



## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E À FLEXÃO DE COMPÓSITO CIMENTÍCIO-POLIMÉRICO À BASE DE CIMENTO PORTLAND E GRÃOS RECICLADOS AGLUTINADOS DE POLIPROPILENO

Coelho, Rivaldo Teodoro <sup>(1)</sup>; Ducatti, Vitor Antonio <sup>(2)</sup>; Salado, Gerusa de Cássia <sup>(3)</sup>

(1) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/FT/Limeira, São Paulo/SP, Brasil - e-mail: r004594@dac.unicamp.br;

(2) Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas – FEC/UNICAMP (aposentado) - e-mail: antonioducatti@uol.com.br ; (3) Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/FT/Limeira, São Paulo, Brasil - e-mail: gerusa@ft.unicamp.br

### RESUMO

A produção mundial de resinas termoplásticas em 2016 foi de 407 milhões de toneladas por ano, das quais 6,4 produzidas no Brasil. Desde 1950 até 2015, 8.300 milhões de toneladas foram produzidas no planeta e 6300 milhões foram descartadas sem reciclagem. O Brasil recicla em média 25% deste material. Este estudo tem como objetivo analisar a resistência à compressão axial e à flexão de um compósito cimentício-polimérico a base de cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI-V) tendo como agregados a areia e os grãos reciclados aglutinados de polipropileno (GRAPP) como substituto dos agregados graúdos. Foram utilizadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT para se determinar as resistências à compressão axial e resistência à tração na flexão. Os grãos aglutinados de polipropileno deste estudo foram coletados do descarte na linha de produção industrial de artefatos plásticos e são resultantes de um processo de aglutinação de polipropileno limpo e descontaminado, sem passagem por qualquer sistema de coleta pública ou programa de coleta seletiva. Os resultados dos ensaios laboratoriais demonstraram ser possível obter um compósito cimentício-polimérico com resistências suficientemente elevadas para a aplicação na construção civil com benefícios diretos ao meio ambiente e à produção habitacional.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos, compósitos, plásticos, reciclagem, polipropileno, GRAPP, pré-fabricado, meio ambiente, engenharia de materiais.

## RESISTANCE TO AXIAL COMPRESSION AND FLEXION OF CEMENTITIOUS-POLYMERIC COMPOSITE BASED ON PORTLAND CEMENT AND RECYCLED POLYPROPYLENE AGLUTINATED GRAINS

### ABSTRACT

The world production of thermoplastic resins in 2016 was 407 million tons per year, of which 6.4 were produced in Brazil. From 1950 to 2015, 8,300 million tons were produced on the planet and 6300 million tons were disposed of without recycling. Brazil recycles on average 25% of this material. This research proposes the use of recycled polypropylene agglutinated as a substitute of the large aggregates in the concrete and, to this end, studies its behavior characterizing it by means of a composite based on Portland cement of high initial resistance, CP-V-ARI. The agglutinated polypropylene grains of this study were collected from the disposal in the industrial production line of plastic artifacts and are the result of adjustments and losses during the manufacturing stages, being thus waste without passing through any public collection system or selective collection program. The initial results concerning the axial, diametral and modulus tensile strengths of different strengths confirm the applicability of this composite in the production of prefabricated parts or components for civil construction.

**Keywords:** solid waste, composite, plastic, recycling, polypropylene grains, GRAPP, prefabricated.



## 1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Plástica - ABIPLAST (2018)<sup>(1)</sup>, desde 1950 até 2015, a produção mundial de plásticos cresceu de 2 milhões de toneladas para 407 milhões de toneladas anuais. Como resultado, estima-se que já foram produzidos cerca de 8300 milhões de toneladas das quais 6300 já foram descartadas. Desde descarte, apenas 9% foram reciclados, ou seja, aproximadamente 567 milhões de toneladas. O restante, 12% foram incinerados e 79% dispostos em aterros sanitários ou no meio ambiente.

São toneladas de embalagens e de produtos manufaturados em plásticos de diversos tipos que se juntam a outros materiais com potencial de reciclagem como papel, vidro, papelão e alumínio além dos materiais originados nas etapas de produção e demolição de obras da construção civil. Um conjunto diversificado de materiais cuja decomposição pode ocorrer em até 100 anos.

