



CONCRETO POLÍMERO COM RESINA RECICLADA: UMA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS AGREGADOS AREIA MÉDIA E PÓ DE BRITA

Karina Tonet (1); Camila Goetze (2); Jane Gorninski (3); Cláudio Kazmierczak(3)

(1) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPGEC - Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Av. Unisinos 950 – 93022-000, São Leopoldo/RS, Brasil – e-mail:
karinatonet@hotmail.com

(2) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPGEC - Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Av. Unisinos 950 – 93022-000, São Leopoldo/RS Brasil – e-mail:
camilagoetze@gmail.com

(3) Departamento de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Av. Unisinos 950 – 93022-000, São Leopoldo/RS - Brasil

RESUMO

A indústria da construção civil tem encontrado na reciclagem de resíduos um meio de colaboração para a preservação do meio ambiente. O concreto polímero utilizando componentes reciclados tornou-se uma boa opção para aplicações onde são solicitados requisitos como: alto desempenho mecânico, durabilidade e cura rápida. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho de um composto de concreto polímero utilizando como aglomerante a resina poliéster insaturada reciclada do PET e, como agregados, areia de rio de granulometria média e areia de britagem. Com a intenção de obterem-se parâmetros comparativos entre os comportamentos dos agregados, estes foram combinados com teores diferentes de resina: 15%, 17% e 19% para agregado de areia de rio e 13%, 15% e 17% para areia de britagem. **Método de pesquisa/Abordagens:** Análise granulométrica, resistência à compressão, à tração na flexão e ensaio de absorção de água por imersão. **Resultados:** A pesquisa mostrou que, para as composições com areia natural, o teor de resina utilizado tem um efeito significativo para o seu desempenho, sendo diretamente proporcional ao seu teor de adição. Entretanto, para as composições com areia de britagem, observou-se que seu desempenho apresenta-se superior aos valores da areia natural, porém para o compósito contendo 13% de resina. Com isso, e levando-se em consideração as questões ambientais e econômicas, pode-se afirmar que a melhor combinação obtida para os ensaios propostos foi para o uso da areia de britagem com 13% de resina, produzindo um composto de alta performance com um custo menor, visto que esta foi a menor concentração de aglomerante utilizada no estudo. **Contribuições/Originalidade:** Uso de resíduos na composição de concreto polímero, tanto na resina quanto nos agregados.

Palavras-chave: resina reciclada de PET, concreto polímero, reciclagem, areia de britagem.

ABSTRACT

Civil construction sector has used the recycling waste as a way to help to preserve the nature. Polymer concrete compounds with this kind of elements became an excellent choice in applications where some characteristics like high strength, durability and fast cure are important. This research aims to investigate the effects of the use of a recycled-PET resin and aggregates like medium river sand and crushed rock sand. The main objective is to acquire comparative data between the aggregates, and so they were tested in different concentrations of resin: 15%, 17% and 19% for medium river sand and 13%, 15%, 17% for crushed rock sand. **Metodology:** sand particle size distribution, compressive and flexural strength, and water absorption. **Results:** This research shows that, in the compounds with the

river sand, the concentration of resin has a significant importance in their mechanical behavior, being directly proporcional to resin concentration. However, for the compounds made with crushed rock sand, the behavior is opposite and is higher in the compound where the concentration of resin is lower. Therefore, and considering the ecological and economical essues, in this case, this is right to say that the best performance was obtained in the compound made with crushed rock sand and 13% of resin, which also presents the lower cost. **Originality:** The use of wastes in polymer concrete, in resin and aggregates.

Keywords: recycled-PET resin, polymer concrete, recycle, crushed rock sand.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a produção em larga escala de materiais descartáveis tem sido um dos principais causadores de problemas ambientais. Após o consumo, a consequência imediata deste tipo produto é o descarte em aterros sanitários ou a incinerarão, podendo produzir emissões tóxicas. O desenvolvimento das pesquisas na área da tecnologia dos materiais tem possibilitado descobertas que contribuem para amenizar estes impactos ambientais, inclusive aqueles decorrentes do descarte abusivo de resíduos no meio ambiente.

A área da construção civil também tem utilizado a reciclagem de resíduos como um meio de colaboração para a preservação da natureza. Atualmente, diversos subprodutos já estão sendo incorporados a elementos comumente utilizados, como é o caso da escória de alto forno no cimento CIII. Assim, o aproveitamento de resíduos como o Poli Tereftalato de Etileno (PET) na fabricação de elementos da construção, através do concreto polímero, além de ter um caráter ecológico, contribui para a geração de um material construtivo de alto desempenho.

