

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

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

EQUIPAMENTOS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: MECANISMOS DE SEPARAÇÃO¹

**SCHAMNE, Annelise Nairne (1); MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach (2);
VOGT, Vanessa (3)**

(1)UTFPR, email: annelise.ns@hotmail.com; (2)UFPR, email:
reciclagem.miranda@gmail.com; (3)IFPR, email: vogt.vanessa@gmail.com

RESUMO

O setor da construção civil é responsável por elevados volumes de resíduos sólidos em todas as etapas da sua cadeia produtiva. A fim de contribuir para o gerenciamento adequado destes resíduos e minimizar os impactos ambientais, diversas tecnologias na área de equipamentos para reciclagem de resíduos de construção vêm sendo desenvolvidas. O objetivo deste trabalho é apresentar alguns mecanismos de separação de resíduos de construção civil disponíveis no mercado capazes de aperfeiçoar as etapas de reciclagem nas usinas e contribuir para obtenção de um agregado de maior qualidade.

Palavras-chave: Resíduos da construção civil. Mecanismos de separação. Reciclagem.

ABSTRACT

The construction sector is responsible for high volumes of solid waste at all stages of the production chain. In order to contribute to the proper management of this waste and minimize environmental impacts, various technologies in the area of equipment for recycling of construction waste has been developed. The aim of this paper is to present some separation mechanisms of construction waste on the market, able to optimize the steps of recycling in plants and contribute to obtain an aggregate of higher quality at the end of the process.

Keywords: Construction waste. Separation mechanisms. Recycling.

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) representam um dos grupos que mais geram impactos ao ambiente, não só pelo volume de resíduos gerados, mas pela falta de gerenciamento adequado que leva à disposição em locais impróprios, sem o devido tratamento.

Uma das formas de contribuir para o gerenciamento dos RCD é através da implantação de usinas de reciclagem, a fim de recuperar os resíduos e inserí-los novamente na cadeia produtiva (MANFRINATO *et al.* 2008). Além dos benefícios sociais e econômicos, as usinas minimizam os problemas ambientais e colaboram para no cumprimento da Resolução 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), de 2002, que proíbe a

¹ SCHAMNE, A. N.; MIRANDA, L. F. R.; VOGT, V. Equipamentos de reciclagem de resíduos da construção civil: mecanismos de separação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

disposição de RCD em aterros sanitários, priorizando a reciclagem e a reutilização (BRASIL, 2002; MANFRINATO *et al.*, 2008).

No entanto, o sucesso desta iniciativa depende do controle das etapas e operações envolvidas, pois cada uma delas pode interferir na qualidade do produto final e na eficiência da usina. Se o material recebido para processamento contiver componentes indesejáveis, menor será o volume de material reciclado e a qualidade do agregado produzido (MORALES *et al.*, 2011; JOHN *et al.*, 2006).

Segundo Miranda (2005), um dos desafios na reciclagem de RCD no Brasil é aliar a sustentabilidade ao crescimento do setor, sem comprometer a qualidade dos serviços, garantindo negociações com órgãos públicos, iniciativa privada e potenciais parceiros. Deste modo, é possível desenvolver métodos e processos de reciclagem mais confiáveis que garantam homogeneidade do produto, evitando a má qualidade do material produzido e futuros problemas com a utilização.

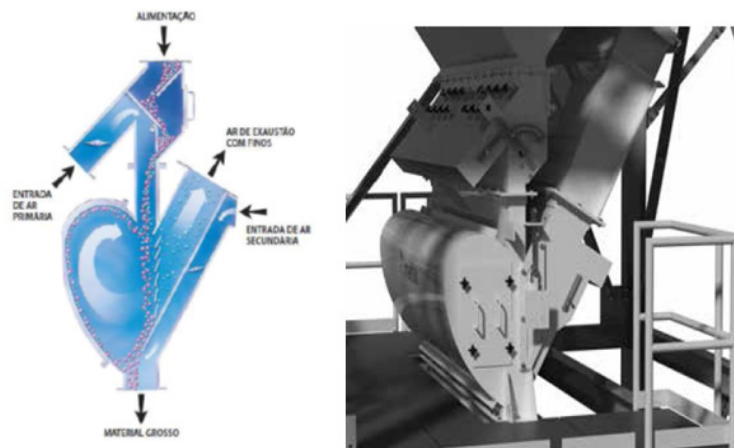
Nesse contexto, diversas tecnologias na área de equipamentos para reciclagem de RCD vêm sendo desenvolvidas, principalmente na área de mecanismos de separação de resíduos, a fim de otimizar as etapas de reciclagem nas usinas e contribuir para obtenção de um agregado de maior qualidade ao final do processo (POON *et al.*, 2001).

