

Resíduo Polimérico utilizado em concreto em substituição parcial ao cimento Portland

Polymeric residue used in concrete as partial replacement for Portland cement

DOI:10.34117/bjdv7n5-035

Recebimento dos originais: 07/04/2021

Aceitação para publicação: 04/05/2021

Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

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

Loredanna Melyssa Costa de Souza

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

Yane Coutinho Lira

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

Valter Ferreira de Sousa Neto

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

Teresa Elane Bezerra Luz

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental -
UFRN
Endereço: Av. Senador Salgado Filho, 3000 - Complexo Tecnológico de Engenharia da
UFRN - GNOMO - Candelária - Natal – RN
E-mail: 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
E-mail: camilanunes.engcivil@hotmail.com

Thamires Dantas Guerra

Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental - UFCG
Endereço: Av. Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário, Campina Grande – PB,
Brasil
E-mail: thamires_guerra@hotmail.com

Maria Ingridy Lacerda Diniz

Mestranda do Programa de pós graduação em Engenharia Civil e Ambiental - UFPB
Campus Universitário, s/n – João Pessoa-PB
E-mail: mariaingridydiniz@gmail.com

RESUMO

Nos últimos anos, o volume de resíduo doméstico produzido aumentou três vezes mais que a população. A união da propagação da cultura do consumo e o desperdício são responsáveis por cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos sólidos que na sua grande maioria, não apresentam uma destinação correta para descarte, passando a contaminar solos, rios, aquíferos, além de promover a proliferação de agentes transmissores de zoonoses. Diante deste cenário, ideias pró meio ambiente vêm se propagando e, assim, evitando uma degradação mais acelerada. Associados a filosofia dos 3 Rs – reduzir, reutilizar e reciclar – estudos no ramo da engenharia civil vêm sendo desenvolvidos para que haja uma incorporação de novos materiais aos já existentes no mercado. Tais materiais são escolhidos por apresentarem características semelhantes aos materiais convencionais. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a resistência à compressão simples do concreto incorporado com polímero elastomérico (Politereftalato de etileno) em substituição ao cimento Portland. Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 15cmx30cm com teores de 5,0% de substituição do cimento Portland por Politereftalato de etileno e submetidos a ensaio para determinação da resistência a compressão simples nas idades de 7 e 28 dias. Observou-se que ocorreu uma redução da resistência do concreto incorporado com o polímero (Politereftalato de etileno) quando comparado ao concreto de referência, porém, os resultados obtidos satisfazem os parâmetros estabelecidos pela norma da ABNT MB 3459 (ABNT 1991), possibilitando o uso do Politereftalato de etileno em composições de concreto, reduzindo o volume de garrafas descartadas no meio ambiente e agregando valor ao resíduo.

Palavras-chave: Politereftalato de etileno, concreto, resíduo, reciclagem.

ABSTRACT

In recent years, the volume of domestic waste produced has increased three times more than the population. The union of the propagation of the culture of consumption and waste are responsible for about 30 million tons of solid waste that, in its great majority, do not present a correct destination for disposal, contaminating soil, rivers, aquifers, and promoting the proliferation of zoonotic agents. Given this scenario, pro-environmental ideas have been spreading and, thus, avoiding a more accelerated degradation. Associated with the philosophy of the 3 Rs - reduce, reuse, and recycle - studies in the field of civil engineering have been developed in order to incorporate new materials to those already on the market. Such materials are chosen because they present similar characteristics to conventional materials. Thus, this paper aims to evaluate the simple compressive strength of concrete incorporated with elastomeric polymer (polyethylene terephthalate) as a

replacement for Portland cement. Cylindrical specimens were molded in the dimensions of 15cmx30cm with levels of 5.0% replacement of Portland cement by polyethylene terephthalate and subjected to testing to determine the compressive strength at ages of 7 and 28 days. Observou-se que ocorreu uma redução da resistência do concreto incorporado com o polímero (Politereftalato de etileno) quando comparado ao concreto de referência, porém, os resultados obtidos satisfazem os parâmetros estabelecidos pela norma da ABNT MB 3459 (ABNT 1991), possibilitando o uso do Politereftalato de etileno em composições de concreto, reduzindo o volume de garrafas descartadas no meio ambiente e agregando valor ao resíduo.

