



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

DOSAGEM DE CONCRETO PARA BLOCOS CONTENDO RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO

Afonso Maria Araújo (1)

(1) Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, e-mail: ama@ifg.edu.br

RESUMO

A proposta de utilização de um agregado reciclado produzido a partir de resíduos das indústrias de artefatos de cimento em substituição ao agregado miúdo convencional justifica-se por dois fatores decisivos: a homogeneidade dos resíduos de origem cimentícia deste segmento e a existência por parte destas empresas de uma atividade contínua e regular o que acaba proporcionando uma grande disponibilidade desse resíduo. A pesquisa foi realizada em etapas que envolveram a definição e quantificação dos resíduos; moagem e produção dos agregados reciclados; caracterização dos agregados e estudo de dosagem em laboratório para a definição do proporcionamento (traço) do concreto para uso na indústria de blocos. Nos testes laboratoriais, além do traço referência, foram ensaiadas as variações dos teores de agregado reciclado em substituição parcial ao agregado miúdo, entre 15% e 40%, em intervalos de 5%, visando a encontrar o teor ótimo de agregado reciclado. Foram moldados 18 corpos-de-prova por situação estudada para ensaio nas idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias, resultando um total de 126 corpos-de-prova ensaiados quanto à resistência à compressão. O concreto de referência apresentava uma resistência à compressão de 6 MPa, referente ao traço utilizado pela empresa fabricante de blocos. Na definição da densidade a ser atingida com os traços contendo agregado reciclado adotou-se o valor de 2,15 kg/dm³, valor este obtido nos ensaios realizados com os blocos de referência. O procedimento de dosagem do concreto para a produção de blocos seguiu a metodologia proposta por Frasson Jr. (2007). Como resultado tem-se acréscimo de resistência de aproximadamente 16% em relação ao traço referência e uma substituição de 25% de agregado reciclado.

Palavras-chave: bloco de concreto, agregado reciclado, resíduo, dosagem.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, é crescente a preocupação das empresas com as questões ambientais, principalmente, com a geração de resíduos em sua linha de produção. Dentre as áreas de produção, as empresas do ramo da construção civil são as que mais geram resíduos. A geração de resíduos na cadeia produtiva da empresa não ocorre somente pela falta de tecnologia, mas, também, pela falta de políticas de gerenciamento dos resíduos, de ausência de mecanismos de adequação às emissões poluente ao meio ambiente e, principalmente, de ausência de um programa de gestão da qualidade. Investir em tecnologia, em programa de gestão da qualidade, geralmente, traz retorno econômico, pois melhora o produto, aumenta a produção e reduz o desperdício, vislumbrando a redução da geração de resíduos, a reutilização, a reciclagem ou a destinação adequada desse resíduo. Além das vantagens citadas, pode-se explorar, também, o retorno ecológico, o chamado ativo ambiental e, principalmente, a imagem da empresa ecologicamente correta.

Segundo Melo *et al.* (2008) a questão dos resíduos da indústria da construção civil não deve ser vista somente pelo aspecto ambiental, mas também pelo aspecto econômico, pois esses resíduos ao serem descartados geram um custo para as empresas e para os municípios. Em Goiânia (GO), o retrato quantitativo desses materiais é facilmente visto depositado ilegalmente no aterro sanitário do município como também em margens de córregos, lotes baldios e acostamentos de ruas e avenidas. Não existe, até o momento, nenhuma empresa que faça o aproveitamento deste material. Os vários estudos que pesquisaram alternativas tecnológicas para o aproveitamento dos resíduos gerados pela construção civil relatam que os melhores resultados foram obtidos na produção de blocos de concreto para alvenaria e também em pavimentação e em argamassas (ARAÚJO *et al.*, 2005).