Geralmente, os mecanismos de separação são projetados e fabricados para suportar um árduo regime de trabalho e oferecem máximo rendimento e eficiente classificação, quando são conhecidas as características de construção dos materiais recebidos para separação. A seguir são apresentadas algumas alternativas de sistemas de separação.

1.1 Classificador gravitacional inercial

Este classificador (Figura 1), cujo componente principal é o ar, combina forças gravitacionais, inerciais, centrífugas e aerodinâmicas para classificar eficientemente os materiais nos pontos de corte. O equipamento trabalha com um nível mínimo de troca de peças e praticamente nenhuma manutenção. O material entra pelo topo da unidade e percorre até a parte inferior do equipamento. O ar sofre uma mudança de direção de 120° e, em seguida, sai pelas palhetas arrastando as partículas finas. As partículas grossas, muito pesadas para cruzar a palheta, descem até a parte inferior da câmara onde atravessam o fluxo de ar secundário antes de serem descarregadas por uma válvula. O ar secundário por baixo das palhetas atravessa a cortina de partículas em queda e aquelas próximas ao ponto de corte são desviadas pelo fluxo de ar secundário para dentro de uma 'corrente de redemoinho' na câmara. Alguns finos são capturados à medida que entram na unidade enquanto outros são retirados do redemoinho. Estes são carregados pelo ar de exaustão para um filtro de tecido para a recuperação final. Este equipamento é amplamente usado para produzir areias manufaturadas e superfinas com altas especificações (METSO, 2015).

Figura 1 - Funcionamento e exemplo de classificador inercial gravitacional



Fonte: Metso (2015)

1.2 Sistema de sopro de ar com ventiladores

O sistema de separação de sopro de ar, como exemplificado na Figura 2, com um modelo *Air Master*, da *Cityequip*, é um sistema simples e de boa eficiência, que utiliza ventiladores para retirada de impurezas leves como fração de pedrisco, rachão, até pedaços de madeira.

No caso do equipamento da Cityequip (Figura 2), a cabine é feita de materiais com densidade leve e duto de circulação de ar que reduz o volume de ar necessário, reduzindo pressões ambientais. A largura da correia de alimentação pode ser de 1200 ou 1600 mm, dependendo do modelo, e a taxa de carregamento chega a 1,6 m/s. O equipamento vem acoplado em uma unidade móvel, o que facilita o transporte e utilização em qualquer local (CITYEQUIP, 2016). O preço de um equipamento como este, na Alemanha, pode chegar a 100 mil Euros.

Figura 2 – Sistema por soprador de ar



Fonte: O autor (2015)

1.3 Sistema de classificação por sensores infravermelhos

Entre os fabricantes especialistas em equipamentos de separação destaca-se a TOMRA SORTING SOLUTIONS, que oferece tecnologias de detecção avançadas para identificar e separar uma variedade de materiais. Os sensores de alta resolução encontrados nas tecnologias da linha *TITECH Autosort* operam a uma taxa de até 320.000 pontos identificados por segundo (TOMRA, 2015).

