

ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE RCC'S EM CONCRETO ATRAVÉS DE ENSAIOS FÍSICOS E QUÍMICOS*

Marcos Vinicius Silva Dias¹
Érika Elis Kuo¹
Willy Ank de Moraes²
Marcelo Costa Choukri³
Marcio de Moraes Tavares⁴

Resumo

A utilização de material de construção reciclado para a composição de argamassas e concreto, é uma prática crescente no Brasil e no mundo. Em um ambiente onde o desenvolvimento sustentável vem ganhando espaço e é um importante agente de desenvolvimento social e ambiental. Com base nesse cenário, este trabalho pretende mostrar como as argamassas e os concretos reciclados são obtidos, quais as normas técnicas para verificação de sua conformidade e como esses itens podem ser incorporados com resultado similar ao conceito tradicional. Para isso, a metodologia de cunho descritivo se utiliza da revisão da literatura para elaborar o desenvolvimento experimental para avaliar as propriedades físicas e químicas dos agregados reciclados buscando as similaridades e diferenças com agregados convencionais, utilizando estes dados para produção e correção dos respectivos traços e dosagens. Permitindo concluir que a introdução de material reciclado na execução de argamassas e concretos, apesar das diferentes características, torna possível confecção de concretos com propriedades similares a concretos confeccionados com materiais convencionais, em alguns casos pode até oferecer ganhos em propriedades técnicas.

Palavras-chave: Resíduos de construção; argamassa reciclada; concreto reciclado.

STUDY OF THE VIABILITY OF USE OF RECYCLED CONCRETE THROUGH PHYSICAL AND CHEMICAL TESTS

Abstract

The use of recycled construction material for the composition of mortars and concrete is a growing practice in the world and in Brazil. In an environment where sustainable development has gained space and is an important factor of social interest, economic and technological environment. Based on this scenario, the theme aims to show how recycled mortars and concretes are obtained, which technical standards to verify their compliance and how these items can be incorporated with similar results to the traditional concept. For this, the descriptive methodology is used the literature review to elaborate the experimental development to evaluate the physical and chemical properties of the recycled aggregate, using this data for the production and correction of the respective traces and dosages. It is possible to conclude that the introduction of recycled material in the execution of mortars and concretes, despite the different characteristics, it is possible to make concretes with similar properties; in some cases may even offer gains in technical properties.

Keywords: Construction waste; recycled mortar; recycled concrete..

¹ Graduandos em Engenharia Civil pela UNAERP (Universidade de Ribeirão Preto) Campus Guarujá, Guarujá, SP, Brasil (hamer_ho@hotmail.com);

² Doutorando, Mestre, Engenheiro e Técnico em Metalurgia e Materiais, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânicas, Professor Mestre da UNAERP-Guarujá e Professor Adjunto da Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos, SP, Brasil (wmorais@unaerp.br).

³ Arquiteto, Engenheiro Civil, Especialista em concreto, Professor da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil (mchoukri@unaerp.br).

⁴ Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutorando em Engenharia Química, Coord. do Curso de Eng. Civil e de pós graduação em Eng. de Segurança do Trabalho da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil (mtavares@unaerp.br).

1 INTRODUÇÃO

O conceito de reciclagem na construção civil está inserido nas questões ambientais e na definição de sustentabilidade, uma preocupação mundial expressa por vários relatórios e acordos como por exemplo, o Relatório Brundtland, o Relatório Nosso Futuro Comum, a Agenda 21 e o Protocolo de Kioto. As preocupações quanto à contaminação do solo, da água e do ar, à extração desmedida de recursos naturais aliadas ao aumento do consumo trouxeram à pauta também a questão da geração de resíduos. No Brasil a legislação vem se adaptando a essas questões e em particular a geração de resíduos de construção civil (RCC's).

O entulho como popularmente é conhecido, em geral é oriundo de erros na construção que geram perdas como: fazer argamassa em excesso, quebra de tijolos no transporte e manejo indevido e erros de execução que exigem demolição e reconstrução. O primeiro princípio de uma obra é a não geração do entulho ou a sua minimização, porém, por maior que seja a produtividade e qualidade do serviço executado, é comum haver alguma quantidade de RCC.