Neste sentido, este trabalho pesquisou o aproveitamento dos resíduos da indústria da construção civil e, na definição do estudo, o fator decisivo na escolha do segmento da construção civil a ser estudado foi a composição do resíduo. O primeiro segmento avaliado foi o resíduo gerado na indústria da construção civil, principalmente, os classificados como resíduos da construção e demolição (RCD), que apresenta uma grande heterogeneidade, fato que dificulta a reciclagem desse material (ZORDAN *et al.*, 2008). O segundo segmento avaliado apresentou homogeneidade dos resíduos, que são de origem cimentício, oriundos do processo de produção da indústria de artefatos de cimento. Deste modo, de todos os ramos da indústria da construção civil, decidiu-se optar exclusivamente, pelo segmento das indústrias de artefatos de cimento, que geram, basicamente, um resíduo muito homogêneo e de origem cimentícia.

Portanto, tendo em vista as considerações anteriores, a pesquisa selecionou quatro dentre as maiores empresas do ramo de artefatos de cimento da região metropolitana de Goiânia, sendo uma de cada segmento: uma empresa que produz telhas de concreto; uma empresa que produz lajes e estruturas pré-moldadas; uma empresa concreteira e uma empresa que produz pisos, tubos e blocos de concreto. Assim sendo, na pesquisa estudou-se o aproveitamento dos resíduos gerados na cadeia produtiva da indústria de artefatos de cimento e a inserção deste material na produção de bloco de concreto para alvenaria estrutural ou de vedação.

Na produção de blocos emprega-se o concreto de consistência seca, que possui características de um concreto levemente umedecido, sendo necessária a utilização de máquinas que confirmam compacidade à mistura para retirada do ar aprisionado (FRASSON JR.); de acordo com Buttler (2007), a qualidade do maquinário e do processo produtivo é fundamental para o alcance da resistência e da qualidade desejada. A resistência dos blocos é proporcional às energias de compactação e de vibração, sendo a eficiência da vibro-prensa a responsável direta pela qualidade final das unidades produzidas.

O foco principal da pesquisa foi o estudo do proporcionamento da mistura (estudo de traço) usando os procedimentos propostos por Frasson Jr. (2007), por meio do emprego de corpos-de-prova cilíndricos (5 cm x 10 cm) em ensaios laboratoriais, chegando a uma proporção otimizada de agregados (brita, areia e resíduo), empregando a maior quantidade de resíduo possível, sem mudança no consumo de cimento nem na qualidade dos blocos produzidos, que devem atender aos padrões da normalização técnica brasileira.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o estudo de dosagem proposto na pesquisa de viabilidade técnica da produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural ou de vedação com substituição de parte do agregado por resíduo da indústria da construção civil, especificamente, os resíduos oriundos do processo de fabricação das indústrias de artefatos de cimento da região metropolitana de Goiânia (GO).

Como objetivos específicos têm-se:

- Definir uma densidade padrão para a dosagem dos blocos de concreto;
- Obter o teor ótimo de água para a fabricação dos blocos;
- Obter o teor máximo possível de substituição de agregado reciclado sem comprometimento da resistência à compressão do concreto dos blocos.

3 METODOLOGIA

Definiu-se um programa experimental para estudo de dosagem visando estabelecer o proporcionamento ideal de agregado reciclado na produção industrial dos blocos de concreto para alvenaria estrutural ou de vedação, de forma a atender aos requisitos da norma NBR 6136:2006 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. A pesquisa foi realizada em etapas que envolveram a definição e quantificação dos resíduos; moagem e produção dos agregados reciclados; caracterização dos agregados e estudo de dosagem em laboratório, para a definição do proporcionamento (traço) do concreto para uso na indústria de blocos.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados no programa experimental foram os seguintes:

- cimento CP V ARI;
- aditivo plastificante com base química saponácea;
- agregado miúdo (areia natural, de litologia granítica) proveniente da região metropolitana de Goiânia;
- agregado graúdo (“pedriscos”, material passante na peneira 9,5 mm e retido na peneira 4,8 mm) proveniente da região metropolitana de Goiânia;
- resíduos oriundos dos processos de produção dos fabricantes de artefatos de cimentos, britados e classificados como agregado miúdo.

