

PLACAS CIMENTÍCIAS À BASE DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

João Marcos Bosi Mendonça de Moura¹ e Lúcio Flávio da Silveira Matos²

Resumo: A partir de uma crescente preocupação de toda a sociedade por soluções que promovam uma adequada destinação dos resíduos sólidos e também um desenvolvimento sustentável, o presente estudo teve por objetivo avaliar parâmetros físicos e mecânicos de placas cimentícias alternativas, à base de resíduos sólidos domiciliares, compostos por polímeros, papéis e vidro. Realizaram-se ensaios de determinação da resistência à compressão, resistência à flexão, de massa específica aparente, absorção de água e de microscopia eletrônica de varredura. Os resultados foram comparados com os dados técnicos das placas cimentícias convencionais (sem amianto) e das placas de EPS, disponíveis na literatura. Concluiu-se que todos os índices obtidos para o compósito formado à base de resíduos proveniente da coleta seletiva do município de Blumenau-SC alcançaram os limites mínimos necessários dos parâmetros abordados, para sua aplicação em estruturas de vedação. Observando-se a superfície de contato pasta cimentícia e resíduos particulados no microscópio eletrônico de varredura, constatou-se que resíduos compostos por papel tendem a deixar mais vazios nos compósitos devido às fibras, quando comparados aos resíduos compostos por PET.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Reciclagem. Construção civil. Placas.

1 Introdução

Com a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a), o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil ganhou novos desafios, avanços e oportunidades (JABBOUR et al., 2014). Diversas contribuições foram lançadas, a partir das metas estabelecidas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010b), como por exemplo, no que condiz à destinação final dos resíduos. Neste aspecto, o Governo Federal propôs que até agosto de 2014 todos os municípios do país encaminhassem seus rejeitos para aterros. Infelizmente, isso não aconteceu, sendo que 41,7% dos municípios brasileiros ainda encaminham seus resíduos sólidos urbanos para lixões (ABRELPE, 2014).

Nessa discussão a coleta seletiva não ficou de fora, pelo contrário, reconheceu-se a necessidade do fortalecimento de sistemas capazes de absorver os resíduos potencialmente recicláveis, exigindo-se assim, a integração dela no processo de gestão. É notável que sua abrangência no Brasil venha aumentando a cada ano, estando presente, no ano de 2014, em 68,4 % municípios (ABRELPE, 2014). Porém a coleta seletiva ainda passa por dificuldades em algumas regiões, principalmente devido a

questões operacionais, concernentes a estruturação de cooperativas de reciclagem, que não raras vezes, encontram dificuldades para comercializar/reciclar os resíduos triados (GUTBERLET, 2015).

A respeito deste último ponto, vincula-se diretamente um conhecimento fundamental: o tipo de resíduo que se dispõe no processo. Sobre isto, pode-se observar na Figura 1a que os resíduos encaminhados à coleta seletiva no Brasil possuem em grande medida na sua composição polímeros e papéis (60%), principalmente porque estes são os materiais mais usados para embalagem. Pensando nestes tipos de materiais e sua relação com o desenvolvimento de compósitos alternativos para a construção civil, nota-se que as soluções para reciclá-los têm se centralizado na incorporação de polímeros em argamassas/concretos, como é o caso do PET (Polietileno tereftalato), o tipo de polímero mais comum na coleta seletiva brasileira (Figura 1b).

Ge, Huang e Sun (2014), por exemplo, estudaram o comportamento físico e mecânico de argamassas com incorporação de partículas de garrafa PET, observando uma otimização na resistência a compressão e flexão quando incorporado 15% de partículas deste tipo de resíduo. Este

¹E-mail: joaomarcosmm@hotmail.com

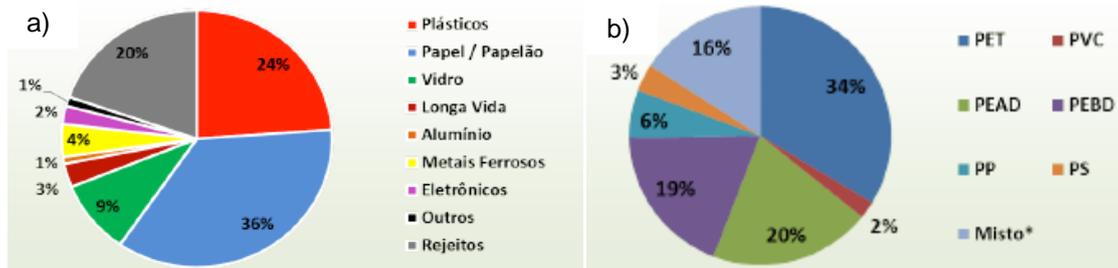
²E-mail: luciusmats@gmail.com

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015

e demais estudos que também utilizam PET como componente em compósitos, muitas vezes aplicam processos com emprego de demasiada energia, ou seja, com aplicação de processos térmicos para a obtenção do

agregado e/ou produto desejado (PELEGRINI; GOHR PINHEIRO; VALLE, 2010; GE; YUE; SUN, 2015; YANG et al., 2015).

