



## ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS CLASSE A: AVALIAÇÃO DA RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS

**Patricia P. A. Evangelista (1); Dayana Bastos Costa (2); Viviana Maria Zanta (3)**

(1) Área de Construção Civil – SENAI-BA, Brasil – e-mail: [patriciae@fieb.org.br](mailto:patriciae@fieb.org.br)

(2) Departamento de Construção e Estruturas – Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia,  
Brasil – e-mail: [dayanabcosta@ufba.br](mailto:dayanabcosta@ufba.br)

(3) Departamento de Engenharia Ambiental- Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia,  
Brasil – e-mail: [zanta@ufba.br](mailto:zanta@ufba.br)

### RESUMO

O desenvolvimento industrial e o processo de urbanização promoveram diversos benefícios à vida das populações nas cidades, no entanto trouxeram inúmeros problemas ambientais associados. A indústria da construção civil, apesar de ocupar posição relevante no cenário econômico do País, notadamente nos aspectos da geração de emprego e renda, apresenta-se como um dos segmentos industriais mais críticos no que se refere aos impactos ambientais, sendo o principal gerador de resíduos sólidos da sociedade. Neste aspecto, a realidade da capital baiana é caracterizada pela geração de grande volume de resíduos de construção civil, pelo esgotamento das áreas para recepção dos resíduos gerados pela atividade construtiva, pela inexistência de áreas de transbordo e triagem e de usinas para reciclagem, bem como, pela composição do resíduo de construção com alto potencial de reciclagem. O presente trabalho apresenta a avaliação do processo de reciclagem de resíduos classe A em canteiros de obra, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais. O processo de reciclagem foi estruturado e validado por meio da realização de três estudos de caso de experiência de reciclagem em canteiros de obra de Salvador, utilizando equipamento móvel de britagem. A partir destas experiências, foram desenvolvidos um fluxograma e um procedimento operacional para apoiar a realização da reciclagem nos canteiros, assim como foram gerados parâmetros para avaliação do referido processo, no que se refere a aspectos técnicos, ambientais e econômicos. Com este trabalho foi possível mostrar o potencial da reciclagem em canteiros de obras, como uma alternativa para a destinação dos Resíduos de Construção Civil (RCC), indicando diretrizes que facilitem a adoção desta prática, contribuindo assim para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos de construção.

**Palavras-chave:** Resíduo de construção civil, Reciclagem em canteiro de obras, Resíduo classe A.

## 1 INTRODUÇÃO

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, a Rio-92, demonstrou um aumento do interesse mundial pelo futuro do planeta. Muitos países passaram a valorizar as relações entre desenvolvimento sócio-econômico e modificações no meio ambiente.

Nesta época, não se percebia uma preocupação por parte da indústria da construção civil com os impactos ambientais causados por sua cadeia produtiva, a exemplo do esgotamento dos recursos naturais não renováveis que eram utilizados ao longo de todo o seu processo de produção, nem tão pouco com o destino dado aos resíduos gerados. Entretanto, o setor da construção civil apresenta-se como um dos setores mais críticos no que diz respeito aos impactos ambientais, pois é responsável por cerca de 50% do CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera e quase metade da quantidade dos resíduos sólidos gerados no mundo (JOHN, 2000).

Em Salvador onde é significativa a geração de resíduos sólidos urbanos, o crescimento populacional, o desenvolvimento econômico e a utilização de tecnologias inadequadas têm contribuído para que esta quantidade aumente cada vez mais. Em um momento caracterizado pelo forte aquecimento do setor imobiliário na cidade, torna-se urgente a necessidade de soluções para a destinação dos resíduos de construção civil (RCC) frente ao cenário restrito de alternativas no município para este fim.

Na capital baiana, os RCC geridos pelo poder público representam quase a metade do resíduo sólido urbano (RSU) e correspondem à geração diária, de aproximadamente, 2.300t (LIMPURB, 2006). O volume de geração dos RCC no município é muito maior que o dado apresentado considerando que este não inclui os resíduos manejados pela iniciativa privada.