A destinação do RCC costuma ser clandestina e impactar diretamente no meio ambiente. Portanto, além de cumprir a legislação que determina o correto destino do entulho, a empresa que age corretamente, ganha com essa prática em negociações com órgãos públicos, maior facilidade em financiamentos e a possibilidade de participar de licitações para obras do Governo, além de melhorar sua imagem perante a sociedade em geral. Com esse intuito, a reciclagem dos RCC é um instrumento que alia tanto a prática ambientalmente correta, quanto a economia na aquisição dos insumos de produção, sem perdas de características técnicas.

A construção sustentável além de gerenciar a utilização de recursos como água e energia, prima por não desperdiçar material com potencial de reutilização. Usinas de reciclagem estão espalhadas pelo país, gerando emprego e renda, e economia de recursos naturais. O material obtido deve passar por testes e respeitar todos os requisitos podendo assim, ser parte da composição de novas argamassas e concretos ou até, vir a ser comercializado pela empresa.

Além dessa utilização, pode-se afirmar que existe uma vasta gama de subprodutos da reciclagem: blocos de concreto para vedação, cascalho para pavimentação de ruas, contrapiso e material para drenagens, contenção de encostas, banco e mesas para praças, guia e tampas para bueiros, tubo para esgotamento, etc. [1]. Em geral, o uso do reciclado barateia a execução da obra e apresenta consistência semelhante ao produto convencional, ou seja, são muito similares as características de medida, peso e durabilidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta as etapas de beneficiamento de agregados reciclados, bem como os ensaios para obtenção das suas propriedades físicas e análise de impurezas orgânicas. Para obtenção dos traços foi utilizado o método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). A partir dos dados obtidos nos ensaios de agregados foram realizados três traços para concretos com agregados convencionais e seus equivalentes com uso de 100% de areia e brita reciclada.

Após suas respectivas curas, os CP's foram submetidos aos ensaios de compressão para comparação da influência dos agregados reciclados na resistência do concreto quando comparados com concretos sob as mesmas condições dos fabricados com

materiais convencionais. Os materiais utilizados para confecção dos concretos foram areia comum e brita 1 comum para os concretos de referência. Já a areia e brita 1 recicladas foram confeccionadas a partir de resíduos da construção civil RCD.

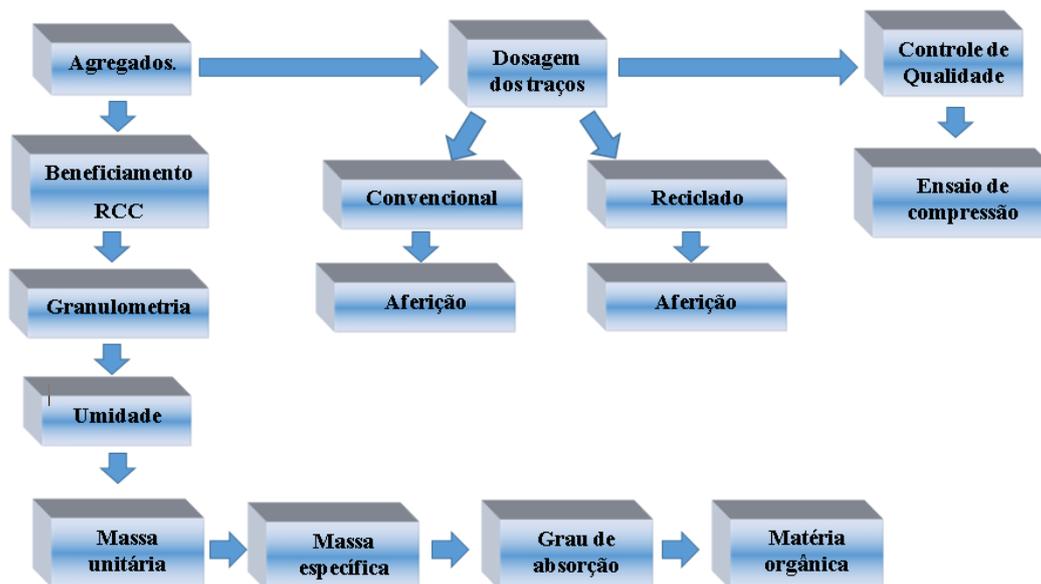


Figura 1. Etapas de beneficiamento dos agregados reciclados, análises químicas e físicas.

