

Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET

Modro, N.L.R.^I; Modro, N.R.^{II, III}; Modro, N.R.^{III}; Oliveira, A.P.N.^{IV}

^I Centro de Educação da Região Sul - UDESC - Av. Colombo Machado Salles, s/n, 88.790-000, Bairro Progresso, Laguna, SC.

e-mail: neilson.l Luiz@gmail.com

^{II} Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, 88.040-900, Trindade Florianópolis, SC.

e-mail: nrmodro@gmail.com

^{III} Centro de Educação do Planalto Norte – UDESC. Campus Universitário, Rua Luis Fernando Hastreiter, 180, 89290-000, Bairro Centenário, São Bento do Sul, SC.

e-mail: nrmodro@gmail.com; nilsonmodro@gmail.com

^{IV} Departamento de Engenharia Mecânica - UFSC. Campus Universitário, CP: 476, 88.040-900, Florianópolis, SC.

e-mail: pedro.novaes@pq.cnpq.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência da adição de resíduos de poli (tereftalato de etileno) - PET - sobre a resistência mecânica em concreto de cimento Portland. O PET foi utilizado no formato encontrado em indústria de reciclagem de embalagens. Os resíduos foram utilizados como substitutos de parte dos agregados do concreto e, para cada um dos resíduos, foram preparados quatro traços (10%, 20%, 30% e 40%, em volume). Para a preparação dos traços foi utilizado cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV – ARI) fornecido pela Votoran. A partir de cada uma das misturas obtidas foram confeccionados quinze corpos-de-prova em formato cilíndrico conforme a norma NBR 5738. Foram preparados também corpos-de-prova sem substituição de agregados que serviram como material de referência. Os ensaios de compressão foram realizados de acordo com a norma NBR 5739, nas idades de um, três e sete dias e, em cada uma destas idades, foram testados cinco corpos-de-prova de cada traço. Para todos os traços obtidos e, em todas as idades das amostras ensaiadas, pode-se notar uma tendência de redução da resistência mecânica com o aumento da fração volumétrica de substituição de agregados. O maior valor de resistência à compressão axial com a idade de sete dias foi apresentado pelo traço sem substituição de agregados (15,38 MPa), e o menor valor, para a mesma idade, foi apresentado pelo traço com 40 % de substituição de agregados por resíduos de PET (1,94 MPa).

Palavras-chaves: concreto, cimento Portland, resíduos, poli (tereftalato de etileno) - PET.

Evaluation of concrete made of Portland cement containing PET wastes

ABSTRACT

This work aims to verify the influence of poly (ethylene terephthalate) - PET - wastes additions on the concrete mechanical strength. The concrete used was prepared with a Portland cement. The PET was used in the as received shape from the packing recycling industry. The wastes were used as substitutes of concrete aggregates. For each waste type four mixtures (10, 20, 30 and 40 vol-%) were prepared. In order to prepare mixtures, high early strength Portland cement (CPV – ARI) was used, supplied by the Votoran Company. From each mixture obtained fifteen cylindrical shaped samples were prepared. The samples were prepared in accordance to the NBR 5738 Brazilian Standard. As reference materials, samples without wastes were also prepared. Mechanical strength tests were performed according to the Brazilian Standard NBR 5739. In this case, the following ages were tested: one, three and seven days. For each age, five samples were tested from each mixture prepared. For all mixtures obtained and for each sample age tested, a reduction in the mechanical strength occurred as the PET waste additions were increased. The highest mechanical strength value, 15.38 MPa, was obtained using sample with seven days age and mixture without aggregates. The lowest strength value, 1.94 MPa, was also obtained using sample with seven days age but with 40 vol-% PET waste addition.

Keywords: concrete, Portland cement, wastes, poly (ethylene terephthalate) (PET).

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida dos seres humanos pode ser alterada significativamente por meio da utilização de novas descobertas científicas para a produção de bens de consumo. Novas técnicas ou materiais podem servir como subsídios para a produção de artigos que tenham características inovadoras e desejáveis para aplicações específicas que venham a facilitar a vida dos seres humanos. No final do último milênio, ocorreu uma disseminação da utilização de embalagens “descartáveis”, em forma de garrafas, produzidas com resina de poli (tereftalato de etileno) (PET), como uma alternativa às até então tradicionais garrafas de vidro denominadas “retornáveis”, que eram utilizadas diversas vezes durante sua vida útil para o envase de um mesmo tipo de produto. Nesta mesma época, iniciou-se a substituição do uso de cordas naturais para fixação de mercadorias em pallets por fitas descartáveis de PET. Porém, a praticidade destes hábitos apresenta como contrapartida uma grande geração de resíduos pós-consumos. Todos os resíduos gerados durante o processo de consumo devem ter uma destinação adequada [1].