A reciclagem, em diversos estudos e por diversos especialistas, é citada como uma alternativa para redução da quantidade de resíduos dispostos nos aterros, além de ser uma proposta sustentável para destinação dos RCC. Apesar desta unanimidade, poucas são as iniciativas públicas e privadas na adoção desta prática. São pontuais as legislações municipais específicas sobre o tema, as ações de estímulo a utilização dos agregados reciclados em obras públicas e privadas, a implantação de usinas de reciclagem e a prática desta nos canteiros de obra, refletindo-se na falta de informações consistentes sobre o volume de agregado reciclado gerado no país.

Apesar das iniciativas públicas locais como o Projeto de Gestão Diferenciada do Entulho da Empresa de Limpeza Urbana do Salvador (LIMPURB) e a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2002, específica para o setor da construção civil, ainda é muito pequena a quantidade de empresas de construção civil da capital baiana que realizam a gestão eficiente dos resíduos em seus canteiros.

Menor ainda é o reaproveitamento e a reciclagem. A segregação, o acondicionamento e a disposição final qualificada dos resíduos ainda não são realizados de forma adequada e integrada às atividades produtivas dos canteiros da maior parte do Brasil (LORDÉLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007).

Muitos são os estudos relacionados à caracterização do resíduo de construção de obras e dos agregados reciclados, assim como suas possíveis aplicações em materiais de construção com desempenho similar ao dos agregados naturais (LEITE, 2001; VIEIRA; DAL MOLIN, 2004; TENÓRIO et al., 2008). Existe também norma técnica (NBR 15.116) que trata da utilização do agregado reciclado em pavimentação e na produção de concretos sem função estrutural (ABNT, 2004). Porém, são poucos os estudos acerca do processo de reciclagem nos canteiros com uma análise mais ampla de sua gestão.

Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido dando continuidade ao Projeto de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil: Redução, Reciclagem e Reutilização como Alternativa Sustentável para Gestão dos Resíduos Classe A, financiado pelo Departamento Nacional do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI-DN), com a participação dos estados de Sergipe, Bahia, Pernambuco e Ceará. A partir deste projeto foi adquirido equipamento móvel de britagem visando desenvolver pesquisa acerca da reciclagem dos RCC em canteiros de obras e a aplicação dos agregados reciclados em materiais de construção. Este equipamento foi utilizado ao longo deste trabalho.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da reciclagem de resíduos classe A em canteiros de obras.

## 3 METODOLOGIA

Este trabalho foi estruturado em quatro etapas. A primeira envolveu uma revisão bibliográfica sobre o tema. Na segunda etapa, foram realizados dois estudos de caso para proposição da sistemática de reciclagem no canteiro, incluindo a identificação do melhor fluxo de atividades, a observação da interação deste processo com o andamento da obra, o levantamento de parâmetros para o dimensionamento da equipe, a identificação de possíveis aplicações para o agregado reciclado no canteiro e a análise de fatores intervenientes facilitadores ou dificultadores do processo. Na terceira etapa foi realizado um estudo de caso para validação da sistemática proposta. Na última etapa foi realizada uma avaliação global dos resultados encontrados nos aspectos econômico e ambiental. As características das obras selecionadas para os estudos de caso estão apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 - Perfil das empresas dos estudos de caso

PERFIL DAS EMPRESAS – ESTUDOS DE CASO				
Obra	Porte	Tipo de obra	Área Construída	Fase da obra
1	Médio	Multipavimentos residencial	10.000 m <sup>2</sup>	Alvenaria e revestimento
2	Grande	Unidades habitacionais	43.359 m <sup>2</sup>	Estrutura e revestimento
3	Grande	Condomínio residencial vertical de alto padrão com 18 torres	320.000 m <sup>2</sup>	Estrutura e alvenaria

Em todos os estudos de caso foi utilizado equipamento móvel de britagem (britador de mandíbulas - modelo URM 2015 do fabricante Fragnine). Este equipamento é dotado de britador de mandíbulas e sistema de peneiramento com possibilidade do uso simultâneo de duas peneiras das cinco disponíveis (4,8 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 19 mm e 25 mm), além de dois vibradores elétricos que permitem o deslocamento do agregado britado nas referidas peneiras. A utilização simultânea de duas peneiras permite a geração de agregados miúdos e graúdos em diversas granulometrias. O equipamento móvel tem peso total aproximado de três toneladas e na produção de agregados para a construção civil a produtividade máxima deste equipamento é estimada em 2,5 m<sup>3</sup> por hora.

