ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE GARRAFA PET TRITURADA COMO SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO NATURAL EM ARGAMASSAS[1]

FRANZ, L. E., Universidade FEEVALE, e-mail: lucasevandrofranz@gmail.com; STOLZ, C. M., Universidade FEEVALE, e-mail: carimstolz@yahoo.com.br

ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the influence and viability of natural aggregates partial substitution by polyethylene terephthalate (PET) residues in mortars. Specifically, it was evaluated the properties of mortars in fresh and hardened state, with different PET waste granulometric composition. In order to achieve the work objectives, the aggregates were characterized and then an experimental matrix were developed. Mortars with 1:3 (cement: aggregate) mix proportion were produced. First of all, a reference mortar, only with natural aggregate, and then four mortars with different PET waste granulometry, called Flake, Powder, Fine and Mix. The results indicated that, in relation to mortar's workability, there was an influence of PET waste addition, probably related to the shape of the grains and a number of fines particles. It was observed a decrease in the flexural and compressive strength. Also, the mortar's density decreased as the granulometry with the higher number of fines was incorporated. Thus, among all the granulometry from PET waste incorporated in the mortars, the Flake appears to be one of the best alternatives for a more noble destination of the material, adding value and reducing environmental impacts.

KEYWORDS: *Polyethylene Terephthalate (PET). Waste. Mortars. Recycled aggregate.*

1 INTRODUÇÃO

Uma das indústrias que mais gera resíduos é a construção civil. Devido ao seu grande impacto no meio ambiente através da contribuição do esgotamento de recursos naturais, consumo de energia, poluição do ar, solo e da água, o desenvolvimento e aplicação de novos materiais e tecnologias menos agressivas é de suma importância para a manutenção do equilíbrio do planeta (AGOPYAN; JOHN, 2011). Neste contexto, apesar de a construção civil não ter tido um crescimento significativo nos últimos anos, a demanda por recursos naturais, ainda é muito significativa, sendo a areia um deles.

Outro setor que colabora para o aumento dos impactos ambientais é o produtor de plásticos, entre eles a garrafa pet, que aliado a carência de programas de gestão apropriada de resíduos pós-consumo gera grande índice de descarte inadequado e disposição inadequada no meio ambiente (OLIVEIRA, 2012).

Nesse sentido, buscam-se alternativas para a redução dos impactos associados à extração de recursos naturais, minimizando os danos ambientais e também a deposição inadequada de resíduos no meio ambiente através do reaproveitamento do resíduo de garrafas PET.

O PET está crescendo como uma alternativa de produto para a aplicação e

[1] FRANZ, L. E.; STOLZ, C. M. Análise da viabilidade do uso de garrafa pet triturada como substituição ao agregado natural em argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

substituição dos materiais também no setor da construção civil. Estudos para utilização dos resíduos PET estão sendo pesquisados por diversas áreas da engenharia. Entre as aplicações, destacam-se as pesquisas de Almeida et al., (2004), Modro (2008) e Galvão (2010) que tratam sobre reaproveitamento e a adição de agregados PET em diversas composições de materiais empregados no setor. Entretanto, até o presente momento, são escassos os estudos que objetivem especificamente comparar o conjunto das propriedades dos diferentes derivados oriundos das diversas etapas do processamento das garrafas PET.