Entre as alternativas possíveis para a destinação final de resíduos podem-se destacar a deposição dos resíduos em aterros e a reciclagem que, além de reduzir a necessidade de criação de novos aterros, possibilita a redução da utilização de novos recursos naturais não renováveis [1].

Quando depositado em aterros o PET pode levar aproximadamente 400 anos para degradar-se, reduzindo a capacidade física dos mesmos e provocando, durante este tempo, uma diminuição da capacidade de percolação de gases e líquidos, resultando em um aumento no tempo necessário para estabilização da matéria orgânica. O PET possui alta resistência a agentes biológicos e atmosféricos e seus produtos de degradação são inócuos ao corpo humano [2, 3]. As garrafas de PET são totalmente inertes, o que significa que, mesmo indevidamente descartadas, elas não causam nenhum tipo de contaminação para o solo ou lençóis freáticos [3]. Além disso, verificou-se que durante testes de combustão de fibras de PET nenhum gás tóxico foi gerado [4].

No ano de 2006, o Brasil reciclou 194 kton de PET, o que representa 51,3% da resina virgem utilizada no período, índice inferior apenas ao do Japão (62% da resina virgem utilizada) [5]. Se por um lado este índice demonstra que a reciclagem de PET é uma realidade no Brasil, por outro lado demonstra também que existe uma grande parcela deste produto que não possui esta mesma destinação pós-consumo e que são encaminhados para a deposição em aterros.

A não reciclagem de embalagens de PET para a fabricação de novos produtos de mesma composição resulta, invariavelmente, em um maior consumo de matéria-prima não renovável e no aumento de áreas de deposição de resíduos.

Diferentemente de todas as outras criaturas vivas, o homem sempre teve de proteger-se da natureza usando vestimentas e construções. Ao lado das peles dos animais, os materiais de construção são a categoria mais antiga de materiais usados pelo homem para manter a sua subsistência [6] e, de fato, o cimento Portland é o material de construção de mais extenso uso no mundo [7].

Com a escassez dos agregados naturais nas regiões das grandes cidades, estão desenvolvendo-se os chamados agregados artificiais, os quais são fabricados, de preferência, de resíduos industriais [8]. Os materiais utilizados comumente como agregados para concreto de cimento Portland são provenientes de fontes naturais não renováveis e, a exemplo do cimento Portland, possuem uma utilização mundial em volumes extremamente elevados. Este consumo desenfreado, caso não seja contido, poderá provocar uma estagnação das fontes destes materiais, sendo importante então promover uma substituição destes por materiais provenientes de fontes alternativas.

Diversos estudos sobre a substituição de agregados minerais convencionais em concreto de cimento Portland estão sendo realizados atualmente, e entre eles podem ser destacados: uso de grãos de polipropileno reciclado, em substituição aos agregados de concreto [9]; adição de resíduos de poliuretano expandido, para a confecção de blocos de concreto leve [10]; lajes com adição de resíduos de pneus [11].

No entanto, a trabalhabilidade de concretos de cimento Portland é alterada quando se substitui os agregados convencionais por resíduos de PET (maiores teores de substituição provocam maiores perdas de abatimento) [4, 12]. Além disso, o PET apresenta baixa resistência a álcalis. Entretanto, não se detectou qualquer problema durante a utilização das fibras em concretos normais [4].

Neste contexto, a utilização de resíduos de PET pós-consumo, como substituto de agregados minerais em concreto de cimento Portland, apresenta-se como uma alternativa viável para dar uma destinação mais nobre aos mesmos, agregando valor e reduzindo impactos ambientais para a obtenção de concretos com propriedades otimizadas para uma aplicação específica.

2 MATERIAIS UTILIZADOS

2.1 Aglomerante

Neste trabalho, foi utilizado, como material aglomerante, o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V - ARI), marca VOTORAN, fabricado de acordo com as recomendações da Norma Técnica Brasileira - NBR 5733 [13]. Foi utilizado para a confecção da matriz cimentícia, necessária para efetuar todo este estudo, cimento comercializado em sacos de papel kraft de 50 kg cada. Todos os sacos utilizados eram provenientes da mesma partida de fabricação, ou seja, pertenciam ao mesmo lote, visando com isto eliminar problemas de variações que poderiam acarretar mudanças no comportamento dos concretos.

2.2 Agregados

Foram utilizados 4 tipos de agregados: “areia fina”, coletada no Rio Itajaí Açu, na cidade de Ilhota – SC; “areia média”, coletada na cidade de Araquari – SC; “pedrisco” e “pó de pedra com pedrisco”, fornecidos pela Pedreira Vale do Selke, Blumenau – SC.

Os agregados foram utilizados no estado de fornecimento, isto é, eles não passaram por processos de beneficiamento que resultassem em algum tipo de alteração em suas características iniciais, tais como a lavagem prévia ou o ajuste da granulometria através de peneiramento. Para evitar possíveis contaminações dos agregados com substâncias desconhecidas, os materiais foram acondicionados em sacos plásticos no momento de sua coleta e desembalados apenas no momento de sua utilização.