Os estudos de caso foram realizados com base no fluxo e atividades detalhados na figura 1.



Figura 1 – Fluxo de Atividades dos Estudos de Caso

A avaliação técnica dos materiais produzidos foi realizada comparando o desempenho dos materiais produzidos com agregados reciclados com aqueles produzidos com os agregados naturais, tomando-se como referência os padrões normativos e pesquisas existentes para cada tipo de material. O produto considerado mais adequado foi aquele que utilizou o maior percentual de agregado reciclado, mantidos os padrões de desempenho requeridos. Os produtos aprovados foram aplicados nas obras.

Quanto à avaliação econômica foi realizado levantamento dos custos do agregado natural, do bota fora de RCC e dos custos associados à produção do agregado reciclado (mão-de-obra direta, equipamentos, manutenção e energia). Com estes dados calculou-se o indicador de ganho econômico do processo por  $m^3$ . Foi levantado ainda o investimento realizado para estruturar o processo de reciclagem no canteiro, assim como o tempo de retorno para recuperação do referido investimento e o ganho econômico a partir deste momento.

Na avaliação ambiental foram considerados os aspectos qualitativos relacionados, que contemplam desde a preservação dos recursos naturais não renováveis até a redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado dos RCC. Esta análise foi feita, tendo como referência a quantidade total de resíduos processados e o volume de agregados reciclados utilizado.

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Este item apresenta os resultados obtidos com o Estudo de Caso 3 visando exemplificar a proposta de avaliação e sistematização do processo de reciclagem em canteiros de obras.

### **4.1 Definições Iniciais do Processo de Reciclagem na Obra**

O Estudo de Caso 3 foi realizado na obra 3, conforme características apresentadas no quadro 1. Este estudo foi realizado no período de julho a outubro de 2009.

A possibilidade da reciclagem dos resíduos classe A no próprio canteiro mostrou-se como uma excelente alternativa para a destinação responsável dos resíduos nesta obra. A decisão foi tomada pelos gestores do empreendimento, considerando o porte da obra, o processo construtivo e materiais utilizados, as dificuldades identificadas para a destinação dos RCC em Salvador e a própria filosofia sustentável da empresa.

No diagnóstico inicial foi identificado que a empresa não possuía nenhuma sistemática para gestão dos RCC no canteiro. Desta forma, foi necessário o estabelecimento de uma estratégia para a segregação dos resíduos classe A nos locais onde ele fosse gerado (por torre) e a estruturação de uma central de reciclagem para onde o resíduo segregado deveria ser enviado. A estratégia inicial foi a instalação da central de reciclagem próxima a central de concreto para aproveitamento do resíduo desta fonte.

Foi definida pela direção da obra a equipe responsável pela reciclagem no canteiro, sendo a mesma constituída pelo engenheiro responsável pela obra da área externa (clube e vias), um estagiário de engenharia e três operários para operação do britador, alimentação da máquina e coleta e armazenamento do agregado reciclado.

### **4.2 Estruturação do Processo de Reciclagem**

Na estruturação do processo de reciclagem, foram preparadas as áreas para instalação do equipamento de britagem, segregação dos resíduos classe A e armazenamento do agregado reciclado, conforme figura 2. A máquina foi posicionada em base regularizada em nível abaixo do local de segregação do resíduo classe A para facilitar sua alimentação. A mesma altura do caixão de alimentação foi montada a central de operação da máquina, permitindo ao operário responsável o acompanhamento do processo e identificação de possíveis problemas durante a britagem. Foi construída, próximo ao caixão de alimentação do britador, uma caixa com a dimensão de  $2m^3$ , que foi usada como referência de volume para medir a produtividade do equipamento.

