

Caracterização física e mecânica do concreto incorporado com polímero

Physical and mechanical characterization of concrete incorporated with Polymer

DOI:10.34117/bjdv7n3-406

Recebimento dos originais: 24/02/2021

Aceitação para publicação: 16/03/2021

Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Professora, Doutora em Engenharia Ciências e Engenharia de Materiais – UFCG
Av. Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário, Campina Grande – PB, Brasil
Email: ana.duartemendonca@gmail.com

Loredanna Melyssa Costa de Souza

Doutora do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos – UFCG
Av. Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário, Campina Grande – PB, Brasil
Email: loredannamcs@gmail.com

Yane Coutinho Lira

Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - UFPE
Av. Professor Moraes Rego, s/n, Iputinga, Recife - PE
Email: yane_coutinho@hotmail.com

Valter Ferreira de Sousa Neto

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental – UFCG
Av. Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário, Campina Grande – PB, Brasil
Email: valterneto51@gmail.com

Teresa Elane Bezerra Luz

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental - UFRN
Av. Senador Salgado Filho, 3000 - Complexo Tecnológico de Engenharia da UFRN - GNOMO - Natal – RN
Email: elanebluz@ufrn.edu.br

Camila Gonçalves Luz Nunes

Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental - UFPB
Campus Universitário, s/n – João Pessoa-PB
Email: camilanunes.engcivil@hotmail.com

Pedro Henrique dos Santos Pereira

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB
Campus Universitário, s/n – João Pessoa-PB
Email: pedrohenrique.96ph@gmail.com

Maria Ingridy Lacerda Diniz.

Mestranda do Programa de pós graduação em Engenharia Civil e Ambiental - UFPB

Campus Universitário, s/n – João Pessoa-PB
Email: mariaingridydiniz@gmail.com

RESUMO

Com o passar dos anos, um atributo que vem apresentando maior destaque no ramo científico, é a contração do tempo entre uma descoberta científica e o seu aproveitamento. Entretanto, diante dessa evolução, pode-se constatar também o crescimento populacional desenfreado em conjunto com a procura por produtos que apresentem ciclos de vida cada vez menores. Assim, diante deste cenário, estudos vêm sendo desencadeados para a incorporação de novos materiais no ramo da construção civil, entre eles temos o Politereftalato de Etileno (PET). O PET é um poliéster, polímero termoplástico, utilizado para fabricação de embalagens e, principalmente, garrafas para bebidas carbonatadas. Derivado do petróleo, substância não renovável, as embalagens de politereftalato de etileno levam no mínimo cem anos para se decompor - podendo variar de acordo com as condições ambientais - passando a ocupar grande parte dos aterros sanitários, contribuindo para os custos de coleta seletiva, transporte e descarte final de resíduos urbanos. Entre suas características evidenciam-se baixa densidade, a transparência, o brilho, o seu bom desempenho em diferentes designs, a facilidade de moldagem, além de proporcionar uma alta resistência mecânica e química, possui também uma excelente barreira para gases e odores. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar as características físicas e mecânicas do concreto incorporado com polímero (Politereftalato de etileno) em substituição parcial ao cimento Portland. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 15 cmx30 cm com substituição do cimento por Politereftalato de etileno nos teores de 2,5%, 7,5% e 10%. Verificou-se que o polímero ocasionou a redução da resistência do concreto quando comparado aos resultados obtidos para o concreto de referência, no entanto, os resultados obtidos atendem aos parâmetros normativos.

Palavras-chave: Politereftalato de etileno, concreto, construção civil, reciclagem.

ABSTRACT

As the years go by, an attribute that is becoming more prominent in the scientific field is the contraction of the time between a scientific discovery and its utilization. However, in face of this evolution, one can also see the unbridled population growth in conjunction with the demand for products that present increasingly shorter life cycles. Thus, given this scenario, studies have been triggered to incorporate new materials in the construction industry, among them we have the Polyethylene Terephthalate (PET). PET is a polyester, thermoplastic polymer, used to manufacture packaging and, mainly, bottles for carbonated drinks. Derived from petroleum, a non-renewable substance, polyethylene terephthalate packaging takes at least one hundred years to decompose - which may vary according to environmental conditions - and now occupies a large part of landfills, contributing to the costs of selective collection, transportation and final disposal of urban waste. Among its characteristics are low density, transparency, brightness, good performance in different designs, ease of molding, besides providing high mechanical and chemical resistance, it also has an excellent barrier to gases and odors. Thus, this work aims to evaluate the physical and mechanical characteristics of concrete incorporated with polymer (Polyethylene terephthalate) as a partial replacement for Portland cement. Bodies of 15 cm x 30 cm were molded with cement replacement by polyethylene terephthalate at 2.5%, 7.5% and 10%. Verificou-se que o polímero ocasionou a redução da resistência do concreto quando comparado aos resultados obtidos para o concreto de referência, no entanto, os resultados obtidos atendem aos parâmetros normativos.