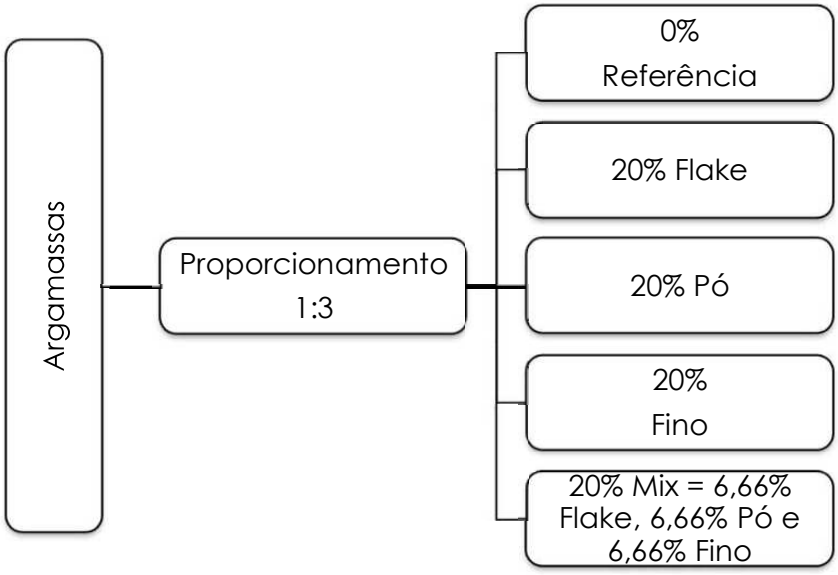
2 OBJETIVO

Objetivo do presente artigo é avaliar a influência e a viabilidade técnica da substituição parcial de agregados naturais de argamassas por agregados de Polietileno Tereftalato (PET) triturado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do artigo, formulou-se uma matriz experimental (Figura 1), onde propõe-se a substituição de 20% do agregado natural, em uma argamassa de proporcionamento 1:3 (cimento: areia, materiais secos, traço em volume, convertido para massa em laboratório), por cada uma das granulometrias dos resíduos, chamadas de Flake, Pó, Fino e Mix.