Figura 1 – Composição gravimétrica dos resíduos da (a) coleta seletiva e (b) composição dos polímeros da coleta seletiva – Brasil



Fonte: CEMPRE (2014)

Outros estudos científicos constataam potencialidades na incorporação de resíduos com características semelhantes aos resíduos sólidos domiciliares (RSD), em concretos e argamassas cimentícias, objetivando reduzir custos, peso específico, retração, potencializando também aspectos ambientais positivos (FRIGIONE, 2010; HANNAWI; PRINCE; KAMALI-BERNARD, 2010; TONET; GORNINSKI, 2013). Já a respeito da funcionalidade, estudos como de Batayneh, Marie e Asi (2007) verificaram que a incorporação de resíduos poliméricos e fibrosos tende a impactar negativamente menos em materiais que não estejam potencialmente sujeitos a esforços de compressão, como é o caso de placas de vedação, pisos e telhas. Considerando estes aspectos, o presente estudo objetivou avaliar o desempenho de placas cimentícias de vedação à base de resíduos sólidos domiciliares (polímeros, papéis e vidro) provenientes da coleta seletiva do município de Blumenau-SC, Brasil.

Foram analisados os resultados da resistência à compressão, resistência à flexão, massa específica aparente e absorção de água e comparados com placas de vedação com consolidada presença no mercado brasileiro. Análise através de microscópio de varredura eletrônica também foi realizada.

2 Material e métodos

Os resíduos sólidos domiciliares utilizados como agregados foram retirados da coleta seletiva do município de Blumenau,

Santa Catarina, Brasil, um município com população estimada de 338.876 habitantes em 2015 (IBGE, 2015). A gestão de resíduos sólidos urbanos se dá atualmente através do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAMAE). Para coleta seletiva, o SAMAE firmou convênio com núcleos familiares, cooperativas e com a Associação de Trabalhadores de Materiais Recicláveis de Blumenau (RECIBLU) a partir das recomendações da Política Nacional de Resíduos Sólidos, chegando à marca de 472 toneladas mensais de resíduos coletados no ano de 2014 (SAMAE, 2015).

Os resíduos utilizados nesta pesquisa foram obtidos junto à RECIBLU, sendo eles o PET (Polietileno tereftalato), PP (polipropileno) e papéis devido às suas significativas presença nos resíduos coletado. O EPS (poliestireno expandido) foi também utilizado devido o baixo número de indústrias na região capazes de reciclá-lo e o vidro, por dois fatores: a) propriedades mecânicas semelhantes a areia natural (OLIVEIRA; BRITO; VEIGA, 2013) e b) baixo preço de venda em relação à matéria prima virgem (areia natural), o que desmotiva a sua reciclagem na região.

Assim, iniciou-se o estudo com a determinação da massa unitária dos agregados, aplicando os procedimentos da NBR NM 45 (ABNT, 2006). As placas foram realizadas com (1) cimento Portland CPV-ARI, cuja composição química pode-se observar na Tabela 1; (2) massa acrílica para garantir a aderência entre pasta cimentícia e resíduos; (3) e os resíduos sólidos domiciliares, isto é, papel, polímeros do tipo 1 (PET e PP) e polímeros do tipo 2 (EPS),

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015

todos eles triturados em um moinho de facas. A proporção em massa foi de 1:1:1:0,2 (massa acrílica: papéis: polímeros tipo 1: polímeros tipo 2) (Figura 2). Nenhum dos

resíduos sólidos foi submetido à limpeza e/ou remoção de matéria orgânica o que auxilia na diminuição de custos de produção.

Tabela 1 – Composição química do cimento Portland CPV-ARI

Constituintes	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	K ₂ O	PF*
Amostra (%)	64,03	19,65	4,99	3,17	2,56	0,83	0,69	3,61

*PF: perda ao fogo

Fonte: Votorantim (2015)

Figura 2 – Resíduos sólidos domiciliares utilizados na placa cimentícia



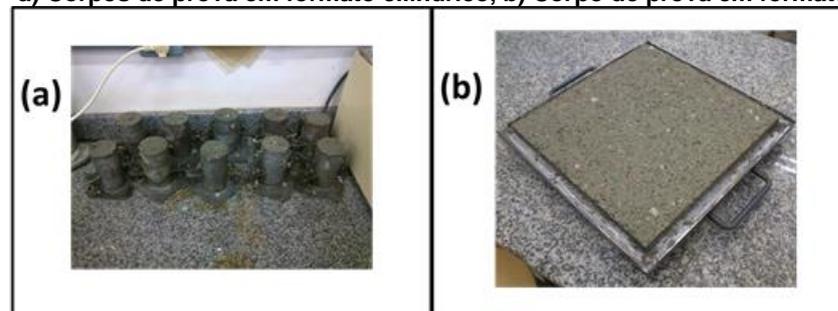
Fonte: Autores (2015)