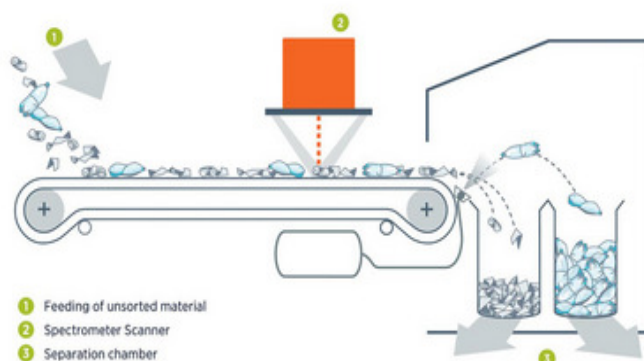
O *TITECH Autosort* é o primeiro sistema de infravermelho próximo (NIR) a fazer leitura sem a necessidade de fonte de luz externa, devido à tecnologia *flying beam*, o que permite economizar até 70% da energia ao iluminar exclusivamente a área analisada. Isto faz com que este sistema tenha maior eficiência energética e menor exigência de manutenção, combinando alto desempenho e rendimento, reduzindo os custos de funcionamento.

A tecnologia de seleção por sensores permite recuperar uma grande variedade de materiais a partir de fluxos de resíduos diferentes, fluxos de resíduos únicos, embalagens, papel, resíduos domésticos e outros tipos de materiais para reciclagem. Isto é feito mediante a análise combinada de informações avançadas relativas aos materiais e à cor.

O material de entrada desliza em uma rampa ou é transportado por uma correia até a área do sensor. A informação obtida é processada eletronicamente, de modo que, dependendo do critério de ajuste e seleção, os materiais detectados são ejetados do fluxo de material para uma câmara separada por jatos de ar pressurizado de alta precisão.

O sistema *TITECH Autosort* utiliza a nova tecnologia de varrimento DUOLINE®, que realiza um varrimento duplo em cada passagem (Figura 3). Os sensores NIR de elevada velocidade e confiabilidade captam os espectros de infravermelhos específicos de vários objetos graças a uma resolução óptica muito elevada. O processo de varrimento duplo permite aumentar, consideravelmente, a distância entre a unidade de varrimento e a correia transportadora, mantendo a resolução elevada, o que reduz minimamente os danos nos componentes ópticos e aumenta a confiabilidade. Nos modelos de varrimento duplo, o primeiro sensor NIR reconhece os materiais com base nas suas propriedades espectrais específicas e únicas de luz refletida. Um segundo sensor NIR oferece informações espectrais adicionais. Já a combinação de um sensor NIR com um sensor de espectrometria de luz visível (VIS) fornece informações sobre os materiais de reciclagem de acordo com o tipo e a cor, podendo reconhecer suportes impressos e todas as cores no espectro visível para transparente, bem como todos os objetos opacos (TOMRA; TITECH, 2015).

Figura 3 – Esquema de separação por infravermelho



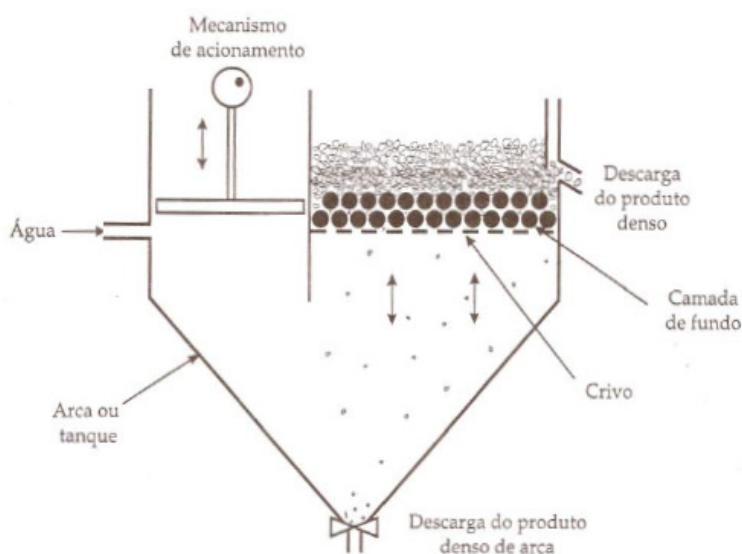
Fonte: Titech (2015)

Ao combinar os sensores NIR e VIS, em configurações distintas, o TITECH *Autosort* oferece resposta a diferentes aplicações, obtendo frações de elevada confiabilidade com alto grau de pureza. Além disso, o sistema é compacto e se caracteriza pela fácil instalação e integração nas fábricas, com simplicidade no manuseio dos seus componentes, além de potência, confiabilidade e precisão (TITECH, 2015).