No primeiro momento, foi priorizado o resíduo gerado pela central de concreto, que em função da grande dimensão das placas, passava por uma etapa de redução das suas dimensões por meio de

rompimento por martelete com um operário extra (figura 3). Em paralelo foram construídas baías para armazenamento dos agregados reciclados nas três granulometrias geradas.



Figura 2 - Central de Reciclagem



Figura 3 - Resíduo classe A

Em função da uniformidade do resíduo, oriundo da central de concreto, a determinação da caracterização gravimétrica foi realizada de forma visual, pois observou-se que o resíduo tinha predominância, em mais de 95%, de restos de concreto.

A empresa optou pela produção de agregados reciclados miúdos (uso da peneira do britador de 4,8 mm) e graúdo (uso da peneira do britador 12,5 mm). Foram priorizadas a utilização do agregado reciclado em graute e concreto magro para a construção das áreas de vivência. Também foi utilizado, na regularização de pavimentos, o agregado graúdo misto com granulometria superior a 12,5 mm.

No dia 11 de agosto de 2009 foi realizada a britagem piloto, que foi iniciada após o treinamento dos operários para a operação do equipamento de britagem e para o correto monitoramento do processo. Em caráter de teste, foram britados 2m<sup>3</sup> de resíduo classe A e identificadas possíveis melhorias no processo. Após este estudo, foi dada continuidade ao processo de britagem e seu monitoramento, enquanto as amostras dos agregados reciclados, nas granulometrias geradas, foram encaminhadas para o laboratório contratado pela empresa construtora (figuras 4, 5 e 6).

#### 4.3 Monitoramento do Processo de Reciclagem na Obra

O monitoramento do processo de reciclagem foi analisado em ciclos de quatro semanas, de modo a avaliar a evolução e as dificuldades do processo, conforme mostra a tabela 1.

O primeiro ciclo foi considerado como período de avaliação da reciclagem no canteiro, sendo que o monitoramento do processo de reciclagem estava sendo aprimorado. Neste ciclo foram identificadas inconsistências nos dados coletados pelos operários. A estratégia utilizada para melhorar a qualidade desta coleta foi designação por parte da empresa de um apontador, pelo prazo de quatro semanas, para monitorar continuamente o processo. Este apontador ainda tinha a função de capacitar o servente responsável pela operação e alimentação do britador, para a coleta adequada de dados.



Agregado miúdo reciclado



Agregado graúdo reciclado



Agregado graúdo misto

Figuras 4, 5 e 6 – Granulometrias do agregado reciclado

Uma das dificuldades no processo de britagem foi a grande dimensão do resíduo a ser britado, oriundo na usina de concretagem. A atividade extra de redução das dimensões do resíduo foi realizada durante todo estudo e influenciou diretamente na produtividade global do processo e nos custos associados.

Tabela 1 – Indicadores do processo de reciclagem no canteiro

Período	Volume total de resíduo (m <sup>3</sup> )	Agregado Reciclado (volume m <sup>3</sup> )				Vol. de agregado/ Vol. de resíduo	Produtividade do equipamento <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /hora)	Produtividade global do processo <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /hora)
		Miúdo	Graúdo	Graúdo misto	Vol. total de agreg. reciclado (m <sup>3</sup> )			
Ciclo 1 (1 <sup>a</sup> a 4 <sup>a</sup> sem)	57	15,7	12,9	26,0	54,7	0,96	1,2	0,50
Ciclo 2 (5 <sup>a</sup> a 8 <sup>a</sup> sem)	96	16,8	19,3	43,3	79,3	0,83	1,8	0,50
Ciclo 3 (8 <sup>a</sup> a 12 <sup>a</sup> sem)	86	14,0	14,7	39,0	67,6	0,78	2,2	0,75
Ciclo 4 (13 <sup>a</sup> a 16 <sup>a</sup> sem)	138	22,08	22,08	66,24	110,4	0,80	2,0	1,00

<sup>1</sup> Produtividade do equipamento: relação entre a quantidade de resíduo britado (2m<sup>3</sup>) num determinado tempo (h).