Todos com alto potencial poluidor, quando depositados nos aterros sanitários, lixões a céu aberto ou simplesmente despejados nos cursos de água doce e oceanos e natureza em geral. Simultaneamente também todos com alto potencial de reciclagem uma vez que são matérias-primas que podem ser recicladas e transformadas em novos produtos agregando-lhes novos valores e aplicações além de prolongar seus ciclos de vida.

No Brasil, ainda segundo dados ABIPLAST(2018) <sup>(1)</sup>, a produção física de transformados plásticos em 2015 foi de 5,8 milhões de toneladas cuja principal resina consumida foi o PP-Polipropileno com 21,9%, seguido do PEAD-Polietileno de Alta Densidade com 17,5% e em terceiro lugar o PVC-Policloreto de Vinila com 15,7% e o PET-Polietileno Tereftalato, atingiu 7,2%..

Os plásticos do tipo termoplásticos, são utilizados em quase todos os setores da economia e da vida moderna: construção civil, agricultura, fabricação de calçados, móveis, alimentos, têxtil, lazer, telecomunicações, eletroeletrônicos, automobilísticos, médico-hospitalar, energético, ou seja, em todos os aspectos da vida moderna rural e urbana, competindo e substituindo quase todos os demais materiais, inclusive madeiras, tecidos e cerâmicas, vidros e metais.

Na construção civil, é um dos materiais essenciais para a fabricação de tubos, conexões, esquadrias, forro e revestimento de teto, paredes e piso, assim como em peças, acessórios, ferramentas, utilidades e mobiliário. No campo da tecnologia de concretos e argamassas, sua utilização é comum na produção de concretos usinados especiais por meio das adições de polipropileno em fibras indicadas para reforços e minimização de patologias ou incorporado na forma de pérolas de poliestireno expandido (EPS) indicado para a produção de concretos leves, sendo ainda, praticamente inexistente, a produção e aplicação de grãos aglutinados de polipropileno (GRAPP).

Daí o interesse em estudá-lo como componente de concretos compósitos de matriz cimentícia podendo ser combinados com compósitos de outras matrizes, sejam elas poliméricas, vegetais, minerais, matrizes metálicas ou ainda blendas e compósitos mistos.

Dentre os materiais constantemente pesquisados no Brasil e no exterior, pode-se listar as fibras de vidro, fibras de madeiras, fibras de polipropileno, flocos de polipropileno, flocos de PET, polipropileno moído, PET moído, cinza da casca do arroz, nano compósitos de polietileno-grafite, borracha moída, EPS, PVC, escória de alto forno, resíduos de construção e demolição (RSCD), aparas de couro, dentre outros. Com relação ao polipropileno na forma de grãos reciclados aglutinados existem poucas pesquisas nacionais e internacionais.



Akinyele, Salim e Oyeti, (2015)<sup>4</sup>, realizaram e publicaram experiência com o polipropileno na forma de grão reciclado, na África do Sul. Utilizando os grãos na forma de pellets, a pesquisa consistiu no ensaio de comportamento de vigas prismáticas compostas por compósito cimentício à base de cimento Portland e grãos de polipropileno nas quais constataram perdas de desempenho em todas as propriedades mecânicas ensaiadas e ao final recomendaram o uso do compósito para concretos leves não estruturais. Os resultados encontrados estão diretamente ligados à pouca aderência entre o agregado polimérico e argamassa devido à característica dos grãos utilizados, no caso, lisos.

Neste trabalho serão utilizados grãos reciclados aglutinados de polipropileno - GRAPP obtidos a partir do descarte industrial de peças imperfeitas, rebarbas, cortes, recortes, sobras ou perdas e ocorridas durante o processo de fabricação na linha de produção.