Além disso, não foi utilizado areia natural, mas sim a areia de vidro, da coleta seletiva, moído com granulometria passante na malha 0,075 mm (areia 01) e 0,15 mm (areia 02), sendo estabelecido o traço da argamassa como sendo de 1:0,2:0,15 (cimento: areia 01: areia 02). A areia de vidro

empregada foi obtida através das pesquisas de Oliveira, Brito e Veiga (2013) e Santos (2011), adaptando-se a máquina de ensaio à abrasão *Los Angeles* para funcionar como um moinho de bolas, a fim de reduzir o tamanho das embalagens, fracos e garrafas de vidro. De modo que o resíduo vítreo ganhou características físicas semelhantes a areia natural.

Três traços em massa foram elaborados com as seguintes proporções (RSD:argamassa): traço 01 – 1:2; traço 02 – 1:3; traço 03 – 1:4. Com estas três composições executaram-se corpos-de-prova em dois formatos, em forma cilíndrica (Figura 3a) e em placa (Figura 3b), ambos submetidos à cura seca. Nota-se que para a placa, foi necessário um molde metálico que uma vez preenchido com argamassa era submetido a uma carga de 3,0 kgf/cm² uniformemente distribuída, a fim de que as placas cimentícias pudessem apresentar uma estrutura relativamente mais compacta.

Figura 3 – a) Corpos de prova em formato cilíndrico, b) Corpo de prova em formato de placa



Fonte: Autores (2015)

Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão simples conforme NBR 5739 (ABNT, 2007), à flexão simples de acordo com a ASTM C 203 – 99 (ASTM, 1999) e à massa específica aparente e absorção de água seguindo a NBR 9778 (ABNT, 2005). Dez (10) corpos de prova cilíndricos ($\Phi=5\text{cm}$,

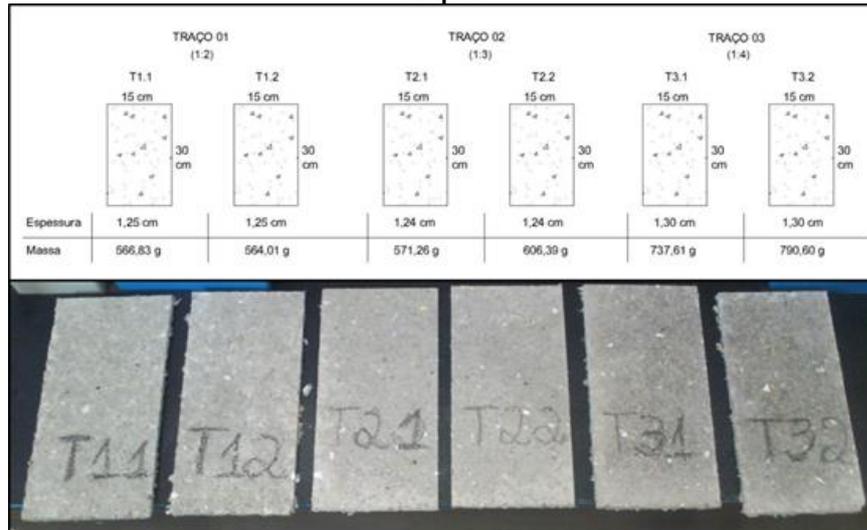
$h=10\text{cm}$), para cada um dos três traços, foram submetidos ao ensaio de compressão simples, seis (6) placas, duas (2) para cada traço, foram utilizadas nos ensaios de resistência à flexão simples, sendo que suas dimensões e massas estão expressas na Figura 4.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015

Os dados obtidos no ensaio de resistência à compressão foram submetidos à análise de variância (ANOVA), assim como também os dados dos ensaios de resistência flexão. Com isto, objetivou-se verificar se há ou não diferença significativa ($p < 0,05$) dos referidos índices mecânicos em relação às

placas comparativas e também em relação a cada traço, ou seja, em relação ao teor de RSD incorporado. Salienta-se que para os ensaios de resistência à flexão simples, foram utilizados seis corpos de prova (2 para cada traço, 6 ao total), com as dimensões e massas expressas na Figura 4.