<sup>2</sup> Produtividade global do processo de reciclagem: relação entre a quantidade total de resíduo britado e o tempo útil de trabalho em um dia (8h). Está incluído o tempo de preparação da reciclagem, tempo de processamento do resíduo pelo equipamento, tempo para contagem das caixas e tempo de transporte e armazenamento do agregado reciclado.

No segundo ciclo o processo de reciclagem conseguiu uma significativa melhoria em relação ao primeiro ciclo, tanto na produção (incremento de 68,4% do volume de resíduo britado), quanto na produtividade do equipamento (incremento de 50% de produtividade) (tabela 1). Entretanto, observou-se que o processo ainda possuía grande potencial de melhoria, devido ao longo tempo identificado para a preparação do processo de reciclagem, transporte e armazenamento do agregado reciclado.

No terceiro ciclo, a produção do processo de reciclagem caiu consideravelmente nas três semanas seguintes (11,5% a menos em relação ao segundo ciclo), devido a dificuldades de relacionamento entre os membros da equipe de operação da reciclagem. Por outro lado, observou-se uma maior produtividade do equipamento de reciclagem, alcançando uma média de 2,20m<sup>3</sup>/h e um aumento de 50% na produtividade global. Apesar deste incremento, ainda foram observadas oportunidades de melhoria nesta produtividade global.

No quarto ciclo, foram propostas alterações de configuração do processo de reciclagem visando aumentar a produção e a produtividade global do processo de reciclagem. A proposta foi eliminar o controle rigoroso de saída dos agregados reciclado, reduzindo os tempos para contagem dos volumes produzidos, tornando mais rápido o transporte e o armazenamento. Como consequência desta nova estratégia, eliminou-se o apontador (tarefa que passou a ser realizada pelo servente), reduzindo o custo do processo. Houve ainda um aumento de 28,3% na produção do resíduo e um aumento na produtividade global, passando para 1,00m<sup>3</sup>/hora.

#### 4.4 Caracterização, Produção, Aplicação e Avaliação de Desempenho do Agregado Reciclado

Avaliando as características da fração graúda dos agregados reciclados gerados nesta obra, com base na NBR 15.116 (ABNT, 2004), o agregado foi classificado como agregado de resíduo de concreto (ARC), por possuir mais de 90% da sua fração graúda formada por fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Os agregados reciclados foram caracterizados por um laboratório de tecnologia contratado pela obra e seus resultados foram avaliados tendo como referência os parâmetros estabelecidos na NBR 15.116 (ABNT, 2004). Os resultados obtidos e os referenciais utilizados estão apresentados na tabela 2. É importante ressaltar que o resultado do ensaio de absorção na amostra 2 foi superior ao limite normativo. Entretanto isto não impede o seu uso, especialmente quando misturado com o agregado natural.

A partir dos resultados de caracterização dos agregados, foi encomendado ao laboratório contratado pela empresa construtora o desenvolvimento de traços para confecção de concreto magro e graute com a utilização dos agregados reciclados gerados.

Tabela 2 - Caracterização dos agregados reciclados do Estudo de Caso 3

ENSAIOS	AM 1 <sup>1</sup>		AM 2 <sup>2</sup>		AM 3 <sup>3</sup>	
	Ensaio	Norma <sup>4</sup>	Ensaio	Norma <sup>4</sup>	Ensaio	Norma <sup>4</sup>
Identificação da Amostra	Areia Reciclada		Brita reciclada 12,5 mm		Brita reciclada 31,5 mm	
Módulo de finura (NBR 7211)	3,26	-	5,87	-	7,46	-
Dimensão máxima característica (mm) (NBR 7211)	6,3	-	12,5	-	31,5	-
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> ) (NBR 7251)	1,28	-	1,22	-	1,21	-
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) (NM 52)	2,37	-	-	-	-	-
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) (NM 53)	-	-	2,33	-	2,44	-
Materiais pulverulentos (%) (NM 46)	9,2	15,0	2,0	10,0	0,6	10,0
Coeficiente de inchamento (NBR 6467)	1,20	-				
Absorção de água (%) (NBR NM 53)	-	-	9,0	7,0	6,2	7,0
Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%) (NBR 7218)	0,20	2,0	0,10	2,0	0,2	2,0