Empresas recicladoras transformam os resíduos plásticos inicialmente classificando-os e depois, já separados, são cortados, triturados e lavados para a remoção de impurezas e descontaminação. Em seguida, são secos e encaminhados para a etapa de aglutinação, onde se formam os grãos e depois seguem para o processo de extrusão onde se formam os “fios ou cordões” os quais são resfriados e cortados na forma de pequenos bastões cilíndricos também denominados pellets (grãos lisos fragmentados).

Este trabalho pretende contribuir no desenvolvimento de novos materiais compósitos aplicáveis na construção civil, buscando o aproveitamento de materiais recicláveis agregando-lhes parte de seu valor econômico, prolongando seus ciclos de vida e gerando benefícios diretos na gestão dos problemas e impactos ambientais e simultaneamente oferecendo alternativas de solução para as questões habitacionais.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para atingir o objetivo deste trabalho, foram ensaiados corpos de prova cúbicos e cilíndricos cujos dados foram analisados para determinar algumas propriedades mecânicas no estado endurecido do compósito resultante, dentre as quais destacou-se a resistência à compressão axial e a resistência à tração na flexão.

### **2.1 Materiais componentes do concreto**

#### **2.1.1 Cimento**

O cimento utilizado no desenvolvimento desta pesquisa foi o CP-V-ARI - Resistência Inicial - ABNT NBR 5733:1991<sup>(3)</sup>, com a finalidade de prover resistências próximas daquelas atingidas aos 28 dias logo nas primeiras idades.

#### **2.1.2 Agregado miúdo**

A areia utilizada foi previamente passada na peneira #8, abertura da malha 2,4 mm e depois ensaiada para determinação de sua massa específica aparente, massa unitária e curva granulométrica e a massa específica aparente da areia foi determinada pelo ensaio do frasco de Chapman pelo método NBR 7217:1987<sup>(9)</sup>.



### 2.1.3 Água

Utilizou-se, em todo o processo, água potável em temperatura ambiente disponível no Laboratório da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas – FEC/UNICAMP, local onde todos os ensaios foram desenvolvidos.

### 2.1.4 Aditivo químico superplastificante

Utilizou-se o aditivo superplastificante com base em uma cadeia de éter carboxílico modificado (policarboxilatos), isento de cloretos, compatível com as prescrições da norma ASTM/C-494 (tipos A e F), ASTM/ C-1017 e com todos os cimentos que atendem a ASTM -150 e NBR 7688:1992.

### 2.1.5 Grãos reciclados aglutinados de polipropileno (GRAPP)

Todo o plástico utilizado como substituição no concreto foi obtido através da aglutinação de flocos e tiras de plásticos previamente lavados e triturados antes do processo de aglutinação. Cabe ressaltar que estes grãos são resultantes de um desenvolvimento ocorrido entre 2001 e 2005, tempo decorrido entre o desenvolvimento de um fornecedor e de grãos mais compatíveis em formato e a granulometria adequados para a produção dos compósitos e início da realização dos ensaios laboratoriais.

Os grãos foram adquiridos sob declaração formal de isenção de vestígios de borracha, metais, minérios, minerais ou materiais orgânicos provenientes de vegetais ou animais, graxas, óleos, combustíveis, inseticidas, agrotóxicos e sem adições ou aditivos especiais como corantes, estabilizantes, compostos químicos e sem a adição de plástico virgem ou de blendas plásticas.

A curva granulométrica dos grãos foi obtida por meio do ensaio determinado pela norma brasileira NBR 7211:83 <sup>(6)</sup>. Neste ensaio, também foi determinada a dimensão máxima característica dos grãos de polipropileno aglutinado reciclado e seu módulo de finura utilizando-se a mesma norma.

## 2.2 Dosagem experimental

Todos os ensaios constantes neste estudo foram realizados seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT para a construção civil.