As fotografias da Figura 1 evidenciam as morfologias e os tamanhos das partículas dos agregados utilizados para a realização deste trabalho.

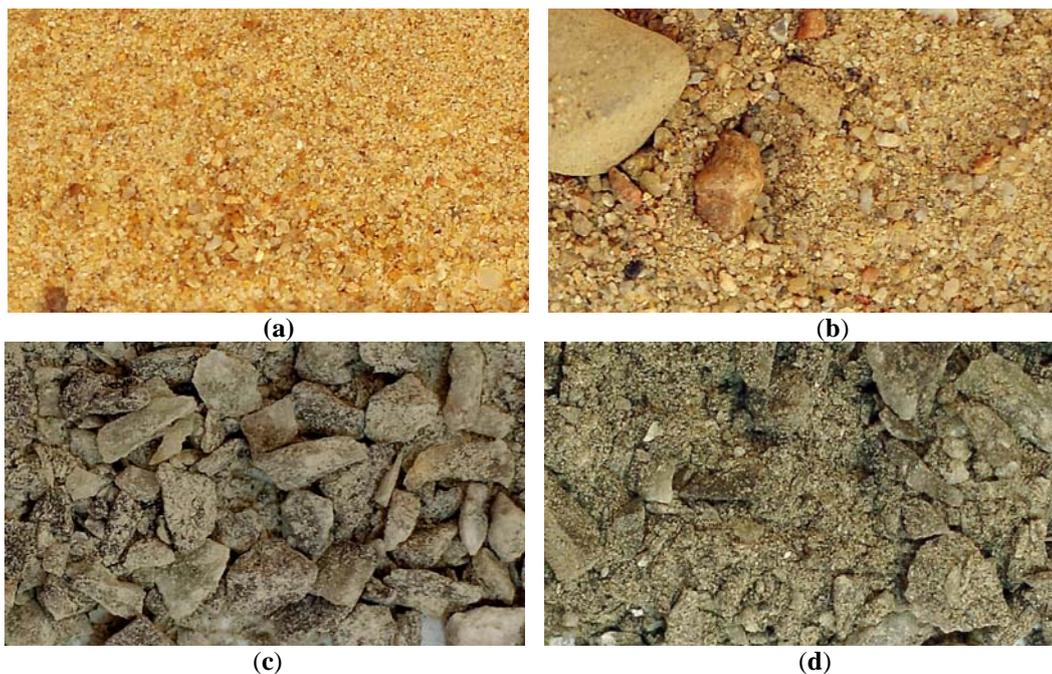


Figura 1: Fotografias de amostras de agregados utilizados para a realização deste trabalho: (a) areia fina; (b) areia média; (c) pedrisco; (d) pó de pedra com pedrisco.

Na Tabela 1, são apresentadas as porcentagens dos agregados retidos e acumulados em cada uma das peneiras, obtidas em ensaio realizado conforme as recomendações da Norma Técnica Brasileira - NBRNM248 [14].

Tabela 1: Distribuição granulométrica dos agregados.

Abertura das peneiras (mm)	Areia fina		Areia média		Pó com pedrisco		Pedrisco	
	% Ret	% Acu	% Ret	% Acu	% Ret	% Acu	% Ret	% Acu
6,3	-	-	0,56	0,56	-	-	-	-
4,8	-	-	0,79	1,35	1,26	1,26	7,56	7,56
2,4	-	-	4,08	4,53	28,53	29,79	77,92	85,48
1,2	0,57	0,57	11,47	16,90	24,63	54,42	8,97	94,45
0,6	10,64	11,21	30,23	47,13	16,86	71,28	2,15	96,60
0,3	22,29	33,50	27,22	74,35	7,83	79,11	0,77	97,37
0,15	51,06	84,56	12,76	87,11	6,67	85,78	0,67	98,04
Fundo	15,44	100,00	12,89	100,00	14,22	100,00	1,96	100,00

% Ret – Porcentagem de material retido na peneira.

% Acu – Porcentagem de material retido acumulado até a peneira.

A Figura 2 mostra as curvas de distribuição granulométrica dos agregados com base nas frações retidas em cada uma das peneiras.