Keywords: polyethylene terephthalate, concrete, civil construction, recycling.

1 INTRODUÇÃO

O concreto, elemento indispensável na construção civil, ao longo dos séculos vem inovando e se adaptando aos desafios impostos na criação de novas estruturas, sejam elas: vias, prédios esbeltos, construções de monumentos, entre tantas outras. Entretanto, mesmo frente a tantas evoluções, é necessário manter algumas de suas características mais intrínsecas: a resistência, durabilidade e a manuseabilidade.

No cenário dessas três características fundamentais, o concreto tornou-se o segundo material mais utilizado no mundo, perdendo apenas para a água, fundamental à vida (PETRUCCI, 1978).

A fim de justificar tal importância, podem-se citar alguns benefícios que o maciço oferece aos engenheiros. A primeira explicação é baseada na sua resistência a ação da água, desenvolvendo um ótimo trabalho em barragens, canais e túneis (SOUZA, 2004). A segunda seria seu baixo custo, uma vez que seus componentes – cimento, agregados graúdo e miúdo, água - são acessíveis. E, por fim, a terceira razão, é a facilidade de manuseio e adaptação do concreto ainda no estado fresco, fundamentado na sua consistência plástica, o que permite a elaboração de elementos estruturais sofisticados (PEDROSO *et al.*, 2009).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), vem sendo desenvolvidas tecnologias para a aplicação do material de forma mais sustentável, assim como transferência de tecnologias em curso de aperfeiçoamento técnico e pesquisas mais aprofundadas.

Uma das maneiras de aplicação sustentável do concreto seria a incorporação dos mais diversos tipos de resíduos, entre eles o politereftalato de etileno (PET), em virtude de possuir composição similar a matéria-prima natural.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET), o PET é um poliéster, polímero termoplástico, utilizado para fabricação de embalagens e, principalmente, garrafas para bebidas carbonatadas. Derivado do petróleo, substância não renovável, as embalagens de politereftalato de etileno levam no mínimo cem anos para se decompor, podendo variar de acordo com as condições ambientais. Assim, no decorrer da sua vida, os recipientes provocam degradação ao meio ambiente, poluindo rios e oceanos, além de desequilíbrio nas cadeias interligadas.

Entre suas características evidenciam-se baixa densidade, a transparência, o brilho, o seu bom desempenho em diferentes designs, a facilidade de moldagem, além de proporcionar uma alta resistência mecânica e química, possui também uma excelente barreira para gases e odores. Devido as excelentes características, tem conquistado um grande espaço no mercado de resinas termoplásticas, crescendo exponencialmente nos últimos anos. O baixo custo de produção e consequente aperfeiçoamento de seu processo de fabricação, fez do PET um dos principais plásticos da atualidade (ABIPET, 2010).

Na construção civil, será valorizada sua alta resistência à ruptura, boa resistência química e abrasiva, resistência ao impacto na forma orientada, baixo coeficiente de fricção e a fácil reciclabilidade.

Assim, com a adição do PET micronizado nos blocos estruturais de concreto, em um teor ótimo definido experimentalmente, acredita-se que haja melhorias nas propriedades reológicas, gerando maior resistência e economia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados na pesquisa foram:

- **Polímero:** Politereftalato de Etileno (PET);
- **Cimento:** Cimento Portland CP V ARI de alta resistência inicial;
- **Agregado miúdo:** Areia quartzosa proveniente do leito do Rio Paraíba;
- **Agregado Graúdo:** Rochas britadas com diâmetro de 6,3mm;
- **Água:** Fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba.

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Caracterização física dos materiais

A seguir serão descritos os ensaios de caracterização do agregado graúdo, agregado miúdo e do cimento utilizados na pesquisa.

