



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE BRITADOR NAS PROPRIEDADES DE AGREGADOS RECICLADOS GRAÚDOS¹

SOUZA, Elaine (1); MARINHO, Gabriel (2); DEGRAF, Henrique (3); SANTOS; Larissa (4); MIRANDA, Leonardo (5), VOGT, Vanessa (6)

(1) UFPR, email: elainesouza.cad@gmail.com; (2) UFPR, email: gabrielmarinho17@hotmail.com; (3) UFPR, email: degraf.henrique@gmail.com; (4) UFPR, email: larissasbrissia@gmail.com; (5) UFPR, email: reciclagem.miranda@gmail.com; (6) IFPR, email: vogg.vanessa@gmail.com

RESUMO

O estudo de caracterização de RCD (resíduo de construção e demolição) pode revelar o nível de influência da natureza do resíduo e do tipo de britador em relação às propriedades do agregado reciclado (AR). Objetivando analisar a existência da influência do tipo de britador nas características do AR, estudaram-se amostras de RCD de natureza de concreto e mista, beneficiadas em britador de mandíbula e impacto. A análise das propriedades dos agregados de RCD deu-se através de ensaios aplicados na fração graúda (< 38 mm e > 4,8 mm): distribuição granulométrica; índice de forma; massa unitária e específica, absorção de água; teor de argamassa aderida e abrasão Los Angeles. Os resultados mostraram que a natureza do material interfere nas propriedades de massa específica, absorção de água e índice de forma. A influência dos britadores foi clara na geração de finos < 4,8 mm e curva granulométrica, pois a mandíbula gerou agregado reciclado com granulometria mais grossa e menor teor de finos que o de impacto. O AR do britador de impacto, na fração graúda apresentou um valor menor para argamassa aderida que a mandíbula. O índice de forma não foi influenciado pelo tipo de britador.

Palavras-chave: Reciclagem de RCD. Britador de Mandíbula. Britador de impacto. Agregado reciclado.

ABSTRACT

The study of the CDW (Construction and Demolition Waste) characteristics may reveal how much their composition and the kind of the crusher can influence on the recycled aggregates (RA) properties. Intending to analyze how the crusher can influence on the RA properties, were analyzed some samples CDW composed by concrete or ceramic passed through jaw and impact crushers. The analysis of the RA properties was made through a series of trials applied in the coarse fraction (<38 mm and >4,8 mm): grain size distribution; shape index; unit mass; bulk density, water absorption; attached mortar content; Los Angeles abrasion. The results showed that the material composition influences the density, the water absorption and the shape index. The type of the crusher (jaw or impact) clearly influences the generation of fines < 4,8 mm and the grain size distribution. The jaw crusher produced a coarser aggregate with lower fines content than the impact crusher. The coarse fraction of

¹ SOUZA, E.; MARINHO, G.; DEGRAF, H.; SANTOS, L.; MIRANDA, L.; VOGT, V. Avaliação da influência do tipo de britador nas propriedades de agregados reciclados graúdos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

the aggregate derived from the impact crusher presented a lower value to the attached mortar content. The shape index was not influenced by the type of crusher.

Keywords: CDW Recycling. Jaw Crusher. Impact Crusher. Recycled aggregate.

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem de resíduos da construção civil tem vantagens relacionadas às esferas ambiental, tecnológica e econômica. Dentre as vantagens, constam a reutilização dos materiais, reduzindo o uso de recursos não renováveis; a redução da disposição inadequada; o beneficiamento dos produtos; além de economia na substituição da compra de matéria-prima natural.

Um fator a ser discutido sobre a reciclagem de RCD (resíduo de construção e demolição) diz respeito à qualidade do material reciclado, uma vez que ainda existem, no meio técnico, dúvidas quanto a sua eficácia. Sendo assim, fazem-se necessários a implantação de normas técnicas exclusivas a esse tipo de agregado, além de estudos sobre os equipamentos utilizados na produção. As usinas no Brasil possuem tecnologia relativamente simples. Há pouco controle da qualidade sistemática do produto resultante. Esse descaso resulta em agregados com composições variáveis e elevados teores de materiais cerâmicos e de argamassa (ANGULO *et al.*, 2002), que geram dúvidas a respeito da aplicabilidade dos agregados reciclados (AR).