O cimento utilizado na pesquisa foi o cimento Portland CP III-40 RS produzido pela Companhia Siderúrgica Nacional. Para etapa de beneficiamento foi selecionado entulho comum de construção civil em uma usina de reciclagem de resíduos, onde o mesmo passou por um britador para se obter como resultado final agregados reciclados de diversas granulometrias.

2.1 Ensaios com agregados

Para os ensaios foram separadas amostras de agregados miúdos e graúdos convencionais e reciclados para todos os ensaios. Todas as amostras foram separadas por homogeneização e quarteamento manual de acordo com o método de Tavares et al. [2] e após foram mantidas em estufa por 24 ± 4 horas a $100 \pm 5^\circ\text{C}$.

2.1.1 Classificação e granulometria

Os ensaios de peneiramento mecânico foram realizados conforme a ABNT NBR 5734 [3]. De acordo com esta norma, os agregados graúdos são aqueles que passam pela peneira 76 mm e ficam retidos na peneira 4,8 mm. Agregados miúdos são aqueles que passam pela peneira de 4,8 mm e ficam retidos na peneira 0,150 mm.

2.1.2 Determinação do teor umidade

Para o ensaio foi utilizado o método descrito na ABNT NBR 9939 [4], também utilizado por Kuo [5]. Foram coletadas amostras dos agregados miúdos e graúdos e após a pesagem em balança semi-analítica para determinação da massa inicial (Ma), os mesmos foram mantidos em estufa por 24 ± 4 horas a $100 \pm 5^\circ\text{C}$. Concluído

o tempo de permanência, as amostras foram esfriadas a temperatura ambiente e pesadas novamente para se obter a massa final (MaF).

2.1.3 Determinação da massa unitária

O ensaio de massa unitária do agregado solto serve para fazer a correção do traço já que o agregado reciclado como abordado na revisão bibliográfica geralmente possui massa menos densa quando comparado com agregados tradicionais, sendo necessário fazer a correção para a confecção do traço equivalente utilizando o agregado reciclado. Para determinação da massa unitária foi utilizada a equação 1:

$$\rho_{ap} = \frac{M_{ar} - M_r}{v} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (1)$$

2.1.4 Massa específica aparente

O ensaio foi realizado conforme a ABNT NBR NM 53 [6]. Foi separada uma alíquota de agregado, lavou-se a mesma e levou-se à estufa por 24 horas a temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Após esse período o mesmo foi deixado para esfriar por aproximadamente uma hora. A massa específica aparente foi calculada utilizando a equação 2:

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (2)$$

2.1.5 Grau de absorção

Os ensaios de grau de absorção foram realizados seguindo os procedimentos da ABNT NBR NM 53 [6], nos quais, para todos os efeitos, foram utilizados os dados do ensaio de determinação de massa específica. O grau de absorção foi calculado utilizando a equação 3:

$$dA = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (3)$$

2.1.6 Ensaio de impurezas orgânicas

A NBR NM 49 [7], estabelece os limites de impurezas orgânicas aceitáveis nos agregados miúdos. Neste sentido, foram realizados os ensaios para determinar a viabilidade de uso do agregado reciclado na confecção de concretos, onde os limites da norma de matéria orgânica presentes no agregado têm que ser inferiores a 300 ppm conforme a NBR NM 49 [7].