2.2.2. Análise granulométrica

O ensaio de granulometria determina a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. É representada pela curva de distribuição

granulométrica que mostra o percentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira.

O ensaio de composição granulométrica para o agregado graúdo e agregado miúdo como para o agregado graúdo foi realizado segundo o método de ensaio ABNT NBR 7217:1987.

2.2.3. Determinação da massa específica

A massa específica do agregado é a relação da massa e o seu volume, não considerando os vazios permeáveis da água. Este valor tem importância no cálculo do consumo dos materiais a serem determinados no traço de concreto.

A determinação da massa específica da areia foi realizada por meio do frasco de Chapman (Figura 1), segundo a norma ABNT NBR 9776:1987. Para o agregado graúdo a determinação da massa específica foi alcançada utilizando-se a norma ABNT NBR NM 53:2003, e para o cimento, o ensaio foi realizado seguindo a norma DNER – ME 085/1994.

Figura 1: Massa específica do agregado miúdo por meio do frasco Chapman



Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

2.2.4 Determinação da massa unitária

A massa unitária de agregado no estado solto corresponde ao quociente da massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente. Este ensaio tem como objetivo principal verificar a massa unitária do agregado miúdo, incluindo os vazios, e umidade que existem entre os grãos, e determinar sua utilização no traço de concreto. Com essa determinação pode-se ser feito as transformações dos traços de massa pra volume durante o procedimento de dosagem.

O ensaio foi realizado com o agregado miúdo segundo o método de ensaio ABNT NBR 7251:1982, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2: Determinação da massa unitária no estado solto



Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

2.2.5 Determinação do teor de materiais pulverulentos

Os materiais pulverulentos são partículas minerais que passam na peneira de malha de nº 200 com abertura de 75µm, inclusive os materiais solúveis em água, presente nos agregados.

Este ensaio, que tem como objetivo a determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados destinados ao preparo de concreto, foi realizado para o agregado miúdo de acordo com a norma ABNT NBR 7219:1987, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3: Água após a lavagem da amostra de agregado miúdo



Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

2.2.6 Absorção

É o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de um líquido em seus poros permeáveis, em relação a sua massa no estado seco.

A determinação da absorção dos agregados graúdos foi realizada segundo o método de ensaio ABNT NBR NM 53:2003. Dependendo do valor da absorção pode ser feito o reajuste nos cálculos da relação água/cimento dos traços de concreto.

2.2.7 Ensaio de finura

É a determinação da porcentagem, em massa, de cimento Portland cujas dimensões de grãos são superiores a 75 μm através do método de peneiramento manual de acordo com a norma ABNT NBR 11579:2012.

É importante se conhecer o valor da finura dos cimentos, pois quando esse valor é alto, indica que ocorreu hidratação do cimento e conseqüentemente, perda de suas características. Quanto mais fino for o cimento melhor será a sua reação de hidratação e a resistência mecânica da argamassa.

2.2.8 Análise Química

Após beneficiada em peneira ABNT N° 200 (0,074 mm), o polímero (Politereftalato de etileno) foi caracterizado quanto à composição química, pelo método de Espectrofotometria Fluorescente de Raios-X, onde serão identificados os constituintes químicos dos materiais em estudo.

2.2.9 Análise Termodiferencial e Termogravimétrica

As análises térmicas diferenciais (ATD) e termogravimétricas (TG) o polímero (Politereftalato de etileno) foi realizado a temperatura máxima de 200°C, o padrão utilizado nos ensaios de ATD é o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado operando a 12,5°C/min. A massa utilizada foi em torno de 4.0 ± 0.5 gramas.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO FRESCO E MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

2.3.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test)

Ensaio de abatimento foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 67:1998. A determinação da consistência do concreto permite verificar se há excesso ou falta de água no concreto. O método é aplicável à determinação em laboratório ou em canteiro de obras.

2.3.2 Moldagem e adensamento dos corpos de prova

Foram moldados corpos de provas cilíndricos com diâmetro de 5 x 10 (cm), com teores de substituição do cimento por 5% , 7,5% e 10% de Politereftalato de etileno. O adensamento do concreto foi feito no molde cilíndrico, de forma manual dividido em três camadas, em que cada uma recebeu uma energia de compactação de 12 golpes. As duas primeiras camadas foram adensadas com o auxílio da haste enquanto que a terceira camada foi compactada com o emprego do soquete e da marreta. Tanto a haste como o soquete foram meios utilizados para simular o adensamento do concreto nas máquinas vibro-prensas hidropneumáticas. A haste simulou o adensamento do concreto através da mesa vibratória e o soquete simulou a compressão mecânica da haste de compactação. Este método de adensamento foi adotado visando expulsar o máximo possível o ar aprisionado e incorporado ao concreto.