O desenvolvimento de novos materiais que possuam maior resistência e durabilidade esta se tornando uma das principais exigências do mercado da construção civil. Segundo a EPA (*Environmental Protection Agency – USA, 2007*), a avaliação do ciclo de vida é uma das principais ferramentas para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo o seu processo, desde a extração da matéria-prima, produção, distribuição, consumo, uso até sua transformação em resíduo. Esta análise envolve não somente o impacto que este produto gera no momento de sua utilização, mas até mesmo a energia que demanda a sua produção e transporte (VIGON et al., 1993).

Com base nesta visão global do processo, podemos avaliar a magnitude do impacto gerado e, até mesmo, adaptá-lo a nova demanda de mercado. O concreto polímero, também chamado PC (polymer concrete), que pode ser considerado um exemplo de material relativamente novo e com alto desempenho, possui excelente resistência mecânica e durabilidade, reduzindo a necessidade de manutenção, freqüentemente requeridas pelo concreto convencional (GORNINSKI et al, 2004).

O concreto polímero, usado nos EUA desde 1958 (FOWLER, 1999), é produzido a partir da união de agregados inorgânicos secos e de uma resina líquida, usada como aglomerante. Muitas destas resinas são produzidas a partir do epóxi e do poliéster (GORNINSKI et al., 2005), sem adições de cimento Portland ou água, como no cimento convencional. A mistura do PC sofre polimerização (endurecendo) após a adição de catalisadores, variando o tempo de cura, de acordo com a quantidade de catalisadores acrescentados à resina. O resultado desta composição consiste em agregados inorgânicos fortemente unidos pelo aglomerante (REBEIZ, 1995; FOWLER, 1998 e 2001).

Nos Estados Unidos, por exemplo, o concreto polímero está sendo utilizado em pavimentações, pontes e indústrias petroquímicas. Já no Canadá e Japão, o PC vem sendo aplicado nas construções subterrâneas e em pavimentações. Na Europa, destina-se, principalmente, para a produção de estruturas pré-moldadas, reservatórios, tubulações e revestimentos para as indústrias químicas e de alimentos. Além disso, por se tratar de um material com excelente acabamento externo, incluindo cores e texturas, o concreto polímero também vem sendo aplicado em lajes, painéis para fachadas e balcões para estabelecimentos comerciais (FOWLER, 1998).

Apesar da intensa aplicação destes compósitos poliméricos em diversos lugares do mundo, no Brasil o PC não tem apresentado uma utilização considerável. Isso se deve, provavelmente, ao seu custo, pois o uso de resina em sua composição em detrimento ao uso do cimento Portland, eleva seu valor de mercado (GORNINSKI et al., 2004). De qualquer forma, vários autores têm investigado as características do concreto polímero, como Gorninski et al. (2007), Fowler (2001), Chávez et al. (2002), e suas atribuições se devem, principalmente, às propriedades dos próprios polímeros.

Por conta desta preocupação econômica, de acordo com estudos produzidos por Fowler (2001), os poliésteres insaturados produzidos com a reciclagem do PET podem ser uma fonte de resina com custo mais baixo, além de colaborar para a economia de energia. Segundo Ignácio (2003), a utilização deste polímero reciclado é bastante vantajosa, pois sua limpeza e a separação por cores de garrafas não precisa ser tão elaborada, já que o produto final absorve estes componentes. Além disso, podem-se aproveitar até mesmo as partes depositadas nos lixões e que não serão recicladas, pois o processo de limpeza é oneroso.

O PET, de uso muito difundido no mundo, principalmente na fabricação de garrafas de refrigerante descartáveis, quando reciclado se destaca por produzir resinas de poliéster não saturadas quimicamente que, segundo Rebeiz (1994), se corretamente formuladas, podem ser misturadas com agregados inorgânicos para produzir concretos de excelentes propriedades mecânicas.

A reciclagem do PET ocorre através de um processo químico, baseada na alteração da sua estrutura química, a qual permite usar o material como fonte de matéria-prima para reproduzir o seu original ou outros materiais com diferentes características. Para aplicar esta técnica em PET, direcionado para a construção civil, é necessário decompô-lo quimicamente, rompendo a sua cadeia e separando suas moléculas. A nova cadeia, chamada de poliéster insaturado, diferente da anterior, possui algumas moléculas que podem unir-se a outras três (ao invés de apenas duas), resultando uma estrutura grande, interconectada e resistente (CHÁVEZ et al., 2002).

Estas cadeias longas, resultado da união química de centenas ou milhares de moléculas pequenas (monômeros), no formato da resina e em mistura com agregados, acabam gerando um material com rápido poder de cura e possibilidade de se moldar em formas complexas, favorecendo o uso, principalmente, em pré-moldados (CHÁVEZ et al., 2002 e REBEIZ, 1994). Além disso, exibe propriedades interessantes, como baixa condutividade de corrente térmica, isolamento térmico, ótima resistência química aprimorada para ambientes ácidos e maior capacidade de absorção de energia de impacto, quando comparado ao concreto de cimento Portland (GORNINSKI et al., 2004).