O ensaio da NBR NM 49 [7] estabelece teste qualitativo visual onde a amostra de agregado ao reagir com a solução de NaOH a 3%, deve apresentar coloração inferior a solução padrão. Caso a coloração da amostra seja mais escura que a cor da solução padrão, o agregado será considerado contaminado e impróprio para o uso, ou seja, contém concentrações de matéria orgânica maiores que 300 ppm.

2.2 Confecção dos traços

Para a confecção dos traços foi utilizado o método de dosagem ABCP (Associação Brasileira de cimento Portland), que consiste na utilização da relação água/cimento dada pela curva de Abram para obtenção dos níveis de resistência a compressão desejados. Foram selecionadas 3 faixas de resistência, sendo elas de 17,5 MPa, 20 MPa e 28 MPa aos 28 dias. Para confecção e correção dos traços foi utilizado o método de dosagem da ABCP normatizado pela ABNT NBR 12655 [8].

Este método de dosagem visa calcular a quantidade de matérias necessárias para confecção de 1m^3 de concreto bastando multiplicar ou dividir a quantidade para o preparo da quantidade necessária para diversas utilizações, conforme desejado.

2.3 Determinação da resistência à compressão axial

Para determinação da resistência à compressão axial, foram utilizados 6 CP's cilíndricos de 10 x 20 cm para cada traço. Os ensaios foram realizados conforme a NBR 5739 [9] para determinação da resistência a compressão. Para realização dos ensaios foi utilizada uma prensa hidráulica modelo: N1500-LC, ilustrada na Figura 2.



Figura 2. Prensa hidráulica utilizada no ensaio de compressão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Classificação e granulometria

Os resultados dos ensaios granulométricos apresentam as características dos agregados miúdos e graúdos e seu módulo de finura. Tais resultados são fundamentais para a definição do traço para cada agregado. A distribuição de tamanho é uma das propriedades mais importantes nos agregados já que afeta a compacidade do concreto e, conseqüentemente, todas as suas propriedades [10].

A Figura 3 mostra os resultados da análise de distribuição de tamanho realizada em todas as amostras (comum e reciclada) e faz um comparativo entre a curva granulométrica de ambas. Pelos resultados apresentados, pode-se afirmar que a distribuição de tamanho das partículas obedece a um padrão de solo arenoso, tendo em vista que a maior quantidade de material ficou retida nas peneiras de 1,18 mm,

600 μm e 300 μm na amostra de areia comum e nas peneiras de 600 μm , 300 μm e 150 μm na amostra de areia reciclada.

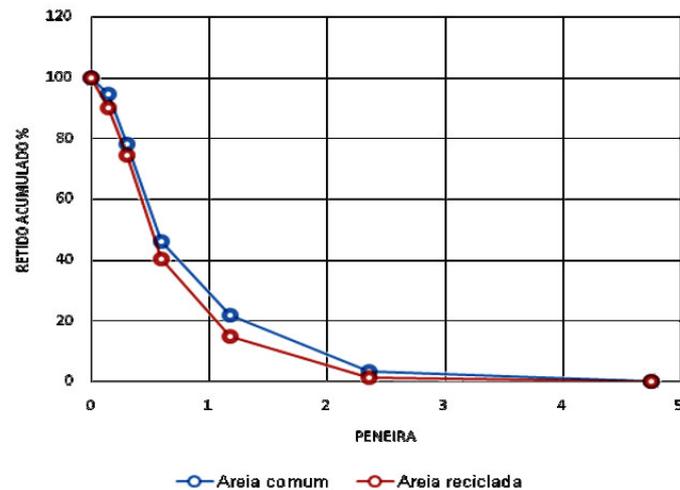


Figura 3. Curva granulométrica das areias comum e reciclada.

A Figura 4 mostra os resultados da análise de distribuição de tamanho realizada nas amostras de britas comum e reciclada e faz um comparativo entre a curva granulométrica de ambas.