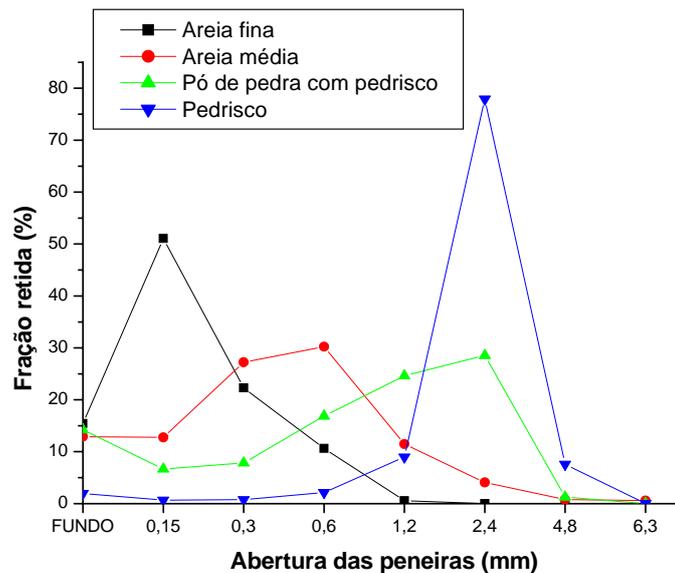


Figura 2: Curvas de distribuição granulométricas dos agregados.

2.3 Resíduos de Poli (tereftalato de etileno)

Foram utilizados dois tipos de resíduos de PET pós-consumo, ambos provenientes de empresas de reciclagem:

- PET proveniente de embalagens pós-consumo de refrigerantes, com pequenas dimensões (material passante na peneira com malha 4,8 mm) e com presença de impurezas tais como: terra, areia, pedrisco, cola. Este produto é o descarte de uma empresa local de reciclagem de embalagens e, doravante, será denominado simplesmente “areia de PET” ou “AR”.

- PET proveniente de fitas para fixar mercadorias em *pallets*, com formato de lâminas. Este produto é proveniente de uma empresa local de distribuição de mercadorias, o qual foi denominado simplesmente “flake de PET” ou “FL”. Este resíduo foi alterado em seu formato por meio da fragmentação das fitas de PET num Triturador forrageiro, marca TRAPP, modelo TRF – 400. O triturador estava equipado

com uma peneira com abertura de malha de 5 mm, que permitia a passagem de resíduos com comprimentos variados.

Nas fotografias da Figura 3 é mostrado o aspecto geral dos resíduos de PET utilizados neste trabalho.

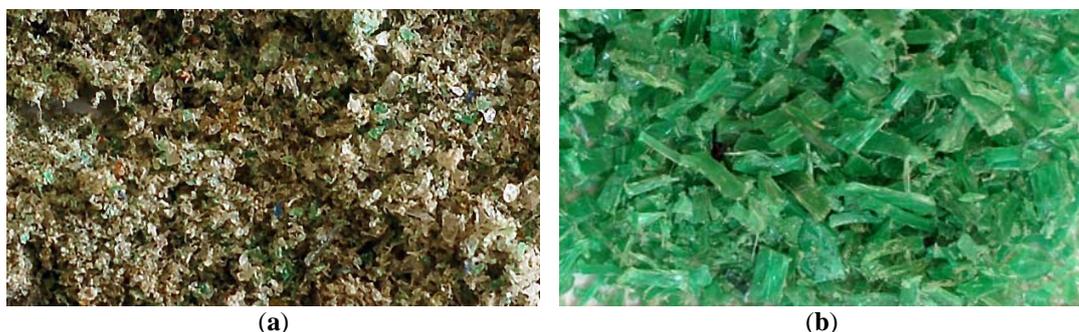


Figura 3: Fotografias de amostras de resíduos de PET utilizados para a realização deste trabalho: (a) areia de PET; (b) *flake* de PET.

2.4 Aditivo Plastificante

Foi utilizado o aditivo plastificante RHEOBUILT 1000, fabricado pela empresa BASF (The Chemical Company). Este produto é um aditivo líquido, pronto para o uso e é caracterizado pelo seu poder superplastificante de alto desempenho e que atende aos requisitos da Norma Técnica Brasileira - NBR 11768 [15]. Este produto foi fornecido em contentores de 30 kg.

3 METODOLOGIA

3.1 Formulação dos Traços

O traço de concreto utilizado como padrão apresenta a seguinte composição - 1:0,5:2,0:2,0:0,5:0,65:0,01 (cimento, pedrisco, pó de pedra, areia média, areia fina, água e aditivo plastificante, respectivamente), denominado Padrão. Com base neste traço foram desenvolvidos mais 8 traços, sendo que a diferença entre eles está relacionada à quantidade de resíduos utilizados em substituição dos agregados, mas na mesma proporção volumétrica. Os traços com substituição de resíduos foram nomeados de acordo com a seguinte regra: duas letras de identificação do tipo de resíduo utilizado e a quantidade de resíduos utilizada em substituição. Por exemplo, AR - 10 – substituição no traço padrão de 10% dos agregados pelo mesmo volume de areia de PET. Na Tabela 2, são mostradas as especificações de todos os traços utilizados para a realização deste trabalho.

Tabela 2: Traços ensaiados (razão mássica de material com relação ao cimento - neste caso a unidade -, material/cimento).