A resina insaturada reciclada proposta na composição desta pesquisa já está sendo investigada em diversos países onde o uso do concreto polímero se tornou consagrado. Rebeiz (1996) e Jo et al. (2005) afirmam ser possível obter-se um composto de alta qualidade utilizando-se esta resina reciclada e, além da redução no custo de produção e na energia empregada, contribui-se para a redução do grande volume de plásticos descartados.

Entretanto, apesar da construção civil ser um segmento propício a absorver parte da geração de resíduos gerados, ela ainda é a indústria responsável pelo maior consumo de matérias-primas minerais. Somente no ano de 2002, a construção civil foi responsável pelo consumo de 156,4 milhões de m³ de agregados naturais no Brasil, dos quais – 229,6 milhões de m³ – corresponderam ao consumo de areia (DNPM, 2003). Desta forma, os agregados propostos neste estudo também são resíduos de importante impacto no meio ambiente, já que são rejeitos provenientes do processo de britagem. O chamado pó de brita se caracteriza pela presença de grande concentração de material pulverulado (passante na peneira # 200 de 0,075 mm) que, para a utilização em concreto polimérico, é extremamente proveitosa. Cabe ressaltar que, segundo Mehta e Monteiro (1994), os materiais candidatos a substituir a areia natural, já consagrada neste tipo de utilização devem, no mínimo, atender as mesmas especificações com relação à distribuição de tamanhos, forma, textura, resistência, dureza, módulo de elasticidade, absorção de água e presença de contaminantes, entre outros.

Desta forma, o concreto sugerido neste estudo investigou o comportamento do agregado pó de brita em comparação com a areia média, cuja granulometria se assemelha ao resíduo. Para tal, não foram utilizados *fillers* nas composições propostas, visando com isso podermos conhecer as propriedades dos agregados na sua forma pura, comparando-as com os estudos existentes na área.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O presente estudo pretende investigar as propriedades do concreto polímero produzido com resina de PET reciclado e agregado alternativo, buscando ampliar os conhecimentos deste material na indústria da construção civil. Os ensaios foram feitos sobre duas matrizes de agregados: areia média (teores de resina: 15%, 17% e 19%) e pó de brita (teores de resina: 13%, 15% e 17%). Para este experimento, não foram incorporados *fillers*. Os corpos-de-prova foram moldados segundo as normas da NBR 5738, e ensaiados à resistência à compressão axial, tração na flexão e à absorção de água, de acordo com as normas NBR 5739, NBR 12142 e NBR 9778.

2.1 Materiais

2.1.1 Resina

De acordo com Rebeiz e Fowler (1991), o poliéster é um dos polímeros mais comumente utilizados na produção de resinas, devido ao seu alto desempenho mecânico, durabilidade, porém com custo inferior ao da resina epóxi, já consagrada para este uso. Este estudo investigou composições de PC com poliéster insaturado obtido da reciclagem do PET, fabricado pela Reichhold S/A.

Para a composição de concreto polímero com resina reciclada, uma das propriedades a ser considerada na resina é a sua viscosidade. Esta propriedade proporciona uma melhor interação agregado/aglomerante, tornando a composição mecanicamente mais resistente, com menos poros, portanto com maior durabilidade. Para tal, é de fundamental importância que a resina tenha viscosidade similar as resinas já adotadas anteriormente para este tipo de estudo. Neste caso, a viscosidade da resina obtida do resíduo PET é igual a da resina ortoftálica utilizada por Gorninski et al. (2007), e suas propriedade podem ser observadas na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades da resina poliéster insaturada reciclada (POLYLITE 10316 – 10)

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE ANÁLISE	ESPECIFICAÇÃO
Viscosidade Brookfield à 25°C (60 rpm, Sp3 / cp)	PP 01 – 124	250 – 350
Índice de Tixotropia	PP 01 – 124	1,15 – 1,40
Densidade (g/cm ³)	ASTM D1475	1.0955
Índice de Acidez (mgKOH/g)	PP 01 – 003	30 máx.
* Curva Exotérmica à 25°C	PP 01 – 296	
Tempo de gel (minutos)		9 – 13
Intervalo simples (minutos)		8 – 13
Temperatura máxima (°C)		140 – 180

* 100,0 g de Resina + 1,0 ml de Peróxido de Metil Etil Cetona (catalisador) - (FONTE: REICHHOLD, 2004)

2.1.1 Agregado

No que diz respeito à fase inorgânica deste composto, o experimento apresentado utilizou-se de dois tipos distintos: areia de rio com granulometria média e pó de brita. O objetivo desta pesquisa foi averiguar o desempenho do resíduo pó de brita neste composto, comparando-a com a areia comumente empregada, já que a indústria da construção civil é uma das maiores extratoras de matérias-primas, consumindo entre 20 a 50% dos recursos naturais (FOWLER, 1998). Além disso, estima-se que 90%

da produção nacional de areia natural tem sido obtida a partir da extração em leitos de rios (FOWLER, 1999), o que se torna um grande fator de degradação ambiental, modificando o comportamento dos rios e das áreas do entorno.