Figura 1 - Matriz experimental

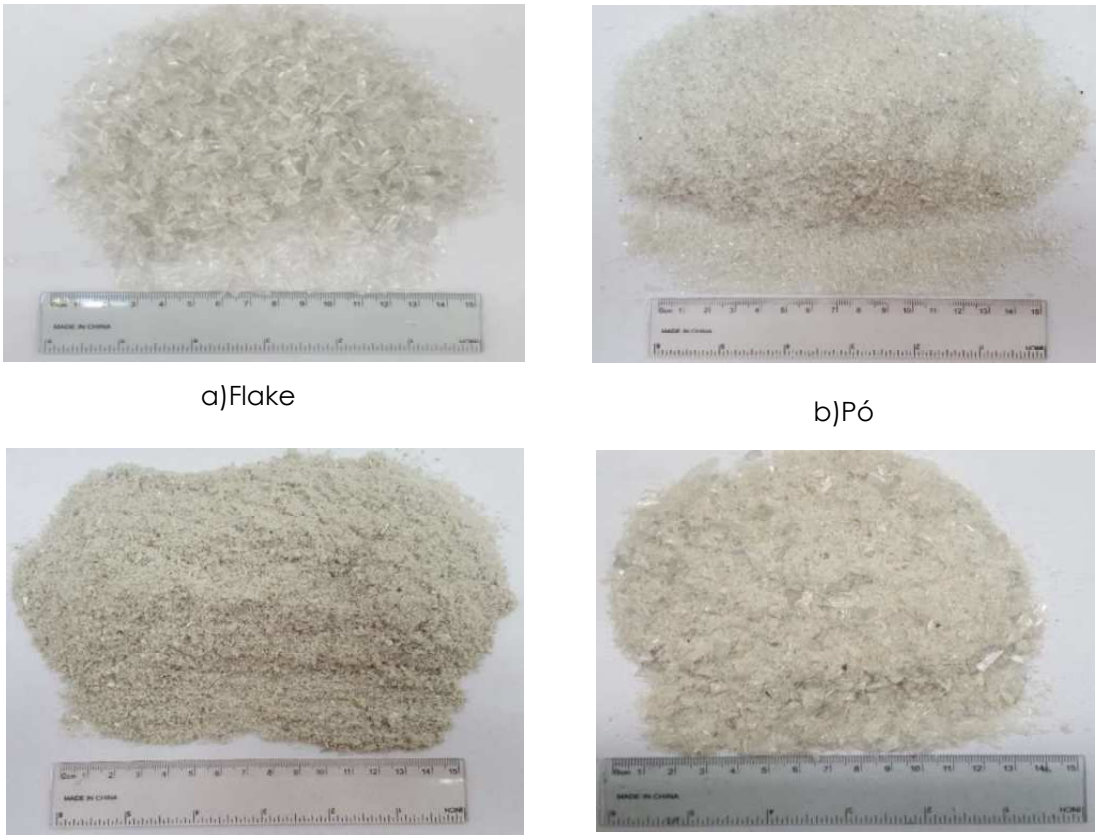


Fonte: Os autores

Os resíduos foram coletados em uma indústria onde, através de uma unidade de moagem, passam por um processo de beneficiamento. Como resultado desse processo obtém-se o Flake de PET (maior granulometria) e o Pó de PET (granulometria intermediária). No processo para a obtenção destes materiais a indústria gera um rejeito denominado como material fino. Cada um desses agregados, foi adicionado à argamassa em substituição à 20% do agregado

natural. Além disso, foi produzido um Mix de PET, através da composição das três granulometrias anteriormente citadas. A figura 2 apresenta a aparência dos agregados reciclados.

Figura 2 - Aparência dos agregados reciclados



a)Flake b)Pó

c)Fino d)Mix

Fonte: Os autores

O cimento utilizado foi o Portland CP II F 40, com massa específica de 3,05 g/cm³, conforme a classificação da NBR 5753 (ABNT, 2016). O agregado natural utilizado é uma areia média, de origem quartzosa, proveniente do Rio Jacuí/RS.

A Tabela 1 apresenta as principais características e o desvio padrão (DP) dos ensaios de caracterização dos agregados e a figura 3 apresenta os resultados das porcentagens retidas acumuladas em cada uma das peneiras e os limites superiores e inferiores para o agregado miúdo, estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

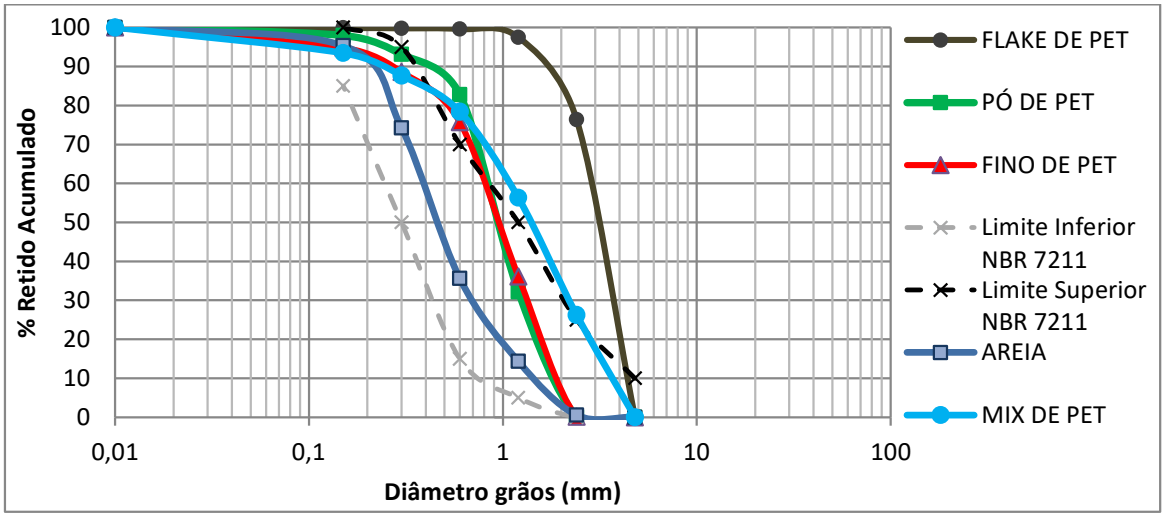
Tabela 1 - Caracterização dos agregados de PET e agregado natural