3.2 Definição e quantificação dos resíduos

Na primeira etapa da pesquisa a finalidade foi à definição dos resíduos a serem empregados e sua quantificação por empresa geradora. A primeira decisão foi no sentido de escolha do tipo de resíduo a ser utilizado, sendo a homogeneidade o principal fator a ser considerado para a decisão. Assim, considerando o relato de vários pesquisadores que os RCDs são heterogêneos, fato que dificulta a reciclagem desse material, eles não foram utilizados na pesquisa. Desta forma, a opção foi pelos resíduos cimentícios (RC), gerados pelos processos de produção das indústrias de artefatos de cimento. Segundo o SINPROCIMENTO – Sindicato da Indústria de Produtos de Cimento do Estado de Goiás existe na região metropolitana de Goiânia mais de 200 empresas do ramo, número que justifica a escolha deste segmento. Os resíduos cimentícios (RC) destas empresas são basicamente provenientes de elementos rejeitados pelo controle de qualidade, unidades danificadas durante o transporte, final de linhas de produção, sobras de concreto fresco ao término do processo, retorno de sobras de concreto dos caminhões betoneira ou das bombas de lançamento de concreto, lavagem dos caminhões betoneira e das instalações da central (BUTTLER, 2007). Portanto, em sua maioria, são produtos de idades recentes.

Visando tornar representativa a amostragem dos resíduos, optou-se por selecionar quatro empresas do ramo de artefatos de cimento, cada uma com um grupo distinto de produtos fabricados, conforme relacionado a seguir, com seus respectivos resíduos mostrados na figura 1.

- Empresa “A”: produz, principalmente, blocos de concreto, pisos de alta resistência, tubos, *pavers* e postes, gerando aproximadamente 18 m³/mês de resíduos;
- Empresa “B”: produz telhas de concreto e gera um volume de resíduo de, aproximadamente, 3 m³/mês;
- Empresa “C”: produz lajes e estruturas pré-moldadas, gera aproximadamente 8 m³/mês de resíduo;
- Empresa “D”: é filial de uma das maiores concreteiras do país, com um volume de resíduo gerado de, aproximadamente, 20 m³/mês.



Figura 1 – Resíduos das empresas colaboradoras

Cabe salientar-se que a escolha das empresas considerou também a distância máxima entre as empresas e o local onde se daria o processamento dos resíduos (moagem), bem como onde seriam utilizados os resíduos posteriormente, na produção dos blocos. Assim por questões operacionais, foram selecionadas empresas localizadas em um raio de aproximadamente 5 km entre si e do local de processamento e utilização, no município de Aparecida de Goiânia.

3.3 Moagem e produção dos agregados reciclados

Nesta etapa, a pesquisa contou com a colaboração técnica do DCT.T de Furnas Centrais Elétricas S.A., que produziu o material reciclado, pois na região não se dispõe de usinas de reciclagem, nem programas que promovam a reciclagem deste tipo de resíduo, o que dificulta a obtenção deste material.

As empresas cederam, aproximadamente, 8 m³ de resíduos e usando um britador de mandíbula de médio porte, com capacidade de processamento de 2 m³/hora, produziu-se aproximadamente 2 m³ de material reciclado por empresa. Estes materiais foram transportados e estocados na empresa “A”, onde seriam posteriormente utilizados na produção industrial de blocos; lá foram separados por tipo de resíduo, de acordo com as empresas participantes da pesquisa.

O agregado reciclado foi composto por quantidades proporcionais ao resíduo gerado pelas quatro

empresas, sendo 18 l de resíduo da empresa “A”, 3 l de resíduo da empresa “B”, 8 l de resíduo da empresa “C”, e 20 l de resíduo da empresa “D”, que corresponde, respectivamente, a 36,7%, 6,1%, 16,3% e 40,9%, conforme figura 2.