Keywords: Polyethylene terephthalate, concrete, waste, recycling.

1 INTRODUÇÃO

Frequentemente é notória a busca incessante por novas fontes de tecnologia, uma vez que, a detenção de tal especiaria promove a movimentação da economia do país.

Iniciadas no século 60, as atenções direcionadas a deposição final dos resíduos industriais começaram a ganhar destaque, tendo em vista que, o nível de exploração dos recursos naturais necessários ao desenvolvimento econômico passou a não compatibilizar ao tempo que o meio ambiente necessitava para decompor um percentual satisfatório dos materiais (GUIMARÃES,2007). Passando, com isso, a contribuir gradualmente com a depreciação do meio ambiente, podendo chegar a um colapso dos recursos naturais, caso não fossem tomadas medidas para contê-las. Diante deste problema, organizações e órgãos ambientais têm se mostrado mais incisivos na realização de atividades de fiscalização, com o objetivo de viabilizar opções seguras ao meio ambiente e com tecnologia limpa (GUIMARÃES, 2007).

Assim, nos últimos anos, as empresas vêm promovendo a diminuição da geração de resíduos, já que, além de contribuir com custos, cria uma imagem pouco favorável ao mercado consumidor pelo fato de ser associada à imagem de degradação ambiental. Com isso, escolhas por produtos e sistemas construtivos são influenciados tanto por aspectos econômicos, técnicos, como ecológicos (RIBEIRO,2014).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o concreto vem apresentando excelente adaptação a fim de abranger o compromisso de equilíbrio através das matérias-primas utilizadas para sua fabricação, processos de produção e impactos na infraestrutura e ambiente construído. A favor da colaboração ecológica, o concreto apresenta fatores que sobressaem diante dos demais insumos da construção civil, entre eles temos: a não geração de emissões, falta de necessidade de conservantes tóxicos e

considerável resistência ao fogo. Todavia, os grandes volumes produzidos – em 2006, segundo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD, em inglês), houve um consumo de concreto entre 21 e 31 bilhões de toneladas – acabam gerando impactos ambientais.

Então, projetos como o ECO-II são direcionados ao ramo da construção civil com a finalidade de desenvolvimento de produtos eco sustentáveis. Tal projeto visa atender ao conforto e a segurança dos usuários, por meio da utilização de materiais recicláveis, tanto em técnicas de construção como no processo construtivo, através da minimização do uso de materiais convencionais aliados ao emprego de sistemas inovadores que visem à preservação ambiental.

Seguindo a linha de raciocínio do projeto ECO-II materiais que possuam propriedades semelhantes aos convencionais, estão sendo incorporados ao concreto, com o propósito de manter as características já intrínsecas ao produto ou conseguir melhora nas propriedades, bem como agregar valor ao resíduo adicionado.

A exemplo de material alternativo temos o politereftalato de etileno (PET), um dos polímeros termoplásticos mais produzidos no mundo, cujas principais aplicações são: fibras têxteis (67%), embalagens processadas por injeção-sopro (24%), filmes biorientados (5%) e polímeros de engenharia (4%). No Brasil, a principal aplicação do PET é na indústria de embalagens (71%). O segmento do mercado nacional da indústria alimentícia e de embalagens corresponde a 32% do mercado brasileiro de polímeros envolvendo diretamente o uso do PET para embalagens de bebidas carbonatadas. O sucesso deste material deve-se à sua excelente relação entre as propriedades mecânicas, térmicas e o custo de produção. (ROMÃO, W. et al.).