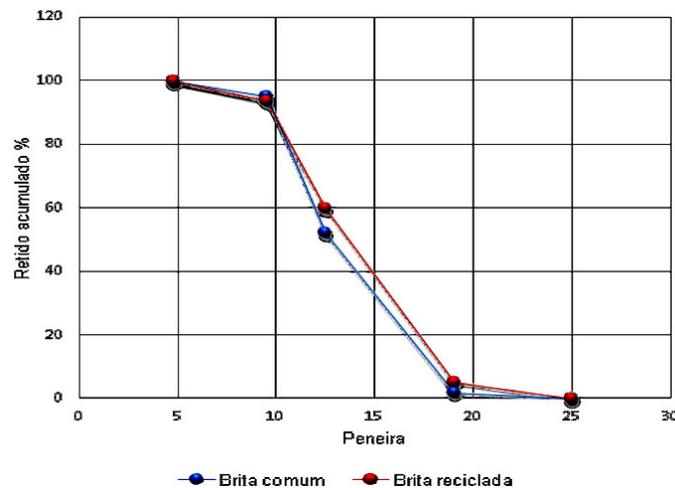


Figura 4. Curva granulométrica das britas comum e reciclada.

Para ambas as amostras essa distribuição segue o padrão de um agregado de pedra, ou seja, a porcentagem de partículas em cada fração é semelhante aos outros. De acordo com a norma EN 206-1 [11], este tipo de agregado só pode ser usado em concreto com resistência à compressão classe de C12/15 ou inferior. Portanto, se esses agregados são usados direto das usinas de reciclagem, só podem ser usadas em concreto com baixa demanda estrutural. No entanto, pós-processamento que seleciona apenas um intervalo de tamanho das partículas, de preferência aquele com as melhores características, pode permitir que os agregados possam ser incorporados em composições de concreto de melhor qualidade.

3.2 Determinação do teor de umidade

Os ensaios de teor de umidade oferecem dados para correção da quantidade de água para dosagem do concreto.

Os resultados dos agregados miúdos e graúdos são representados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados de teor de umidade dos agregados

Agregado	Teor de umidade (%)
Miúdo comum	8,95
Miúdo reciclado	7,80
Graúdo comum	3,45
Graúdo reciclado	5,39

Os teores de umidades dos reciclados diferem na razão de 38,3%, sendo que a umidade do comum foi de 3,45% e do reciclado de 5,59%. De um modo geral, os dados obtidos possuem variações de valores dependendo do local de estocagem do material, sendo perfeitamente natural apresentarem valores diferenciados, sendo necessária a constatação apenas para correção do volume de água do traço.

3.3. Determinação da massa unitária

Este ensaio visa conhecer a massa unitária para determinação do volume total ocupado pelos mesmos em fator dos espaços vazios. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos da massa unitária para os agregados miúdos e graúdos.

Tabela 2. Resultados de massa unitária dos agregados

Agregado	Massa unitária (kg/m³)
Miúdo comum	1533,00
Miúdo reciclado	1311,41
Graúdo comum	1680,01
Graúdo reciclado	1392,37

Os ensaios realizados mostram diferenças significativas na massa unitária dos agregados convencionais quando comparados com os reciclados. Os agregados convencionais se apresentam com massa significativamente maior. Como visto no trabalho expresso por Sagoe et al. [12], essa diferença se deve à camada residual de cimento presente no agregado.

3.4. Determinação da massa específica

O ensaio de massa específica o agregado graúdo segue as orientações da NBR NM 53 [6]. O ensaio se faz necessário para conhecimento da massa específica do agregado natural para compará-lo com os reciclados que tem a apresentar menor densidade e para maior controle do traço é necessário conhecer a massa específica para determinação do peso e volume do material a ser dosado. A densidade de partículas normalmente não tem aplicação prática na formulação e produção de concreto, uma vez que apenas indica a densidade do material que as compõem, o que é uma função da rocha original. A Figura 5 mostra uma baixa dispersão deste parâmetro entre as amostras, de acordo com os resultados de outros pesquisadores [13, 14 e 15].