Figura 2 – Composição do agregado reciclado

3.4 Caracterização dos materiais

Nesta etapa, realizou-se a caracterização do agregado natural, bem como do resíduo reciclado, conforme tabela 1. Os dados de caracterização do cimento e do aditivo foram fornecidos pelos fabricantes desses produtos.

Tabela 1 – Percentagens retida acumulada e módulos de finura

Peneiras	Percentagem retida acumulada para cada agregado			
	Pedrisco	Areia natural	Areia artificial	Agregado reciclado
9,5	0	0	0	0
6,3	11,6	0	0	0
4,8	70,4	0	0	0
2,4	86,5	4,1	16,9	12,2
1,2	92,7	31,8	38,9	31,3
0,6	93,3	66,1	58,4	47,9
0,3	94,1	91,9	77,6	68,8
0,15	95,5	98,5	88,5	84,6
fundo	100	100	100	100
M.F.	5,33	2,92	2,81	2,45

3.5 Estudo de dosagem em laboratório

Esta etapa ocorreu no laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Goiás e foram usados os procedimentos propostos por Frasson Jr. (2007), que se baseia na moldagem e em testes em laboratório, de corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm (diâmetro x altura). Com esses corpos-de-prova foi possível fazer uma avaliação da coesão e umidade ideal das misturas, da textura superficial dos blocos, além de se prever também, com bastante precisão, a resistência à compressão, em razão do grau de compactidade das misturas (massa específica no estado fresco).

Nos testes laboratoriais, também foram ensaiadas as variações dos teores de agregado reciclado no total do agregado miúdo, entre 15% e 40%, em intervalos de 5% (15%, 20%, 25%, 30%, 35% e 40%), visando a encontrar o teor ótimo de agregado reciclado no consumo do agregado natural (areia).

Os principais procedimentos do estudo de dosagem em laboratório são as definições das seguintes propriedades: composições da granulométrica (traço), densidade do corpo-de-prova e teor ideal de água. Outro procedimento importante também é a moldagem dos corpos-de-prova. Devido à finalidade da pesquisa, adotou-se como traço de referência o traço de 6 MPa utilizado pela empresa “A”, para a produção de blocos no equipamento de vibro-prensa, em escala industrial. A Resistência de 6MPa é exigência normativa para bloco estrutural.

Na definição da densidade adotou-se o valor de $2,15 \text{ kg/dm}^3$ encontrado após ensaio de densidade realizado nos blocos de referência, que conforme sugerido por Frasson Jr. (2007), este ensaio é realizado submergindo o bloco saturado em um recipiente com água e pesando o volume de água deslocado pelo bloco. A densidade do bloco é seu peso dividido pelo seu volume.

Em ensaios preliminares para verificação da densidade, retirou-se da vibro-prensa uma amostra da mistura que estavam produzindo o bloco de 6 MPa. Com este material foram moldados 30 corpos-de-prova, sendo 6 cps por cada situação estudada nas densidades de $2,05 \text{ kg/dm}^3$, $2,10 \text{ kg/dm}^3$, $2,15 \text{ kg/dm}^3$, $2,20 \text{ kg/dm}^3$ e $2,25 \text{ kg/dm}^3$. Após ensaio de resistência à compressão, das cinco variações estudadas, a menor densidade que alcançou a mesma resistência do bloco produzido, foi a de $2,15 \text{ kg/dm}^3$.

A avaliação do teor ideal de umidade, conforme o método proposto por Frasson (2007), é realizada de forma tátil e visual, sentindo manualmente a consistência seca do concreto levemente umedecido, necessitando, portanto, de uma sensibilidade do operador e observando visualmente as condições superficiais do corpo-de-prova (CP) após sua desforma. A superfície do CP e as partes internas da forma ficam levemente umedecidas, quando a mistura atinge pontos próximos da umidade ótima. Nos ensaios laboratoriais o teor de umidade ficou em torno de 10% em relação ao material seco e na produção industrial, a mistura com este teor de umidade, terá o mesmo comportamento.