Traço	Cimento (-)	Pó de pedra (-)	Areia média (-)	Pedrisco (-)	Areia fina (-)	Água (-)	Aditivo (-)	PET (-)
Padrão	1,000	2,000	2,000	0,500	0,500	0,800	0,010	0,000
AR - 10	1,000	1,800	1,800	0,450	0,450	0,800	0,010	0,262
AR - 20	1,000	1,600	1,600	0,400	0,400	0,800	0,010	0,524
AR - 30	1,000	1,400	1,400	0,350	0,350	0,800	0,010	0,786
AR - 40	1,000	1,200	1,200	0,300	0,300	0,800	0,010	1,048
FL - 10	1,000	1,800	1,800	0,450	0,450	0,800	0,010	0,262
FL - 20	1,000	1,600	1,600	0,400	0,400	0,800	0,010	0,524
FL - 30	1,000	1,400	1,400	0,350	0,350	0,800	0,010	0,786
FL - 40	1,000	1,200	1,200	0,300	0,300	0,800	0,010	1,048

3.2 Preparação dos Traços

Para cada um dos traços utilizados neste trabalho foi desenvolvida uma única dosagem. Todos os materiais eram previamente selecionados e pesados antes do início do amassamento, o qual foi realizado utilizando uma betoneira com capacidade para 120 litros, modelo Premium, da marca Menegotti.

Os materiais foram colocados individualmente na betoneira, que permaneceu em funcionamento durante todo o processo de amassamento. O intervalo de tempo entre o final da colocação de um material e o início da colocação do próximo foi de 10 segundos. O tempo total de amassamento (incluindo o tempo para adicionar os componentes e o tempo de mistura) foi de 4,5 minutos. Para facilitar a dispersão do aditivo plastificante na matriz cimentícia, adotou-se o procedimento de misturá-lo à água de amassamento. A adição dos materiais durante o processo de amassamento foi realizada na seguinte ordem: água de amassamento e aditivo plastificante, aglomerante (cimento Portland), resíduo de poli (tereftalato de etileno), pedrisco, pó de pedra com pedrisco, areia média, areia fina.

3.3 Moldagem e Cura dos Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova utilizados para o desenvolvimento deste trabalho possuíam as dimensões de 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura) e a moldagem e cura dos mesmos foram realizadas de acordo com as orientações da Norma Técnica Brasileira NBR 5738 [16].

3.4 Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone

Devido ao fato de encontrar-se na literatura relato de perda de abatimento em concretos com adição de resíduos de PET, realizou-se, para cada um dos traços utilizados neste trabalho, um ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. O procedimento foi realizado em conformidade com as recomendações da Norma Técnica Brasileira NBRNM67 [17]. Foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos nos testes de abatimento realizados para todos os traços ensaiados.

3.5 Análise Microestrutural

As amostras de concreto com polímero PET foram fraturadas e analisadas em dois planos: no plano de fratura (longitudinalmente) e no plano de corte (transversalmente). As análises foram feitas em um estereoscópio Olympus SZ – CTV de luz refletida com um aumento de 6,3 vezes e as fotos foram obtidas com uma câmera fotográfica Panasonic GP-KR222 acoplada ao estereoscópio. Cada divisão (menor divisão) da escala representada nas fotos equivale a 1 mm. A análise foi realizada no Núcleo de Pesquisa em Materiais Cerâmicos e Vidros (CERMAT) da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.6 Determinação da Porosidade dos Traços Ensaçados

Conhecendo os valores da densidade real ou teórica e da densidade aparente (determinada geometricamente), a porosidade dos materiais foi calculada por meio da Equação 1:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

P – porosidade (%);

ρ_a – densidade aparente do material (kg/m^3);

ρ_r – densidade real do material (kg/m^3).

3.7 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

A avaliação da resistência à compressão axial dos corpos-de-prova utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada de acordo com as orientações da Norma Técnica Brasileira NBR 5739 [18]. Para cada um dos traços desenvolvidos neste trabalho foram ensaiados 15 corpos-de-prova, sendo 5 corpos-de-prova na idade de 1 dia, 5 corpos-de-prova na idade de 3 dias e 5 corpos-de-prova na idade de 7 dias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Abatimento dos Traços Ensaidados

Os valores encontrados no ensaio de abatimento realizados, para todos os traços utilizados neste trabalho, são apresentados na Figura 4. Como podem ser observados pela análise das curvas da Figura 4, os valores de abatimento encontrados apresentam, em geral, uma tendência de redução para traços com substituição de resíduos. Isto está de acordo com a literatura, já que foram encontradas indicações de perda de abatimento, quando da utilização destes tipos de polímero (PET) como agregados de concreto de cimento Portland.