Figura 4 – Caracterização física dos corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à flexão simples



Fonte: Autores (2015)

A resistência à flexão simples usa o método de cálculo para uma dada carga concentrada submetida ao corpo de prova após 28 dias de cura expresso pela equação 1:

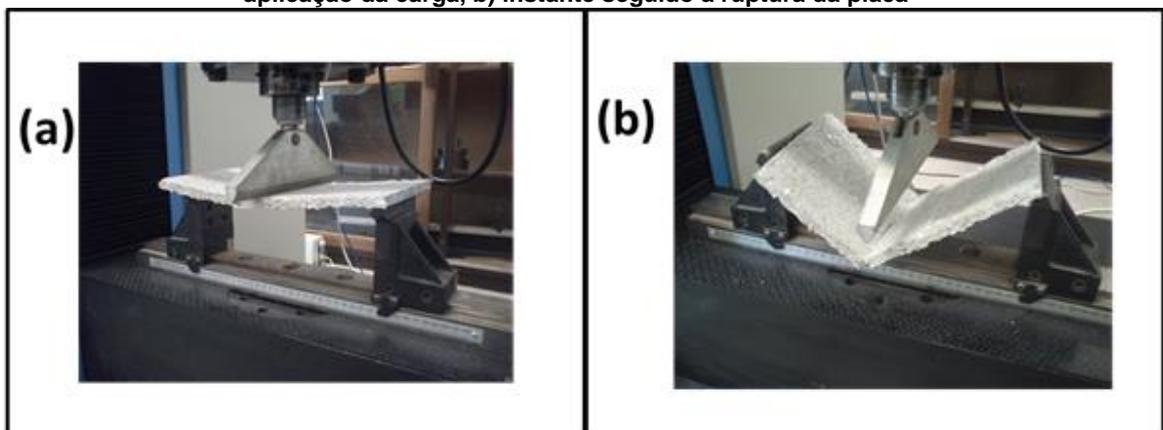
$$S = 3PL/2bd^2 \quad (1)$$

em que S corresponde a tensão máxima de resistência à flexão, P a carga concentrada aplicada, L a distância entre os apoios, b

largura do corpo de prova e d espessura do corpo de prova.

Para ilustrar o ensaio, na Figura 5, é possível constatar o instante em que é aplicada uma carga pontual no corpo de prova em formato de placa (Figura 5a), além do instante seguido à ruptura à flexão do compósito cimentício com incorporação de resíduos (Figura 5b).

Figura 5 – Corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à flexão simples: a) instante de aplicação da carga, b) instante seguido à ruptura da placa



Fonte: Os autores (2015)

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015

A massa específica aparente foi determinada em seis (6) placas, duas (2) para cada traço (Figura 4) e a determinação da absorção de água foi realizada em três corpos de prova cilíndricos (um por traço) com a mesma composição da placa cimentícia, tendo sido colocados em estufa sob temperatura constante de 60°C até a constância de sua massa, seguindo a NBR 9987 (ABNT, 2005).

No que diz respeito à microscopia eletrônica de varredura foi utilizado o microscópio Tescan modelo Vega 3 LMH/LMU, a fim de verificar a porosidade do compósito e os diferentes arranjos dos resíduos com a pasta cimentícia. Para isto, foram realizadas imagens com aproximação

de 50x a 1000x na face de corte do compósito traço 01.

3 Resultados e discussão

Os resultados obtidos na determinação da massa unitária dos resíduos sólidos domiciliares, uma vez já com tamanho reduzido, encontraram-se entre os valores 0,163 (PET e PP), 0,019 (EPS) e 0,119 g/cm³ (papéis). Na tabela 2 encontram-se os demais resultados dos parâmetros avaliados em função dos diferentes traços utilizados na fabricação das placas analisadas.

Tabela 2 – Resultados obtidos nos ensaios da placa cimentícia em comparação com placas presentes no mercado nacional

Parâmetro	Resistência à compressão (MPa)			Resistência à flexão (MPa)			Massa específica aparente (g/cm ³)			Absorção de água		
	Placa cimentícia com RSD	Placa cimentícia	Placa EPS	Placa cimentícia com RSD	Placa cimentícia	Placa EPS	Placa cimentícia com RSD	Placa cimentícia	Placa EPS	Placa cimentícia com RSD	Placa cimentícia	Placa EPS
Compósito												
Traço (RSD: Argamassa)												
Traço 01 (1:2)	4,00			1,01			1,01			18%		
Traço 02 (1:3)	3,60	5,00*	0,08**	1,39	4,00*	0,16**	1,06	0,97*	0,02**	16%	25%***	0%**
Traço 03 (1:4)	4,30			1,69			1,31			19%		

* BRICKA (2013).