<sup>1</sup>agregado miúdo reciclado; <sup>2</sup>agregado graúdo reciclado; <sup>3</sup>agregado graúdo misto reciclado; <sup>4</sup>parâmetros da NBR 15.116 (ABNT, 2004)

A premissa passada ao laboratório consistiu na máxima utilização do agregado reciclado, desde que fossem garantidas as características e padrões de desempenho normativo dos produtos em questão. Os traços propostos e validados pelo laboratório especializado foram consolidados na tabela 3.

Tabela 3 - Traços com agregado reciclado – Estudo de Caso 3

TRAÇOS COM AGREGADO RECICLADO – ESTUDO DE CASO 3			
GRAUTE (16 MPa)			
Material	Traço unitário (em massa)	Massas (kg)	Volumes (litros)
Cimento CP II - Z	1	1 saco = 50 kg	1 saco = 50 kg
Areia natural	1,064	53,2	44,3
Areia reciclada (6,3 mm)	0,456	22,8	19,6
Brita reciclada (12,5 mm)	2,177	108,8	89,2
Água	0,600	30	30
Aditivo Cemix 2000	0,50 %	250 ml	250 ml
GRAUTE (20 MPa)			
Material	Traço unitário (em massa)	Massas (kg)	Volumes (litros)
Cimento CP II - Z	1	1 saco = 50 kg	1 saco = 50 kg
Areia natural	0,917	45,9	38,2
Areia reciclada (6,3 mm)	0,393	19,7	16,9
Brita reciclada (12,5 mm)	1,996	99,8	81,8
Água	0,550	27,5	27,5
Aditivo Cemix 2000	0,50 %	250 ml	250 ml
CONCRETO MAGRO (10 MPa)			
Material	Traço unitário (em massa)	Massas (kg)	Volumes (litros)
Cimento CP II - Z	1	1 saco = 50 kg	1 saco = 50 kg
Areia reciclada (6,3 mm)	2,637	131,9	128,8
Brita reciclada (31,5 mm)	3,327	166,4	137,5
Água	0,820	41,0	41,0

O uso dos materiais com agregado reciclado na obra foi iniciada com a produção de graute de 16 MPa para utilização nos pilares da área de convivência do canteiro. Os agregados miúdos e graúdos reciclados também foram utilizados na regularização de vias de acesso do canteiro de obras, onde seria utilizado agregado natural.

O mesmo laboratório que definiu os traços ensaiou os materiais propostos e os resultados de desempenho mostraram que todos os traços atenderam aos valores mínimos do padrão normativo para o ensaio de resistência à compressão, conforme mostra a tabela 4.

Tabela 4 - Avaliação de desempenho dos materiais

Material	Resistência média à compressão (3 dias)	Resistência média à compressão (7 dias)	Resistência média à compressão (28 dias)
Graute 16 MPa	17,7	20,0	25,6
Graute 20 MPa	18,6	20,8	28,7
Concreto Magro 10 MPa	-	6,1	13,25

#### 4.5 Avaliação Econômica e Ambiental do Processo de Reciclagem

A avaliação econômica foi realizada com base na premissa de ganho econômico do processo de reciclagem no canteiro, por  $m^3$ , que consistiu no valor relativo ao custo do agregado natural ( $m^3$ ), acrescido do valor para bota fora de RCC ( $m^3$ ) e subtraído do custo para produção do agregado reciclado ( $m^3$ ), conforme mostra a figura 7.