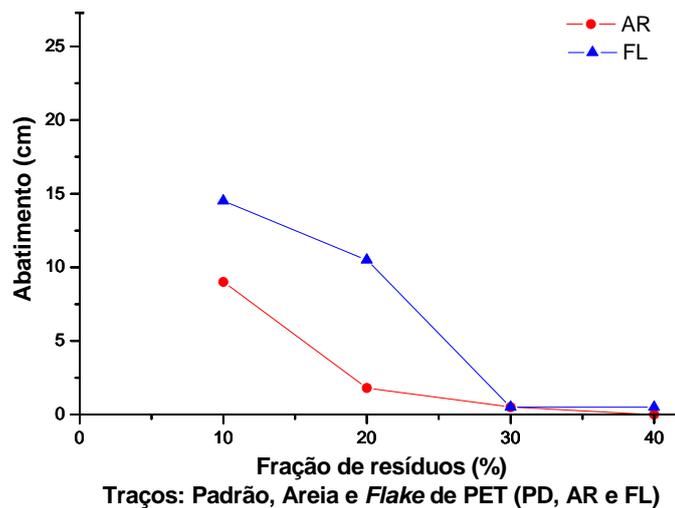


Figura 4: Abatimento em função da quantidade de resíduos dos traços ensaiados.

Com relação aos resíduos do tipo AR e FL, para frações de 10% e 20% de substituição de agregados ocorreu maior perda de abatimento para os resíduos tipo AR. Para 30% de substituição de agregados os valores de abatimento, para AR e FL, foram iguais (0,5 cm) e para 40% de substituição de agregados os valores encontrados para o abatimento apresentaram uma pequena variação (0,0 cm para o resíduo tipo AR e 0,5 cm para o resíduo tipo FL).

4.2 Análise Microestrutural

A Figura 5 mostra a microestrutura de amostras dos traços preparados neste trabalho referentes, especificamente, às amostras padrão, sem adição de resíduos, AR (areia de PET) com 40%, em volume, de resíduo e FL (*flake* de PET) com 40%, em volume, de substituição de agregado por resíduo polimérico. De acordo com as observações ao microscópio óptico e as ilustrações da Figura 5, os resíduos poliméricos adicionados, nas devidas proporções, estão uniformemente distribuídos (resíduos de areia e de flake apresentam coloração verde o que facilita a visualização) ao longo da matriz cimentícia. Não foram observadas delaminações ou destacamentos dos resíduos da matriz ou qualquer indicação de reações químicas entre os materiais.

Em algumas das observações ao microscópio foi evidenciada certa porosidade, o que pode causar uma redução da resistência mecânica dos traços preparados. De fato, a porosidade ficou mais evidenciada à medida que a quantidade de resíduos aumentou e foi mais acentuada para o traço contendo resíduo do tipo areia de PET (AR-40).



(a)



(b)



(c)

Figura 5: Micrografias da seção transversal de amostras fraturadas: (a) Padrão; (b) AR – 40 e (d) FL – 40. Menor divisão da escala equivale a 1 mm.

Para todos os traços, conforme mostra a Figura 6, com adição de resíduos ocorre, de maneira geral, um aumento da porosidade à medida que a quantidade ou a fração volumétrica de resíduos aumenta. Esta tendência também, e de maneira geral, pode ser observada à medida que se passa do resíduo de FL para AR que apresenta a maior porosidade para uma mesma fração volumétrica de resíduos. Isto pode estar relacionado ao fato dos traços apresentarem valores menores de abatimentos para maiores percentuais de substituições, o que poderia estar provocando um aumento proporcional de incorporação de ar nos mesmos.

O traço PADRÃO apresentou um índice de porosidade superior aos traços AR – 10, FL – 10 e FL – 20. Isto pode estar relacionado ao alto fator água/cimento e ao alto abatimento encontrado para o traço PADRÃO, fatores que podem ter provocado uma eventual segregação e uma rápida perda de água de constituição na idade inicial destes concretos confeccionados com estes traços, provocando a geração de capilares em quantidade superior à gerada nos outros traços.

Na realidade, o aumento de porosidade esta relacionado, sobre tudo, à área de superfície específica dos resíduos, que é tanto maior quanto mais irregular ele é, como é o caso do resíduo de AR. De fato, aumentando-se a área de superfície dos agregados, maior deverá ser a quantidade de água adsorvida e, portanto, absorvida no processo de cura do concreto.