** EME COMERCIAL (2013).

*** ABNT (2007b).

Fonte: Autores (2015)

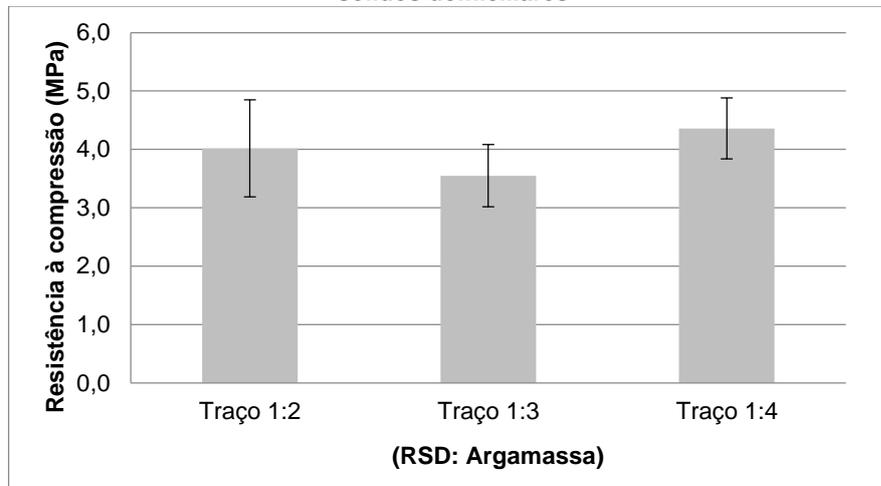
Em relação ao ensaio de compressão simples foram obtidos valores entre 5,2 e 2,6 MPa, isto é, o valor máximo chegou muito próximo dos 5 MPa da placa cimentícia convencional (BRICKA, 2013). Já a respeito da placa de EPS, estes valores foram superiores aos 0,08 MPa (EME COMERCIAL, 2013). Os valores médios obtidos, assim como o desvio padrão podem ser observados na Figura 6.

Constata-se, portanto, que a placa com resíduos sólidos recicláveis, mantém-se com valores intermediários em relação à placa cimentícia convencional e a placa de EPS, no que se refere à resistência à compressão, considerando também que os valores apresentam diferença significativa entre eles. Também se constatou diferença significativa entre os respectivos traços, sendo o traço 1:4 o que apresentou maior

valor e o traço com a relação RSD:Argamassa igual a 1:3, o menor.

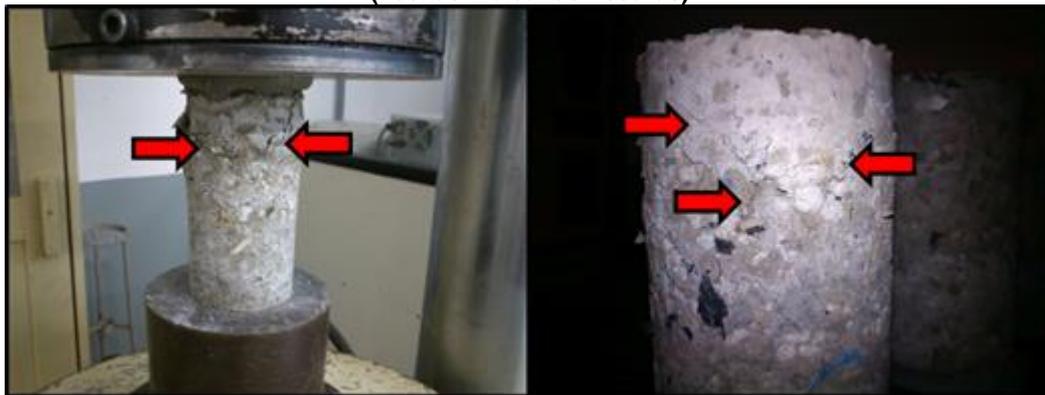
Os corpos de prova cilíndricos apresentaram uma fratura típica de materiais de comportamento relativamente elástico (Figura 5), se comparado aos corpos de prova compostos exclusivamente por cimento Portland e agregados naturais. Pressupõe-se que o principal motivo deste comportamento seja a presença dos resíduos sólidos, sobretudo do papel e dos polímeros, responsáveis pela diminuição da fragilidade do material e do aumento da sua elasticidade (SAIKI; BRITO, 2012), alterando-se assim significativamente as propriedades do compósito. Hannawi, Prince e Kamali-Bernard (2010) relatam em seu estudo que a incorporação de polímeros em argamassa cimentícia foi responsável também pela elevação da ductilidade do compósito.