1.4 Separação por jigue

Os jigue são equipamentos de concentração gravítica em que os RCD são separados por faixa de densidade, por ação da força da gravidade e/ou da força centrífuga (Figura 4). As partículas presentes nos agregados reciclados são separadas pela massa específica aparente do grão através de um leito pulsante e acabam estratificadas em camadas com densidade crescente, da parte superior em direção à parte inferior do leito (ARENARE, 2008).

Figura 4 - Esquema de separação do jigue



Fonte: Sampaio e Tavares (2005) apud Arenare (2008)

Segundo Xing *et al.* (2004), embora os materiais se misturem no jigue, eles caem com velocidades diferentes, conforme sua densidade. Materiais mais densos alcançam mais rapidamente o fundo do que materiais menos densos, visto que estes cairão por cima, a uma velocidade menor, sendo possível então fazer a separação. Portanto, quanto maior for a diferença de densidade, mais eficaz será a separação neste método.

A jigagem com ar é um processo de concentração gravimétrica em que o beneficiamento do material ocorre a seco e, desta forma, o produto não necessita passar por custosos procedimentos de filtragem com excessivo gasto de água e secagem. Como normalmente há presença de materiais nos RCD que se desagregam quando imersos em água, como o gesso, o uso de jigue pneumático é conveniente em relação aos processos em meio úmido (SAMPAIO e TAVARES, 2005).

Dado o exposto, o presente estudo tem por objetivo avaliar alguns separadores a seco existentes no mercado, apresentando vantagens e desvantagens na utilização de cada um e apresentar estudos de caso de equipamentos utilizados para separação de materiais de RCD.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada teve como objetivo levantar informações pertinentes com relação às diferentes alternativas de separação de impurezas de resíduos de construção. Portanto, dependendo do tipo de equipamento e da viabilidade da pesquisa, foram feitas análises visuais ou quantitativas a respeito dos sistemas testados, conforme detalhado a seguir.

2.1 Classificador gravitacional inercial

Foi testada de forma visual a eficiência deste equipamento na remoção de impurezas leves (madeira e matéria orgânica) presentes em agregados reciclados miúdos de concreto.

O teste foi realizado com o apoio da empresa Imetec, localizada em Colombo/PR (Figura 5). Foi utilizada uma amostra de areia reciclada de concreto que possuía a presença de contaminantes leves como madeira e raízes de plantas. A pressão do vento foi variada de forma a obter o melhor desempenho.

Após a passagem do material seco pelo equipamento, foi avaliada visualmente a qualidade da separação obtida.

Figura 5: Classificador gravitacional inercial



Fonte: O autor (2015)

2.2 Sistema de ventiladores centrífugos

A avaliação da eficiência de separação dos ventiladores centrífugos foi feita de duas formas:

- por análise visual da separação obtida pelo equipamento Cityequip em funcionamento em uma usina de reciclagem na Alemanha;
- por testes piloto no laboratório da UFPR.

No primeiro caso a avaliação da separação foi feita no material graúdo, em tamanho de partículas superiores a 50 mm, cujo equipamento possuía um motor de 50 cv e o agregado reciclado era composto de material cerâmico, concreto, pedaços de madeira, entre outros, conforme representado na Figura 2.

Para realização do teste piloto no laboratório, foi utilizada uma rampa inclinada para queda das partículas do agregado reciclado nas dimensões de pedrisco, brita 1 e 2 e rachão onde, na extremidade da rampa, existia um ventilador centrífugo com motor de 5 cv ligado a um inversor de frequência para controle da velocidade do vento. Aos agregados reciclados foram misturadas impurezas de mesma granulometria oriundas de gesso e madeira e então avaliada a distância na qual as partículas eram lançadas.

2.3 Sistema de classificação por infravermelho (Sistema Titech – Tomra)

Em 2015, com o objetivo de avaliar a eficiência do sistema de separação por espectrometria de infravermelho, os autores realizaram testes no *TITECH Autosort* com materiais de construção civil brasileiros, no laboratório experimental da empresa Tomra, localizado na cidade de Mülheim-Kärlich, na Alemanha.