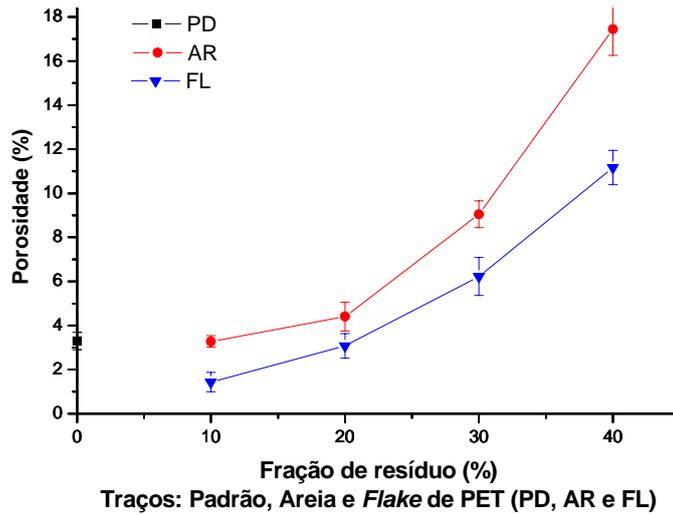


Figura 6: Porosidade dos traços ensaiados em função da fração volumétrica de substituição.

4.3 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

Os valores encontrados para as resistências à compressão axial dos traços com substituição de agregados por resíduos do tipo areia de PET são mostrados na Figura 7.

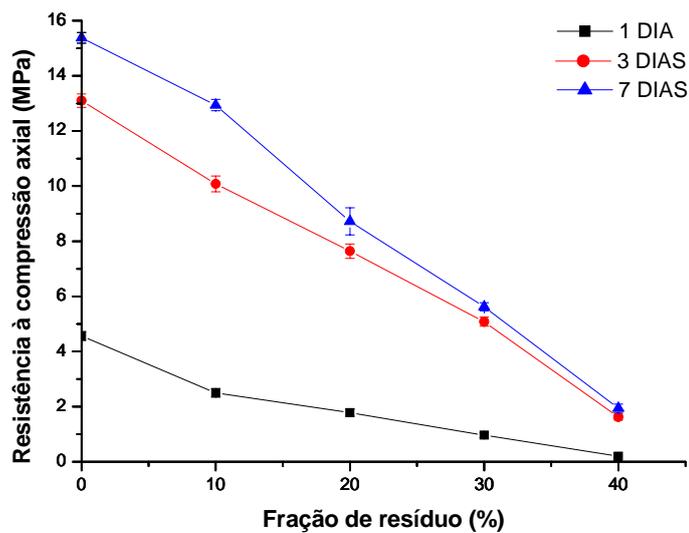


Figura 7: Resistência à compressão axial dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduos do tipo areia de PET.

Os valores encontrados para as resistências à compressão axial dos traços com substituição de agregados por resíduos do tipo *flake* de PET são mostrados na Figura 8.

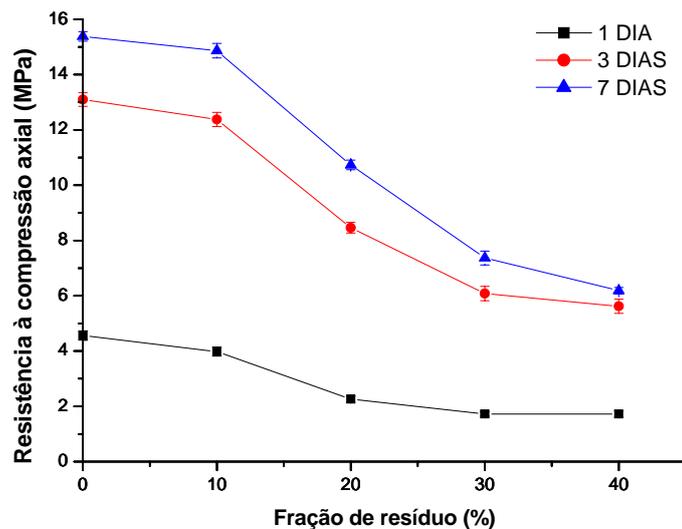


Figura 8: Resistência à compressão axial dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduos do tipo *flake* de PET.

Para todos os traços obtidos e em todas as idades das amostras ensaiadas, a compressão axial, pode-se notar uma tendência de redução da resistência com o aumento na fração volumétrica de substituição de agregados. Por outro lado e apesar de sua redução com o aumento da fração volumétrica de resíduos adicionados, a resistência à compressão aumentou de maneira análoga para todos os tipos de traços à medida que a idade dos mesmos aumentou de 1 dia para 7 dias, como era esperado.

Para a idade de 7 dias e para todas as frações volumétricas de substituição de agregados por resíduos, os traços com resíduos do tipo areia de PET apresentaram uma tendência de redução da resistência à compressão axial superior em comparação aos traços com resíduos do tipo *flake* de PET com as mesmas frações volumétricas de substituição.

A resistência à compressão normal com a idade de 7 dias apresentada pelo traço Padrão foi de 15,38 MPa. Para a mesma idade e com as frações volumétricas de substituição de agregados máximas, o valor da resistência apresentado foi de 1,94 MPa para o traço com 40%, em volume, de substituição por resíduo tipo areia de PET (traço AR-40) e 6,18 MPa para o traço com 40%, em volume, de substituição por resíduo *flake* de PET (traço FL-40).