Entretanto, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no Brasil, calcula-se uma média de 1,062 Kg/hab.dia gerados de resíduos urbanos, obtendo uma totalidade de 215.297 toneladas que, na sua grande maioria, não apresentam uma destinação correta para descarte, passando a contaminar solos, rios, aquíferos, além de promover a proliferação de agentes transmissores de zoonoses.

Portanto, destinando o PET para a composição dos materiais utilizados na fabricação de blocos estruturais de concreto simples, pode-se enxergar uma melhora nas propriedades reológicas, gerando maior resistência, além da possibilidade de diminuição do resíduo no ambiente, conservando os recursos naturais e permitindo uma economia de energia.

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 ígneas britadas com diâmetro máximo de 6,3mm também chamadas de “cascalinho”;
- Água: Destinada ao consumo humano, fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA).

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.

2.2.1.1 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.

2.2.1.2 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, 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.

2.2.1.3 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 para volume durante o procedimento de dosagem. O ensaio foi realizado com o agregado miúdo segundo o método de ensaio ABNT NBR 7251:1982.

2.2.1.4 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.

2.2.1.5 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.

2.2.1.6 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.

2.2.2 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.

2.2.3 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.

2.2.4 Caracterização do concreto fresco e moldagem dos corpos de prova

A seguir estão descritos o ensaio realizado com o concreto fresco e o método de moldagem dos corpos de prova.

2.2.4.1 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.

2.2.4.2 Moldagem e adensamento dos corpos de prova

Foram moldados corpos de provas cilíndricos com diâmetro de 5 cm x 10 cm, com teores de substituição do cimento por 5% 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 (Figura 1) 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.

Figura 1: Soquete utilizado na moldagem dos corpos de prova de concreto



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

2.2.5 Caracterização Mecânica

2.2.5.1 Resistência à compressão simples do concreto fcc

Para a caracterização mecânica foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples do concreto fcc, 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 “cascalinho”. Os resultados das caracterizações físicas realizadas com o agregado graúdo estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização física do agregado graúdo

Ensaio	Valores obtidos
Massa específica do agregado seco (ABNT NBR NM 53:2003)	$\gamma_s = 2,63 \text{ g/cm}^3$
Massa específica do agregado na condição saturada superfície seca (ABNT NBR NM 53:2003)	$\gamma_{sss} = 2,64 \text{ g/cm}^3$
Massa específica aparente (ABNT NBR NM 53:2003)	$\gamma_a = 2,67 \text{ g/cm}^3$
Absorção (ABNT NBR NM 53:2003)	$A_{bs} = 0,4\%$

Observa-se que o agregado graúdo apresentou uma massa específica de $2,67 \text{ g/cm}^3$ e absorção de água de 0,4%.

De acordo com BAUER (1995) a massa específica para o agregado graúdo encontra-se na média de $2,7\text{g/m}^3$, portando o valor encontrado se aproxima da média.

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	

Verifica-se conforme a Tabela 2, que a composição granulométrica do agregado graúdo, apresenta um módulo de finura de 6,19 e diâmetro máximo característico de 6,3 mm, tendo a maior parte do material retido nas peneiras de malha 6,3mm e 4,8mm.

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) o agregado graúdo é classificado segundo a sua granulometria, como Brita 0 com dimensão máxima característica (DMC) de 6,3 mm, atendendo, portando, a recomendação da NBR 6136 (2008) de que a dimensão do agregado graúdo não deve exceder a metade da menor dimensão do bloco.

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.