Figura 6 – Valores médios do ensaio de resistência à compressão nos compósitos contendo resíduos sólidos domiciliares



Fonte: Autores (2015)

Figura 7 – Estado físico dos corpos de prova cilíndrico após sua ruptura à compressão simples (flechas indicando fissuras)



Fonte: Autores (2015)

Os ensaios de resistência à flexão simples apresentaram resultados com diferença estatística significativa em função do traço. Nota-se que os resultados (Tabela 2) superam os das placas de EPS, mas não ultrapassam os valores de 4 MPa em condição saturada das placas cimentícias convencionais (ABNT, 2014). A razão para tal diferença consiste na ausência de fibras na composição da placa com RSD, pois a norma brasileira em questão considera a incorporação de fibrocimento, o que eleva a expectativa em relação à resistência mecânica.

Albano et al. (2009) que pesquisaram placas de concreto com incorporação de partículas de garrafa PET chegaram-se a uma resistência à flexão igual a 1,5 MPa, com 11% de incorporação do polímero em relação a massa de agregado miúdo. Ou seja, apesar de utilizarem apenas

um tipo de resíduo (PET) e concreto, alcançaram valores significativamente mais baixos que os valores obtidos para o traço 1:4 (Figura 8).

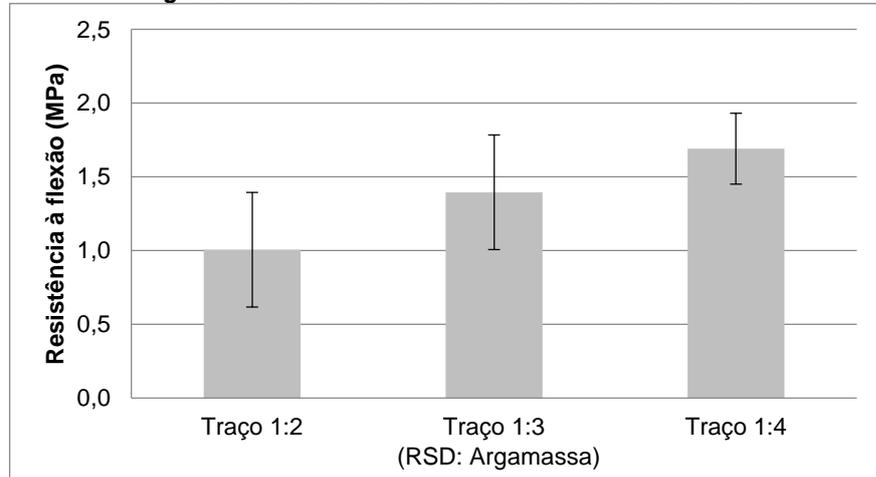
A massa específica aparente apresentou valores abaixo das placas cimentícias convencionais (1,7 g/cm³), de 1,00, 1,07 e 1,31 g/cm³ respectivamente ao traço 01, 02 e 03, havendo um aumento à medida que se diminui a presença de RSD. Porém, nota-se que estes valores superam aqueles das placas de EPS, motivo que não necessariamente anula sua aplicação em vedações verticais (paredes) ou horizontais (forro) de residências, pois há a contribuição do resultado de absorção de água que se demonstrou significativamente abaixo do máximo de 25% permitido pela norma vigente para placas cimentícias (ABNT, 2014).

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015

Este parâmetro invariavelmente sofre significativa influência dos vazios presentes no compósito em estudo (MAYERCSIK et al., 2015; AMIN; ALAM; GUL, 2015). Na Figura 9

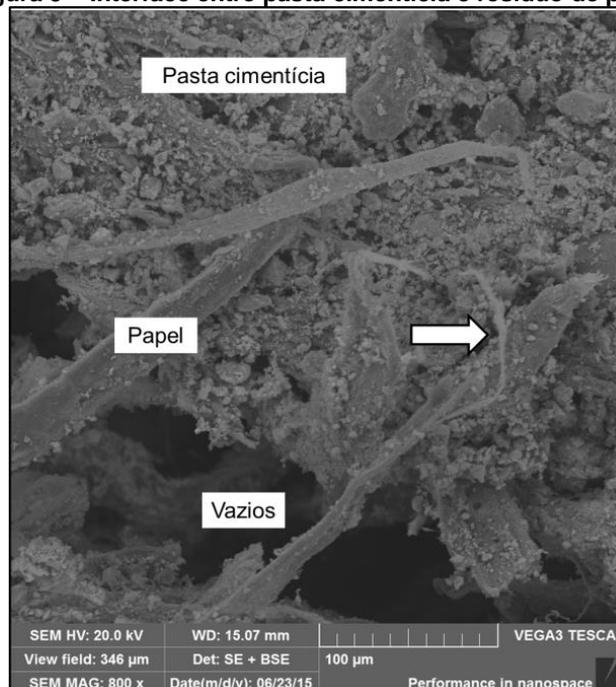
observa-se a ocorrência deles onde a pasta cimentícia encontrou dificuldade de envolver o resíduo composto por papel.