$GER (m^3) = CAN (m^3) + CBF (m^3) - CAR (m^3)$
GER - Ganho econômico da reciclagem
CAN - Custo do Agregado Natural
CBF - Custo de Bota Fora do RCC
CAR - Custo do Agregado Reciclado

Figura 7 - Ganho econômico da reciclagem

Os custos do agregado natural e do bota fora foram informados pela própria empresa. O custo para produção do agregado reciclado foi obtido a partir da avaliação do processo de reciclagem nas dezesseis primeiras semanas, considerando as melhorias implantadas. Nesta composição foram considerados os custos de mão-de-obra direta com encargos, equipamentos, energia e manutenção. A composição de custos elaborada para o cálculo dos custos do agregado reciclado podem ser observadas em Evangelista (2009). Vale registrar, que pelo caráter de pesquisa, o equipamento de britagem não gerou custo de locação para a empresa.

Aplicando a fórmula apresentada na figura 6 e segundo os dados coletados na obra, o ganho econômico do processo de reciclagem, no referido estudo de caso, totalizou R\$ 43,82 por  $m^3$  de agregado reciclado, conforme mostra a tabela 5. Em função do porte da obra, dos padrões internos de organização e sinalização, critérios de segurança estabelecidos e configuração do canteiro, foi realizado um investimento significativo pela empresa para implantação da central de britagem. Além disso, a empresa contratou serviços especializados de consultoria e controle tecnológico para apoiar o processo. O investimento para implantação de uma central de reciclagem no canteiro é um item variável que deverá ser avaliado a cada caso.

Para calcular o tempo de retorno do investimento realizado, o valor total do investimento foi dividido pelo ganho econômico unitário, concluindo que seria necessária a geração de, aproximadamente, 358  $m^3$  de agregado reciclado.

Durante os quatro ciclos de reciclagem foram gerados 312  $m^3$  e restaram 45,98 $m^3$  a serem produzidos. Em função do amadurecimento do processo, estima-se que é possível uma produção de 160  $m^3$  de agregado reciclado por mês, restando apenas mais uma semana e meia de britagem pagar o investimento realizado.

A partir do momento da obtenção do retorno do investimento, todo o resultado mensal financeiro, decorrente do volume de agregado reciclado gerado, se configura como retorno econômico. Vale ressaltar que a lógica utilizada nesta análise econômica é comum para a maioria dos casos de reciclagem em canteiros de obras, no entanto, pelo caráter variável de cada empreendimento, faz-se

necessária uma análise criteriosa dos custos associados para cada caso específico, inclusive com eventual locação de equipamento de britagem ou sua aquisição. Ressalta-se que não foram identificados valores de referência para locação de equipamentos similares ao utilizado.

Tabela 5 – Análise Econômica do Estudo de Caso 3

<b>CUSTOS</b>	
Custo do agregado reciclado (m <sup>3</sup> )	R\$ 29,02
Custo do agregado natural (m <sup>3</sup> )	R\$ 52,00
Custo do bota fora (m <sup>3</sup> )	R\$ 20,84
<b>(A) Ganho econômico = CUSTO NATURAL+CUSTO DO BOTAFORA -CUSTO DO AGREGADO RECICLADO</b>	<b>R\$ 43,82</b>
<b>(B) Investimento para estruturar a central de reciclagem (infra-estrutura física + transporte do britador)</b>	<b>R\$ 8.956,90</b>
<b>(C) Contratação de serviços técnicos (consultoria + ensaios laboratoriais)</b>	<b>R\$ 6.730,00</b>
<b>RECUPERAÇÃO DO INVESTIMENTO</b>	
Ganho econômico por m <sup>3</sup> de agregado reciclado (A)	R\$ 43,82
Investimento total realizado (B+C)	R\$ 15.686,90
<b>(D) Volume de agregado a ser reciclado para recuperar investimento realizado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>357,98</b>
(E) Volume de agregado reciclado no mês 1 (m <sup>3</sup> )	54,70
(F) Volume de agregado reciclado no mês 2 (m <sup>3</sup> )	79,30
(G) Volume de agregado reciclado no mês 3 (m <sup>3</sup> )	67,60
(H) Volume de agregado reciclado no mês 4 (m <sup>3</sup> )	110,40
(I) Diferença do volume de agregado a ser reciclado para recuperar investimento (D-E-F) (m <sup>3</sup> )	45,98
(J) Volume estimado de agregado reciclado para os meses subsequentes (m <sup>3</sup> /mês)	160,00
(K) Prazo para complementar a produção de agregado reciclado necessário para recuperar o investimento realizado (meses) (G/H)	0,3
<b>Prazo total de produção de agregado reciclado necessário para recuperar o investimento realizado (meses) (K + 4 meses iniciais)</b>	<b>4,3</b>
<b>RETORNO ECONÔMICO</b>	
<b>Ganho estimado para os meses subsequentes a recuperação do investimento (R\$/mês) (A x J)</b>	<b>R\$ 7.011,27</b>