2.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA

2.4.1 Determinação da absorção do concreto

A determinação da absorção dos corpos de prova foi realizada segundo o método prescrito pela norma ABNT MB 3459:1991, que estabelece como limite máximo de absorção o valor de 10% da massa no estado seco. Este ensaio foi realizado para os corpos de prova com idade de 28 dias.

2.4.2 Resistência à compressão simples do concreto f_{cc}

Para a caracterização mecânica foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples do concreto f_{cc} , de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2007 nas idades de 7 e 28 dias após a data de moldagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGREGADO GRAÚDO

O agregado graúdo utilizado na pesquisa foi a brita de rocha granítica, a brita zero, com dimensão máxima característica de 6,3 mm, também conhecida no comércio como “cascalhinho”. Os resultados das caracterizações físicas realizadas com o agregado graúdo estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização física do agregado graúdo (ABNT NBR NM 53:2003)

Ensaio	Valores obtidos
Massa específica do agregado seco	$\gamma_s = 2,63 \text{ g/cm}^3$
Massa específica do agregado na condição saturada superfície seca	$\gamma_{sss} = 2,64 \text{ g/cm}^3$
Massa específica aparente	$\gamma_a = 2,67 \text{ g/cm}^3$
Absorção	$A_{bs} = 0,66\%$

A distribuição dos tamanhos dos grãos do agregado graúdo está especificada na Tabela 2.

Tabela 2: Composição granulométrica do agregado graúdo

Composição granulométrica (ABNT NBR 7217:1987)			
Peneiras (mm)	Material retido (g)	Porcentagem em massa (%)	
		Retida	Acumulada
6,3	2382,00	39,70	39,70
4,8	2604,00	43,40	83,10
2,4	955,20	15,92	99,02
1,2	22,20	0,37	99,39
0,6	6,40	0,11	99,50
0,3	5,11	0,09	99,58
0,15	6,04	0,10	99,68
Fundo	18,54	0,31	99,99
Soma	5999,49	100,0	
Módulo de finura		6,19	
Diâmetro máximo		6,3mm	

A Tabela 2, composição granulométrica do agregado graúdo, aponta o módulo de finura de 6,19 e o diâmetro máximo característico de 6,3 mm, tendo a maior parte do material retido nas peneiras de malha 6,3 mm e 4,8 mm.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGREGADO MIÚDO

Para o agregado miúdo foi utilizado areia quartzosa proveniente do leito do Rio Paraíba. Os resultados obtidos no ensaio de granulometria estão representados na Tabela 3.

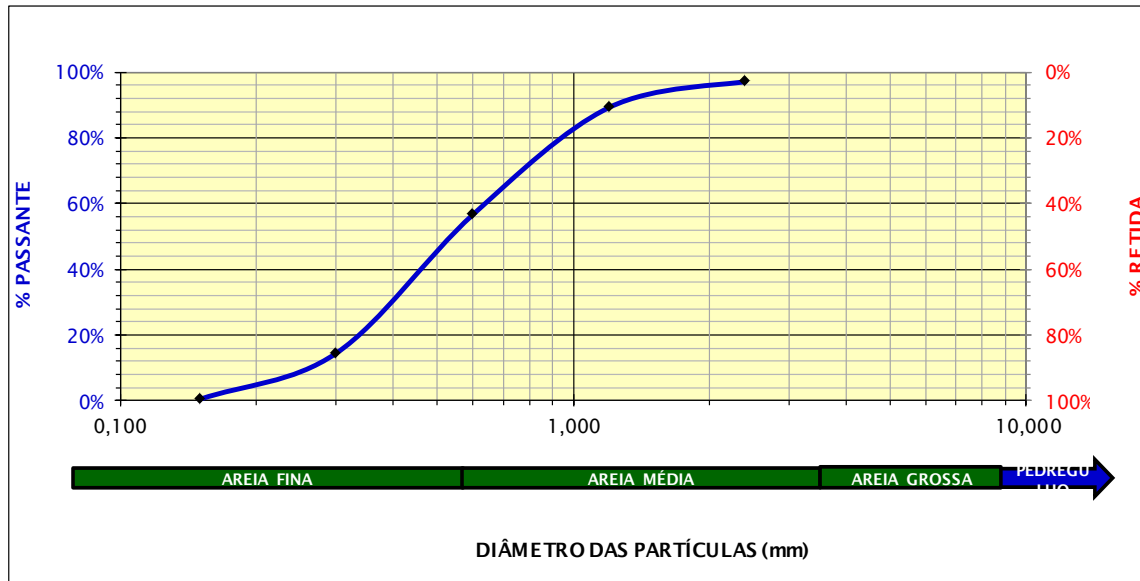
Tabela 3: Composição granulométrica do agregado miúdo