O equipamento trabalhou com uma largura de 1000 mm de correia transportadora, dois sensores (NIR1 e NIR2) de alta resolução, velocidade da esteira de 3 m/s e com jatos de ar comprimido regulados de 6 a 8 bar, a uma distância um do outro de 12,5 mm (Figura 6).

Os testes foram realizados com seis amostras de resíduos de construção de concreto (duas de pedrisco, 2 de brita e duas de rachão), contendo como impurezas gesso e madeira nos teores alto e baixo.

Figura 6 – Teste no Titech Autosort



Fonte: O autor (2015)

Após passagem pelo equipamento, as amostras eram coletadas em caixas para então serem medidas as massas obtidas após separação e comparadas às massas que compunham cada amostra, para então ter um resultado de desempenho.

2.4 Avaliação da eficiência do jigge

Um exemplo de aplicação desse sistema pode ser visto no trabalho de Sampaio *et al.* (2015a), em que uma amostra de RCD foi obtida, misturando frações de concreto, tijolo e gesso, de 4 a 20 mm, e submetida à separação por jigge a seco, modelo AllAir S 500®, da All Mineral (Figura 7).

Figura 7 – Jigge a ar utilizado nos testes, modelo AllAir S 500®



Fonte: Sampaio *et al.* (2015a)

Este jigge é composto por duas entradas simultâneas de fluxo de ar na parte inferior do equipamento. O primeiro fluxo de ar é contínuo e responsável pela expansão do leito de partículas, enquanto que o segundo é descontínuo e responsável pela vibração. O movimento de contração e expansão caracteriza o processo de jigagem e resulta na estratificação do leito de partículas, concentrando as partículas mais pesadas na camada inferior e as partículas mais leves nas camadas superiores.

Durante os testes houve variação de parâmetros operacionais (frequência da pulsação do jigge, expansão das partículas e tempo de ensaio) a fim de avaliar a influência de cada um sobre o desempenho da jigagem. A amostra de 39 kg de partículas mistas foi obtida a partir de 53% de partículas de concreto, 27% de tijolo e 20% de gesso, em massa, inicialmente separadas. Após a mistura, a amostra foi despejada entre três caixas para iniciar o processo de jigagem. Uma vez estratificadas após a jigagem, as caixas foram removidas separadamente. As partículas de cada caixa foram separadas manualmente e pesadas para determinar a percentagem de cada um dos materiais.

3 RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Classificador gravitacional inercial

O equipamento mostrou boa eficiência na remoção de fração pulverulenta presente no agregado reciclado, podendo assim ser útil na melhoria da qualidade de areias recicladas com excesso de finos $< 0,075$ mm.

Entretanto, o resultado não foi satisfatório na remoção de impurezas leves. Observa-se que a remoção delas sofreu influência da massa e, provavelmente, do formato da partícula. Dependendo destas variáveis as impurezas foram direcionadas para a saída errada do equipamento, misturando-as com o material de boa qualidade. Observa-se ainda que, para o correto funcionamento do equipamento, o material precisa estar seco. A Figura 8 possibilita comprovar a presença de resíduos de madeira nas 3 diferentes granulometrias a qual o agregado reciclado de concreto foi separado, comprovando a baixa eficiência do sistema.

Figura 8 – Testes realizados em um classificador inercial gravitacional



Fonte: O autor (2015)

3.2 Sistema de ventiladores centrífugos

A avaliação visual do funcionamento do equipamento Cityequip indicou que ele possui um bom desempenho na remoção de impurezas leves. Mesmo trabalhando com partículas de grandes dimensões (ultrapassando 150 mm em alguns casos), o motor de 50 cv foi capaz de remover pedaços

de madeira e gesso, por exemplo. Entretanto, como inclusive relatado pelo fornecedor do equipamento, quando a madeira está úmida a eficiência de separação reduz, pois ela fica mais pesada, aproximando-se da massa do RCD.

Os resultados dos testes pilotos mostraram que este sistema possui boa eficiência desde que o sopro de ar seja regulado em função da dimensão da partícula (pedrisco, brita ou rachão). Foi possível separar com eficiência superior a 80% pedaços de madeira e gesso do RCD cerâmico ou de concreto. O motor de 5 cv mostrou-se suficiente para as partículas entre 12 38 mm e muito forte para partículas inferiores a 9,5 mm.