Um importante procedimento desta etapa é a moldagem, em laboratório, dos corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm, que deve obedecer a seguinte sequência de moldagem: a) compactação da 1ª camada; b) compactação da 2ª camada; c) compactação de 3ª camada; d) compactação de 4ª camada, sendo aplicados 20 golpes com o soquete de argamassa a cada camada; e) aplicação de golpes com martelo de borracha em um tarugo de náilon, para a compactação dos últimos 3 mm da última camada; f) desforma dos corpos-de-prova. Esta sequência é mostrada na Figura 4.

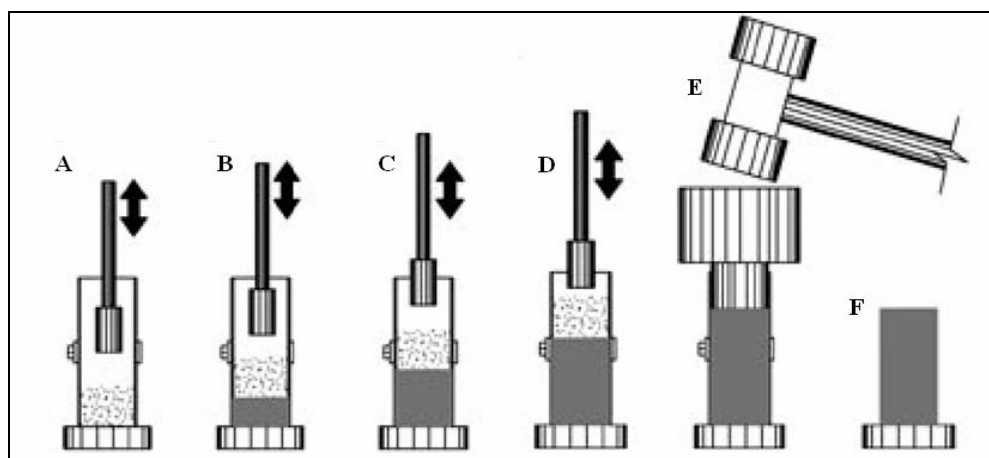


Figura 4 – Esquema da sequência de moldagem dos corpos-de-prova. (FRASSON JR., 2007)

Foram moldados 18 corpos-de-prova de 5 cm x 10 cm, por situação estudada para ensaio nas idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias, resultando um total de 126 corpos-de-prova ensaiados quanto à resistência à compressão seguindo norma NBR 5739:2007.

4 RESULTADOS

4.1 Granulometria

A figura 3 mostra o gráfico da curva granulométrica dos agregados utilizados na produção dos corpos-de-prova de 5 cm x 10 cm.