Figura 8 – Resultado do ensaio de resistência à flexão



Fonte: Autores (2015)

Figura 9 – Interface entre pasta cimentícia e resíduo de papel

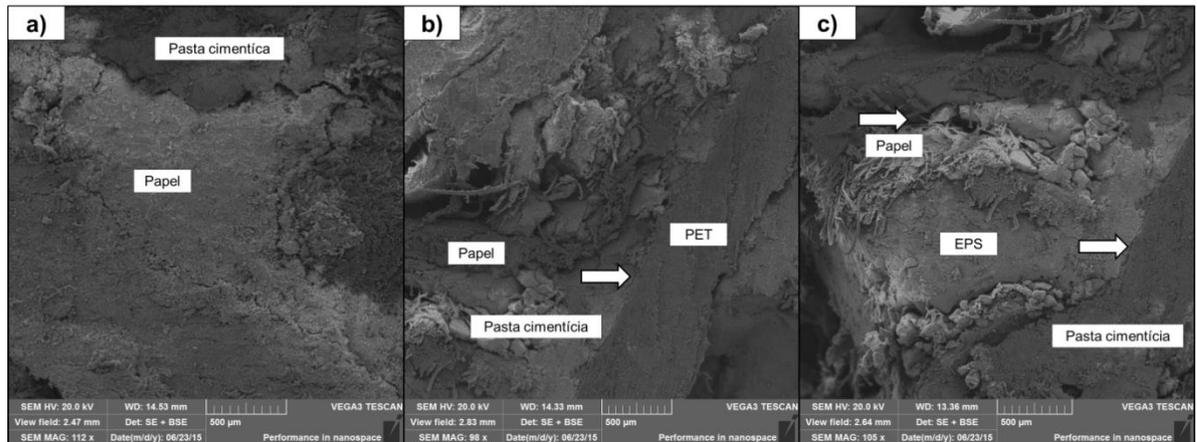


Fonte: Autores (2015)

Na Figura 10 já pode ser visualizado melhor a diferença física nas regiões de interface entre pasta cimentícia e os diversos tipo de resíduo. Na Figura 10a observa-se uma melhor aderência da pasta cimentícia sobre o papel particulado, ao ser comparado com o papel desintegrado (em formato de pequenas fibras) (Figura 10b e 10c). Já os

polímeros PET e EPS parecem adquirir uma boa aderência com a argamassa composta por areia de vidro, entretanto novamente observa-se e reforça-se através da Figura 10c, como as fibras celulósicas possibilitam a formação de vazios e conseqüentemente o aumento de absorção de água e diminuição de resistência mecânica.

Figura 10 – Interface entre os diferentes tipos de resíduo



Fonte: Autores (2015)

4 Conclusões

Os resultados permitiram de corroborar quatro hipóteses: (1) que a incorporação de RSD proporcionou um significativo aumento na elasticidade da placa, tendo em vista o modo como a mesma se rompeu nos ensaios de resistência à compressão e flexão. Isto se deve, possivelmente, pela suficiente aderência entre o cimento, a massa acrílica e os resíduos sólidos domiciliares de formato particulado; (2) a massa específica aparente foi mai baixa que a das placas cimentícias convencionais, possivelmente devido a presença dos resíduos. (3) Destaca-se que os padrões normativos e técnicos referentes à resistência à compressão e à absorção de

água foram atendidos. (4) Através da análise de microscopia eletrônica de varredura, os polímeros PET e EPS parecem adquirir uma melhor ligação com a pasta cimentícia, se comparado ao que acontece com a zona de contato entre a pasta e resíduos fibrosos. Neste último caso, observou-se a formação de vazios, o que pode influenciar parâmetros fundamentais, aumentando a absorção de água e diminuindo a resistência mecânica.

Assim, com estes resultados, acredita-se que o presente estudo lance novas perspectivas técnicas a respeito de placas cimentícias com material reciclado, e que, além disto, também possa reforçar a percepção do resíduo como uma matéria-prima capaz de ser incorporada em materiais da construção civil.

5 Household Solid Wastes Incorporated in a Cement Plate

Abstract: Given a growing concern of the whole society for solutions that promote proper disposal of solid waste as well as sustainable development, this study aimed to assess physical and mechanical parameters of alternative cement plates composed by solid waste consisting of polymers, paper and glass. Essays were carried out to determine the compressive strength, flexural strength, apparent density, water absorption and analysis of scanning electron microscope was realized. The results were compared with the technical data about the cement plates (no asbestos) and the EPS boards available in the literature. All indices obtained for the composite containing part of the recyclable waste of the city of Blumenau-SC reached the required minimum limits for the studied parameters given the plates will be applied for sealing structures. Observing the contact surface of the cement paste with the particulate waste in the scanning electron microscope, it was noted that waste consisting of paper tend to leave more void in the composites due to the fibers when compared to waste consisting of PET.