Propriedade	Agregado Natural	Flake	Pó	Fino	Mix
Massa Unitária (kg/m³)	1614	398	458	389	416
DP (kg/m³)	0,008	0,002	0,005	0,005	0,002
Massa Específica (g/cm³)	2,62	1,39			
DP (g/cm³)	0,003	0,052			

Módulo de finura	2,20	4,73	3,02	2,95	3,40
Diâmetro máximo (mm)	2,36	4,80	2,36	4,80	4,80

Fonte: Os autores

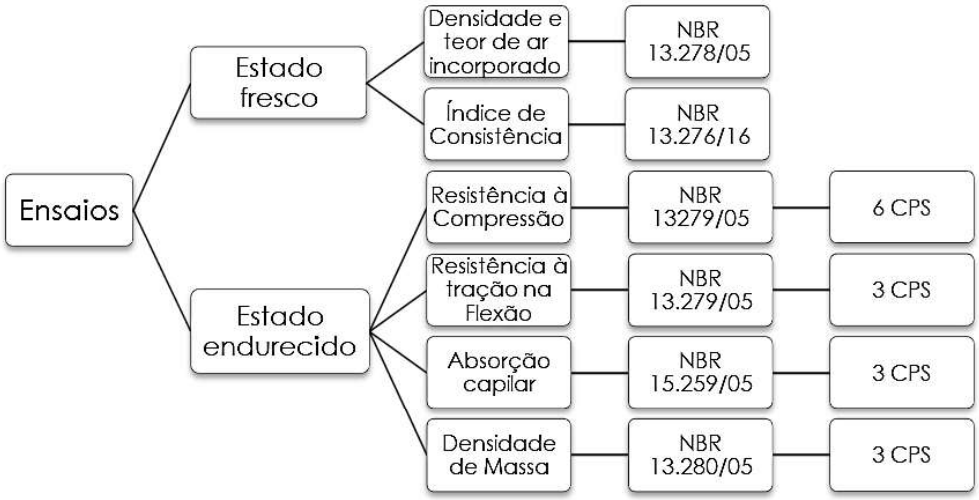
Figura 3 - Granulometria dos Agregados



Fonte: Os autores

As argamassas foram produzidas em conformidade com a NBR 16541(ABNT, 2016), em argamassadeira com movimento planetário em baixa rotação. Para o preparo das argamassas optou-se em fixar a relação água cimento (a/c) em 0,95, após a realização de uma dosagem preliminar experimental e comparativa. Nesta, produziu-se ao mesmo tempo a argamassa referência (sem resíduo) e a argamassa com o Flake de PET, que se considerou a pior situação devido a este ser o agregado com maiores dimensões granulométricas. Na produção conjunta das duas argamassas adicionou-se água até a identificação de uma quantidade ideal, onde tanto a argamassa referência e a com o Flake ficassem com uma consistência adequada para sua aplicação. Observaram-se aspectos como a ausência de segregação e a trabalhabilidade adequada à aplicação das argamassas e por fim, foram executados os ensaios (Figura 4) e feita a análise dos resultados.

Figura 4 - Ensaios realizados



Fonte: Os autores

Visando analisar se os diferentes tipos de granulometrias de resíduos utilizados como substituição parcial da areia natural, alteraram estas propriedades das argamassas, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), com nível de confiabilidade de 95%, com o auxílio do programa Statistica 8. Todos os ensaios foram realizados com no mínimo três repetições, a fim de viabilizar a realização destas análises.

4 RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados dos ensaios no estado fresco e endurecido das argamassas A análise estatística mostrou que todas as propriedades analisadas foram influenciadas significativamente pela presença do resíduo de PET, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - ANOVA da influência da inserção de agregados PET nas propriedades das argamassas

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Índice de Consistência	10793,3	4	2698,3	269,83	0,000000	Sim
Densidade de Massa Fresco	34011	4	8503	10,74	0,001212	Sim
Ar Incorporado	27,607	4	6,902	805,3	0,000000	Sim
Resistência à Tração na Flexão	10,0364	4	2,5091	10,342	0,001406	Sim
Resistência à Compressão	268,488	4	67,122	83,697	0,000000	Sim
Densidade de Massa Endurecido	82303	4	20576	491	0,000000	Sim
Absorção Capilar (g/dm².min½)	7,241	4	1,8103	16,115	0,000233	Sim