Tseng (2010) analisou comparativamente sistemas de britagem (de mandíbula e impacto) na produção de AR provenientes de antigas placas de pavimentos de concreto, e observou que os agregados obtidos por esses diferentes britadores apresentaram características muito semelhantes. O estudo permitiu afirmar que há pouca influência significativa do tipo do britador sobre as propriedades dos agregados reciclados. Entretanto, ainda não se mensurou quanto a diferença entre os britadores pode impactar no desempenho do agregado reciclado.

No Relatório de Pesquisa Setorial (ABRECON, 2013) sobre reciclagem no Brasil, das 112 usinas entrevistadas, 83% utilizam o sistema fixo de reciclagem e apenas 17% o sistema de usina móvel. No que diz respeito aos tipos de britadores utilizados, 49% usam britador de mandíbula, 29% o britador de impacto, e os 22% abordam outros sistemas ou não possuem equipamentos de britagem. A preferência nacional pelos dois tipos principais de britadores (mandíbula e de impacto) conduz à procura pela sua diferenciação, visto que o tipo de britador utilizado pode influenciar no desempenho do gregado reciclado.

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do tipo de britador (mandíbula ou impacto) nas propriedades dos agregados reciclados graúdos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Equipamentos de britagem

Os tipos de britadores empregados no estudo foram o britador de mandíbula e o de impacto. No primeiro deles, o processo de cominuição se dá pela ação da força de compressão, aplicada através do movimento repetitivo de aproximação e afastamento de uma superfície móvel contra outra fixa. (METALÚRGICA SANTA RITA, 2014). Esse britador é recomendado, de forma geral, quando se deseja baixa quantidade de finos, ele gera maior quantidade de grãos graúdos, além dos grãos serem de formato lamelar, mais fracos, com linhas de fratura muito pronunciadas, necessitando de uma britagem secundária (CHAVES e PEREZ, 2012).

No britador de impacto, a fragmentação é feita por impacto. As partículas são lançadas contra o revestimento onde sofrem fraturamento adicional. Em geral, as partículas recebem de um a dois choques e tendem a atravessar o equipamento rapidamente. O efeito do impacto é desprezível para partículas menores que 0,15 mm. Chaves e Peres (2012) citam como características também, um fator de redução das partículas de 40:1 e uma quantidade de finos gerados em função da velocidade.

2.2 Características dos agregados reciclados graúdos

Os itens analisados para avaliar a influência dos britadores nos agregados reciclados graúdos foram: distribuição granulométrica; índice de forma; massa unitária e específica, absorção de água; teor de argamassa aderida e abrasão Los Angeles.

A respeito da composição granulométrica, de acordo com a forma da curva obtida é possível classificar granulometricamente o material em: uniforme, bem graduado ou mal graduado. Essa classificação baseia-se no predomínio, ausência e/ou equilíbrio das frações graúdas e finas por cálculo de índices que expressam a forma da curva (LEITE, 2007).

Para o índice de forma, segundo o DNIT (2006), a forma de um agregado se caracteriza por sua feição exterior relacionada às suas dimensões, e também aos seus tipos de arestas e cantos. Quanto maior a concentração de materiais cerâmicos, maior é a tendência do agregado reciclado em apresentar grãos com forma lamelar; quanto maior a concentração de materiais cimentícios, maior é a tendência em apresentar grãos com forma cúbica (LEITE, 2007).

Devido à grande quantidade de argamassa aderida ao material reciclado, a massa específica do agregado de concreto reciclado é cerca de 5 a 10% menor que a massa específica do agregado original (HANSEN, 1985). Poon *et al.* (2006) e Saeed *et al.* (2007) confirmaram que a massa específica dos agregados reciclados de concreto é, em geral, inferior a dos agregados naturais e superior aos mistos.

De acordo com Vieira *et al.* (2004), os agregados reciclados, diferentemente dos naturais, tem uma alta taxa de absorção de água. Agregados graúdos naturais apresentam absorção de água inferior a 2% devido à baixa porosidade, já os agregados reciclados de concreto podem ser muito mais porosos do que o agregado natural (MOTTA, 2005). Grubba (2009) observa em seu estudo que a absorção do agregado reciclado de concreto foi cerca de duas vezes maior do que à do agregado natural. Leite *et. al.* (2011) dizem que o RCD composto em sua maioria por materiais cerâmicos resultam em um aumento na absorção de água quando comparado ao RCD de origem de concreto.