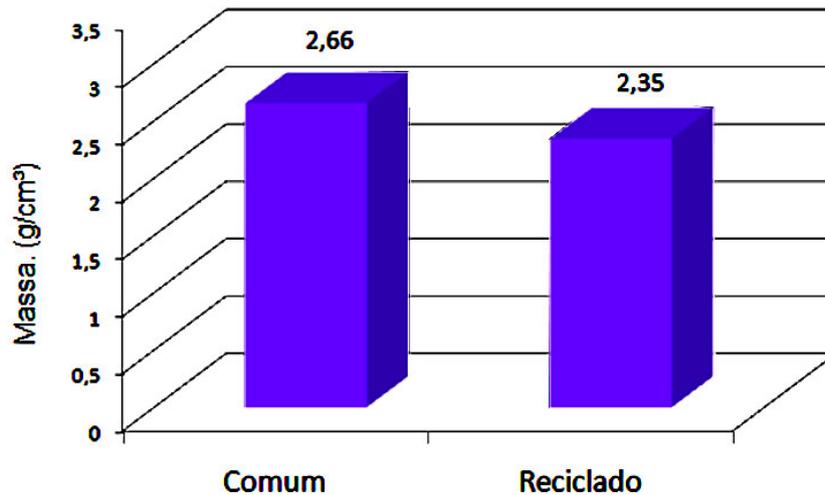


Figura 5. Distribuição da massa específica dos agregados graúdos.

A média da massa específica do agregado graúdo comum (brita comum) foi de $2,66 \text{ g/cm}^3$ e a da brita reciclada determinada foi de $2,35 \text{ g/cm}^3$, o que está de acordo com a pesquisa dos seguintes autores: Dessy et al., em 1998 [15]; Leite, em 2002 [16]; Khatib, em 2005 [17] e Evangelista e Brito, em 2007 [18] cujos resultados provaram uma clara diminuição deste parâmetro comparado com agregados naturais finos. Evangelista e Brito [18] encontraram resultados de massa específica para agregados comuns de $2,54 \text{ g/cm}^3$ que é 8,08% acima do resultado obtido aqui para o reciclado.

A diferença entre as massas específicas define a capacidade de retenção de água das partículas e, portanto, sua absorção de água.

3.5. Grau de absorção.

A Figura 6 mostra a distribuição dos valores de grau de absorção das amostras de agregado graúdo.

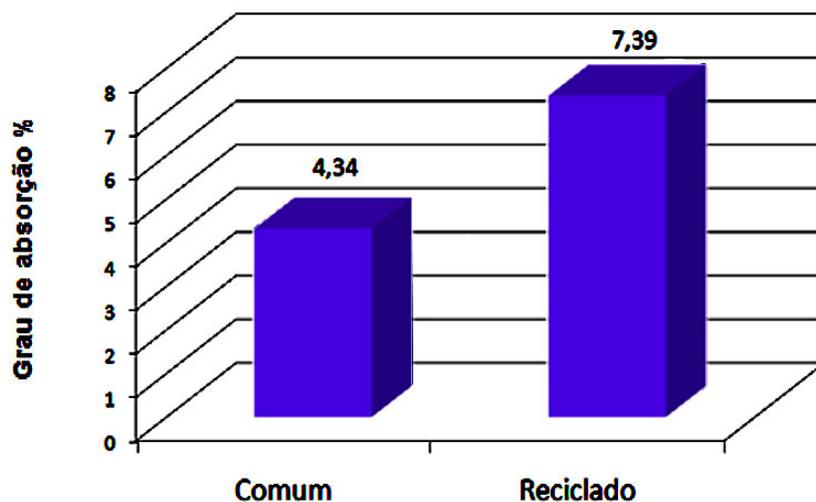


Figura 6. Grau de absorção dos agregados graúdos.

Constatou-se que a o agregado reciclado absorve cerca de 3,05% a mais de água quando comparado com o agregado natural de referência. Para tanto, na dosagem será considerado essa diferença para correção do traço realizado utilizando os agregados graúdos reciclados e dessa maneira, garantir aumento do índice de trabalhabilidade e hidratação do concreto reciclado.