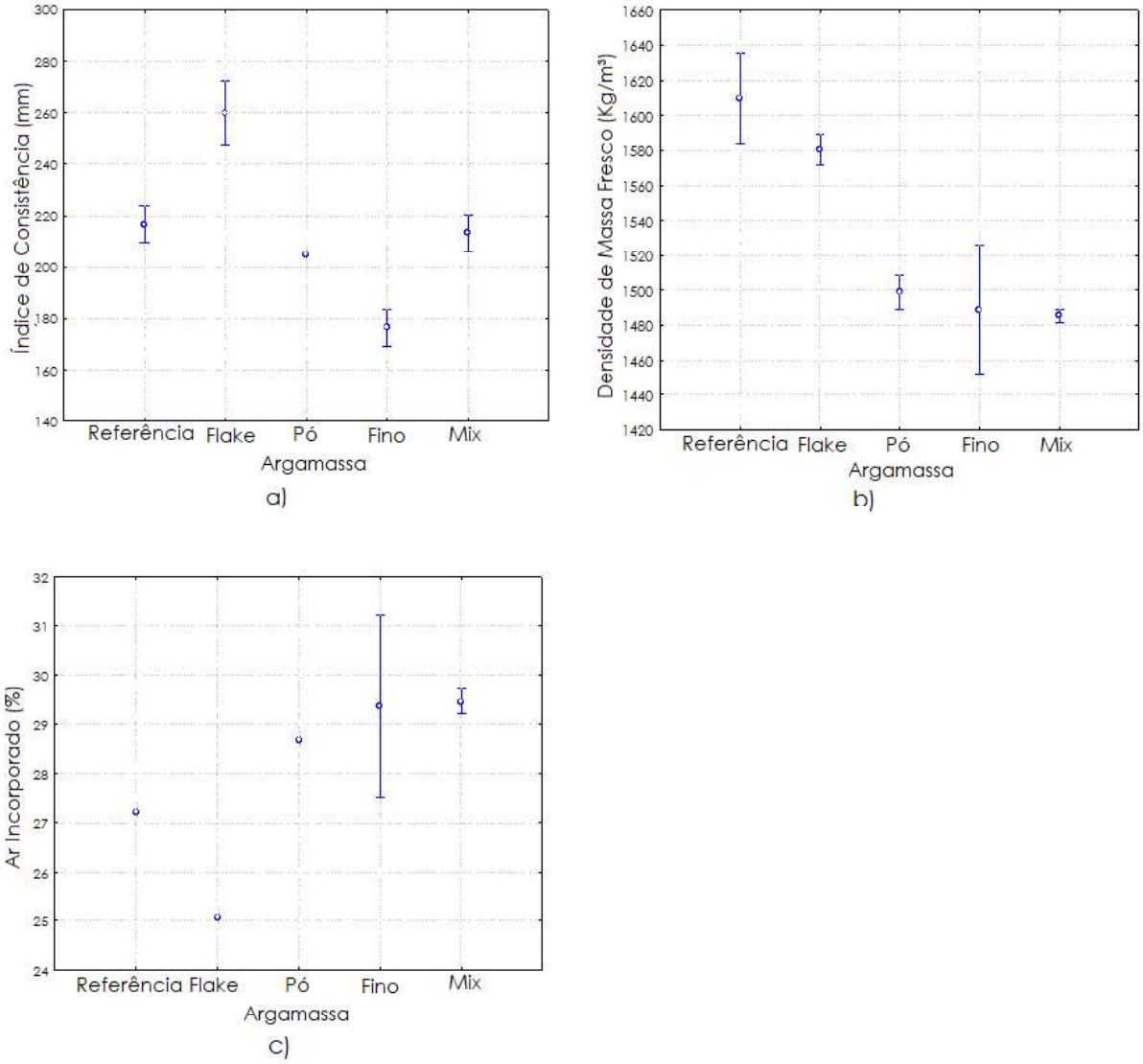
SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

Fonte: Os autores

A Figura 5 apresenta a ANOVA da influência da incorporação do resíduo de PET sobre os valores do índice de consistência (a), densidade de massa (b) e

teor de ar incorporado (c).