Composição granulométrica (ABNT NBR 7217:1987)			
Peneiras (mm)	Material retido (g)	Porcentagem em massa (%)	
		Retida	Acumulada
2,4	28,95	2,90	2,90
1,2	79,09	7,91	10,81
0,6	326,3	32,65	43,46
	2		
0,3	420,8	42,11	85,56
	5		
0,15	140,2	14,04	99,60
	8		
Fundo	4,00	0,40	100,00
Soma	999,4	100,0	-
	9	0	
	Módulo de finura		2,42
	Diâmetro máximo		2,36 mm

A composição granulométrica do agregado miúdo desempenha papel fundamental na preparação de concretos e argamassas. As dimensões do agregado têm efeito direto sobre os vazios, no fator água/cimento e na trabalhabilidade das misturas de concreto. Os resultados obtidos para o diâmetro máximo e para o módulo de finura foi de 2,42 mm e 2,36, respectivamente. As areias são divididas, com relação a sua granulometria, em muito grossas, grossas, médias, finas e muito finas, conforme o valor do seu módulo de finura, que é determinado pela soma das porcentagens retidas acumuladas, nas peneiras de série normal dividida por 100.

De acordo com o módulo de finura a areia utilizada é classificada como areia fina e média, que pertence à zona ótima não apresentando uma grande deficiência ou excesso de qualquer tamanho de partícula, produzindo assim uma argamassa de concreto mais trabalhável e econômica. Desta forma, foi possível traçar o gráfico da curva granulométrica ilustrada na Figura 4.

Figura 4: Curva granulométrica do agregado miúdo



Para os ensaios de massa específica, massa unitária no estado solto e teor de materiais pulverulentos os resultados estão representados na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização do agregado miúdo

Ensaio	Valor obtido
Massa Específica (ABNT NBR 9776:1987)	2,618g cm ³
Massa Unitária no Estado Solto (ABNT NBR 7251:1982)	1,429g/cm ³
Teor de Materiais Pulverulentos (ABNT NBR 7219:1987)	0,07%

Outro parâmetro importante para o estudo de dosagem do concreto é o valor da massa unitária, que se refere à densidade do agregado com os vazios existentes. O valor obtido da massa unitária do agregado miúdo foi de 1,429g/cm³. Este valor foi alcançado a partir do preenchimento do recipiente cilíndrico pelo agregado miúdo, adotando todos os cuidados para evitar a segregação das partículas que constituíam a amostra.

Para o ensaio de determinação do teor de materiais pulverulentos a norma estabelece que água de lavagem do agregado se torne límpida. Desta forma, foi observado, após quatro lavagens de dois minutos cada, que a água de lavagem armazenada nos Beckres, apresentou mudança expressiva na sua coloração indicando que a quantidade de material pulverulento na amostra não era mais tão significativa, e só assim o a lavagem foi encerrado visando evitar a abrasão entre as partículas. O valor obtido para o teor de materiais pulverulentos da areia foi de 0,07%. Ou seja, 99,93% da amostra do agregado miúdo é formada de grãos de areia.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO CIMENTO

O cimento escolhido para esta pesquisa foi o CP V ARI por ser um produto de elevado desempenho, desenvolvido para aplicações da indústria pré-moldados e artefatos de concreto, onde se torna necessário desformas rápidas e resistência elevada nas primeiras horas de aplicações.

A massa específica e índice de finura do cimento estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Caracterização física do cimento

Ensaio	Valor obtido
Massa específica (DNER – ME 085/1994)	3,10g/cm ³
Finura (ABNT NBR 11579:1991)	1,40%

O valor do índice de finura encontrado foi de 1,4%, que satisfaz ao valor limite máximo de 12% para este ensaio.