Também foi observada uma influência do formato das partículas, onde as partículas lamelares eram lançadas mais distantes que as partículas mais esféricas.

É possível que um sistema de ventiladores centrífugos bem dimensionados seja instalado diretamente nas correias transportadoras para remoção de impurezas, o que pode reduzir significativamente o investimento em melhoria de qualidade do RCD. No entanto, é necessário ter um ventilador para cada tamanho de material (pedrisco, brita, rachão) que devem funcionar continuamente, um para cada cadeia transportadora.

Assim, pode-se afirmar que esta é uma opção interessante a ser instalada em usinas móveis ou fixas, devido ao menor custo e por não exigir tecnologia especializada. É recomendada a instalação junto às correias transportadoras, após a etapa de peneiramento, para aproveitar a diferença de massa de partículas de tamanhos aproximadamente iguais mas densidades diferentes. A eficiência do processo de remoção de impurezas por este processo depende também da largura e da velocidade da correia transportadora, que devem garantir que o leito de material sobre a correia não seja espesso.

3.3 Separação por espectrometria de infravermelho (NIR)

Os resultados dos testes de separação realizados na Alemanha estão apresentados no Quadro 1 e 2.

É possível observar que em todos os testes a fração de gesso e madeira foi separada de maneira satisfatória, com porcentagens maiores que 90%, cumprindo com o objetivo do teste de gerar uma fração limpa de agregados graúdos.













Quadro 1- Resultado dos testes realizados com Titech Autosort

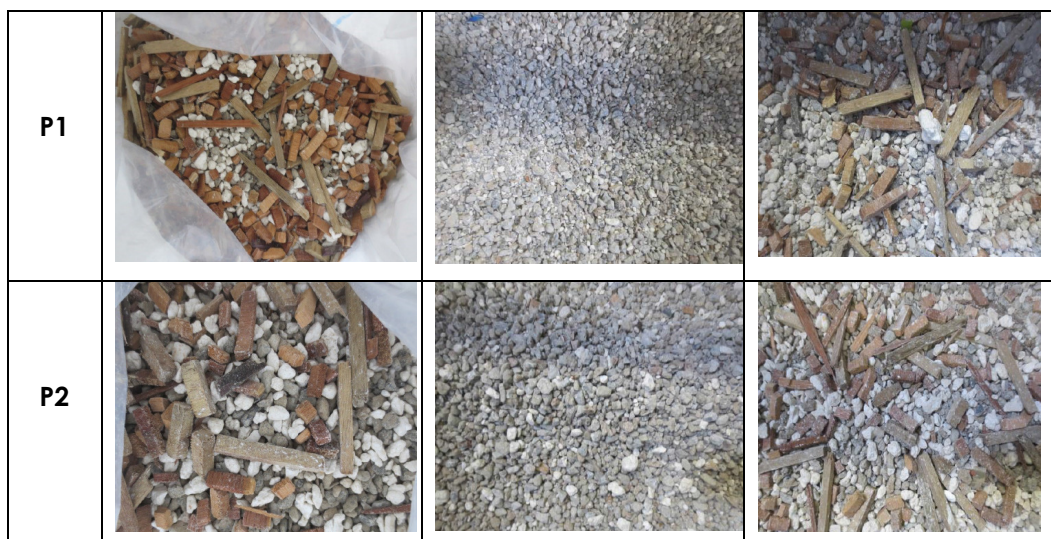
Teste	Amostra na entrada no equipamento		Amostras na saída do equipamento			
	Massa (kg)	Taxa de transferência (t/h/m)	Pedra		Gesso e Madeira	
			Massa (kg)	%	Massa (kg)	%
B1	12,6	0,7	7,8	61,9	4,8	38,1

B2	22,3	1,3	18,8	84,3	3,5	15,7
R1	22,1	2,4	19,8	89,6	2,3	10,4
R2	29,2	3,0	20,8	71,2	8,4	28,8
P1	10,9	0,4	8,9	81,7	2,0	18,3
P2	11,3	0,4	8,9	78,8	2,4	21,2