Figura 5 – ANOVA da influência da incorporação do resíduo de PET sobre os valores do índice de consistência (a), densidade de massa (b) e teor de ar incorporado (c)



Fonte: Os autores

Observou-se que o índice de consistência médio da argamassa referência foi de 217 mm, enquanto que as argamassas contendo agregados de PET apresentam, índices de consistência entre 177 e 260 mm. Este fato se deve, provavelmente, à forma dos grãos e também à quantidade de finos encontrados no agregado PET, uma vez que o agregado de Flake, que tem a menor quantidade de finos e uma curva granulométrica mais uniforme, quando comparada com os demais agregados em estudo, foi o que apresentou maior índice de consistência médio. A distribuição granulométrica dos grãos, também foi analisada por Albano et al. (2009), que observou que para as misturas com PET com um tamanho de partícula similar ao Flake, obtiveram-se maiores valores de abatimento, associando-se também este fato a uma curva granulométrica com distribuição mais uniforme. Na pesquisa de Almeida et al. (2004), o autor também associou a trabalhabilidade à

quantidade de finos dos seus traços.

Uma comparação múltipla de médias, pelo método de Fisher, no programa Statistica 8, mostrou que os índices de consistência das argamassas compostas por Flake, Pó e Fino são significativamente diferentes, quando comparadas com a argamassa referência. Estas, por sua vez, também são estatisticamente diferentes entre si.