3.6 Ensaio de impurezas orgânicas.

Conforme a NBR NM 49 [7] especifica, este ensaio de detecção de impurezas orgânicas é qualitativo, ou seja, identifica a presença ou não de matéria orgânica no material em estudo. A Figura 7 apresenta o resultado da análise macroscópica comparativa de coloração das soluções contendo o material reciclado e a solução padrão de ácido Tânico ($C_{76}H_{52}O_{46}$) e soda cáustica (NaOH), ambos a 3%.



Figura 7. Resultados do ensaio de presença de orgânicos no agregado miúdo: à esquerda solução com ácido Tânico ($C_{76}H_{52}O_{46}$) a 3% e à direita solução de NaOH a 3%.

É possível observar que a solução de NaOH contendo material reciclado (balão de vidro à direita na Fig. 7) apresentou coloração nitidamente mais clara que a coloração da solução padrão de ácido Tânico 3% (balão volumétrico à esquerda na Fig. 7). O material reciclado reagiu o suficiente com a solução de NaOH, não atingindo a coloração da solução padrão. Neste sentido, este agregado é considerado próprio para o uso com baixa presença de matéria orgânica.

3.7. Traços obtidos

Os traços obtidos para agregados comuns e reciclados calculados a partir de cimento CP-III 40 RS são mostrados na Tabela 3.

3.8 Determinação da resistência à compressão axial

Os ensaios para a determinação da resistência a compressão foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5739/2007. A Figura 8 ilustra os resultados de compressão axial de uma forma comparativa.

Tabela 2. Resultados dos traços obtidos para agregados comum e reciclado

Agregado	Fck	Fcj	Fator a/c	Traço	Traço com correção de umidade
Comum	17,5	24,4	0,64	1:1,99:3,59:0,64	1:2,17:3,71:0,56
	20,0	26,6	0,60	1,00:1,8:3,36:0,60	1:1,98:3,48:0,55
	28,0	34,6	0,50	1:1,39:2,80:0,50	1:1,51:2,90:0,47
Reciclado	17,5	24,4	0,64	1:2,70:2,81:0,64	1:2,94:2,90:0,52
	20,0	26,6	0,60	1:2,49:2,63:0,60	1:2,71:2,72:0,48
	28,0	34,6	0,50	1:1,94:2,19:0,50	1:2,12:2,27:0,41

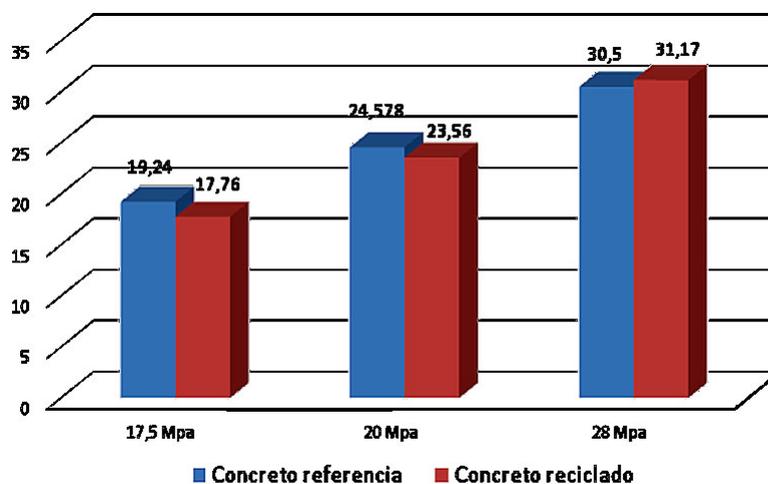


Figura 8. Comparativo do resultado dos ensaios de compressão.

Os resultados obtidos nos permitem afirmar que com a utilização de agregados reciclados com estas variações de resistência e método de dosagem adequado não apresentam desvios significativos, ou seja, os valores de carga são muito próximos. É possível notar também que os concretos convencionais (utilizados no presente trabalho como referência) apresentam resultados 8,33% maior na resistência a 17,5 MPa e 4,32% na resistência a 20 MPa, respectivamente em relação aos concretos reciclados. Com o traço de 28 Mpa o concreto reciclado apresentou resistência 2,20% acima do concreto convencional.

