados em artefatos de cimento;
- Reduzir a emissão atmosférica de alguns poluentes;
- Reduzir os riscos à saúde pública;
- Reduzir a sobrecarga em edificações, pelo fato do poliuretano e do EVA possuírem uma densidade baixa.

Aliado a esse fato, os cimentos de baixo impacto ambiental [4] [5] [6] [7] [12] [13], obtidos pela álcali-ativação de cinzas volantes, oriundas da queima de carvão mineral para a geração de energia elétrica tem a propriedade de incorporar outros agregados, em substituição aos tradicionais, como a areia. Tem-se, portanto a fusão destes dois conceitos apresentados.

Portanto, ao comparar os tipos de relações entre PU e EVA utilizadas, observa-se que o desempenho das amostras que utilizaram uma dosagem 50/50 (Fig. 4) apresentaram desempenhos superiores às suas amostras similares com outros resíduos (Fig. 3 e Fig. 5).

Neste sentido, com base na resistência à compressão o teor ideal entre PU/EVA seria o de 50%, pois com este percentual podem ser produzidos componente não estruturais para a construção civil (resistência mínima de 2,5 MPa) com substituições de 40% de areia pelo resíduo, considerando que esta resistência pode ser alcançada já na idade de 28 dias, trazendo uma ótima combinação como alternativa ambiental de substituição de agregados tradicionais, como a areia [14, 15, 16, 17, 18].

5. CONCLUSÃO

Existe uma grande procura por métodos de reintrodução de resíduos caracterizados como inservíveis no processo produtivo em agregados leves na construção civil.

Neste sentido, a reutilização de resíduos de EVA e laminados sintéticos de PU se apresentam como uma forma de amenizar o impacto ambiental gerado pela destinação final destes resíduos poliméricos, contribuindo para a redução da demanda por matéria-prima virgem com a substituição por material descartado de fonte não renovável, e diminuindo o custo das empresas para destinação final e manejo dos resíduos.

Os resultados de resistência à compressão mostraram a viabilidade técnica do uso parcial de resíduos de PU/EVA processados como agregados leves para a produção de elementos não estruturais para a construção civil.

Neste trabalho a proporção ideal da mistura de processamento de PU/EVA foi de 50/50, pois nesta proporção foi possível substituir 40% de areia de construção pelo resíduo de PU/EVA, para resistência à compressão superior a 2,5 MPa a partir da idade de 28 dias.



De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir a viabilidade técnica e funcional da técnica de processamento e reutilização dos resíduos de PU e EVA em produtos da construção civil através da reciclagem mecânica, em especial, a moagem e a extrusão, como alternativa ambiental para a obtenção de agregados leves para a construção civil.

REFERÊNCIAS

- [1] GONÇALVES, J.P.; TAVARES, L.M., TOLEDO FILHO, R.D; FAIRBAIRN, E.M.R., CUNHA, E.R. Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. *Cement and Concrete Research*, V.37, 2007; 924–932.
- [2] JALALI, S.; PACHECO-TORGAL, F.; DING, Y. Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): an overview. *Construction and Building Materials*, V.30, 2012; 714 – 724.
- [3] MANSUR, A.A.P., NASCIMENTO, O.L.; MANRIR, H.S. Physico-chemical characterization of EVA-modified Mortar and porcelain tiles interfaces Original Research Article *Cement and Concrete Research*, Volume 39, Issue 12, December 2009, Pages 1199-1208.
- [4] MESSAN, A; LENNY, P.; NECTOUX, D. Free and restrained early-age shrinkage of mortar: Influence of glass fiber, cellulose ether and EVA (ethylene-vinyl acetate) Original Research Article *Cement and Concrete Composites*, Volume 33, Issue 3, March 2011, Pages 402-410.
- [5] SILVA, D.A., ROMAN, H.R., GLEIZE, P.J.P. Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement Original Research Article *Cement and Concrete Research*, Volume 32, Issue 9, September 2002, Pages 1383-1390.
- [6] AKCAOZOGLU, S., ATIS, C.D., AKCAOZOGLU, K. An investigation on the use of shredded pet waste bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 2010; 32:285–90.
- [7] CHOI, Y.W., MOON, D.J., CHUNG, J.S., CHO, S.K. Effects of pet waste bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 2005; 35:776–81.
- [8] HANNAWI, K.; KAMALI-BERNARD, S.; PRINCE, W. Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste Management*, 2010; 30:2312–20.
- [9] SAFI, B.; SAIDI, M.; ABOUTALEB, D.; MAALEM, M. The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties. *Construction and Building Materials*. V.43, 2013; 436–442.
- [10] FRAJ, A.B.; KISMI, M.; MOUNANGA, P. Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, V. 24, 2010; 1069–77.
- [11] MOUNANGA, P.; GBONGBON, W.; POUILLAIN, P.; TURCRY, P. Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. *Cement and Concrete Composites*, V. 30, 2008; 806–14.
- [12] JUNCO, C.; GADEA, J.; RODRIGUEZ, A.; GUTIÉRREZ-GONZÁLES, S.; CALDERÓN, V. Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam Original Research Article *Cement and Concrete Composites*, Volume 34, Issue 10, November 2012, Pages 1174-1179.
- [13] GADEA, J.; RODRÍGUEZ, A.; CAMPOS, P.L.; GARABITO, J.; CALDERÓN, V. Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam Original Research Article. *Cement and Concrete Composites*, Volume 32, Issue 9, October 2010, Pages 672-677.
- [14] MOUNANGA, P.; GBONGBON, W.; POUILLAIN, P.; TURCRY, P. Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. Original Research Article. *Cement and Concrete Composites*, Volume 30, Issue 9, October 2008, Pages 806-814.
- [15] KOU, S.C.; LEE, G.; POON, C.S.; LAI, W.L. Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. *Waste Management*, 2009; 29:621–8.

- [16] WANG, R.; MEYER, C. Performance of cement mortar made with recycled high impact polystyrene. *Cement & Concrete Composites*. V. 34, 2012; 975–981.
- [17] KAN, A.; DEMIRBOGA, R. A novel material for lightweight concrete production. *Cement & Concrete Composites*, 2009; 31:489–95.
- [18] KAN, A.; DEMIRBOGA, R. A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates. *Journal of Materials Processing Technology*, V. 209, 2009; 2994–3000.
- [19] SCHACKOW, A.; EFFTING, C.; FOLGUERAS, M.V.; GÜTHS, S.; MENDES, G.A. Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent Original Research Article. *Construction and Building Materials*, Volume 57, 30 April 2014, Pages 190-197.
- [20] SAIKIA, N.; BRITO, J. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. *Construction and Building Materials*, V. 34, 2012; 385–401.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: Agregados - terminologia. Rio de Janeiro, 2011.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: cimento Portland – determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, 1996.
- [23] BARBOSA, V. F. F. Síntese e caracterização de Polissialatos. Rio de Janeiro, 1999. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Ciências dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME).
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: Procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: 2004 Procedimento para obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.