Neste estudo foram ensaiados dois tipos de agregados: areia média e areia de britagem. A areia natural foi extraída da região metropolitana de Porto Alegre, a qual foi classificada como média (zona 3), segundo estudo da sua granulometria determinado pela NBR 7217/87, apresentando massa específica de $2,54 \text{ g/cm}^3$.

O segundo tipo de agregado se destaca pela ênfase na questão ambiental (TERRA, 2007). Considerando o crescimento do consumo da areia natural no país, os resíduos de britagem surgem como insumo alternativo. Além de ser gerado em grande quantidade e descartado em aterros, este rejeito apresenta uma composição bastante interessante para a construção civil, e sua granulometria vem sendo vastamente estudada, a priori para utilização em concreto convencional (LANG, 2006; DRAGO, 2006; BUEST NETO, 2006; DÁGOSTINO, 2004). Segundo Silva et al. (2005), em seu estudo com substituição da areia por pó de brita em argamassas de cimento Portland, as composições com 6,0% de finos apresentaram um melhor empacotamento de mistura agregado/aglomerante e, consequentemente, maiores resistências à compressão e à tração na flexão que as demais misturas sem este elemento.

O pó de brita utilizado neste experimento foi obtido junto à empresa Pavicon, e sua composição é basicamente formada por basalto. Sua granulometria determinada pela NBR 7217/87, cuja massa específica é $2,74 \text{ g/cm}^3$.

Estes agregados foram caracterizados, segundo a granulometria proposta pela norma anterior a vigente, para que fosse possível a determinação exata da classificação dos agregados, conforme disponibilizados comercialmente (zona 1 – areia muito fina, zona 2 – areia fina, zona 3 – areia média e zona 4 – areia grossa). Para tal, utilizou-se como base uma areia média e, consequentemente, pode-se classificar o pó de brita quanto ao seu módulo de finura. Conforme apresentado na figura 1, pode-se observar que o resíduo da britagem pode ser classificado na mesma zona que a areia media, exceto pela quantidade de grãos finos (inferior a 0,15), que o faz ter características de *filler* (elemento normalmente adicionado ao concreto polimero, com granulometria muito fina (ex. fly ash), responsável por aumentar o fator de empacotamento do composto, aumentar sua plasticidade, bem como evitar a sua segregação).

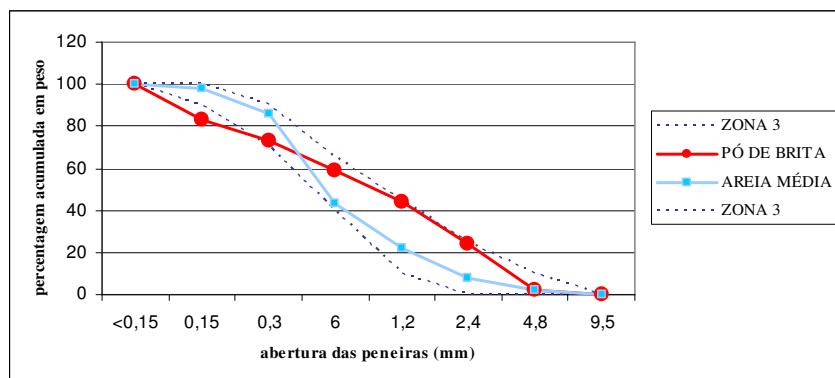


Figura 1 - Granulometria dos agregados

Vale lembrar que os agregados não passaram por nenhum processo de lavagem ou segregação, para que não fossem gerados efluentes. Além disso, para tornar possível a determinação do comportamento dos compostos com os agregados puros, não foram adicionados *fillers*.

2.2 Composições do PC

Os teores de resina adotados foram baseados em diversos estudos realizados com concreto polímero, onde são comumente utilizados teores entre 10 e 19% em relação ao peso total dos agregados (OHAMA, 1976; ATZENI et al., 1990; GORNINSKI e KAZMIERCZAK, in press). Sendo assim, para esta pesquisa os dados foram tratados para seis fatores fixos e três repetições para cada combinação de níveis. Os fatores são: quantidade de resina 11, 13 e 15% + 1% de catalisador para o agregado pó-de-brita e 15, 17 e 19% + 1% de catalisador para o agregado areia média. Os teores equivalem à medida, em massa, da quantidade de agregado utilizado na mistura. Os teores de 11 e 13% não foram utilizados para a areia média por não apresentarem condições de trabalhabilidade necessárias à moldagem.