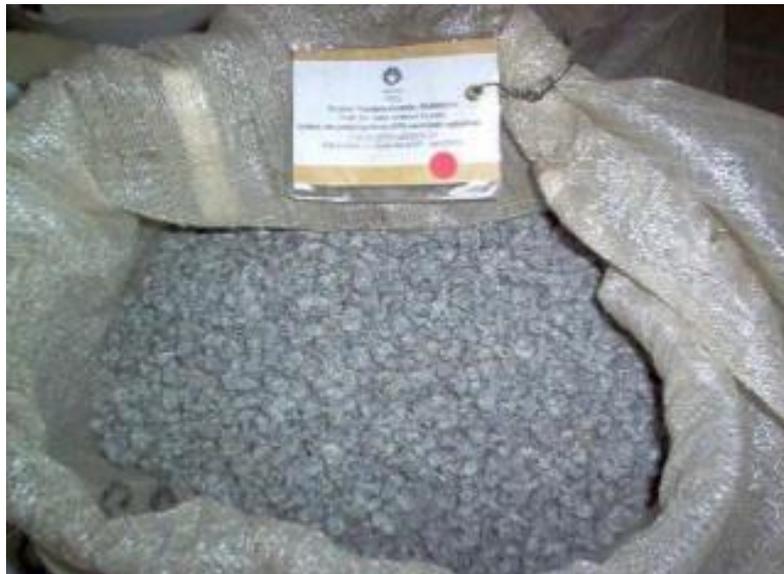
Primeiramente, com o objetivo de caracterizar a areia e o grão de polipropileno, foram realizados os ensaios de granulometria, massa específica aparente e unitária.

Posteriormente, iniciou-se a dosagem experimental para se determinar o limite de substituição do agregado graúdo (brita) pelo GRAPP considerando a formação de pasta suficiente para se trabalhar com as misturas, a resistência à compressão axial na idade de 7 dias, o aspecto dos compósitos resultantes, a necessidade (ou não) de ajuste do traço e seleção das misturas para dar sequência aos ensaios em corpos-de-prova cilíndricos.

Foram desenvolvidas duas séries de misturas além de um traço de referência. A primeira série foi identificada pela letra “P” e numerada sequencialmente de 1 a 10 (P1 a P10), correspondente às misturas com substituição parcial da areia pelo GRAPP em intervalos de 5% da massa total dos agregados. Desta série, não foram executadas as misturas P8 e P9.



**Figura 1: grãos reciclados aglutinados de polipropileno – GRAPP**



## **2.3 Confeção dos corpos-de-prova**

### **2.3.1 Corpos-de-prova cúbicos**

Nesta etapa, e para esta série, foram moldados corpos-de-prova cúbicos com arestas na dimensão de 75 mm, partindo-se do traço inicial em massa 1:2 com relação água/cimento (a/c) 0,30 e aditivo superplastificante líquido na proporção de 1% em relação à massa do cimento.

A segunda série foi identificada como P21 e P22, correspondentes às misturas com substituição total da areia pelo GRAPP sendo seus traços respectivamente 1:0,3 e 1:0,4 mantendo-se as mesmas proporções para a relação água/cimento e superplastificante adotados na série A. O traço de referência foi identificado como P0.

Na sequência, foram selecionados os traços e as misturas para a realização dos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à compressão diametral, resistência à tração na flexão e determinação do módulo de elasticidade secante, utilizando-se corpos-de-prova cilíndricos na dimensão de 10,0 cm de diâmetro e 20,0 cm de altura.

Para iniciar os ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão, decidiu-se por um traço em massa 1: 2: 0,30 com o aditivo superplastificante a 1% da massa de cimento. Este traço, rico em cimento, foi escolhido com base em duas hipóteses;

A primeira considerando que um traço mais rico poderia compensar a eventual perda destas citadas resistências em função da retirada dos agregados miúdos (parcial e gradativamente) e graúdo (totalmente) e suas respectivas substituições pelos grãos de polipropileno.

A segunda hipótese, considerando a possibilidade de se obter altas resistências à compressão axial e à tração na flexão para evitar que os grãos de plástico se destacassem do concreto em obras prontas na construção civil, ou elementos pré-fabricados, contaminando novamente o meio ambiente com resíduos plásticos. Todas as substituições foram executadas em relação à massa total dos agregados.



Figura 2: Moldagem dos corpos-de-prova cúbicos



### 2.3.2 Procedimento de cura

Todos os corpos-de-prova cúbicos e cilíndricos foram desmoldados com 1 dia de idade e imediatamente encaminhados para uma câmara úmida, iniciando-se sua imersão total em água em temperatura ambiente por 3 dias, seguida de cura ambiente até a estabilização da massa.