Para Sturtevant (2007), maiores quantidades de argamassa de cimento aderida significam maior porosidade do material, levando a uma menor massa específica, absorção de água, e menor resistência à abrasão. Portanto, é desejável que o método de britagem utilizado consiga remover o máximo de argamassa aderida possível.

Grubba (2009) observou que a resistência à abrasão média do agregado reciclado de concreto foi de 34%, enquanto a do agregado natural foi de 21%. No tocante à resistência à abrasão Los Angeles, constata-se que o agregado reciclado de concreto geralmente apresenta desgaste superior ao verificado nos agregados naturais.

3 METODOLOGIA

A escolha dos britadores de impacto e mandíbula foi baseada em uma mesma capacidade de produção ($50t\backslash h$) e mesmo diâmetro máximo (150 mm). A matéria prima para a geração de ARM (agregado reciclado misto) e ARC (agregado reciclado de concreto) foi proveniente da URBEM (Usina de Reciclagem e Beneficiamento de Entulho e materiais – São Bernardo dos Campos/SP), na qual metade do RCD misto e do concreto foi britada no britador impacto da própria empresa. A outra metade foi levada para o processamento em britador de mandíbula na usina PROGUARU (Guarulhos/SP). Este processo de coleta e britagem ocorreu em dois momentos, e assim as amostras da primeira fase foram chamadas de “A” e as da segunda de “B”.

Após o beneficiamento em cada usina, executou-se o processo de homogeneização do ARM e ARC através de pilhas constituídas de camadas lineares de seção triangular e comprimento de aproximadamente 3 m cada uma. A parte central das pilhas foram submetidas à secagem em estufa a 100°C para então ser usada para a realização dos ensaios. Inicialmente realizou-se os ensaios de granulometria e massa unitária das amostras completas e posteriormente as dividiram-se nas seguintes frações (Figura 1): pedrisco (material retido na peneira 4,8 mm e passante na 9,5 mm); brita (material retido na 9,5 mm e passante na 25 mm); rachão (material > 25mm).

Figura 1 - Rachão, brita e pedrisco de material concreto e misto: britador impacto



Fonte: Os autores

Para simplificar a identificação das amostras em cada fração foi adotado um critério de nomenclatura de três letras: a primeira letra identificava o tipo de britador; a segunda o tipo de material; e a terceira o lote da amostra como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Nomenclatura das amostras

Britador	Material	LOTE A	LOTE B
Impacto	Concreto	ICA	ICB
	Misto	IMA	IMB
Mandíbula	Concreto	MCA	MCB
	Misto	MMA	MMB

Fonte: Os autores

A caracterização dos agregados reciclados (distribuição granulométrica, índice de forma, massa unitária e massa específica, absorção de água e abrasão Los Angeles) necessitou de normas que abrangessem os agregados naturais, até porque um dos objetivos do uso do agregado reciclado é a substituição do natural, por isso é importante atender a parâmetros compatíveis para essa substituição.

Apenas o ensaio de determinação de teor de argamassa aderida que não possuia uma norma específica, mas sim referências de trabalhos já realizados sobre o assunto. O método de ensaio consistia primeiramente em um choque térmico nas partículas (FERREIRA, 2007; HEINECK, 2012) e posteriormente um banho químico (SANCHEZ, 2004). Pegou-se uma massa de cada AR (fração pedrisco – 500 g, brita – 500 g e rachão - 1 kg) para ser colocada em um forno mufla com temperatura pré-aquecida de 800 °C, por aproximadamente 3 horas; imediatamente após a retirada da amostra da mufla o material foi derramado em um tanque com água fria sobre uma tela metálica; depois seco em estufa a 100 °C ± 5 °C por 24 horas. Então, envolveu-se a amostra em um pano e com a ajuda de um martelo de borracha provocou-se a desintegração agregado/argamassa. Em seguida realizou-se o peneiramento do material de modo a eliminar o material passante na peneira 4,8 mm e coletado a massa final da amostra. Ao final desse processo, as amostras foram imersas em uma solução de ácido clorídrico por 72 horas, após isso lavaram-se as amostras na peneira usada no