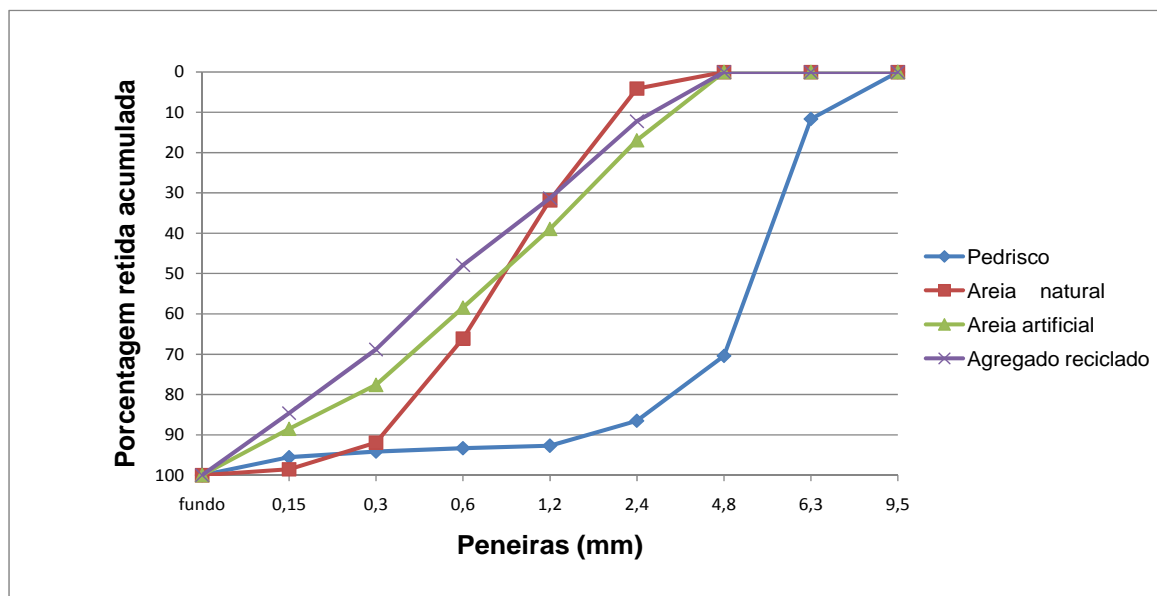


Figura 3 – Gráfico da curva granulométrica dos agregados

O agregado reciclado produzido ficou com uma granulometria que auxiliou na composição granulométrica do traço, o que explica em partes, o aumento da resistência à compressão.

4.2 Definição da densidade

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados dos ensaios para verificação da densidade na correlação da resistência à compressão dos corpos-de-prova com a resistência à compressão dos blocos de 6MPa.

Tabela 2 – Valores da resistência e densidade

Densidade (kg/dm ³)	Massa (g)	Resistência à compressão (MPa)
2,05	402,41	4,37
2,10	412,23	5,83
2,15	422,04	6,15
2,20	431,86	6,78
2,25	441,68	7,32

Nota: volume da fôrma: 196,30 ml

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão nos corpos-de-prova moldados para verificação da densidade foram crescentes, demonstrando que quanto maior a densidade, maior a resistência, sendo que o resultado que apresentou a menor massa para alcançar a resistência mínima de 6 MPa, conforme o traço dos blocos produzidos na vibro-prensa, foi a densidade de 2,15 kg/dm³, com resistência à compressão de 6,15 MPa.

4.3 Definição do teor de umidade.

Nos ensaios laboratoriais o teor de umidade ficou em 10,8% na relação água/material seco, pouco superior ao sugerido na literatura. Este maior teor de umidade, em parte se deve ao agregado reciclado que possui uma maior porosidade e uma maior quantidade de finos existente, o que causa uma maior absorção.

4.4 Resistência à compressão

No ensaio de resistência à compressão observou-se que para todos os seis teores pesquisados, a resistência à compressão dos concretos com agregado reciclado superou a resistência do traço referência (figura 5). Isto em parte se justifica pela qualidade do agregado reciclado, de origem cimentícia, o qual além de apresentar uma boa distribuição granulométrica, provavelmente possui uma

capacidade aglomerante adicional (devido a uma porção de cimento ainda anidra presente no resíduo), ajudando no aumento da resistência. Outro fator que justifica o aumento da resistência é a porosidade do agregado reciclado que melhora a absorção da pasta cimento na zona de transição pasta-agregado.