### 2.3.3 Corpos-de-prova cilíndricos

Após os ensaios realizados com os corpos-de-prova cúbicos, foram selecionadas três (03) misturas para os ensaios definitivos. Desta forma, foram moldados duas (02) misturas da Série A (com areia), a saber, P6 e P10 e uma da Série B (sem areia), P22.

Em ambos os casos, foram mantidos os traços iniciais, sem ajustes.

Destas séries foram ensaiados com corpos-de-prova cilíndricos para determinar a resistência à compressão axial e à tração na flexão por meio de vigas prismáticas para ensaio de resistência à tração na flexão. Todos estes ensaios foram realizados com as idades de 7 e 28 dias.

A moldagem foi feita usando fôrmas metálicas cilíndricas, com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm (figuras 3 e 4), sendo moldados 4 corpos-de-prova de cada mistura para cada ensaio, acima descrito e respectiva quantidade de vigas prismáticas.

Figura 3: moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos



Figura 4: Corpos-de-prova cilíndricos tipo P6.





Este ensaio foi realizado seguindo a Norma NBR 7217:1987<sup>(9)</sup>, a qual estabelece limites granulométricos para o agregado miúdo e graúdo em função das porcentagens retidas acumuladas na série de peneiras normal ou intermediária (figura 5) e por meio do cálculo do módulo de finura.

**Figura 5: Peneiras para os ensaios de granulometria**



### 2.3.5 Massa específica aparente

O método empregado para a determinação da massa específica aparente dos grãos de polipropileno aglutinado por meio do frasco de Chapman e seguindo a Norma ABNT NBR 9776:1987 (adaptando-a às características do agregado).

**Figura 6: Frasco de Chapman**





### 2.3.6 Determinação da massa unitária

Atendendo a Norma NBR 7251:1982 <sup>(10)</sup>, a massa unitária dos grãos de polipropileno aglutinado reciclado foi determinada colocando-os em um recipiente de metal em forma de paralelepípedo (volume 15dm<sup>3</sup> e tara de 9,450kg) para se determinar a massa deste material. Em seguida, assim, com a relação massa/volume foi obtida a massa unitária deste material.

### 2.3.7 Resistência à compressão axial

Este ensaio foi realizado seguindo-se a Norma ABNT NBR 7215:1996.

### 2.3.8 Resistência à tração na flexão

Ensaio realizado com base na norma NBR 12142:1992 <sup>(12)</sup>, através da aplicação de carga no centro da superfície superior de uma barra prismática com dimensões de (7,5 x 7,5 x 24,5) cm, respectivamente, altura, largura e comprimento. Esta carga é transmitida à barra através de dois cutelos localizados nos terços médios da barra simplesmente apoiada (figura 7).

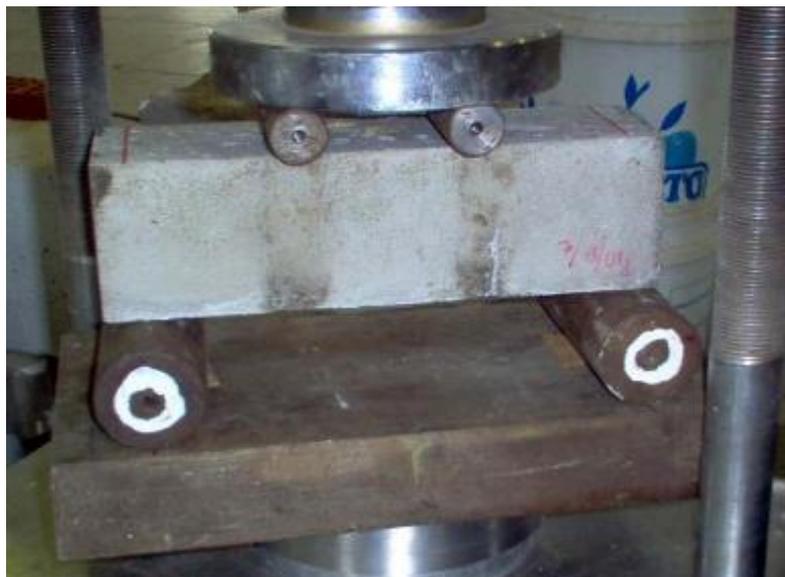


Figura 7: Determinação da resistência à tração na flexão

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização do grão reciclado aglutinado de polipropileno (GRAPP).

A tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de granulometria dos grãos reciclados aglutinados de polipropileno e da determinação das massas específica e unitária deste material.



Tabela 1: Caracterização dos agregados miúdo e GRAPP

Areia				GRAPP			
Dimensão Máxima Característica (mm)	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)	Módulo de Finura (areia fina)	Dimensão Máxima Característica (mm)	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)	Módulo de Finura
2,4	2,62	1,39	1,57	9,5	0,93	0,34	5,81

A tabela 2 apresenta os traços em massa e respectivas misturas utilizadas nos ensaios laboratoriais para a determinação da resistência à compressão axial e da resistência à tração na flexão.

Tabela 2: Características dos traços das misturas com GRAPP

Características Gerais das Amostras e Misturas					Traço em massa (kg)				
Séries	Misturas	Massa Específica (g/cm³)	Redução da Massa Específica relativa a P0 ( % )	Substituição da areia pelo GRAPP ( % )	cimento	areia	GRAPP	a/c	aditivo
Referência	P0	2,33	0,00	0,00	1,00	0,20	0,00	0,30	0,01
	P1	2,21	5,30	5,00	1,00	0,19	0,01	0,30	0,01
	P2	2,09	10,60	10,00	1,00	0,18	0,02	0,30	0,01
	P3	1,96	15,80	15,00	1,00	0,17	0,03	0,30	0,01
	P4	1,92	17,60	20,00	1,00	0,16	0,04	0,30	0,01
	P5	1,83	21,30	25,00	1,00	0,15	0,05	0,30	0,01
	P6	1,75	24,80	30,00	1,00	0,14	0,06	0,30	0,01
	P7	1,63	30,00	35,00	1,00	0,13	0,07	0,30	0,01
Série A	P10	1,37	41,50	50,00	1,00	0,10	0,10	0,30	0,01
Série B	P21	1,59	31,90	100,00	1,00	0,00	0,30	0,30	0,01
	P22	1,53	34,20	100,00	1,00	0,00	0,40	0,30	0,01

A tabela 3 apresenta os resultados do ensaio geral dos ensaios referentes aos corpos de prova cúbicos e cilíndricos e as respectivas resistências à compressão axial e à tração na flexão para as misturas da série A e B, com ênfase nos corpos de prova cilíndricos tipo P0, P6, P10 e P22 cilíndricos.



**Tabela 3: Análise dos resultados dos ensaios físico-mecânicos**

Características Gerais das Amostras e Misturas					Análise dos Corpos de Prova					
					Cúbicos		Cilíndricos			
Séries	Misturas	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Redução da Massa Específica relativa a P0 (%)	Substituição da areia pelo GRAPP (%)	Resistência a Compressão Axial (MPa)	Redução da resistência à Compressão Axial (%)	Compressão Axial		Tração na Flexão	
							Resistência a Compressão Axial (MPa)	Redução (%)	Resistência a Tração na Flexão ou Módulo de Ruptura (MPa)	Redução (%)
Referência	P0	2,33	0,00	0,00	89,97	0,00	89,97	0,00	5,69	0
Série A	P1	2,21	5,30	5,00	68,93	-23,39				
	P2	2,09	10,60	10,00	45,28	-49,67				
	P3	1,96	15,80	15,00	39,24	-56,39				
	P4	1,92	17,60	20,00	37,24	-58,61				
	P5	1,83	21,30	25,00	34,19	-8,19				
	P6	1,75	24,80	30,00	29,51	-67,20	31,96	-64,48	5,59	-1,76
	P7	1,63	30,00	35,00	24,24	-17,86				
Série A	P10	1,37	41,50	50,00	11,26	-87,48	7,55	-91,61	2,16	-62,04
Série B	P21	1,59	31,90	100,00	36,00	-59,99				
	P22	1,53	34,20	100,00	28,15	-68,71	19,02	-78,86	3,15	-44,64