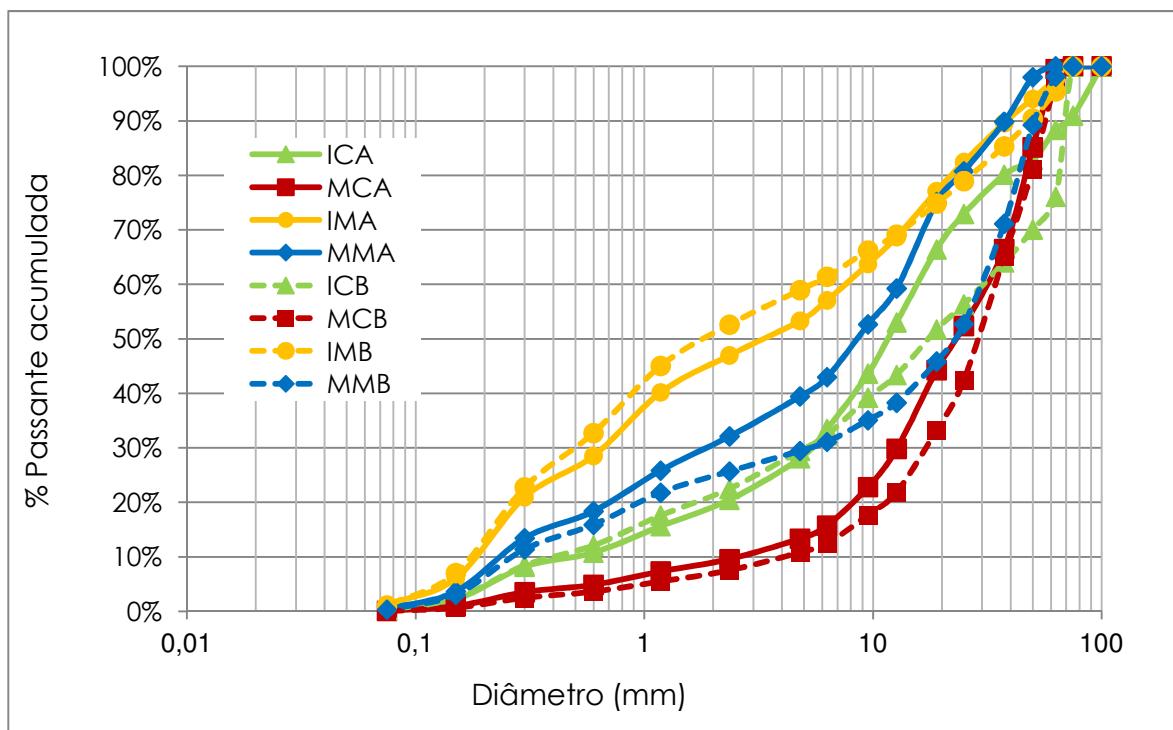
processo de choque térmico e então foram secas em estufa (24h - 100 °C) e pesadas novamente. O teor de argamassa aderida é o resultado da subtração da massa inicial com a massa final, a massa descartada foi o material que não era rocha ou cerâmica com diâmetro menor que 4,8 mm.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Curvas granulométricas

Como resultado inicial se tem as curvas granulométricas de cada uma das oito amostras. As curvas mais grossas e descontínuas foram encontradas nas amostras A e B de concreto britadas na mandíbula, em contrapartida as curvas mais finas e mais contínuas foram as das amostras mistas A e B comuniúndas no britador de impacto (Figura 2).