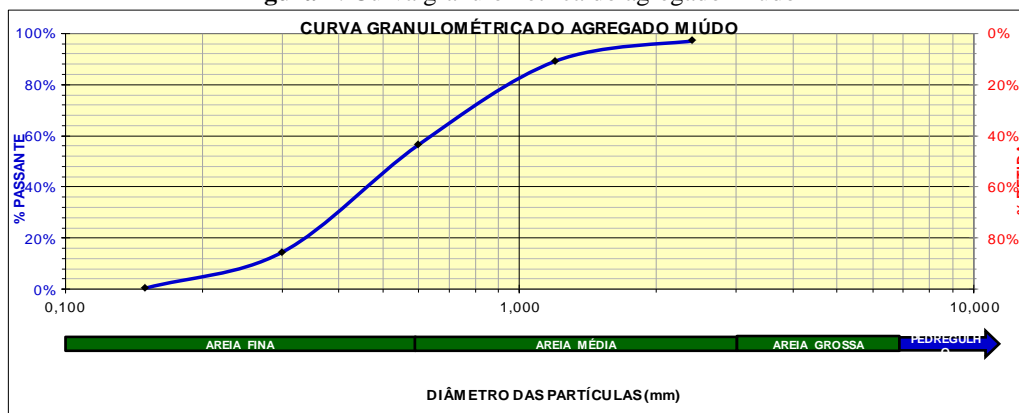
Tabela 3: Composição granulométrica do agregado miúdo

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	326,32	32,65	43,46
0,3	420,85	42,11	85,56
0,15	140,28	14,04	99,60
Fundo	4,00	0,40	100,00
Soma	999,49	100,00	-
	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. A dimensão dos agregados tem 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 2.

Figura 2: 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%

3.3 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.

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

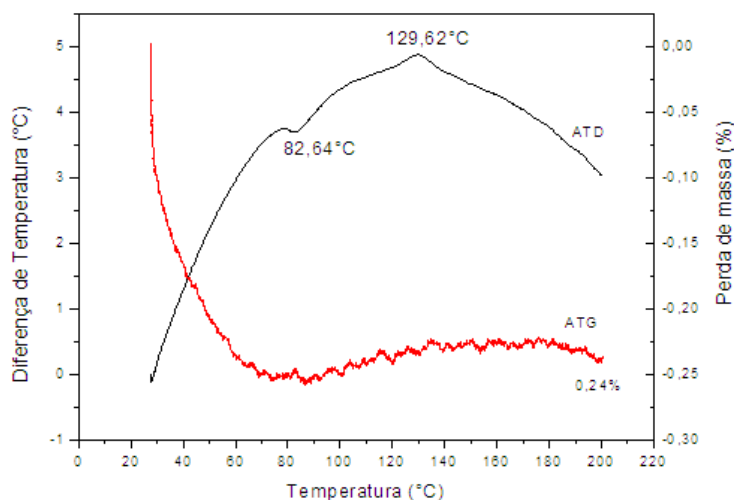
PET MICRONIZADO	Determinações (%)						
	PF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	K ₂ O
	0,24	38,60	31,17	14,28	6,73	5,75	3,23

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 3 ilustra as curvas de análises termodiferencial e termogravimétrica do Politereftalato de Etileno.

Figura 3: Análise termodiferencial e termogravimétrica do Politereftalato de etileno



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° 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%.


Caracterização mecânica

Resistência à compressão simples do concreto fcc

Para a caracterização mecânica do concreto de referência (CR) e do concreto com a substituição do cimento por 5% de Politereftalato de etileno (CPET) foram realizados ensaios de resistência a compressão simples (fcc) nas idades de 7 e 28 dias. Este ensaio foi realizado em uma prensa de CBR com constância do anel de 2,638.

A Tabela 7 apresenta as dimensões dos corpos de prova e as resistências médias, em MPa, do concreto de referência (CR) e do concreto com teor de 5% de Politereftalato de etileno (CPET).