No aspecto ambiental, nas dezesseis semanas, 312 m<sup>3</sup> de agregado natural deixaram de ser consumidos e 377 m<sup>3</sup> de RCC de obra deixaram de ser destinados a aterros ou dispostos de forma inadequada. É importante destacar que todas as precauções foram tomadas para minimizar os impactos ambientais causados pela geração de particulados e pelo ruído do processo, iniciando pelo adequado estudo de implantação da central de reciclagem. A equipe de segurança do trabalho atuou de forma intensiva para evitar quaisquer danos aos operadores envolvidos, disponibilizando todos os equipamentos de proteção individual necessários.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no trabalho realizado conclui-se pela viabilidade da reciclagem em canteiros de obras. No entanto, é importante ressaltar que diversos aspectos devem ser considerados para o sucesso desta prática, a exemplo da correta segregação dos resíduos classe A, da avaliação técnica dos agregados reciclados e da análise de desempenho dos materiais gerados com estes agregados.

Com base nas experiências estudadas verificou-se que há benefícios econômicos e ambientais decorrentes da prática da reciclagem em canteiros de obras. No aspecto ambiental, um volume significativo de RCC deixou de ser destinado de forma irregular ou de ser enviado para aterro, cerca de 80% deste volume se converteu em agregado reciclado que substituiu a utilização de agregado natural. Foi também promovida à responsabilidade social e ambiental das empresas e dos profissionais envolvidos. No aspecto econômico, apesar do investimento realizado e dos gastos diretos para reciclar o resíduo classe A nos canteiros, foi possível constatar a possibilidade de retorno financeiro decorrente da economia realizada com bota fora e aquisição de agregado natural.

Espera-se com este trabalho que o processo de reciclagem nos canteiros de obras possa ser disseminado e que sua prática seja ampliada como alternativa sustentável para destinação dos resíduos classe A gerados pela atividade construtiva.

## 6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2004
- \_\_\_\_\_. **NBR 15.116**: Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Brasília, DF. Acesso em 13 set. 2004.
- EMPRESA DE LIMPEZA URBANA DO SALVADOR (LIMPURB). **Relatório anual de atividades da LIMPURB – 2006**. Salvador: 2006.
- EVANGELISTA, P. P. A. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos classe A**: diretrizes para reciclagem em canteiros de obras. Salvador, 2009. 152f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia.
- GOONAN, T.G. Recycled Aggregates – profitable resource conservation. **U. S. Geological Survey**. FS-181-99, 2p. 2000. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/fs-0181-99/fs-0181-99so.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2009.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 102 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.
- LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. 270 p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. São Paulo, 2001. 199 p. Tese (Doutorado) Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.
- LORDÉLO, P. M.; EVANGELISTA, P. P. A.; FERRAZ, T. G. A. **Gestão de resíduos na construção civil: redução, reutilização e reciclagem**. Salvador: SENAI-BA, 2007. 86 p.
- MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. São Paulo, 2005. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 189 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.
- SALES, A. T. C.; SANTOS, D. G. Aplicação de agregados reciclados de resíduos de construção em blocos pré-moldados de vedação. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, 2009, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana, 2009.
- SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS (SINDUSCON-MG). **Alternativas Para a Destinação de Resíduos da Construção Civil**. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2006. 80 p.
- TENÓRIO, J. J. L. et al. **Concretos produzidos com agregados de RCD reciclado visando uso estrutural**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.1 CD-ROOM.
- VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**. v. 4, n. 4, p. 47-63. Porto Alegre, 2004.