As composições de PC usadas no presente estudo estão listadas na tabela 2. Estas composições foram selecionadas a partir de um estudo de concentrações de resina usadas na produção de PC para os respectivos agregados.

Tabela 2 - Composições de concreto polímero utilizadas

Componentes da matriz polimérica	Composição	Massa (%)
a) Resina	Poliéster não saturado de PET reciclado.	Conforme massa agregados
Promotor	Naftenato de cobalto	1.0 ^a
Iniciador	Peróxido de metil etil cetona (BRASNO 50).	1.0 ^a
b) Agregados	Areia de resíduo de britagem. Areia de rio, partícula de tamanho médio.	13%, 15% e 17% de resina * 15%, 17% e 19% de resina *

^a Percentagem do peso do aglomerado / * em massa do total de agregado utilizado

2.3 Metodologia

Primeiramente, as composições de PC propostas foram misturadas em uma argamassadeira (modelo: Emic, 5 litros), por 90 segundos, após secagem em estufa dos agregados por 24 horas. Os corpos-de-prova foram moldados segundo a norma NBR 5738, em cilindros de 5x10cm (ensaios de compressão e absorção) e prismas 4x4x16cm (ensaio de tração), as quais permaneceram em estufa, em temperatura constante de 50 °C, por 7 dias.

O ensaio de absorção de água foi realizado segundo a norma NBR 9778, através de imersão, o qual também determinou a densidade do concreto polímero endurecido.

O ensaio de tensão à compressão foi executado em uma prensa (modelo: Emic, cap. 2.000 KN), de acordo com a norma brasileira NBR 5739, e o de tração na flexão em um pórtico (modelo: Contenco – I4079, cap. 30 ton.), segundo a NBR 12142.

Todos os dados obtidos foram analisados estatisticamente com aplicação de software específico para estatísticas (SPSS), utilizando o método Tukey HSD para análise de variância (ANOVA). Esta análise compara, estatisticamente, a influência de cada fator estudado na experiência, ao mesmo tempo em que confere qualquer interação existente entre eles. Neste estudo, a análise estatística considerou um nível de confiança de 95%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados os resultados, bem como a análise estatística e a discussão dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, tração na flexão e absorção de água, para os compostos proposto com os dois tipos de agregados. Para apresentação destes resultados, serão adotadas as seguintes siglas: P = Para amostras produzidas com agregado Pó de brita; A= Para amostras produzidas com agregado Areia média. Os números associados a estas letras representam o teor de resina utilizado (13, 15, 17, 19%).

3.1 Resistência à compressão e à tração na flexão

Análises que determinam o comportamento mecânico e ensaios de durabilidade são comuns para que os agregados e teores de composição possam ser avaliados.

As figuras 2 e 3 apresentam as médias dos resultados obtidos nos ensaios de resistência a compressão e tração na flexão (média obtida com a triplicata).

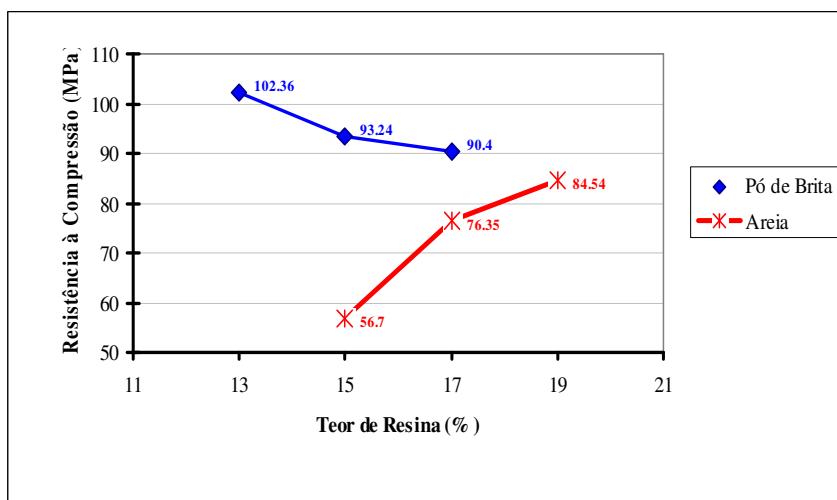


Figura 2 - Resistências à compressão obtidas para os dois agregados

Conforme podemos observar na figura 2, os resultados obtidos para os dois agregados mostraram diferenças sensíveis nas resistências obtidas. No concreto polímero, a resistência mecânica dos compostos está, normalmente, associada ao uso da resina. Por si somente, a resina confere ao concreto polímero grande desempenho quanto às propriedades mecânicas. No entanto, por razões econômicas, torna-se inviável o uso da resina pura que, associada aos agregados adequados, ainda adquiri melhor desempenho através do aumento do módulo de elasticidade do composto. Com isso, pode se afirmar que, no que diz respeito à resistência, quanto maior a porcentagem de resina utilizada na composição, no caso 17 e 19%, maiores serão as resistências encontradas. Este comportamento foi encontrado no agregado areia natural.