Figura 2 - Curvas granulométricas das amostras



Fonte: Os autores

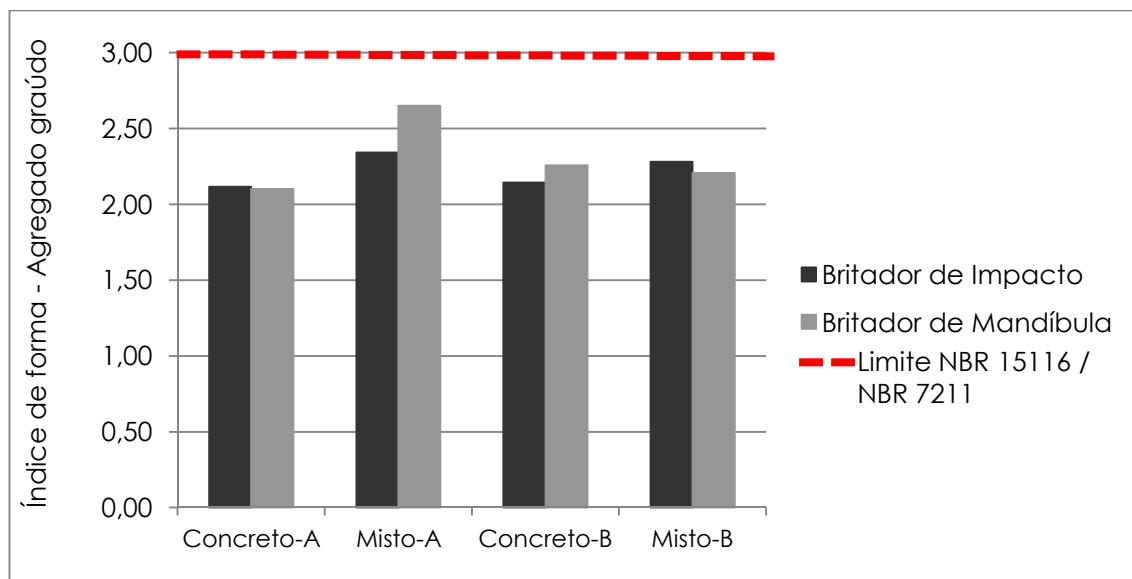
É notável diferença entre os britadores quando analisada a porcentagem de material passante na peneira de abertura 4,8 mm, ou seja, diferença na capacidade produtora de fração areia de cada mecanismo de britagem. O britador de impacto atingiu porcentagens sempre maiores que a britagem através da mandíbula, independente da origem dos resíduos.

4.2 Índice de forma

Analizando estatisticamente os resultados de índice de forma constatou-se que não houve diferenças significativas entre os britadores na amostra B; na amostragem A, a igualdade também se deu no material de concreto,

havendo diferença entre os britadores apenas no material misto, com índice de forma 2,65 na mandíbula, maior que 2,34 no impacto, ou seja, a mandíbula no material misto gerou grãos um pouco mais lamelares que o impacto. De modo geral, todas as oito amostras de agregados satisfizeram o índice de forma < 3 estabelecido tanto pela NBR 15116 (2004) para uso de agregados reciclados em bases e sub-bases de pavimentos (Figura 3). Ou seja, não se pode afirmar que houve influência do tipo de britador no índice de forma dos agregados reciclados.