4 CONCLUSÃO

Através da pesquisa realizada no presente trabalho, pode-se afirmar que muitos são os benefícios na expansão do uso dos resíduos de construção civil. Da mesma forma, ficaram explícitos durante a construção do texto, que a introdução dos agregados reciclados, seja eles para fins de argamassa ou estrutural, deve estar firmemente apoiada nos ensaios e procedimentos de normas técnicas para a análise de propriedades físicas e mecânicas que comprovem o desempenho do material

reciclado e sua perfeita adaptação à nova construção, permitindo sua utilização em maior volume e facilitando sua transformação e etapas de produção e transporte. Através dos ensaios com agregados chegou-se à conclusão que existem diferenças que devem ser consideradas, para tendo num cenário futuro devem surgir normas apropriadas para confecção dos concretos reciclados. A substituição dos agregados naturais pelos reciclados na confecção de concreto se mostrou viável tecnicamente, considerando que a resistência a compressão atingidas foram semelhantes e dependendo do método de dosagem pode atingir valores superiores. Porém, avaliando todos os aspectos de sua utilização, pode-se concluir que, num cenário de sustentabilidade, a reciclagem dos resíduos de construção será a médio prazo, uma importante ferramenta do desenvolvimento do país.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao técnico Diego de Araújo da Costa, Auxiliar de Ensino no Centro Tecnológico da UNAERP-Guarujá, pela ajuda prestada durante os ensaios. Os alunos autores dedicam especiais agradecimentos ao professor e orientador Prof. Me. Márcio de Moraes Tavares, pelo ensino da Metodologia Científica e por suas orientações e recomendações. Aos colegas de classe, em especial, Arthur Aragoni, Carlos Ramos Junior, Paulo Borges De Camargo, Raman Alves e Wallison Cassadas Costa, por todo incentivo e companheirismo.

REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. Entulho. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/>>. Acesso em: 20.jan.2018.
- 2 TAVARES, M. M; AROUCA, A; LIMA, R.M. Caracterização de solos adjacentes a reservatórios de água pluvial da ilha dos arvoredos, SP – Brasil; Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2015.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7217/1987 - Agregados - Determinação da composição – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9939/2011 - Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- 5 KUO, E. E; TAVARES, M. M; Arouca, Aldo; MORAIS, W. A. Análises químicas e físicas para investigação estrutural do solo da ilha dos arvoredos, SP – Brasil; ABM week, 2016.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR NM 53/2003 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR NM 49/2001 - Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 12655/2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 5739/2007 - Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- 10 NEVILLE, A. M. & BROOKS, J.J. Tecnologia do concreto. Editora: Bookman, São Paulo, 2013.

- 11 EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN EN 206-1/2000 - Concrete — Part 1: Specification, performance, production and conformity. 2000.
- 12 SAGOE-CRENTSIL, K. K.; BROWN, T.; TAYLOR, A. H. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. Cement and Concrete Research. v.31, n.5, p.707-712, 2001.
- 13 ÂNGULO, S.C. Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000. 155p.
- 14 ANGULO, S. C. Caracterização de agregados de resíduos de construção de demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos. 2005. 236 f. Tese (Doutorado em Eng. Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 2005.
- 15 DESSY, P; BADALUCCO, C; BIGNAMLi, F.C. Analysis of performances of concrete components made with recycled aggregates. In: Materials and Technologies for Sustainable Construction e CIB World Building Congress, Gävle, Sweden, pp. 149e156, 1998.
- 16 LEITE, M.B.; DAL MOLIN, D. Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado. Revista Sitientibus, n.26, 2002, p.11-130.
- 16 KHATIB, J..Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. Cement Concrete Res. 35 (4), p.763 - 769, 2005.
- 17 EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Mechanical Behaviour of Concrete Made With Fine Recycled Aggregates. Cement and Concrete Composites, v. 29, n. 5, p. 397-401, 2007.