Porém, na mesma figura demonstrada acima, fica claro que o comportamento do pó de brita acontece de forma inversa. Como se trata de um agregado ainda não estudado para este tipo de aplicação, acredita-se que estes resultados possivelmente devem estar relacionados a características específicas deste resíduo. Além disso, a resistência obtida com o agregado areia misturado a maior porcentagem de resina trabalhada no estudo, 19%, ainda não lhe conferiu resistência comparável ao resultado obtido com o pó de brita.

Conforme se observa na pesquisa de Gorninski et al. (2004), os valores encontrados para corpos-de-prova moldados com 13% de resina insaturada poliéster (ortoftálica – mesma viscosidade) em compostos com areia média mostraram resultados entre 99,7 e 112,3 MPa, crescendo conforme a adição do *filler* utilizado (cinza volante), entre 8 e 20%. Na figura 3, nota-se que os resultados obtidos com o pó de brita (entre 90,40 e 102,36 MPa) foram similares aos encontrados na pesquisa supracitada, porém, neste caso, é importante salientar que, além da resina ser reciclada, que torna o composto com menor custo, o pó de brita é um resíduo, contribuindo para a redução do valor total de produção, além da questão de conservação ambiental.

Na figura 3, observa-se que o comportamento dos experimentos referentes à tração na flexão são similares aos encontrados nos ensaios de compressão.

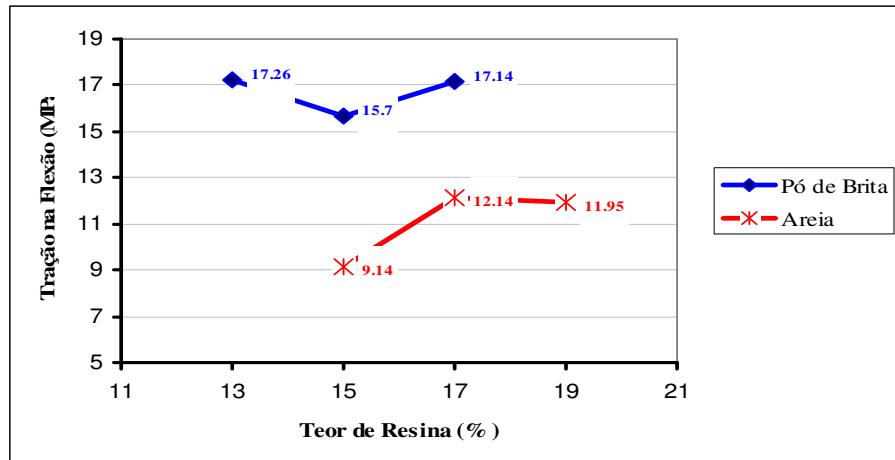


Figura 3 - Resistências à tração na flexão obtidas para os dois agregados

Apesar de equivalerem em média a 15% dos valores encontrados para resistência a compressão, os resultados obtidos neste estudo de tração, se comparados ao comportamento do concreto convencional de cimento Portland (normalmente, corresponde a 10% do valor da resistência a compressão), também conferem ao PC um alto desempenho.

O valor encontrado para os experimentos com pó de brita e resina a 13%, onde encontramos o melhor desempenho, são similares aos encontrados por Gorninski et al. (2007) em seu estudo com 13% de resina poliéster insaturada (ortoftálica – mesma viscosidade), em seus experimentos com agregado areia média e filler, principalmente na concentração com 8%. Os valores encontrados pelos autores são 17,98 MPa para 8%, 20 MPa para 12%, 19,77 MPa para 16% e 20,47MPa para 20% de filler, neste caso, cinza volante.

O fato do pó de brita ter tido um melhor desempenho do que a areia média utilizada de forma pura, provavelmente se deve a falta do uso de fillers, como usualmente é encontrado nas pesquisas que utilizam esta mesma resina reciclada (REBEIZ, 1994; BYUNG-WAN, 2005). Conforme estudo de Gorninski (1996), além do aumento nas propriedades mecânicas do composto, o uso do filler aumenta a trabalhabilidade do concreto polímero no estado fresco, e resulta em um composto de excelente qualidade e acabamento. Estas características são provenientes do seu formato esférico, no caso da cinza volante, que contribui com um maior fator de empacotamento entre os agregados, reduzindo a porosidade, que inibe a penetração de agentes agressivos.