Figura 3 - Índices de forma

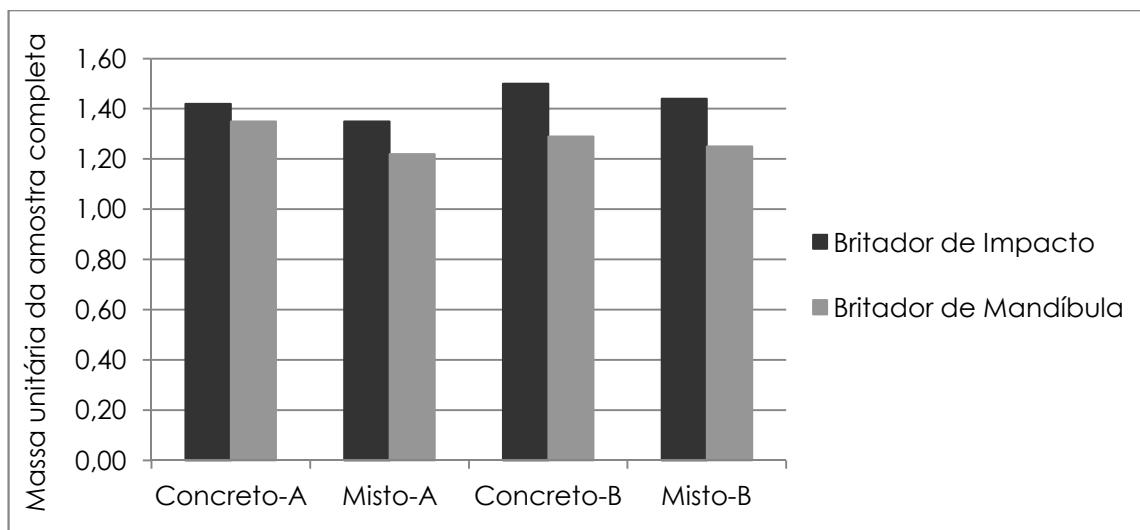


Fonte: Os autores

4.3 Massa unitária e massa específica

Notou-se que a natureza do material influenciou os resultados de massa unitária das amostras, conforme Figura 4. As amostras composta por resíduos de origem de concreto possuíram massa unitária maior que as amostras de origem mista, nos dois tipos de britagem. Avaliando a influência dos britadores, em todas as amostras, tanto no lote A quanto no B, os maiores valores para massa unitária são encontrados nas amostras britadas no britador de impacto. Isso se deve ao fato que o britador de impacto também foi o responsável por uma produção maior de areia em comparação com a mandíbula, e que para esse ensaio, a quantidade maior de areia contribuiu para um melhor preenchimento do volume do recipiente utilizado para a aferição de massa unitária.

Figura 4 – Massa unitária da amostra completa



Fonte: Os autores

Em relação às massas específicas (Tabela 2), constatou-se que, de forma geral, os valores na fração brita se assemelharam mais aos valores da fração pedrisco que aos valores na fração rachão. Em função da natureza dos materiais, como já se era de esperar, as amostras de concreto tiveram massas específicas maiores que as amostras mistas, em ambos os lotes. Quanto à interferência dos tipos de britadores nos resultados de massa específica, não se pôde concluir um comportamento uniforme entre as amostras.

Tabela 2 - Massas específicas das amostras

Parâmetro	Fração	ICA	MCA	IMA	MMA	ICB	MCB	IMB	MMB
Massa específica (g/cm³)	Pedrisco	2,71	2,61	2,57	2,57	2,58	2,57	2,55	2,45
	Brita	2,68	2,61	2,51	2,54	2,58	2,59	2,55	2,39
	Rachão	2,62	2,58	2,41	2,49	2,50	2,54	2,46	2,35

Fonte: Os autores

4.4 Absorção de água

A Tabela 3 traz um resumo dos resultados de absorção de água para cada amostra em cada uma das frações.

Nos agregados que compõem a fração pedrisco não houve diferenças significativas nas absorções em relação ao tipo de britagem, mas sim em relação à natureza dos agregados. Agregados de origem mista no lote A, em média possuíram uma absorção cerca de 37% maior que os agregados de concreto, e no lote B esse valor foi de 46%.

Na fração brita, houve diferença em relação aos britadores nas amostras mistas, e à origem do material, sendo que os agregados mistos absorveram mais água que os de concreto. O percentual médio de diferença entre a absorção de água no agregado de concreto e o agregado de misto foi semelhante ao encontrado na fração pedrisco, sendo o valor maior no misto

em torno de 39% no lote A e 46% no lote B. A desigualdade entre impacto e mandíbula nos agregados mistos se inverteu em relação aos lotes, no primeiro lote o maior valor de absorção foi no impacto com 10,6% contra 8,3% na mandíbula, já no lote B foram 7,8% no impacto contra 11,5% na mandíbula.

Estatisticamente, a fração não apresentou diferenças significativas entre os britadores. Como já era de se esperar, houve diferença entre a origem dos agregados, seguindo o mesmo comportamento ocorrido na fração pedrisco e brita.

Basicamente, no quesito absorção de água dos agregados reciclados, tem-se mais influência da natureza do material do que o tipo de equipamento de britagem usado na produção de RCD.