Fonte: O Autor

Quadro 2 – Quadro comparativo da amostra de entrada e do resultado após a separação

Teste	Amostra na entrada no equipamento	Amostras na saída do equipamento	
		Pedra	Gesso e Madeira
B1			
B2			
R1			
R2			



Fonte: O Autor

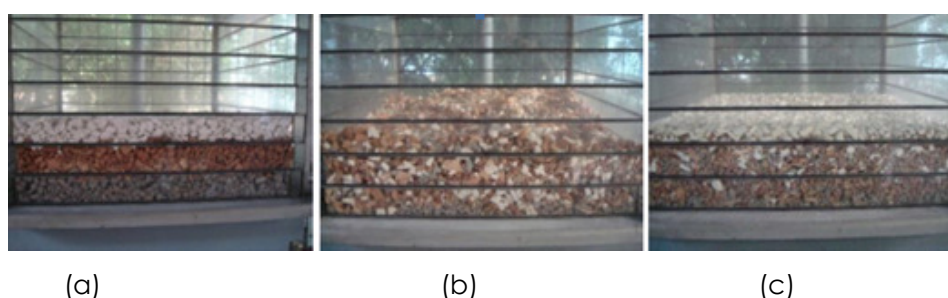
Acredita-se que a eficiência não foi ainda maior porque, no transporte das amostras do Brasil para a Alemanha, o resíduo de gesso esfarelou, dificultando a detecção pelos sensores que tem boa precisão para tamanho de partículas acima de 4,8 mm.

Sem dúvida, esta é a alternativa que apresentou maior eficiência na separação de impurezas de gesso e madeira. Entretanto, é necessário avaliar se, para RCD que possui baixo valor agregado, este sistema se mostra viável economicamente.

3.4 Separação por jig

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos com a separação por jigagem.

Figura 5 – Leito de jigagem (a) Amostra de cada material antes da mistura; (b) Amostra após a mistura, antes da separação; (c) Leito de partículas estratificado após a jigagem



Fonte: Sampaio et al. (2015a)

Pode-se observar que após a estratificação houve maior concentração de concreto na camada inferior (cerca de 80-90%), tijolo na camada do meio (40-60%) e gesso na camada superior (cerca de 60-80%).

Os autores ainda orientam ter um controle da pressão de ar do equipamento durante expansão da camada de partículas, pois pressões

muito elevadas podem tornar o sistema turbulento, influenciando a remistura de partículas.

Através do estudo de Sampaio *et al.* (2015a), foi verificado que é possível utilizar jiques de ar na separação de partículas de gesso, concreto e alvenaria, com partículas de 4 a 20 mm, devido à diferença de densidade das partículas dos materiais. Entretanto, para o uso em usinas de reciclagem, deve-se considerar o custo do equipamento que não é baixo e o fato dele retornar um menor desempenho que a separação por infravermelho.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar os separadores existentes, verifica-se que o classificador gravitacional inercial possui como ponto negativo o baixo desempenho na remoção de partículas leves de maior porte.

Já a separação por sistemas de sopro de ar é uma opção viável, pois utiliza apenas ventiladores instalados para cada granulometria de material, sem sensores de alto custo, conseguindo apresentar uma boa relação custo/benefício.

Com relação à separação por espectrometria de NIR, os estudos mostram que ela permite tratar uma grande quantidade de material, aumentando consideravelmente o rendimento global do processo. Além disso, o material selecionado é de maior qualidade, devido a alta eficiência dos sensores no reconhecimento dos possíveis contaminantes da amostra de RCD. O ponto negativo é o custo, que está elevado principalmente pela alta cotação do Euro.

Por fim, o método de jigagem a ar beneficia os agregados reciclados de RCD, separando os elementos e tornando o material mais homogêneo, facilitando uma produção posterior padronizada e confiável. Os resultados mostram que a jigagem a seco é útil tanto para a estratificação de contaminantes mais leves e duros, o que proporciona uma boa visão para a aplicação industrial (SAMPAIO *et al.*, 2015b). Porém, alguns autores apontam como uma possível desvantagem desse processo a separação imperfeita, devido à proximidade da densidade e à natureza porosa das partículas, levando algumas partículas leves a afundar junto com o produto pesado, além do custo do equipamento.