### 3.2 Análise dos resultados relativos ao traço/mistura do tipo P6

Após a substituição dos agregados miúdo e graúdos por grãos de polipropileno e registrando perdas de 64,48% da capacidade de resistir a compressão axial, 35% de resistir à tração por compressão diametral, perda de menos de 2% de resistência na tração por flexão e menos de 17% de perda em seu módulo de elasticidade, o traço P6 ainda manteve a sua capacidade de resistir aos esforços solicitantes de compressão axial acima de 30 MPa.

Cabe ressaltar que esta característica (30 MPa) se aproxima da maioria dos concretos convencionais utilizados em obras de engenharia civil e arquitetura, ou seja, em obras de construção civil em geral incluindo elementos pré-moldados ou pré-fabricados de concreto.

### 3.3 Aspectos visuais

Os corpos-de-prova foram cortados axial e diametralmente e posteriormente digitalizados obtendo-se uma imagem no tamanho real dos mesmos onde se pode visualizar a distribuição dos grãos de polipropileno no interior dos compósitos resultantes.

Este procedimento, embora simples e rudimentar, permitiu verificar que os grãos estavam distribuídos uniformemente, sem a ocorrência de segregação ou concentração na parte superior dos corpos-de-prova, eliminando a hipótese de que, pelo fato de serem extremamente leves (entre 0,89 e 0,93 g/cm<sup>3</sup>), poderiam aflorar na superfície superior dos corpos de prova dos compósitos curados resultantes.



Figura 9: Cortes de seção diametral e transversal do tipo P6.



### 3.4 Produção de blocos de concreto pré-fabricados com o compósito cimentício-polimérico

Como sugestão à aplicação prática dos resultados obtidos por meio deste trabalho, foram fabricados 10 blocos de concreto utilizando como referência a mistura tipo P6. Os materiais foram devidamente dosados no laboratório em Campinas e transportados para a fábrica em Guarulhos.



**Figura 10: Preparação da mistura para a produção de blocos com GRAPP**



O traço inicialmente dosado para se obter a mistura P6 foi ajustado para P3 (cimento 1,00: areia 0,14: GRAPP 0,06: água/cimento 0,30), mantendo, desta forma, certo grau de segurança para viabilizar o início da fabricação e preservar os equipamentos.

**Figura 11: blocos de concreto com GRAPP (2004)<sup>1</sup>**



Após alguns ajustes, na terceira tentativa, os blocos foram moldados e desmoldados com sucesso, obtendo-se as dimensões previstas de 15,0 x 19,0 x 39,0 cm, correspondentes respectivamente à largura, altura e comprimento e tomando-se como referência a norma ABNT NBR-6136:1994 <sup>(7)</sup>.

---

1 Sr. Sérgio, proprietário da empresa Masei Blocos Ltda., que cedeu suas instalações viabilizando a produção dos blocos com GRAPP.



#### **4. CONCLUSÕES**

O uso dos grãos reciclados aglutinados de polipropileno que foram utilizados neste estudo, pode contribuir para a substituição dos agregados minerais convencionais como a pedra britada e a areia, ou quando bem combinados areia e grãos podem oferecer um pacote granulométrico que se apresenta satisfatoriamente fechado, resultando em resistências adequadas a diversas aplicações, em princípio, não estruturais.

A granulometria, o formato arredondado e estriado característico dos grãos de polipropileno permitiu boa aderência ao concreto sem a ocorrência de desprendimentos ou observação de qualquer segregação ou distribuição inadequada deste material no compósito já endurecido.

As misturas de P3 (cimento 1,00: areia 0,14: GRAPP 0,06: água/cimento 0,30) a P6 (cimento 1,00: areia 0,14: GRAPP 0,06: água/cimento 0,30), registraram, entre elas, perdas de resistência à compressão axial inferior a 10% , o que sugere que os grãos, a partir 15% a 30% de adição, oferecem os melhores resultados, em termos desta resistência, nos traços com cimento, areia e GRAPP.