Tabela 3 – Absorção de água das amostras

Parâmetro	Fração	ICA	MCA	IMA	MMA	ICB	MCB	IMB	MMB
Absorção de água (%)	Pedrisco	8,5	7,7	12,5	13,3	6,5	6,7	12,3	12,2
	Brita	5,7	5,9	10,6	8,3	5,1	5,4	7,8	11,5
	Rachão	6,1	6,8	8,4	8,4	6,0	5,7	9,3	12,3

Fonte: Os autores

4.5 Teor de argamassa aderida

Ao examinar a fração pedrisco, no lote A tanto o ARC quanto o ARM, o britador de impacto foi mais eficiente na retirada de argamassa aderida à superfície dos grãos, e no lote B o mesmo aconteceu na amostra de concreto. Isso é visto em função dos valores menores de teor de argamassa indicados na Tabela 4 para as amostras de impacto, exceto na amostra mista do lote B.

Na fração brita no lote A, o britador mais eficiente na retirada de argamassa aderida foi o de mandíbula. Na amostragem B, o britador de impacto foi mais eficiente.

Com valores bem próximos nas amostras concreto e mista lote B, na fração rachão o britador de mandíbula retirou menos argamassa dos grãos de RCD que o de impacto. No lote A, as amostras mistas não se diferenciaram em função do britador e a de concreto, o impacto em seu processo de britagem foi capaz de retirar em média cerca de 39% a mais de argamassa aderida ao grão que a mandíbula.

E em termos de equipamento de britagem, na maioria das amostras estudadas, e nas diferentes frações graúdas, o britador de impacto consegue no processo de cominuição do RCD retirar mais argamassa aderida aos grãos que a mandíbula.

Tabela 4 - Teor de argamassa aderida das amostras

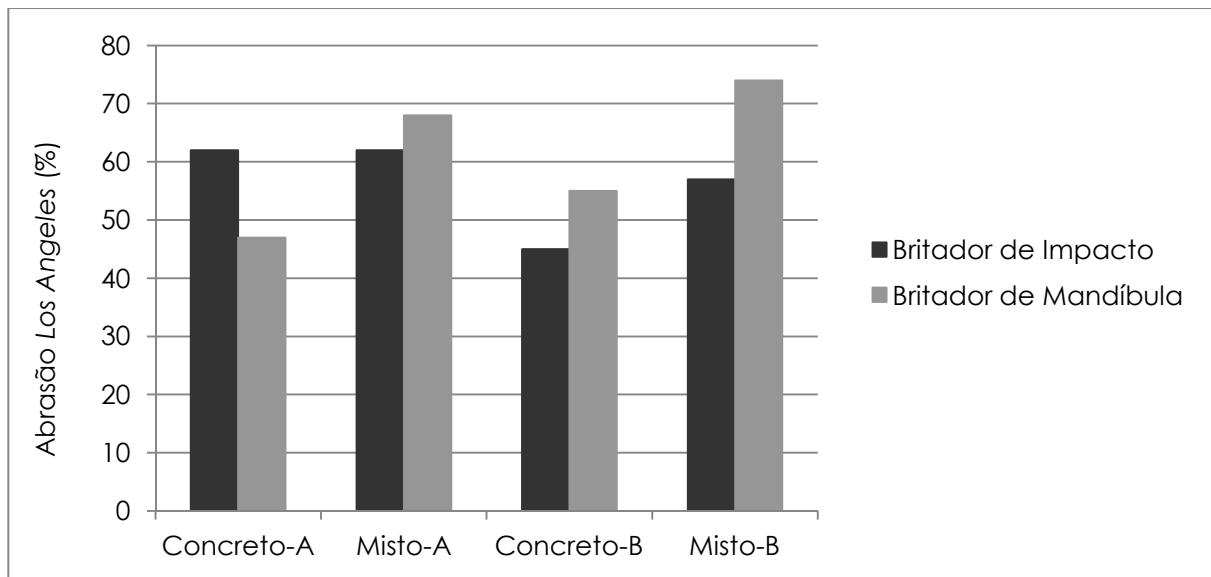
Parâmetro	Fração	ICA	MCA	IMA	MMA	ICB	MCB	IMB	MMB
Teor de argamassa aderida (%)	Pedrisco	64	72	60	66	53	75	72	59
	Brita	69	61	56	51	52	67	49	53
	Rachão	43	71	68	68	61	65	62	65

Fonte: Os autores

4.6 Abrasão Los Angeles

As amostras mista A, concreto B e mista B britadas na mandíbula foram as que tiveram maiores valores para o ensaio de abrasão Los Angeles, o oposto ocorreu na amostra de concreto no lote A, na qual o maior valor de abrasão foi no britador de impacto. De forma geral, a origem do material tem influência nos valores de abrasão Los Angeles, as amostras mistas tiveram valores maiores que as de concreto.

Figura 5 – Abrasão Los Angeles



Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

A respeito da composição granulométrica, os britadores de impacto e de mandíbula possuem comportamento diferenciados para a porcentagem de material < 4,8 mm. A mandíbula tem uma menor capacidade de produção dessa fração, independente da origem dos resíduos. O índice de forma não sofreu influência do equipamento de britagem.

Devida a maior produção de areia (material < 4,8 mm) do britador de impacto, as amostras nele beneficiadas atingiram os maiores valores de massa unitária, quando comparadas à mandíbula.

Para o estudo de teor de argamassa aderida, substancialmente notou-se a maior eficiência do impacto, como mecanismo de britagem, na retida de argamassa aderida aos grãos graúdos.

A natureza dos materiais (mista ou concreto) ocasionou mais inferência que a forma de britagem nos quesitos absorção de água e abrasão Los Angeles dos agregados.

Em suma, para as propriedades estudadas, os agregados reciclados sofreram influência principalmente de sua origem do que do tipo de britador utilizado na cominuição.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao BNDES pelo apoio financeiro à pesquisa, à Soliforte, à Proguaru e à Urbem pelo apoio na obtenção de amostras.

REFERÊNCIAS

ABRECON. **Relatório pesquisa setorial:** a reciclagem de resíduos de construção e demolição. São Paulo, 2013.

ANGULO, S. C. ; MIRANDA, L. F. R. ; JOHN., V.M. . **Construction and demolition waste, its variability and recycling in Brazil.** In: Sustainable Buildings 2002, 2002, Oslo. Sustainable Buildings, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.** Junho, 2004.

_____.NBR NM 7211. **Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

CHAVES, A. P.; PERES, A. E. C. **Teoria e prática do tratamento de minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem,** volume 3, 2012, Signus, São Paulo.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Pavimentação.** 3º ed. Rio de Janeiro, 2006, 274 p.

FERREIRA, L. M. M. **Betões estruturais com incorporação de agregados grossos reciclados de betão Influência da pré-saturação.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

GRUBBA, D. C. R. P. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção de rodovia.** 163 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

HANSEN, T. C.; NARUD, H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. **Concrete International**, v.5, n.1, p. 79-83, Jan. 1983.
HEINECK, S. **Desempenho de argamassas de revestimento com incorporação da fração miúda da britagem de concreto.** 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2012.

LEITE, F. C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimento.** 2007. 216 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LEITE, F. C.; MOTTA, R. S., VASCONCELOS, K. L.; BERNUCCI, L. **Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements**. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 25, n. 6, p.2972-2979, jun. 2011.

METALÚRGICA SANTA RITA. **Britador de mandíbulas**. Disponível em: <<http://www.msr.com.br/ct/curiosidades/britador-de-mandibulas/>>. Acesso em: 29 ago. 2014.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para a aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

POON, C. S.; CHAN, D. **Feasible use of concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base**. Construction and Building Materials. 2006.
SAEED, A; HAMMONS, M. I.; REED, J. L. Comprehensive Evaluation, Design, and Construction Techniques for Airfield Recycled Concrete Aggregate as Unbound Base. In: **Transportation Research Board 86th Annual Meeting**, Washington DC, United States, 2007. 16p.

SANCHEZ, M. **Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural**. Tese de Doutoramento, Universidade Politécnica de Madrid, Madrid, 2004.

STURTEVANT, J. R. **Performance of rigid pavements containing recycled concrete aggregates**. 2006. 139p. Thesis (Master of Science) - University of New Hampshire, New Hampshire, USA, 2007.

TSENG, E. **Reciclagem total de pavimentos de concreto como agregados para construção de novos pavimentos de concreto: o caso do rodoanel metropolitano Mário Covas**. 220 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C.; LIMA, F. B. **Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição**. Revista Engenharia Civil. Universidade do Minho. Número 19, 2004, p.5-18. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/revista.htm>>. Acesso em: 23 de ago 2015.