3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO POLITEREFTALATO DE ETILENO – PET

A análise química do PET foi feita por fluorescência de raio X – EDX. A Tabela 6 apresenta a composição química do Politereftalato de Etileno.

Tabela 6: Composição Química do Politereftalato de Etileno

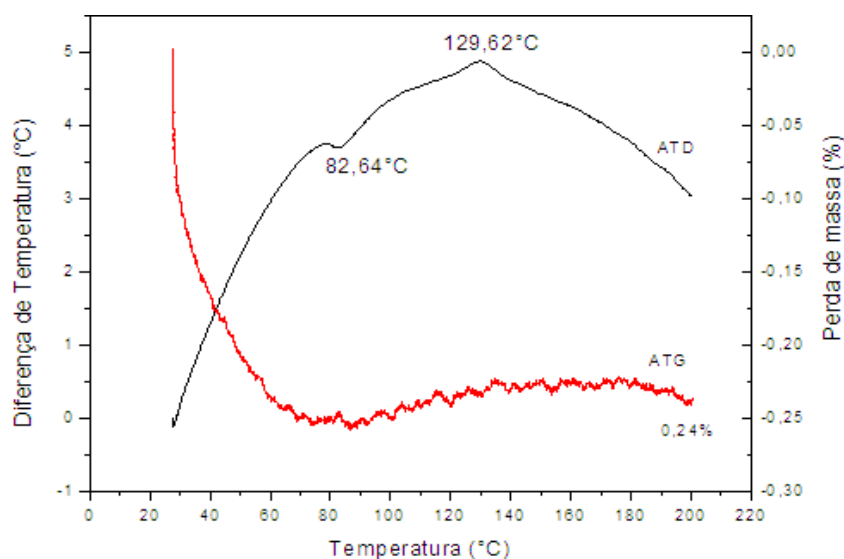
Determinações (%)							
PET	PF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	K ₂ O
	0,24	38,70	31,21	14,31	6,76	5,77	3,25

PF: Perda ao Fogo

Observa-se na Tabela 6 que o Politereftalato de Etileno (PET) é constituído basicamente de sílica (38,70%), Al₂O₃ (31,21%), Fe₂O₃ (14,31%), CaO (6,76%), TiO₂ (5,77%) e K₂O (3,25%).

A Figura 5 ilustra as curvas de análises termodiferencial e termogravimétrica do Politereftalato de Etileno.

Figura 5: Análise termodiferencial e termogravimétrica do PET



Analisando os resultados, observa-se que houve uma redução da massa do Politereftalato de etileno com o aumento da temperatura e que essa tendência se inicia a aproximadamente 32°C. Verifica-se que até aproximadamente 82,64°C, o material apresenta mudança do estado sólido para o estado líquido, havendo uma perda significativa da massa do PET. A partir desta temperatura observa-se ligeiramente um aumento da massa do PET, indicando que uma nova mudança de estado físico ocorre (líquido para vapor).

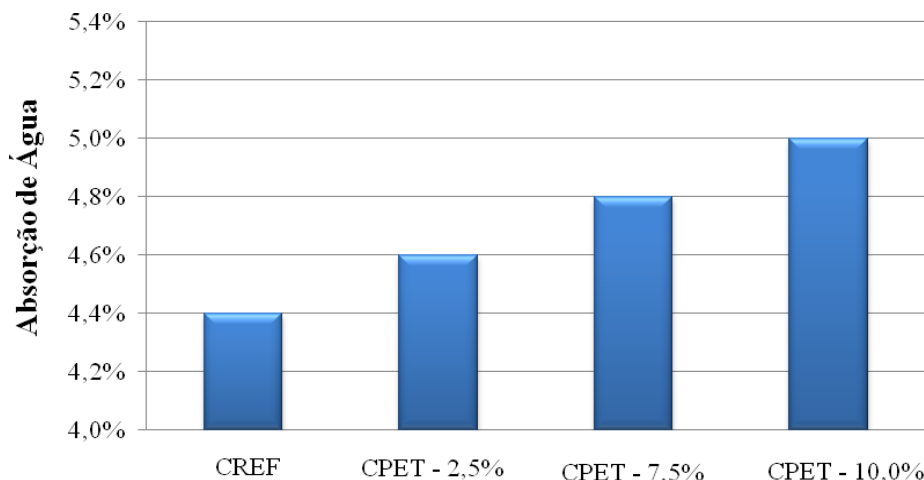
De acordo com a curva termogravimétrica, pode verificar que houve uma perda total de massa é de 0,24%.