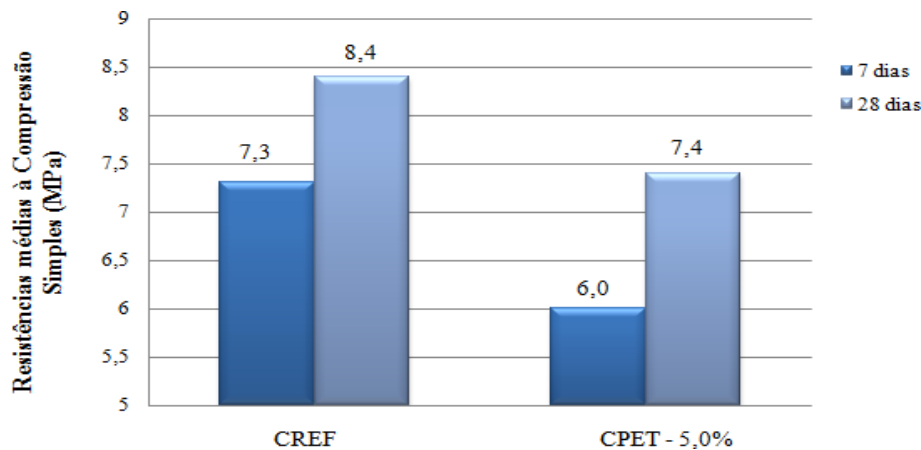
Tabela 7: Resistência média à compressão simples dos concretos em estudo

		f_{cc} (MPa)	
		J = 7 dias	J = 28 dias
 5 cm x 10 cm	CR	7,30	8,40
	CPET – 5,0%	6,00	7,40

De acordo com a Tabela 7, verifica-se que ocorreu uma redução da resistência do concreto com a substituição do cimento por Politereftalato de etileno.

A Figura 4 ilustra a evolução das resistências médias à compressão simples do concreto de referência (CREF) e do concreto com 5% de Politereftalato de etileno (CPET).

Figura 4: Evolução das resistências médias à compressão simples do concreto de referência (CREF) e do concreto com 5% de Politereftalato de etileno (CPET).



Percebe-se que o ganho de resistência nos primeiros sete dias de idade é muito elevada quando comparada aos 28 dias. Este fenômeno se dá por conta do tipo de cimento utilizado, que possui uma massa específica de $3,10\text{g/cm}^3$, portanto a superfície de contato é maior, permitindo que as reações químicas de hidratação ocorram de maneira mais rápida, resultando em resistências iniciais mais elevadas. Como o acréscimo de resistência após os primeiros sete dias é pouco significativo, acredita-se que o concreto com abatimento nulo, deve ser mais influenciado pelas intempéries nas primeiras idades, isto é, a cura tem grande importância para evitar elevada perda de água e consequentemente perda de resistência à compressão simples.

O quantitativo de substituição do cimento por Politereftalato de etileno possibilita a redução da quantidade de garrafas PET dispostas no meio ambiente, fazendo com que

seja reduzido o impacto ambiental causado por estes materiais (resíduos) além de agregar valor a mesmo e renda aos catadores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados apresentados ao final da pesquisa, pode-se constatar que:

- Os materiais submetidos aos ensaios, devidamente normatizados, apresentam características físicas adequadas para serem empregados na formação do concreto;
- A substituição parcial do cimento por 5,0% de PET originou uma diminuição da resistência à compressão simples quando comparados ao concreto de referência para as idades em estudo.
- A incorporação do polímero termoplástico (PET) na fabricação de concreto simples colabora não apenas com a preservação ambiental, mas engloba os três pilares do desenvolvimento sustentável: benefícios sociais, econômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS

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 modulo de finura. Rio de Janeiro, 2012.

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

_____ - **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.

GUIMARÃES, Adriana Karla Virgolino. *Extração de óleo e caracterização dos resíduos da borra do petróleo para fins de reuso*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2007.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/sustentabilidade/sustentabilidade-do-concreto>. **Sustentabilidade do Concreto (2010)**. Acesso às 11h 06min em 02 de Maio de 2016.

ROMÃO, Wanderson; SPINACÉ, Márcia A. S.; PAOLI, Marco-A. de. PET: Uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem, *Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia*. Vol. 19. Nº 2. pp. 121-132. 2009.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. p. 41. 2014.

RIBEIRO, S. S. A ECOEFICIÊNCIA NA GESTÃO: *Reaproveitamento e Direcionamentos dos Resíduos Sólidos da Indústria de Construção Civil no Município de Belém*, Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas da Universidade da Amazônia), fls. 103, Belém-PA.