De maneira geral, as tecnologias de separação de RCD otimizam as etapas de reciclagem nas usinas, pois o material separado terá maior qualidade ao final do processo, tornando a reutilização e o reaproveitamento desses agregados o melhor possível para outras aplicações.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

ARENARE, Diego de S. **Caracterização de amostras de bauxita visando a aplicação de métodos de concentração gravítica**. 2008. 148 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <
<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8DRK92>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 5 jul. 2002. Disponível em: <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>> . Acesso em: 08 ago. 2015.

CITYEQUIP, 2016. Disponível em: WWW.cityequip.com. Acesso em: 03 abr. 2016.

JOHN, Vanderley M.; ANGULO, Sérgio C.; KAHN, Henrique. Controle da qualidade dos agregados de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos a partir de uma ferramenta de caracterização. **Coletânea Habitare- vol.7- Construção e Meio Ambiente**, p.169 – 207, Porto Alegre, 2006. Acesso em: 08 ago. 2015. Disponível em: <
http://www.habitare.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_comp.pdf>.

MANFRINATO, Jair W. De S.; ESGUÍCERO, Fábio J.; MARTINS, Benedito L. Implementação de usina para reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) como ação para o desenvolvimento sustentável -Estudo de caso. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais eletrônicos...**Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008, p.1-12. Disponível em:
<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STP_077_543_10843.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2015.

METSO, 2015. Disponível em:< <http://www.metso.com/>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

MIRANDA, Leonardo F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil**. 2005. 473 f. Tese de Doutorado em Engenharia, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <
http://www.prppg.ufpr.br/ppgcc/sites/www.prppg.ufpr.br/ppgcc/files/documentos/tese_leonardo_miranda.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2015.

MORALES, Gilson; BORGES, Luis Paulo P.; LOPES, Patrícia M.; ZAMAIA, Victor P. A.; ASSUNÇÃO Jr, Vilson G. Da. Técnicas de manejo e gestão adequadas de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil – RCC. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. **Anais eletrônicos...** Londrina: IBEAS, 2011, p.1-11. Disponível em: <
<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/III-003.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

POON, C.S.; YU Ann T.W.; NG L.H. On-site sorting construction and demolition waste in Hong Kong. **Resources, Conservation and Recycling**, v.32, p. 157–172, 2001. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344901000520>>. Acesso em: 31 ago. 2015.

SAMPAIO, Carlos H.; TAVARES, Luis Marcelo M. **Beneficiamento Gravimétrico**. Editora UFRGS, 1ª Edição, 2005.

SAMPAIO, Carlos H.; CAZACLIU, Bogdan; MILTZAREK, Gerson L.; HUCHET, Florian; GUEN, Laurédan le.; PETTER, Carlos O.; PARANHOS, Régis; AMBRÓS, Weslei M.; OLIVEIRA, Marcos S. Gravity concentration of construction and demolition waste materials on air jigs. In: III Progress of Recycling in the Built Environment, 2015, São Paulo. **Proceedings...**São Paulo: RILEM e Escola Politécnica de São Paulo, 2015a.

SAMPAIO, Carlos H.; AMBRÓS, Weslei M.; MIRANDA, Leonardo R.; MILTZAREK, Gerson L.; KRONBAUER, Márcio A. Improve the quality of recycled aggregate concrete by sorting in air jig. In: III Progress of Recycling in the Built Environment, 2015, São Paulo. **Proceedings...**São Paulo: RILEM e Escola Politécnica de São Paulo, 2015 b.

TITECH Inovation in Global Recycling, 2015. Disponível em:< <http://br.titech.com/>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

TOMRA, 2015. Disponível em:< <https://www.tomra.com>>. Acesso em:14 jun. 2015.

XING, Wei-hong; FRAAIJ, Alex; PIETERSEN, Hans; REM, Peter; DIJK, Koen V. The quality improvement of story construction and demolition waste (CDW), **Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.**, v. 19, p.78-80, 2004. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02835068>>. Acesso em: 03 ago. 2015.