3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

3.4.1 Determinação da absorção do concreto

A Figura 6 ilustra a absorção de água para o concretosde referências e para o concreto com substituição do cimento por teores de 2,5%, 7,5% e 10% de Politereftalato de etileno aos 28 dias de idade.

Figura 6: Absorção de água para o concreto de referência e com substituição do cimento por teores de 2,5%, 7,5% e 10% de Politereftalato de etileno aos 28 dias



A partir dos resultados ilustrados na Figura 6 é possível perceber que com o aumento do teor de PET no concreto também ocorreu o aumento da absorção de água dos corpos de prova, porém todos os resultados obtidos satisfizeram o valor de absorção limite máximos de 10% estabelecido pela norma da ABNT MB 3459:1991.

Comparando-se os resultados obtidos para absorção de água dos blocos de concreto estrutural com PET, com os valores estabelecidos pela norma da ABNT NBR 6136 (ABNT, 2014) verifica-se que estes satisfazem aos requisitos normativos para blocos de concreto estrutural em que se utiliza agregado normal ou leve, cujos valores limites são ($\leq 10,0\%$) e ($\leq 13,0$ (média) e $\leq 16,00$ (individual), respectivamente. E, que apesar de o PET ser hidrofóbico a absorção máxima obtida é bem inferior ao limite máximo exigido pela norma.

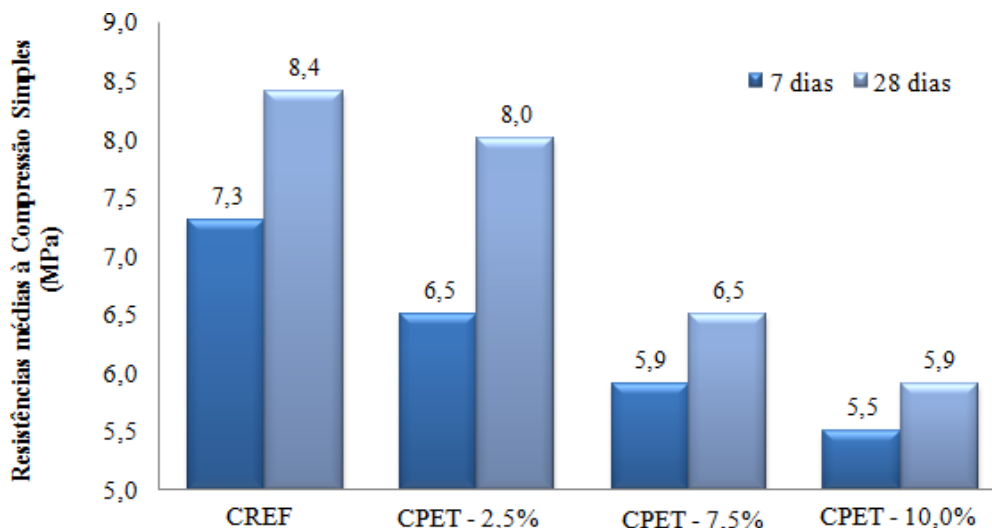
De acordo com Pandolfelli (2009), as partículas de cimento apresentam uma grande tendência à aglomeração quando entram em contato com um líquido tão polar quanto a água, devido a vários tipos de interação: forças de atração interpartículas (forças de van der Waals), forças eletrostáticas entre posições de sítios com cargas opostas e forte interação ou ligação envolvendo as moléculas de água ou hidratos. Assim, a água em excesso após hidratação do cimento é eliminada gerando a formação de capilares e vazios na estrutura, o que configura uma maior absorção de água.

3.4.2 Resistência à compressão simples do concreto f_{cc}

Foram realizados ensaios para determinação da resistência a compressão simples (f_{cc}) nas idades de 7 e 28 dias.

A Figura 7 ilustra a evolução das resistências médias à compressão simples do concreto de referencia (CREF) e do concreto com 2,5%, 7,5% e 10% de Politereftalato de etileno (CPET).