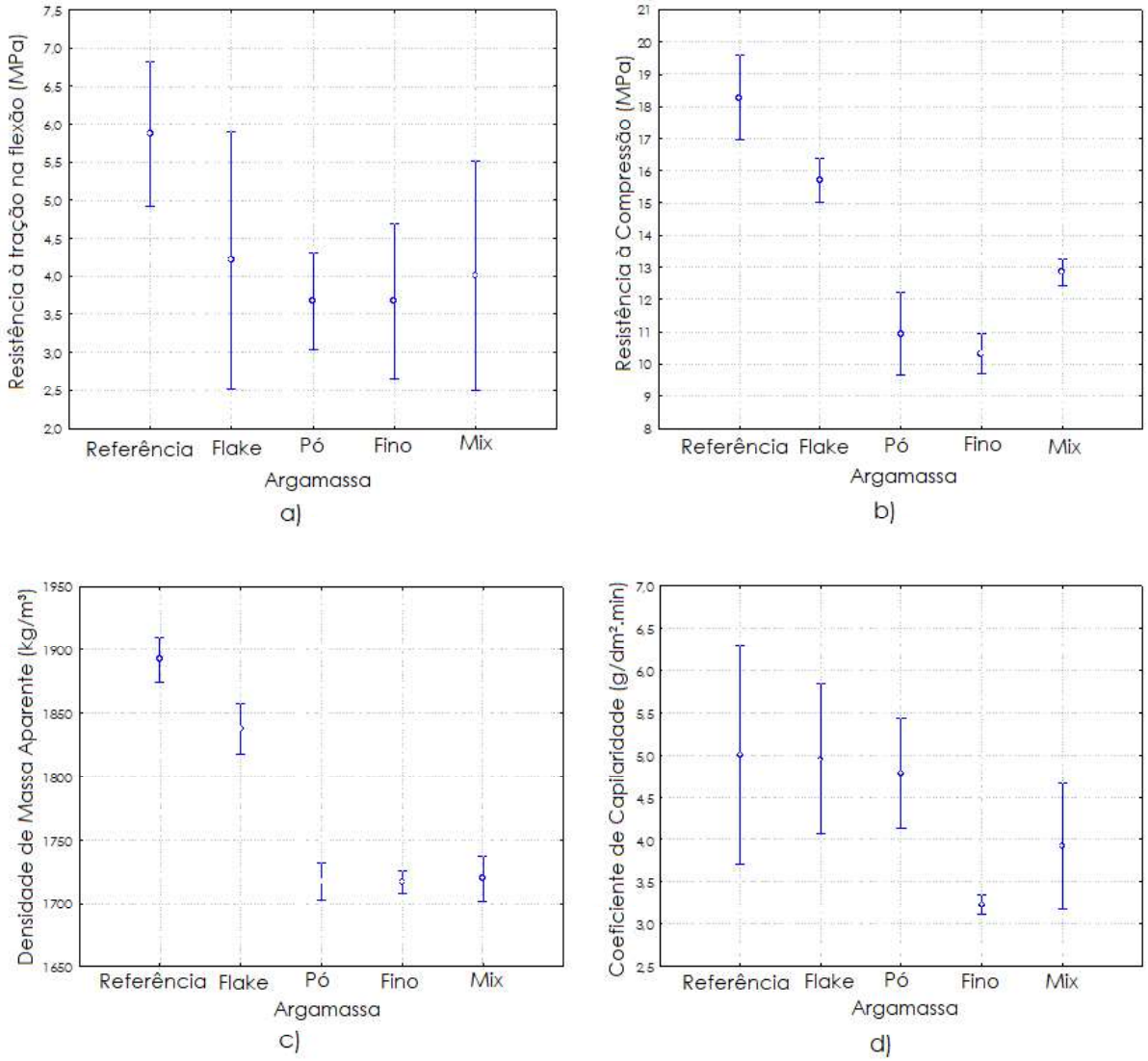
Quanto à densidade de massa, comparando-se a argamassa referência com as demais verificou-se que entre todos os traços os maiores valores de densidade de massa no estado fresco foram observados na argamassa referência, seguida pela argamassa com Flake e então pelas argamassas Fino, Pó e Mix. Camacho et al. (2005), em seus estudos também verificaram que havia disparidade entre as densidades de massa quando adicionaram resíduo de borracha. Este fato ocorreu devido a menor densidade deste material, quando comparado com a areia natural. Através da análise múltipla de médias de Fischer, pode-se confirmar que todas as argamassas com resíduos de PET em sua composição são significativamente diferentes, quando comparadas com a argamassa referência, quanto a densidade de massa.

Por fim, identificou-se uma influência estatisticamente significativa ao substituir o agregado miúdo natural por agregado de PET, em relação ao teor de ar incorporado nas argamassas. As argamassas compostas pelo agregado de PET são significativamente diferentes quando comparadas com a argamassa referência, conforme resultados de análise múltipla de médias pelo método de Fisher.

A Figura 6 apresenta a ANOVA da influência da incorporação do resíduo de PET sobre os valores da resistência à tração na flexão (a), resistência à compressão (b), densidade de massa aparente (c) e coeficiente de capilaridade (d).

Os resultados de resistência à tração na flexão apresentaram maiores desvios padrão, inerente ao ensaio, devido a sua grande sensibilidade e aos baixos valores de ruptura. Estes indicam que quando o agregado de PET é incorporado nas argamassas há uma a diminuição da resistência à flexão. Esta diminuição da resistência também foi constatada, por outros autores, como Carneiro e Reis (2011), Hannawi (2010), Canellas (2005) e Coelho (2005), na adição de polímeros em estudos que envolvem matrizes de cimento. Através da análise múltipla de médias de Fischer, pode-se afirmar que todas as argamassas com resíduos de PET são significativamente diferentes quando comparadas com a argamassa referência, em relação à resistência à tração.