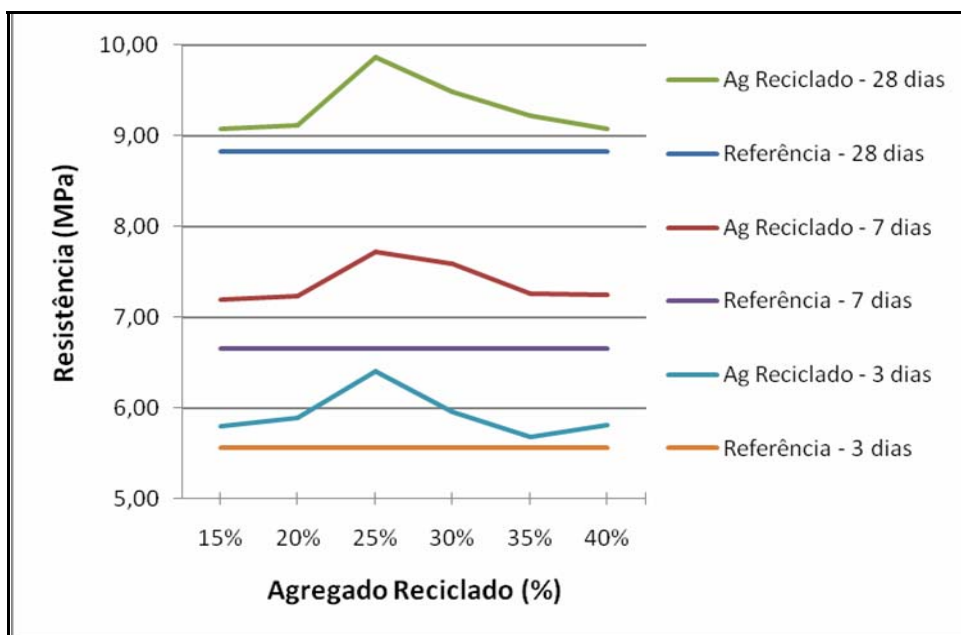


Figura 5 – Gráfico de resistência à compressão em relação à composição do traço com agregado reciclado nas idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias.

Outro aspecto que pode ser observado é a existência de um teor ótimo de substituição da areia por resíduo, que corresponde a 25%. Com este teor de agregado reciclado obteve-se um acréscimo de cerca de 16% da resistência à compressão nas três idades ensaiadas, em relação às resistências obtidas para o traço de referência (0% de agregado reciclado) nas mesmas idades.

5 CONCLUSÕES

A densidade do concreto dos blocos utilizada nesta pesquisa de $2,15 \text{ kg/dm}^3$, também recomendada na literatura, resultou em um traço econômico.

O agregado reciclado empregado nesta pesquisa influenciou positivamente na resistência à compressão dos concretos para a produção de blocos, pois para todos os seis teores pesquisados, a resistência à compressão dos concretos com agregado reciclado superaram a resistência do traço referência. Foi encontrado um teor ótimo de substituição de 25% de agregado reciclado, que resultou em um acréscimo de resistência à compressão de 16% em relação ao traço referência.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. G., BARBOSA, C. J. F., RESENDE, P. S. O. **Viabilidade de uso do resíduo de construção e demolição na produção de pré-moldados de concreto**. III jornada Nupeng-UCG, 2005, Goiânia-GO.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – determinação da massa unitária e do volume vazio. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – determinação de massa específica, massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 12117**: Blocos vazados de concreto para alvenaria – retração por secagem. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto para alvenaria – absorção de água. Rio de Janeiro, 1991.

BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. 499 f. [Tese de Doutorado da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo]. São Paulo, 2007.

FRASSON JR. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2000. 146f. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MELO, T. M.; CARVALHO, E. H.; REZENDE, L. R.; ARAÚJO, D. L.; SOUZA, U. E. L. **Panorama dos resíduos de construção em Goiânia**. In: 50º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador-BA. Setembro. **Anais...** Salvador-BA.

ZORDAN, S. E., PAULON V. E. **A utilização do entulho como agregado para o concreto**. Textos técnicos. Disponível em <http://www.servicos.capes.gov.br>. Acesso em: 11 de março de 2008.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas Goiarte, Mold, CIMPOR e Vibracon, bem como ao DCT.T de Furnas Centrais Elétricas S.A. e seus funcionários, principalmente da Central de Britagem. Agradecem também à FAPEG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás e à FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos.