

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE AREIAS RECICLADAS A PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM ARGAMASSAS

GUSTAV HAWLITSCHKE⁽¹⁾, FABIO A. CARDOSO⁽²⁾, CARINA ULSSEN⁽¹⁾, IGOR AMARAL⁽¹⁾, HENRIQUE KAHN⁽¹⁾, RAFAEL G. PILEGGI⁽²⁾, VANDERLEY M. JOHN⁽²⁾

- (1) Depto. de Engenharia de Minas e de Petróleo - Poli-USP
gustav@lct.poli.usp.br, carina@lct.poli.usp.br, igor@lct.poli.usp.br,
henrique@lct.poli.usp.br
- (2) Depto. de Engenharia de Construção Civil - Poli-USP
fabio.cardoso@lme.pcc.usp.br, rafael.pileggi@poli.usp.br,
vmjohn@lme.pcc.usp.br

RESUMO

As aplicações dos agregados reciclados estão relacionadas com as suas propriedades, que por sua vez então dependem da composição do resíduo de construção e demolição (RCD) que lhe deu origem, particularmente da sua porosidade. Dessa forma, o processo de produção de agregados reciclados é essencial e determinante na qualidade dos agregados gerados. Nesse contexto o presente trabalho compara o desempenho de uma areia reciclada britada abaixo de 1,2 mm, o que proporciona uma maior remoção da pasta de cimento, com outras duas areias comercializadas na cidade de São Paulo, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Em um cenário onde diferentes areias possuem uma mesma distribuição granulométrica, diferenças no desempenho em argamassas são causadas pelas diferentes características das areias. Com isso foi possível demonstrar que o desempenho reológico da argamassa reciclada é bem similar ao de uma argamassa industrializada e, adicionalmente, as propriedades mecânicas no estado endurecido não são tão reduzidas, apesar de o agregado reciclado aumentar o consumo de água.

Palavras-chave: areia reciclada, reologia, argamassa, resíduos de construção e demolição

**STUDY OF THE INFLUENCE OF RECYCLED SANDS FROM CONSTRUCTION AND
DEMOLITION WASTE (CDW) IN MORTARS**

ABSTRACT

The applications of recycled aggregates are related to their characteristics, which depends on the composition of the construction and demolition waste (CDW) that gave them origin, particularly on its porosity. Thus, the production process of recycled aggregates is essential to determine the quality of the generated aggregates. In this context the present study compares the performance of mortar prepared with recycled sand crushed below 1.2 mm, which provides a greater release of the cement paste, with two formulations produced with sands commercialized in the city of São Paulo. In a scenario where different sands have the same particle size distribution, differences in mortars performance are caused by the different characteristics of the sands. With this was possible to demonstrate that the rheological behavior of the recycled mortar is similar to an industrialized one and, additionally, the mechanical properties of the dry state aren't so reduced, although the water demand is elevated for the recycled aggregate.

Key-words: recycled sand, rheology, mortar, construction and demolition waste.

1. Introdução

A construção civil consome cerca de 50% de todos os recursos naturais extraídos no planeta ⁽¹⁾. Além do consumo excessivo de matérias-primas naturais não renováveis, os impactos ambientais dessas atividades de extração de matérias-primas são relevantes, dada a sua escala. A simples extração de areia natural, em 2005, era cerca de 90% oriunda dos leitos de rios ⁽²⁾, o que causa impactos importantes. A existência de atividades informais de deposições irregulares de resíduos e de extração ilegal de agregados, por exemplo, é um agravante do crescente conflito com o crescimento das cidades, e tem levado a um aumento das regulamentações ambientais destas atividades. Além disso, a dificuldade de abertura de novas jazidas próximas às cidades leva a crescentes distâncias de transporte dos agregados naturais. Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) chega a 1,35 milhões de viagens/ano ou 5.000 viagens/dia ⁽³⁾, contribuindo com queima de combustível fóssil e emissão de CO₂.

As aplicações dos agregados reciclados estão relacionadas com as suas propriedades, que por sua vez dependem da composição do resíduo (resíduos de construção e demolição – RCD), particularmente no que se refere ao conteúdo de fases porosas cimentícias e cerâmicas, que é a principal diferença destes para os agregados convencionais. O processo de produção de agregados reciclados é um fator determinante na qualidade dos agregados gerados ^(4, 5). Estudos recentes mostram que a britagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) na granulometria de areias gera um produto com menor teor de pasta de cimento aderida, responsável pela alta porosidade dos agregados reciclados ⁽⁶⁾. De forma geral, maiores porosidades resultarão em menores resistências mecânicas, aumento da absorção de água e consumo de cimento para uma dada resistência, elevando custos e comprometendo a eco-eficiência de produtos contendo agregados reciclados ^(7, 8).

Nesse contexto, o presente trabalho compara o comportamento, nos estados fresco e endurecido, de uma argamassa preparada com areia reciclada a partir de RCD, com outras duas produzidas com areias comercializadas na cidade de São Paulo.

2. Materiais e métodos

2.1. Preparação das amostras

Para o presente estudo foram utilizadas 3 tipos de areias:

- areia-RCD: areia produzida a partir da britagem de RCD oriundos da usina de reciclagem Urbem Tecnologia Ambiental, localizada na região do ABC de São Paulo. A amostragem primária (realizada na usina), bem como a produção de areia reciclada a partir de RCD, são descritas no trabalho de Ulsen e colaboradores ⁽⁶⁾. Posteriormente, a amostra foi britada, até a obtenção de grãos passantes em 1,2 mm, e peneirada em peneira de 0,15 mm nas dependências do Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT-POLI-USP). Desse modo a areia reciclada ficou com uma granulometria passante em 1,2 mm e retida em 0,15 mm.
- areia-ART: areia produzida a partir da britagem de rochas calcárias e comercializada na cidade de São Paulo
- areia-IPT: areia padrão da norma brasileira NBR-7214 ⁽⁹⁾, composta fundamentalmente de quartzo, produzida e comercializada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

De modo a minimizar a influência da granulometria, as areias IPT e ART foram peneiradas à úmido, em oito telas compreendidas no intervalo entre 1,2 e 0,15 mm; as frações foram então homogeneizadas, amostradas e compostas, de modo que tivessem a mesma distribuição granulométrica (% em massa) da areia de RCD. Essa etapa é essencial, uma vez que diferenças na distribuição de tamanho das partículas acarretam em grandes diferenças no empacotamento e, consequentemente, no desempenho reológico das argamassas ⁽¹⁰⁾.

As argamassas foram então compostas segundo uma proporção em volume real de 75% de areia e 25% de cimento (CPII-F, Votorantim, densidade real de 3,113 g/cm³). A proporção em massa dos constituintes foi calculada considerando as respectivas massas específicas aparentes.

2.2. Caracterização das areias

As amostras foram caracterizadas através das seguintes técnicas:

- Distribuição granulométrica: avaliada pelos métodos de espalhamento de luz laser de baixo ângulo com o equipamento Mastersizer S long bed, da marca MALVERN;
- Morfologia de partículas: avaliada por meio da técnica de análise de imagens por fluxo dinâmico com o equipamento CAMSIZER, da marca Retsch;
- Composição química: análise quantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) a partir de amostras fundidas, (equipamento Axios Pro, da marca PanAlytical), e determinação da perda ao fogo (ou perda por calcinação) a 1050°C;
- Massa específica: determinada por picnometria com intrusão de gás Hélio (equipamento AccuPyc II 1340, da marca Micromeritics);
- Porosidade: determinada por porosimetria com intrusão de mercúrio ^(11, 12) em equipamento AutoPore IV 9500, da Micromeritics;
- Superfície específica: determinada por adsorção de gás nitrogênio utilizando a técnica de BET (equipamento ASAP 2010, da marca Micromeritics).

2.3. Avaliação do desempenho reológico

Para encontrar o teor de água necessário para cada argamassa que resulte em uma trabalhabilidade adequada à aplicação, foram utilizados dois níveis de energia de mistura medidos no reômetro: 1 N.m (alto teor de água) e 2 N.m (torque pré-definido para uma consistência de aplicação).

O desempenho reológico das misturas foi avaliado por:

- Reometria rotacional: o reômetro rotacional utilizado foi desenvolvido no Departamento de Engenharia de Construção Civil da POLI-USP para caracterização de argamassas e concretos. Bateladas de 4 kg de mistura (areia+cimento) foram misturadas no reômetro por 2 minutos sob rotação constante de 126 rpm. A adição de água foi feita após os 10 segundos iniciais a uma taxa de 120 g/s; nos

casos em que foi necessária a adição de mais água o procedimento foi repetido, algumas vezes com duas adições de água no mesmo ciclo (após 10 e 70 segundos);

- Ciclos de cisalhamento: depois da realização da mistura, foram aplicados dois ciclos completos com patamares de 6,3; 12,7; 25,3; 38,0; 63,3; 126,5; 189,8; 253,0 e 316,3 rpm, com permanência de 5 segundos em cada rotação;
- Massa específica aparente e teor de ar incorporado: esta determinação foi feita de acordo com a norma NBR 13278⁽¹³⁾, logo após o ciclo de cisalhamento das argamassas;
- Mesa de consistência: ensaio feito de acordo com a norma NBR 13276⁽¹⁴⁾;
- Squeeze-flow: este método consiste na medida do esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica do material entre duas placas paralelas ABNT NBR 15839:2010⁽¹⁵⁾. Na presente pesquisa foram realizados imediatamente após os ciclos de cisalhamento, utilizando como parâmetros operacionais um deslocamento máximo de 9 mm e velocidades de deslocamento de 0,1 e 3 mm/s.

2.4. Avaliação das propriedades mecânicas

Depois da determinação do teor de água e avaliação reológica, 15 corpos-de-prova cilíndricos, com 50 mm diâmetro por 60 mm de altura (relação comprimento/diâmetro de 1,2), de cada argamassa foram moldados através de preenchimento em 2 camadas com aplicação de 3 quedas ao final de cada camada de acordo com a norma NBR 7222:2010.

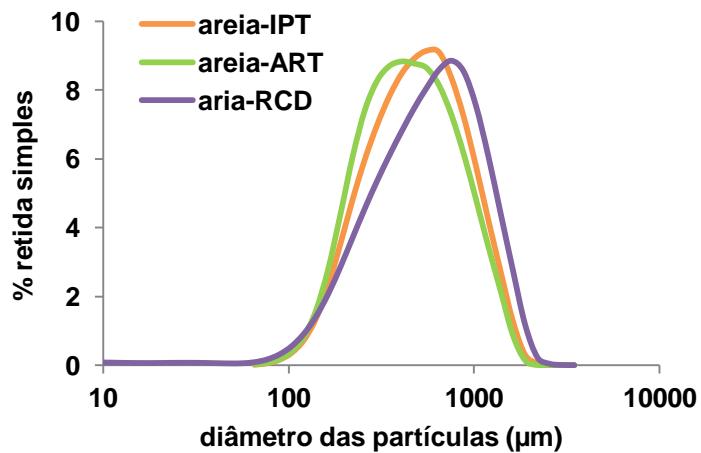
Os cps's foram curados por 28 dias (90%UR e 23°C) e após este período foram secos antes da realização dos testes (Cardoso, 2009). Os cp's foram ensaiados através do método de ultra-som (equipamento Pundit) para determinação do módulo de elasticidade, conforme descrito na norma ABNT NBR 15630⁽¹⁶⁾ e por Monte⁽¹⁷⁾. A resistência mecânica à tração foi determinada por compressão diametral, seguindo procedimento baseado na norma NBR 7222:2010⁽¹⁸⁾ e executado utilizando uma prensa INSTRON (modelo 5569, capacidade 50kN).

3. Resultados

3.1. Caracterização físico-química das areias

As curvas de distribuição granulométrica obtidas por difração de luz laser são apresentadas na Figura 1. As areias apresentam uma distribuição bem definida no intervalo (material passante em 1,2 e retido em 0,15 mm), apesar de pequenas diferenças. Desse modo, a granulometria das areias não será um parâmetro influente no desempenho das argamassas.

Figura 1 – Distribuição granulométrica das areias por espalhamento de luz laser



Os parâmetros de forma das areias são sumarizados na Tabela 1. Quanto menores os valores de relação de aspecto (b/l), mais alongadas serão as partículas; já o parâmetro esfericidade, está relacionado com a angulosidade da partícula, ou seja, a irregularidade do seu perímetro projetado. Quanto mais esféricas forem as partículas e menos angulosas suas superfícies, melhor será a fluidez da argamassa no estado fresco (10).

A esfericidade média apresenta-se bem similar para todas as areias, já a relação de aspecto é mais elevada para a areia-IPT e mais baixa para a areia-ART. Contudo, deve-se destacar que são médias de milhares de partículas, e podem ser semelhantes mesmo que a distribuição ao longo do intervalo considerado seja distinta. Dessa forma, deve-se considerar não somente o valor médio, mas também as distribuições

dos parâmetros ao longo do intervalo granulométrico garantindo que nenhuma informação seja perdida.

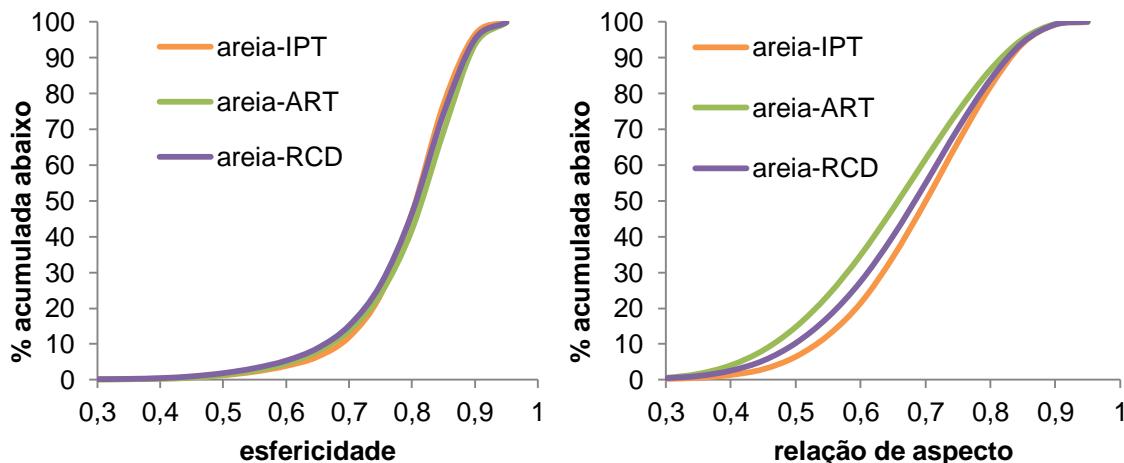
Tabela 1 – Média da esfericidade e relação de aspecto das amostras

Parâmetros médios	areia-IPT	areia-ART	areia-RCD
Esfericidade	0,795	0,805	0,794
Relação de aspecto (b/l)	0,706	0,673	0,694

A distribuição de partículas por classes de esfericidade para cada amostra é apresentada na Figura 2. Praticamente não se vê diferença na distribuição de esfericidade entre as areias. Com relação ao parâmetro b/l, a areia-IPT apresenta valores notoriamente mais elevados e a areia-ART valores mais baixos, ficando a areia-RCD com valores intermediários.

A amostra areia-ART possui cerca de 35% das partículas com b/l abaixo de 0,6, enquanto que para a amostra areia-IPT essa proporção é de 20% e para a areia reciclada 30%. Desse modo, considerando-se que a porosidade das amostras areia-IPT e areia-ART sejam igualmente baixas, é possível prever que a areia-ART necessite de um teor maior de água para alcançar a mesma trabalhabilidade da areia-IPT devido a sua forma mais alongada.

Figura 2 – Frequência acumulada abaixo para os parâmetros de forma



A composição química das amostras, assim como os parâmetros físicos, é apresentada na Tabela 2. A areia-IPT é composta fundamentalmente por quartzo (SiO_2), enquanto

que a areia-ART por agregados calcários ($\text{CaO}+\text{PF}$ e Mg). Os principais constituintes da amostra areia-RCD são: sílica, óxido de cálcio, alumina e óxido de ferro que, juntamente com a perda ao fogo, ultrapassam 90% dos teores nas amostras; elementos menores são Na_2O e K_2O . A soma dos teores de sílica, alumina e óxido de ferro estão relacionados aos silicatos presentes nas rochas, areia e cerâmicas; o teor de $\text{CaO}+\text{PF}$ está diretamente relacionado com o teor de pasta de cimento remanescente ⁽¹⁹⁾, já que a amostra tem baio conteúdo de agregados calcários. Os valores de porosidade, para as areias naturais, são bem reduzidos (por volta de 1%), assim como os valores de superfície específica (por volta de $0,74 \text{ m}^2/\text{cm}^3$); já para a areia reciclada esses valores aumentam acentuadamente, tanto porosidade quanto superfície específica são cerca de 10 vezes maiores.

Tabela 2 – Composição química e parâmetros físicos das amostras estudadas

Areia	Teores (%)							MEA (g/cm^3)	Poros. (%)	Área específica vol. (m^2/cm^3)
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	$\text{CaO}+\text{PF}$	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	MgO	outros			
IPT	97,0	1,22	0,65	<0,10	0,21	2,69	0,85	0,74
ART	14,4	2,54	1,36	76,8	0,77	4,58	0,13	2,79	1,11	0,74
RCD	71,5	8,09	2,59	11,8	3,59	1,11	0,66	2,62	11,3	9,15

Outros = MnO , TiO_2 e P_2O_5

MEA = massa específica aparente

3.2. Avaliação do desempenho reológico das argamassas

A composição das argamassas, em massa, é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Formulações das argamassas (% em massa)

MP (% massa)	Argamassa		
	IPT	ART	RCD
Cimento	27,9	27,1	28,3
areia-IPT	72,2		
areia-ART		72,9	
areia-RCD			71,7
Total	100	100	100

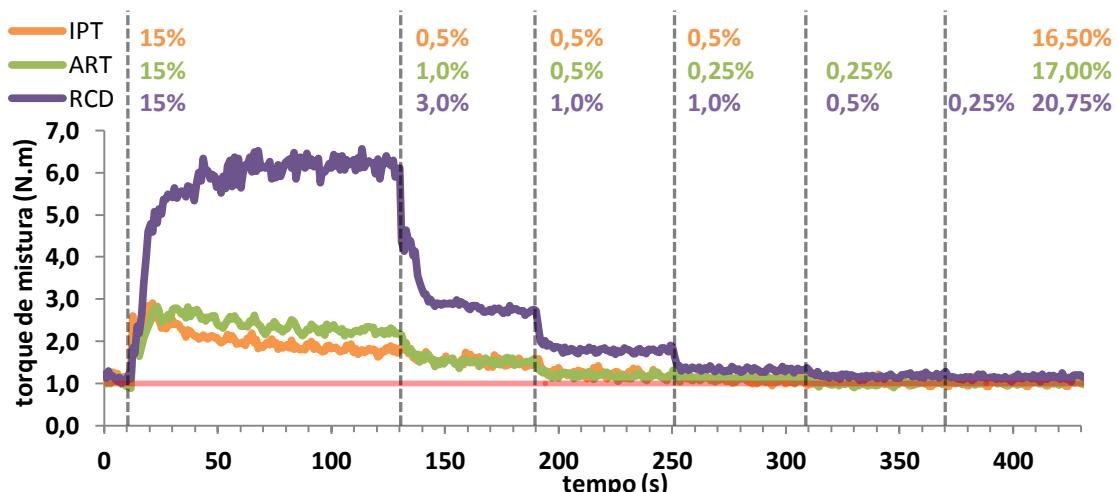
A Figura 3 apresenta as curvas de mistura das argamassas durante a determinação do teor de água necessário para atingir o mesmo torque de mistura de 1 N.m (1^a rodada).

Esta rodada, com um teor de água mais elevado, foi realizada com a finalidade de avaliar se a absorção de água da areia reciclada (areia-RCD) seria influente ao ponto de comprometer a trabalhabilidade da argamassa ao longo do tempo de realização dos ensaios.

Inicialmente, foi adicionada uma mesma quantidade água (15% em massa) para todas as misturas. Neste primeiro ciclo é notória a diferença de comportamento entre as argamassas. A argamassa IPT atingiu torques máximos de cerca de 3 N.m e já apresentou o ponto de virada (transição de comportamento de material descontínuo para um fluido); a argamassa ART também atingiu torques máximos por volta de 3 N.m, contudo, a água adicionada não foi suficiente para que atingisse seu ponto de virada; já para a argamassa reciclada, além de não alcançar seu ponto de virada os torques máximos foram acentuadamente maiores do que as argamassas naturais, chegando a 6 N.m.

Nos procedimentos de mistura posteriores, foram adicionadas pequenas quantidades de água até que as argamassas alcançassem o torque de 1 N.m. Ao final a ordem crescente do consumo de água das argamassas ficou: IPT (16,5%; a/c=0,59) < ART (17,0%; a/c=0,63) < RCD (20,75%; a/c=0,73).

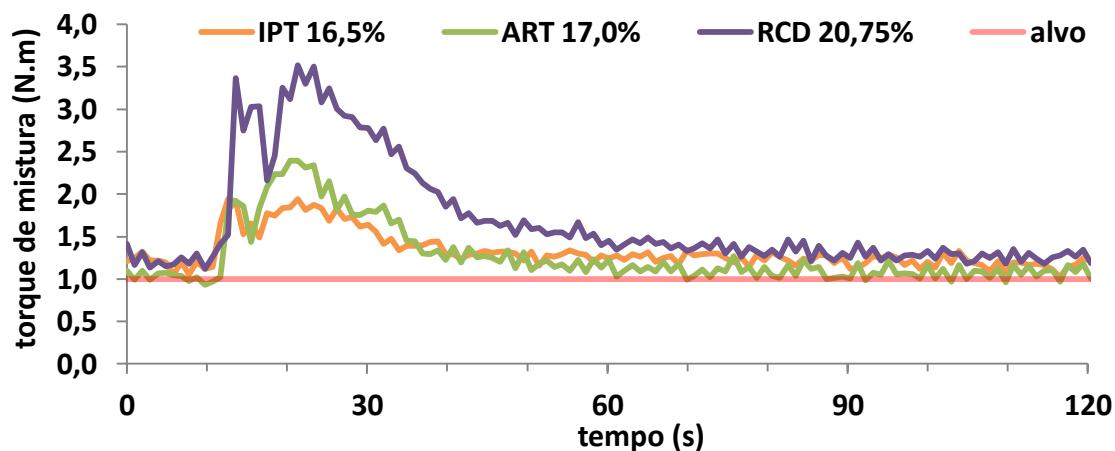
Figura 3 – Determinação do teor de água das argamassas – 1 rodada



Posteriormente, foi realizada outra rodada com a adição direta do teor total de água dosada na rodada anterior (Figura 4). Ao final do ciclo de mistura, todas argamassas alcançaram o ponto de virada, estabilizando-se muito próximas a 1 N.m.

A Figura 6 (1R - 1^a rodada) apresenta a proporção volumétrica das fases das argamassas no estado fresco. Nota-se que a argamassa reciclada apresenta um teor de ar incorporado calculado superior ao das naturais.

Figura 4 – Curvas de mistura das argamassas – 1 rodada



A Tabela 4 apresenta os resultados do ensaio em mesa de consistência para as argamassas. Nota-se que todas as argamassas apresentam espalhamento na faixa de 300 mm, indicando uma consistência mais fluida. Isto se deve ao alto teor de água utilizado. Os resultados dos ciclos de cisalhamento, apresentados na Figura 7 (1R - 1^a rodada), indicam que as argamassas possuem a mesma natureza reológica: pseudoplástica com baixa tensão de escoamento.

Tabela 4 – Espalhamento das argamassas na mesa de consistência

Rodada	Espalhamento (mm)		
	IPT	ART	RCD
1	332	312	304
2	259	274	248

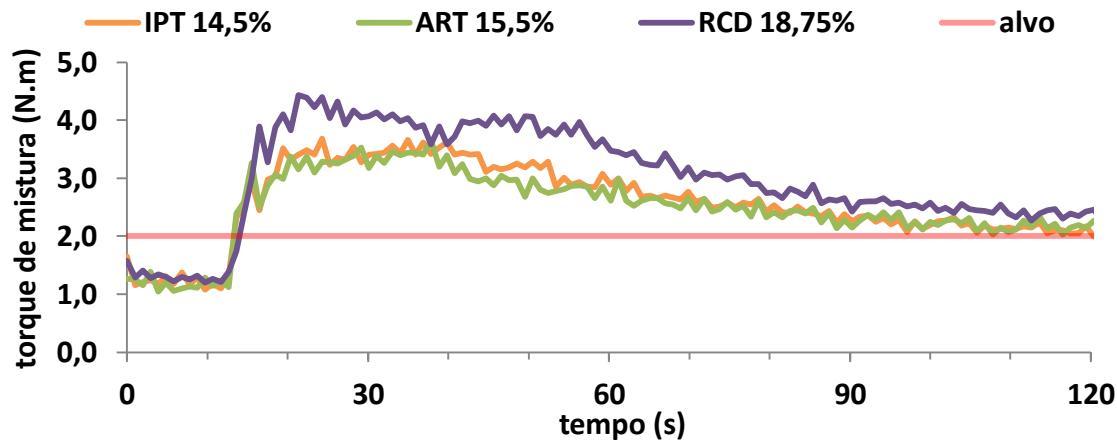
A areia reciclada (areia-RCD) apresentou uma leve mudança na trabalhabilidade durante a realização dos ensaios (massa específica e teor de ar incorporado, mesa de

consistência e, posteriormente, moldagem dos corpos de prova), mas não ao ponto de prejudicar sua aplicação. Sendo assim, foi realizada a 2^a rodada, na qual o torque final de mistura alvo foi de 2 N.m, consumindo menos água e proporcionando argamassas mais consistentes, passíveis de serem aplicadas.

Nesta rodada as adições de água foram feitas com base nos resultados obtidos na primeira rodada. As curvas de mistura com a adição direta da água determinada são apresentadas na Figura 5. Ao final do ciclo de mistura, todas argamassas alcançaram o ponto de virada, estabilizando-se em 2 N.m. Nesta segunda rodada a relação a/c das argamassas foi de: IPT=0,52; ART=0,57; RCD=0,66.

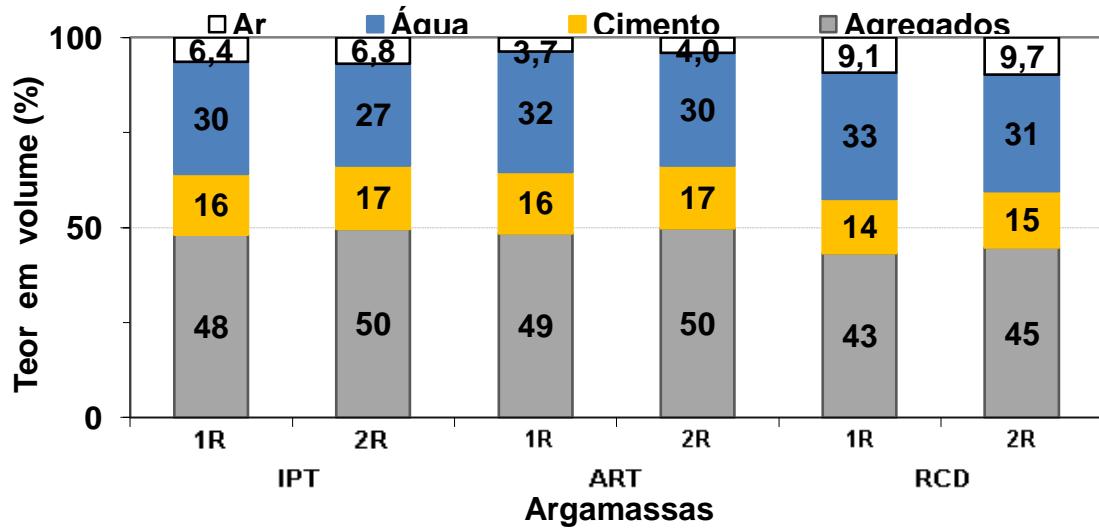
Adotando-se a argamassa IPT como referência, nota-se que a argamassa ART consumiu 7% a mais de água, aumento este que pode ser atribuído à diferença de forma dos grãos (mais alongados para a areia ART). A argamassa reciclada (porosidade de 11,31%) teve um aumento no consumo de água de 30% em comparação à argamassa IPT e 20% à ART.

Figura 5 – Curvas de mistura das argamassas – 2 rodada



A Figura 6 (2R - 2^a rodada) apresenta a proporção volumétrica das fases das argamassas no estado fresco. Nota-se, mais uma vez, que a argamassa reciclada possui um teor de ar incorporado superior ao das naturais.

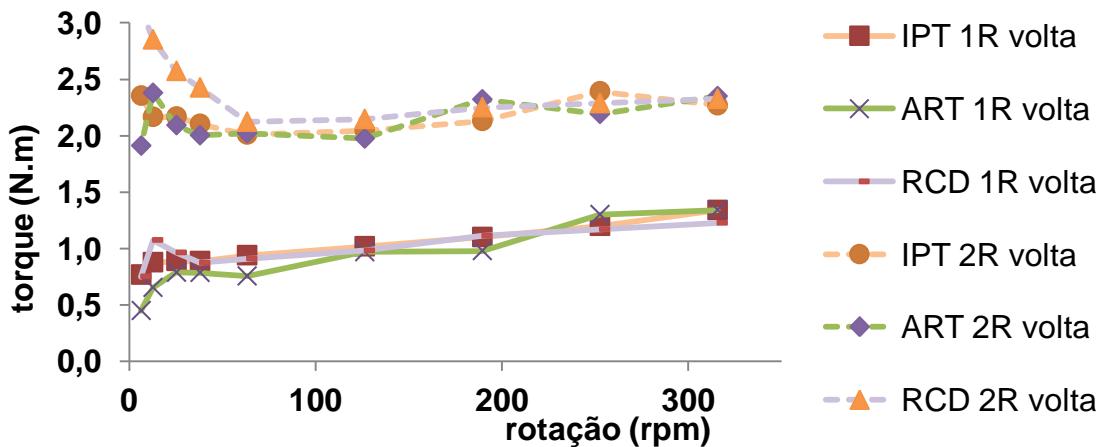
Figura 6 – Distribuição de fases das argamassas



Os resultados dos ciclos de cisalhamento (Figura 7, 2R - 2^a rodada) indicam argamassas pseudoplásticas, com alta tensão de escoamento (ligeiramente mais elevada para a argamassa reciclada) e viscosidade moderada.

Os resultados da mesa de consistência (Tabela 4) mostram que os espalhamentos das argamassas ficaram todos na faixa de 250 mm, indicando um aumento da consistência das argamassas em relação à primeira rodada (espalhamentos acima de 300 mm).

Figura 7 – Curvas reológicas das argamassas



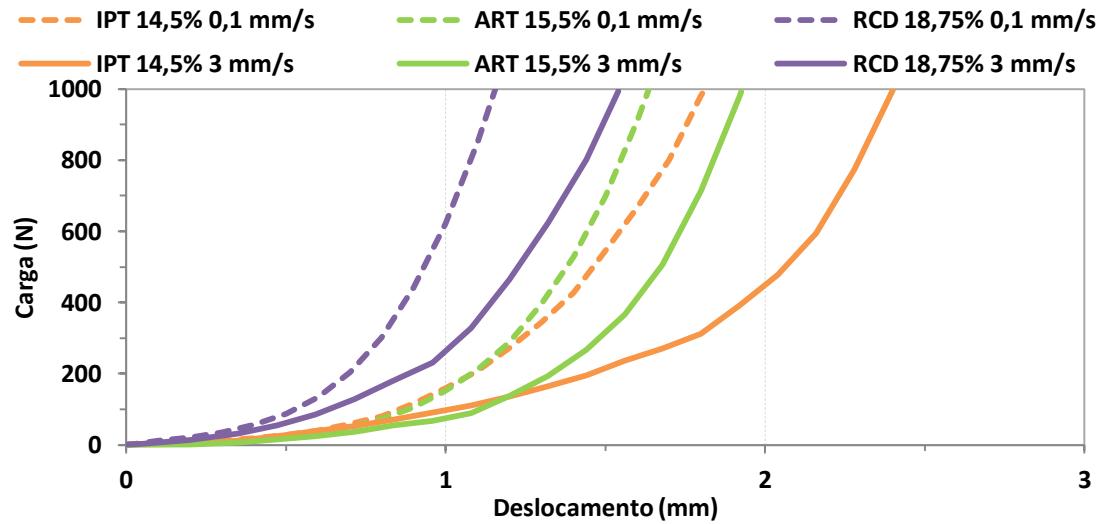
As curvas de carga x deslocamento das argamassas da segunda rodada, obtidas por meio do ensaio de squeeze-flow, são ilustradas na Figura 8. De um modo geral, todas as argamassas apresentaram um baixo deslocamento, inferior a 2,5 mm e um perfil

que praticamente não possui deformação plástica, passando direto do estágio de deformação elástica para o de enrijecimento por deformação, com um expressivo aumento das cargas para pequeno incremento nos deslocamentos. Esse tipo de comportamento caracteriza argamassas de difícil aplicação⁽²⁰⁾, como composições sem aditivos, normalmente preparadas em obra.

Apesar de todas as argamassas estarem com o mesmo tipo de comportamento, verifica-se que as argamassas com areias não-recicladas fluem um pouco mais nos testes de squeeze-flow, mesmo com quantidades consideravelmente menores de água. Os maiores valores de porosidade/área superficial da areia reciclada, aparentemente, deixam menos água disponível para a pasta reduzindo a viscosidade desta e, consequentemente, a facilidade de fluxo das argamassas.

Provavelmente as areias recicladas vão absorvendo a água do sistema com o tempo, pois a perda de fluidez/trabalhabilidade é muito intensa para as formulações que as contém, conforme verificado durante os experimentos / moldagens.

Figura 8 – Resultados do ensaio squeeze-flow



3.3. Avaliação das propriedades mecânicas

Na Figura 9 são apresentados os resultados de massa específica aparente e módulo de elasticidade para os corpos de prova de cada rodada, nota-se que essas propriedades são menores quanto maior o consumo de água. A resistência mecânica à tração das

argamassas da 1^a e da 2^a rodadas apresentaram resultados próximos, apesar de terem sido preparadas com diferentes teores de água (Figura 10), isso porque os teores de água empregados na primeira rodada foram muito elevados, assim, causando intensa exsudação durante a moldagem. Contudo, o importante nesses resultados é a proximidade do desempenho da argamassa reciclada em comparação com as areias naturais. Na 1^a rodada a argamassa RCD apresentou um desempenho cerca de 15% menor em comparação às argamassas IPT e ART; já na 2^a rodada ficou cerca de 10% abaixo da areia IPT e 25% de ART.

Figura 9 – Massa específica aparente e módulo de elasticidade (28 dias de cura)

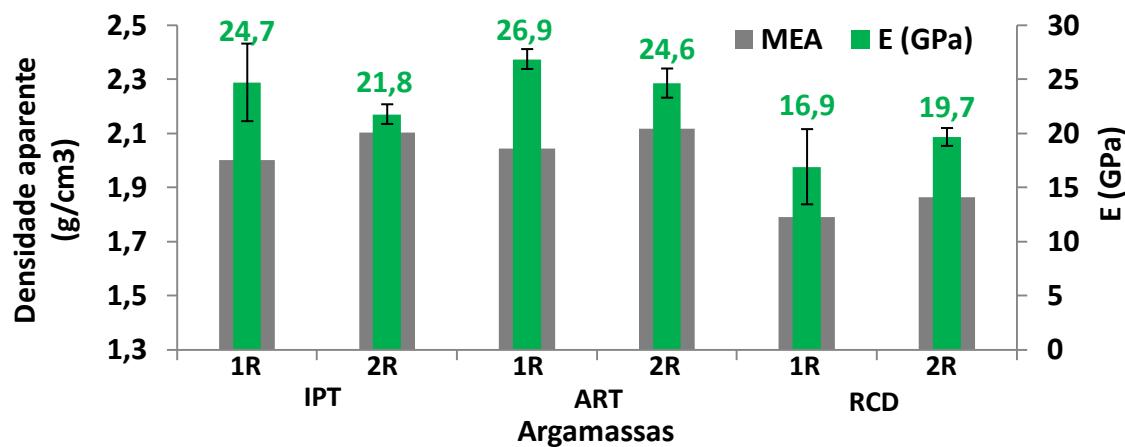
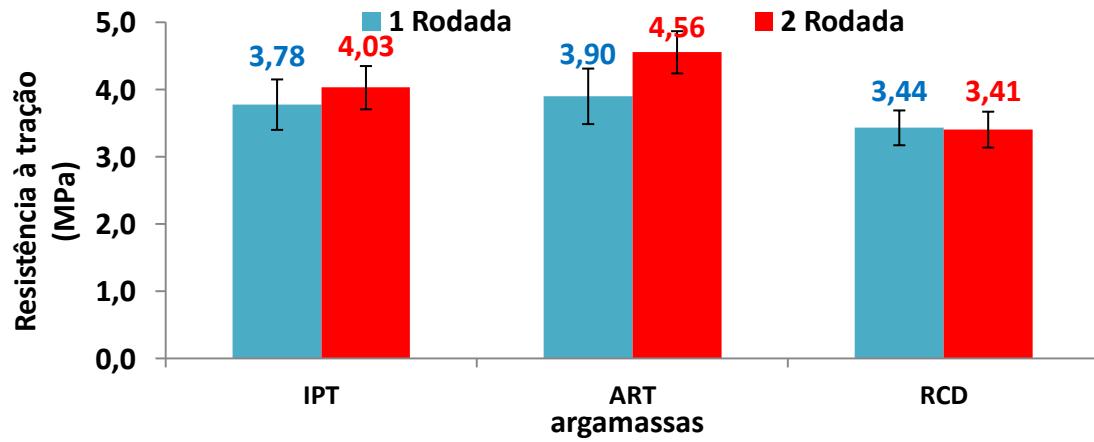


Figura 10 – Resistência à tração por compressão diametral (28 dias de cura)



4. Conclusões

Em um cenário onde as formulações de argamassas foram preparadas com a mesma proporção areia/cimento em volume e as areias possuem uma mesma distribuição granulométrica, as diferenças no desempenho das argamassas são causadas pelas diferentes características das areias, principalmente morfologia e porosidade/área superficial.

Para a obtenção de um mesmo torque de mistura, as formulações consumiram diferentes teores de água (diretamente proporcional à porosidade das areias), e resultaram em argamassas com comportamento reológico similar (ensaios de mesa de consistência, squeeze-flow e ciclos de cisalhamento).

Apesar da porosidade da areia reciclada ser cerca de 10 vezes maior do que as demais, o consumo de água aumentou em cerca de 20% e 30% em relação à areias ART e IPT; como consequência, seu desempenho mecânico, ficou 10% abaixo da argamassa IPT e 25% abaixo da ART (areia industrial britada).

De maneira geral, a britagem dos RCD em frações mais finas apresenta um potencial para que possa ser utilizada como alternativa em locais onde a disponibilidade de jazidas de areia natural é escassa ou suas distâncias de transporte são maiores, principalmente considerando-se a substituição parcial em argamassas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Urbem Tecnologia Ambiental e Metso Minerals pelo apoio à presente pesquisa.

6. Referências bibliográficas

- (1) John VM. *Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2000.

- (2) Almeida SLM, Silva VS. **Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados. II SUFFIB – o uso da fração fina da britagem.** São Paulo2005.
- (3) Coelho JM. **The minning of aggregates in Metropolitan Region of São Paulo. Minning, Minerals and Sustainable development (MMSD) report.** novembro ed: IIED/WBCSD; 2001. p. 11.
- (4) Yagishita F, Sano M, Yamada M. **Behaviour of reinforced concrete beams containing recycled coarse aggregate.** In: Lauritzen EK, editor. **RILEM.** Odense1994. p. 331-42.
- (5) Tomosawa F, Noguchi T, Tamura M. **The way concrete recycling should be.** Journal of Advanced Technology. 2005;3(1):3-16.
- (6) Ulsen C, Kahn H, Hawlitschek G, Masini EA, Angulo SC, John VM. **Production of recycled sand from construction and demolition waste.** Construction and Building Materials. 2012(0).
- (7) Poon CS, Shui ZH, Lam L, Fok H, Kou SC. **Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete.** Cement and Concrete Research. 2004;34(1):31-6.
- (8) Gomez-Soberon JMV. **Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate - An experimental study.** Cement and Concrete Research. 2002;32(8):1301-11.
- (9) ABNT. **NBR 7214. Areia normal para ensaio de cimento**1982.
- (10) Pileggi RG. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários.** São Carlos: Universidade de São Carlos; 2001.
- (11) Webb PA, Orr C. **Analytical Methods in Fine Particle Technology.** 1 edition ed. Norcross, USA: Micromeritics Instrument Corporation; 1997.
- (12) Webb PA. **An Introduction To The Physical Characterization of Materials by Mercury Intrusion Porosimetry with Emphasis On Reduction And Presentation of Experimental Data.** Norcross: Micromeritics Instrument Corp.; 2001.
- (13) ABNT. **NBR 13278:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**2005.
- (14) ABNT. **NBR 13276:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**2005.
- (15) ABNT. **NBR 15839:2010. Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos - Caracterização reológica pelo método squeeze-flow**2010.
- (16) ABNT. **NBR 15630:2008. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica** 2008.
- (17) Monte R, Almeida V, Kudo EK, Barros MMSB, John VM. **Módulo de elasticidade dinâmico: comparação entre a velocidade da onda ultrassônica e frequência ressonante.** **VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas.** Recife2007.

(18) ABNT. NBR 7222:2011. Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos2011.

(19) Angulo SC, Ulsen C, John VM, Kahn H, Cincotto MA. Chemical-mineralogical characterization of C&D waste recycled aggregates from São Paulo, Brazil. Waste Management. 2009;29(2):721-30.

(20) Cardoso FA. Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2009.