Figura 6 – ANOVA da influência da incorporação do resíduo de PET sobre os valores da resistência à tração na flexão (a), resistência à compressão (b), densidade de massa aparente (c) e o coeficiente de capilaridade (d)



Fonte: Os autores

Quanto à resistência à compressão, verificou-se que, entre todos os traços, os maiores valores de resistência foram observados na argamassa referência, seguida pelas argamassas com Flake, Mix, Pó e Fino, nesta ordem. O decréscimo na compressão pode estar relacionado com a densidade de massa aparente, uma vez que se adicionando o agregado de PET na argamassa, tem-se uma menor densidade de massa e consequentemente, uma queda na sua resistência à compressão. Essa tendência da diminuição de resistência mecânica verificada, na substituição de agregados minerais por resíduos poliméricos, está de acordo com o relatado na literatura em estudos feitos por Almeida et al. (2004), Modro (2008) e Coelho (2005). Também pode-se afirmar que as argamassas compostas pelo agregado de PET são significativamente diferentes quando comparadas com a argamassa referência para esta propriedade, conforme resultados de análise múltipla de médias pelo método de Fisher.

Os resultados para a densidade de massa demonstraram uma redução desta propriedade quando se adicionou os diferentes tipos de agregados de PET. Através da análise múltipla de médias de Fischer, identificou-se que as argamassas compostas pelo Flake, Pó, Fino e Mix são significativamente diferentes quando comparadas com a argamassa referência.

Por fim, houve uma diminuição de absorção das argamassas denominadas (Fino e Mix) e um pequeno aumento da absorção de água nas argamassas que incorporam o Flake e o Pó. Este aumento na absorção se deve provavelmente pela característica dos grãos dos agregados de PET, visto que os agregados com os maiores tamanhos de partículas tiveram o maior índice de absorção, provavelmente por gerar mais vazios na zona de transição agregado/pasta. A análise múltipla de médias mostrou que as argamassas compostas por Fino e Mix são significativamente diferentes quando comparadas com a argamassa referência e as demais argamassas, para a absorção.

5 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos é possível concluir:

a. todas as variáveis avaliadas nesta pesquisa, foram influenciadas estatisticamente pela presença do resíduo de PET na dosagem das argamassas;

b. a argamassa que incorpora o resíduo de Flake, registrou as menores perdas de resistência mecânica, quando comparada com a argamassa referência, além de maior índice de consistência, menor teor de ar incorporado e densidade de massa, sugerindo-se assim que este agregado, apresentou os melhores resultados, em termos destas propriedades, quando comparado aos demais;

Por fim, acredita-se que há um potencial para a utilização do agregado de PET em matrizes cimentícias, reduzindo-se o impacto ambiental sem alterar significativamente as propriedades destes materiais. Para isso, mais estudos devem ser realizados e o assunto deve ser aprofundado.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; JONH, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011. (Série Sustentabilidade; v. 5) 141 p.

ALBANO, C; CAMACHO, N; REYES, J; FELIU, L; HERNANDEZ, M. **Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios**. Waste Management**,** Caracas, v. 29, p.2707-2716, jul. 2009.

ALBANO, C; CAMACHO, N; HERNANDEZ, M; MATHEUS, A; GUTIERREZ, A**. Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing.** Composite Structures**,** Caracas, v. 71, n., p.439-446, jul. 2005.

ALMEIDA, M. O. de; FERRARI JÚNIOR, M. J.; OLIVEIRA, D. D. de; ATHAYDE JÚNIOR, G. B. **Uso de areia de PET na fabricação de concretos**. In: congresso brasileiro de

ciência e tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável**.** Florianópolis, 2004. p. 2 **–** 11.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 5753:** Cimento Portland - Ensaio de pozolanicidade para cimento Portland pozolânico. Apresentação. Rio de Janeiro, 2016

_____.**NBR 7211**: Agregados para concreto **–** Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____.**NBR 13.276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos **–**Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13.278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos **–** Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____.**NBR 13.279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos **–** Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____.**NBR 13.280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos **–** Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

_____.**NBR 15.259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos **–** Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

CARNEIRO, E. P.; REIS, J. M. L. **Mechanical properties of polymer mortar containing pet waste aggregates**. In: 21st Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 2011, Natal: ABCM, 2011. p. 1 - 6.

OLIVEIRA, M. C. B. R. de. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil.** 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.