Figura 7: Resistências à compressão simples do concreto de referencia (CREF) e do concreto com Politereftalato de etileno (CPET)



De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição do cimento por Politereftalato de etileno provocou a redução da resistência quando comparado aos resultados obtidos para o concreto de referência. Evidenciando que quanto maior o teor de substituição mais intensa é a redução da resistência, verificando o maior percentual de redução para o teor de substituição de 10%. Este fato ocorre devido à falta de interação química entre o Politereftalato de etileno e a pasta de cimento, gerando a formação de vazios na estrutura, o que ocasiona uma maior absorção de água e conseqüentemente uma redução da resistência.

Este comportamento deve-se principalmente à menor resistência mecânica intrínseca dos polímeros, em comparação aos agregados minerais que são mais resistentes mecanicamente, e, à ausência de interação química entre o polímero e a matriz cimentícia, gerando a porosidade residual e, conseqüente, elevação da absorção de água e redução da resistência.

Verificou-se que para todos os percentuais de substituição, os valores de fbk obtidos foram inferiores aos observados para o concreto de referência. Por outro lado, e apesar da redução da resistência característica à compressão com o aumento dos

percentuais de substituição do agregado miúdo por PET triturado, a resistência aumentou de maneira análoga à medida que a idade de controle dos blocos de concreto aumentou.

Aquino (2013) em estudo sobre a reciclagem de PET, visando à substituição de agregado miúdo em argamassa, observou que teores de substituição de 30% e 50% provocaram a redução da resistência mecânica em 50%, enquanto teores de substituição de 70% resultaram em valores de resistência mecânicas mínimas que tornaram a substituição desprezível.

4 CONCLUSÕES

Conforme resultados obtidos nesta pesquisa pode-se concluir que:

- Os materiais utilizados apresentam características físicas satisfatórias para serem utilizados em concreto;
- A substituição parcial do cimento pelo polímero termoplástico (PET) ocasionou um aumento na absorção de água para todos os teores de PET em estudo. Isso deve-se a característica hidrofóbica do PET, fazendo com que a água seja absorvida pela matriz cimentícia, excedendo a quantidade necessária a sua hidratação, ocasionando o aumento de fissuras, conseqüentemente, aumentando a porosidade e, assim, o percentual de absorção de água;
- A substituição parcial do cimento por PET originou uma diminuição da resistência à compressão simples para todos os teores quando comparados ao concreto de referência para as idades em estudo de 7 dias e 28 dias;
- O concreto dosado com teores de 7,5% e 10,0% de PET apresentou uma redução considerável da resistência à compressão simples. No entanto, para o teor de 2,5% de PET obteve-se resultados satisfatório e próximos aos encontrados para o concreto de referência
- A substituição do cimento Portland por politereftalato de etileno na construção civil contribui de maneira significativa para a redução do descarte inadequado do resíduo no meio ambiente, passando a atribuir valor ao material.

REFERENCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação de composição granulométrica dos agregados. **NBR 7217**. Rio de Janeiro, 1982.

- **NBR 9776**: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

- **NBR NM 53**: Agregados - Determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo – Método de ensaio. 8p. Rio de Janeiro, 2003.

- **NBR 7251**: Agregados no estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

- **NBR 7219**: Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados. Rio de Janeiro, 1987.

- **NBR 11579**: Cimento Portland Comum – Determinação do módulo de finura. Rio de Janeiro, 2012.

- **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

- **MB 3459**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 1991.

- **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – Método de ensaio. 9 p. Rio de Janeiro, 2007.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Agregados – Determinação da massa específica real. **ME 085**. Rio De Janeiro, 1994.

PETRUCCI, Eladio G.R. *Concreto de cimento Portland*. 13ª edição. São Paulo: Globo, 1978.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/sustentabilidade/sustentabilidade-do-concreto>. Acesso às 17h 34min em 01 de Maio de 2016.

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=81>. Acesso às 18h 20min em 01 de Maio de 2016.

AQUINO, José Lourenço Santos. **Desenvolvimento de compósitos de matriz cimentícia utilizando resíduos de politereftalato de etileno (PET) e de areia de britagem na produção de concretos**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 123fls, 2013

PEDROSO Fábio Luís. *Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem*, Revista Concreto, pp. 14-19, n.53. Ano 37, 2009.

PANDOLFELLI, A. L. de Castro, V. C. Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil, *Cerâmica* 55 (2009) 18-32.

SOUZA, Maurício Novaes. *Degradação e Recuperação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável Viçosa*, Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal), Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2004.