O compósito cimentício-polimérico resultante mostrou-se adequado para as aplicações que especifiquem materiais ou concretos capazes de absorver energia de impactos pois não foram observados lascamentos explosivos à medida em que os corpos de prova atingiam os limites de ruptura nos ensaios laboratoriais de resistência à compressão axial e à tração na flexão.

O uso dos grãos reciclados aglutinados de polipropileno no concreto, diminui as densidades aparentes do concreto, possibilitando a obtenção de compósitos leves, porém com elevadas resistências.

O grão reciclado aglutinado de polipropileno (GRAPP) pode ser utilizado como material inerte na construção civil, tendo como vantagens o fechamento do pacote granulométrico, o significativo ganho de ductilidade, a redução do peso das estruturas, a redução do consumo de agregados naturais e a possível redução dos custos diretos e dos preços finais de produtos pré-fabricados impactando diretamente em benefícios ao meio ambiente e ao custo e preço final das habitações.

É possível efetuar a reciclagem do plástico em grande escala para a produção de grãos aglutinados reciclados de polipropileno, destinados ao desenvolvimento de novas aplicações como material para a indústria da construção civil, contribuindo para a redução deste resíduo sólido no meio ambiente e integrando a engenharia civil ao campo das soluções científicas, tecnológicas e práticas, não apenas relativas à ciência e à tecnologia dos materiais, mas também contextualizada na gestão ambiental.

Na prática, novos ensaios devem ser determinantes para retificar e ratificar aplicações para este novo compósito incluindo não apenas a produção de blocos de concreto para alvenaria, mas também o enchimento de lajes nervuradas (concreto leve), defensas rodoviárias para absorção de impactos mecânicos, enchimento de lajes pré-fabricadas sistema BubbleDeck, muros ou paredes filtrantes, tubos de drenagem (concreto cavernoso), painéis e divisórias de concreto pré-fabricados, construções rurais diversas, pisos intertravados ou drenantes, dentre outras aplicações, das quais algumas já se encontram em desenvolvimento.



## REFERÊNCIAS

1. ABIPLAST. **Brazilian Plastic Processed and Recycling Industry 2018 Profile – Preview.** disponível em <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/preview-perfil/> acessado em 14/04/2019 às 13h28min07s.
2. AKINYELE, Joseph Olawale (a); SALIM, Ramhadhan Wanjala (a); OYETI, Gbolahan (b). **Use of recycled polypropylene grains as partial replacement of fine aggregate in reinforced concrete beams.** (a) Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and the Built Environment, Tshwane University of Technology, Pretoria, South Africa, (b) Department of Civil Engineering, Federal University of Agriculture, Abeokuta, 0022 Nigeria Received 28 may 2015; accepted 06 July 2015.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733:** Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Rio de Janeiro, 1991.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos: procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1980.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 1983.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6136:** bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:** argamassa e concreto: determinação da resistência à compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7217:** agregado: determinação da composição granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987b.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7251:** agregado em estado solto: determinação da massa unitária: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982b.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-8522:** concreto: determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. método de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-12142:** concreto: determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.
13. COELHO, R. T. **Contribuição ao estudo da aplicação de materiais alternativos nos compósitos à base de cimento Portland; uso de grão de polipropileno reciclado em substituição aos agregados de concreto.** Campinas: FEC/UNICAMP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2005.
14. COELHO, R. T. **A reciclagem do plástico: negócios e meio ambiente.** São Paulo: FEAPUCSP. Dissertação (Mestrado em Administração), Faculdade de Economia,



Administração, Ciências Contábeis e Atuariais, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 1999.

15. RILEM TC 121 - DRG. **Specification for concrete with recycled aggregates: materials and structures**, v. 27, p. 557-559, 1994.
16. SALADO, G. C. **Painel de vedação vertical de tubos de papelão: estudo, proposta e análise de desempenho**. Tese (Doutorado). São Carlos, SP. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. 2011.