Keywords: Sustainability; Recycling; Civil construction; Plates.

6 Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas

Técnicas. **NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico.** Rio de Janeiro, 2007.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015

_____. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro: 2005.

_____. **NBR 15498: Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR NM 45 – agregado em estado solto – determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 2006.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos (2014).** Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

ALBANO, C; CAMACHO, N.; HERNÁNDEZ, M.; MATHEUS, A.; GUTIÉRREZ, A. Influence of content and particle size of pet waste bottles on concrete behaviour at different w/c ratios. **Waste Management**, v.29, p. 2707–2716, 2009.

AMIN, N.; ALAM, S.; GUL, S. Effect of thermally activated clay on corrosion and chloride resistivity of cement mortar. **Journal of Cleaner Production**, (no prelo), 2015.

ASTM - American Society for Testing Materials. **ASTM C 203 - 99 - Standard Test Method for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation.** In: Annual Book of ASTM Standards, 1999.

BATAYNEH, M.; MARIE, I.; ASI, I. Use of select waste materials in concrete mixes. **Waste Management**, v.27, p.1870-1876, 2007.

BRASIL. **Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, DF: [s.n], 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 15 abr. 2014.

_____. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, DF: [s.n], 2010b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2014.

BRICKA. **Manual Técnico Descritivo Sistema Brickawall de Vedação.** 2013. Disponível em: <http://www.bricka.com.br/manuais/MANUAL_TCNICO_DESCRITIVO_SISTEMA_BRICKAWALL_2.pdf> Acesso em: 7 dez. 2013.

CEMPRE. CEMPRE. **Radiografando a Coleta Seletiva.** 2014. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclossoft/id/2>>. Acesso em: 5 maio 2015.

EME COMERCIAL. **Especificações mínimas do EPS (Isopor ®).** 2013. Disponível em: <<http://www.emecomercial.com.br/dicas.html>>. Acesso em: 27 nov. 2013.

FRIGIONE, M. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. **Waste Management**, v.30, p.1101-1106, 2010.

GE, Z.; HUANG, D. W.; SUN, R. J. Properties of plastic mortar made with recycled polyethylene terephthalate. **Constr Build Mater**, v.73, p.682-687, 2014.

GE, Z.; YUE, H.; SUN, R. Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate and PET. **Construction and Building Materials**, v.93, p.851-856, 2015.

GUTBERLET, J. Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. **Waste Management**, (no prelo), 2015.

HANNAWI, K.; PRINCE, W.; KAMALI-BERNARD, S. Effect of thermoplastic aggregates incorporation on physical mechanical and transfer behaviour of cementitious materials. **Waste Biomass Valor**, v.1, p.251-259, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Santa Catarina - Blumenau.** 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=420240>>. Acesso em: 6 jul. 2015.

JABBOUR, A. B. L. S.; JABBOUR, C. J. C.; SARKIS, J.; GOVINDAN, K. Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.16, n.1, p.7-9, 2014.

MAYERCSIK, N. P.; SHAEFFER, M.; BRADY, L. G.; KURTIS, K. E. Analysis of Portland cement mortar under impact: A combined material characterization, micromechanics modeling, and dynamic testing approach. **Cement and Concrete Research**, v. 73, p. 190-206, 2015.

OLIVEIRA, R; BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporação de agregados finos de vidro em argamassas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.21, p.25-39, 2013.

PELEGRINI, M.; GOHR PINHEIRO, I.; VALLE, J. A. B. Plates made with solid waste from the recycled paper industry. **Waste Management**, v. 30, p. 268–273, 2010.

SAIKIA, N.; BRITO, J. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. **Construction and Building Materials**, v.34, p.385-401, 2012.

SAMAE. **Dados SAMAE – Pesquisa FURB.** [mensagem pessoal]. Recebido por

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015

<joaomarcosmm@hotmail.com> em 26 jun. 2015.

SANTOS, K. A. **Uso de resíduos de vidro como agregado para argamassas de assentamento e revestimento**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Civil, FURB, Blumenau.

TONET, K. G.; GORNINSKI, J. P. Polymer concrete with recycled PET: The influence of the addition of industrial waste on flammability. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 378-389, 2013.

VOTORANTIN. **Composição química – CP V – ARI**. 2015. Disponível em: <<http://www.votorantim.com.br/>>. Acesso em: 01

jun 2015.

YANG, S.; YUE, X.; LIU, X.; TONG, Y. Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles. **Construction and Building Materials**, v.84, n.1, p.444-453, 2015.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da FURB pela concessão do microscópio eletrônico de varredura e ao Sr. Marcos Mendonça de Moura por demais auxílios operacionais.