5 CONCLUSÕES

A análise microestrutural permitiu a confirmação da distribuição uniforme dos resíduos na matriz cimentícia, não sendo constatadas delaminações ou destacamentos dos resíduos da matriz ou qualquer indicação de interação química entre os materiais.

A diminuição da resistência à compressão dos traços obtidos com a substituição de agregados minerais por resíduos de PET, em relação ao padrão (sem adição de resíduo de polímero), está relacionada, sem dúvida, a menor interação química entre o polímero e a matriz cimentícia e a porosidade residual gerada, mas principalmente devido a menor resistência mecânica intrínseca dos polímeros com respeito aos agregados minerais que são muito mais resistentes mecanicamente.

Esta tendência de diminuição de resistência verificada para todos os teores de substituição está de acordo com o relatado na literatura em estudos de substituição de agregados minerais por resíduos poliméricos [3, 12, 19].

Do ponto de vista de aplicação e considerando os resultados obtidos, em particular com relação à resistência mecânica, os traços obtidos com a substituição de agregados minerais por resíduos de PET podem ser aplicados na Indústria da Construção Civil para a fabricação de artefatos não estruturais, isto é, não limitados por normas específicas, sobretudo referentes à resistência mecânica. Neste caso, exemplos potenciais de utilização são: alvenaria interna de fechamento, capas para lajes nervuradas, capas para lajes pré-moldadas, material de enchimento (em escadas, rebaixos de nível, base de enchimento para pisos térreos de edificações).

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, à Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, e à Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] MODRO, N.L.R., *Desenvolvimento e Caracterização de Concreto de Cimento Portland Contendo Resíduos Poliméricos de PET*, Dissertação de M.Sc., UNIVILLE, Joinville, SC, Brasil, 2008.
- [2] PEZZIN, A.P.T., *Reciclagem química de embalagens de PET pós-consumo: Síntese de novos copolímeros biodegradáveis*, Notas de aula, UNIVILLE, Joinville, SC, Brasil, 2007.
- [3] CANELLAS, S.S., *Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas*, Dissertação M.Sc., PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- [4] OCHI, T., OKUBO, S., FUKUI, K., "Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforced fiber", *Cement and Concrete Composites*, v. 29, n. 6, pp. 448-455, February 2007.
- [5] Associação Brasileira da Indústria do PET, <http://www.abipet.org.br/noticias/Terceiro%20Censo%20Reciclagem%20do%20PET%2006-07.pps>. Acessado em novembro de 2008.
- [6] HENDRIKS, C.F., NIJKERK, A.A., KOPPEN, A.E., *O Ciclo da Construção*, Brasília, 1 ed., Brasília, DF., Editora da Universidade de Brasília, 2007.
- [7] ANÔNIMO (2002), Boletim Técnico 106: *Guia básico de utilização de cimento Portland*, 7 ed, São Paulo, ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland.
- [8] ALVES, J.D., *Manual de Tecnologia do Concreto*, 3 ed., Goiânia, Editora UFG, 1993.
- [9] COELHO, R.T., *Contribuição ao estudo da aplicação de materiais alternativos à base de cimento Portland: uso de grãos reciclados de polipropileno reciclado em substituição aos agregados de concreto*, Dissertação M.Sc., UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2005.
- [10] SIQUEIRA, L.V.M., STRAMARI, M.R.; FOLGUERAS, M.V., "Adição de poliuretano expandido para a confecção de blocos de concreto leve", *Revista Matéria*, v. 9, n. 4, pp. 399-410, 2004.
- [11] TRIGO, A.P., *Lajes com adição de resíduo de pneu*, Dissertação M.Sc., UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil, 2008.
- [12] ALMEIDA, M.O., JUNIOR, M.J.F. SONCIM, S.P., JUNIOR, G.B.A., "Uso de areia de PET na fabricação de concretos", In: *Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – Livro de Resumos*, pp.39, Santa Catarina, Outubro 2004.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, *NBR-5733: Cimento Portland de alta resistência inicial*, Rio de Janeiro, 1991.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, *NBRNM248: Agregados – determinação da composição granulométrica*, Rio de Janeiro, 2003.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, *NBR-11768: Aditivo para concreto de cimento Portland*, Rio de Janeiro, 10992.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, *NBR-5738: Moldagem e cura dos corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*, Rio de Janeiro, 2003.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS – ABNT, *NBRNM67: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*, Rio de Janeiro, 1998.

- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, *NBR-5739: Concreto – ensaios de compressão em corpos-de-prova cilíndricos*, Rio de Janeiro, 2007.
- [19] CHOI, Y.W., MOON, D.J., CHUNG, J.S., CHO, S.K., "Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete", *Cement and Concrete Research*, v. 35, n. 4, pp. 776-781, Apr. 2005.