Conforme as diferenças adotadas entre os teores para cada tipo de agregado, a análise estatística foi executada individualmente, visando determinar as influências significativas entre os experimentos com o mesmo agregado, determinando assim, a melhor opção dentre os teores de aglomerante. Na análise que verifica a relevância da resina no desempenho da compressão dos compostos, fica claro que a resina tem influência significativa sobre os compostos com areia média ($\alpha = 0,017$), mas não provoca o mesmo efeito nos exemplares com pó de brita ($\alpha = 0,125$). Nestes, o comportamento é inverso, aumentando a sua resistência conforme é reduzido teor do aglomerante. Para os resultados obtidos no ensaio de tração na flexão, a análise estatística demonstra que a resina não é um fator significante no efeito desta nos compostos com areia ($\alpha = 0,105$), nem para os compostos de pó de brita ($\alpha = 0,542$). De qualquer maneira, como se pode observar estes resultados obtidos com o uso do agregado pó de brita foram, em média, 40% superiores aos obtidos com o uso da areia média.

3.2 Absorção de água

Com o objetivo de obterem-se parâmetros de comparação entre os usos dos agregados propostos, foi realizado um estudo de absorção de água por imersão, conforme normas da NBR 9778. Os resultados obtidos para este ensaio foram considerados não significantes, conforme mostra a tabela 3,

principalmente, se comparados aos resultados obtidos com o uso do concreto convencional, que pode chegar até mesmo a 4,2% de absorção de água para concretos duráveis, segundo Helene (1983).

Tabela 3 - Absorção de água em imersão

COMPOSIÇÃO	DENSIDADE (g/cm ³)	Massa INICIAL (g)	Massa FINAL (g)	DIFERENÇA %
P-13	2,4	474,4	475,2	+0,17
P-15	2,3	461,1	462,2	+0,24
P-17	2,3	455,5	455,9	+0,09
A-15	2,0	401,1	403,7	+0,65
A-17	2,1	407,9	408,9	+0,25
A-19	2,1	414,2	414,6	+0,10

Além da questão da absorção, observa-se que as composições propostas com o pó de brita apresentam uma diferença sensível na questão da massa, apresentando peso 15% superior aos moldados com areia. O fato do pó de brita apresentar maior massa unitária deve-se a sua composição com uma quantidade menor de vazios, portanto com uma maior compacidade. Sendo assim, sugere-se que esta menor quantidade de vazios confere ao compósito um melhor desempenho mecânico, por se tratar de um compósito com maior fator de empacotamento e interação entre resina e agregado.

A análise estatística demonstrou que o efeito da absorção de água nas composições não é significativo, independente do agregado utilizado.

4 CONCLUSÕES

Diante destes resultados e levando-se em consideração as questões ambientais e econômicas, pode-se afirmar que a melhor combinação obtida foi para o uso do pó de brita com 13% de resina, produzindo um composto de alta performance com um custo menor, visto que esta foi a menor concentração de resina utilizada no estudo. Mesmo assim, e com base no que foi demonstrado nesta pesquisa, pode-se aferir que, apesar dos aumentos nos esforços de compressão e tração com o uso deste resíduo, sugere-se que sejam feitas averiguações referentes a outras informações complementares, como: módulo de elasticidade e caracterização do resíduo pó de brita, cuja granulometria e composição podem variar conforme o local de obtenção.

Além disso, há necessidade de investigar-se o comportamento do pó de brita em relação a sua composição, avaliando-se a influência da forma de suas partículas e do teor de finos nas propriedades encontradas. Esta presença de finos pode ser responsável pelo melhor desempenho do rejeito se comparado aos compostos de areia pura, que possuem massa específica menor, portanto menor compacidade à mistura.

Outro fator importante está relacionado ao teor de resina empregado com o pó de brita. Apesar dos corpos de prova com 13% de resina não apresentarem uma aparência tão homogênea e lisa quanto os outros teores maiores, sugere-se que pesquisas sejam desenvolvidas com teores menores ainda que o proposto, a fim de ampliar-se o conhecimento sobre os limites para este agregado.

Quanto ao uso da areia média, os resultados demonstraram uma redução de desempenho se comparado a estudos que utilizaram fillers em sua composição. O filler, neste caso, além de contribuir para o aumento das resistências mecânicas, melhoraria a trabalhabilidade do composto no estado fresco, o qual se mostrou de difícil manuseio sem o mesmo.

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S.; SAMPAIO, J. Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras. **Revista Areia e Brita**, out/dez, 2002.

ANUÁRIO Mineral Brasileiro (2003/2004). DNPN/MM, Brasília.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 1994. 6p.

_____. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 1994. 3p.

_____. **NBR 7217**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987. 6p.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

_____. **NBR 12142**: Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 1990. 3p.

ATZENI, C.; MASSIDA, L.; SANNA, U. Mechanical Properties of epoxy mortars with fly ash as filler. **Cement and Concrete Composites**, v.12, p.3-8, 1990.

BUEST NETO, G. T. **Estudo da substituição dos agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. Curitiba, 2006, 169p. Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Paraná, Brazil.

BYUNG-WAN, J., GHI-HO, T., CHANG-HYUN, K. Uniaxial creep behavior and prediction of recycled-PET polymer concrete. **Construction and building materials**, v.21, p.1552-1559, 2007.

CHÁVEZ, J.; LAOS, R.; ROSPIGLIOSI, C.; NAKAMATSU, J. Concreto Polimérico a partir de Botellas Descartables. **Revista Conciencia**, 2002.

D'AGOSTINO, L. Z. **Uso de finos de pedreira no preparo e argamassas de assentamento**. São Paulo, 2004, 119p. Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral – Universidade de São Paulo, Brazil.

DRAGO, C. L. **Análise da resistência mecânica de concretos empregando areia artificial como agregado miúdo**. Canoas, 2006, 77p. Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia: Energia, Ambiente e Materiais – Universidade Luterana do Brasil, Brazil.

FOWLER, D. Current status of polymer concrete in the United States. **INTERNATIONAL CONGRESS ON POLYMER IN CONCRETE**, 9: Universita` degli Studi di Bologna, Italia, 37-44, 1998.

_____. Polymers in concrete: a vision for the 21st century. **Cement and Concrete Composites**, v.21, Texas, USA, 449 – 452, 1999.

_____. Polymers in concrete: where have we been and where are we going? **TENTH INTERNATIONAL CONGRESS ON POLYMERS IN CONCRETE AND ICPIC/ICRI INTERNATIONAL CONCRETE REPAIR WORKSHOP**, Honolulu, Hawaii, 2001. **Proceedings**...Austin: International Center Aggregate Research (ICAR), University of Texas at Austin; 2001.

GORNINSKI, J. **Investigação do comportamento mecânico do concreto polímero de resina poliéster**. Tese (M Sc Engineering) 103p., Program de pós-graduação em Engenharia de Minas e Metalurgia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre, 1996.

GORNINSKI, J.; KAZMIERCZAK, C. Aspectos de durabilidade dos compostos de concreto polímero (In press).

GORNINSKI, J.; DAL MOLIN, D.; KAZMIERCZAK, C. Comparative assessment of isophthalic and orthophthalic polyester concrete: Different costs, similar mechanical properties and durability. **Construction and Building Materials**, v21, EUA, p. 546-555, 2005.

_____. Strength degradation of polymer concrete in acidic environments. **Cement & Concrete Composites**, v29, p.637-645, 2007.

_____. Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of polymer concrete and portland cement concrete. **Cement and Concrete Research**, v34. p.2091 – 2095, 2004.

HELENE, P. R.L. **La Agressividad del Medio y la Durabilidad del Hormigón.** Hormigón, AATH, n. 10 p. 25-35, ago. 1983.

IGNACIO, C.; FERRAZ V.; ORÉFICE, R.L. In Reciclagem química de PET para aplicações em concreto de poliéster. 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 2003.

JO, B., TAE, G., KIM, C. Uniaxial creep behavior and prediction of recycled-PET polymer concrete. **Construction and Building Materials**, v21, p.1552–1559, 2007.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

OHAMA, Y. Determination methods for working life of polyester resin concrete. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POLYMERS IN CONCRETE, Mexico, 1976. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, p.31-40, 1976.

REBEIZ, K. Precast use of polymer concrete using unsaturated polyester resin based on recycled PET waste. **Construction and Building Materials**, v10, EUA, p.215-220, 1995.

_____.Time-Temperature Properties of Polymer Concrete Using Recycled PET. Printed in Great Britain, 1994.

REBEIZ, K.; FOWLER, D. Recycling plastics in polymer concrete systems for engineering applications. **Polym-Plast Technol**, Inglaterra, p.809–825, 1991.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. I INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, Anais... Florianópolis, 2005.

TERRA, L. **Utilização de finos no concreto estrutural.** Embaú. ABESC. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/pdf/mambiente.pdf>> Acesso em: 06/08/2007.

VIGON, B. W., TOLLE, D. A., CORNARY, B. W., LATHAN, H. C., HARRISON, C. L., BOUGUSKI, T. L., HUNT, R. G. e SELLERS, J. D. In **Life Cycle Assessment: inventory guidelines and principles.** EPA/600/R-92/245, Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency, Risky Reduction Engineering Laboratory, 1993.