

## I-018 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ECONÔMICO DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA USINA DE TRIAGEM: UM ESTUDO DE CASO

**Sara Duarte Sacho<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Mestranda em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás (UFG).

**Simone Costa Pfeiffer<sup>(2)</sup>**

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (USP). Professora associada da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG).

**Eraldo Henriques de Carvalho<sup>(3)</sup>**

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (USP). Professor titular da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Universitária, n. 1488 - Setor Leste Universitário, Goiânia – GO. CEP: 74.605-220, Brasil. Tel: +55 (62) 3209-6093 - e-mail: sachosara@hotmail.com

### RESUMO

A grande quantidade de resíduos sólidos gerados pela construção civil vem se tornando uma preocupação crescente. Nesse contexto, a reciclagem dos resíduos Classe A para a produção de agregados surgiu como uma alternativa muito interessante e amplamente utilizada por diversos países. Assim, este trabalho se propôs a analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação e desenvolvimento do processo de reciclagem dos resíduos Classe A da construção civil no mercado goiano. Para tanto, foram coletados dados em uma usina de reciclagem já existente na região. Foi verificado que, embora a usina estudada possuísse uma capacidade instalada para reciclar 8.000 m<sup>3</sup> de resíduos por mês, o que representava algo em torno de 8,6% dos resíduos gerados na região metropolitana de Goiânia, o material reciclado comercializado pela empresa apresentava valor de mercado superior ao do produto tradicional comercializado pelas principais fornecedoras. Essa realidade pode ser explicada pelo fato da empresa estar trabalhando abaixo da sua capacidade instalada, já que esses resíduos eram também recebidos no aterro sanitário do município de Goiânia, além do fato da destinação clandestina dos resíduos em áreas de bota-fora ser uma prática comum no município.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos da construção civil, Reciclagem, Potencial econômico.

### INTRODUÇÃO

A elevada quantidade de resíduos gerados pela indústria da construção civil brasileira evidencia a existência de graves problemas no processo construtivo tradicional adotado pela maioria das construtoras nacionais. Dentre eles destacam-se o desperdício de matéria prima na obra e a destinação clandestina dos resíduos gerados nos conhecidos “bota-fora”. Essa realidade, observada na maioria dos municípios brasileiros, implica em prejuízos econômicos, sociais e ambientais para toda a sociedade (OLIVEIRA, 2008).

Com a publicação da Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), os resíduos da construção civil (assim denominados posteriormente pela Lei 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos) foram oficialmente diferenciados dos resíduos urbanos, tanto na sua classificação, como no seu gerenciamento. Nesta resolução é proposta a classificação dos RCC em quatro classes principais: Classe A (resíduos reutilizáveis como agregados), Classe B (resíduos recicláveis para outras destinações), Classe C (resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis) e Classe D (resíduos perigosos oriundos do processo de construção). Na citada resolução, para os resíduos Classe A são definidas duas destinações possíveis: a reutilização ou reciclagem dos resíduos na forma de agregados, e a reservação em aterro exclusivo, visando seu uso futuro.

De acordo com Ângulo *et al* (2003), o processo de reciclagem dos RCC compreende um conjunto de quatro operações unitárias divididas em triagem, britagem, peneiramento e auxiliares. Os agregados reciclados podem ser utilizados em diversos serviços de engenharia como camadas drenantes, estabilização de solos expansíveis

ou com baixa capacidade de suporte, regularização e cascalhamento de ruas de terra, e pavimentação. Eles também podem ser utilizados na produção de concreto e argamassa para uso em contra-pisos, componentes para alvenaria e infraestrutura urbana como blocos e meios-fios (MOTTA, 2005).

A reciclagem dos RCC vem ganhando cada vez mais atenção do mercado por apresentar diversos benefícios de ordem econômica, ambiental e social, como minimização dos impactos causados pela destinação inadequada, redução no consumo de recursos naturais não renováveis, produção de materiais reciclados com boa qualidade e oportunidade de criação de novos negócios. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade econômica da inserção do produto resultante da reciclagem dos resíduos Classe A da construção civil no contexto do mercado econômico da cidade de Goiânia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no ano de 2015 em uma usina de reciclagem de resíduos Classe A. A seleção da usina foi baseada nos seguintes critérios: estar localizada na Região Metropolitana de Goiânia, possuir licença emitida pelo órgão ambiental competente para a realização das atividades que desempenha; estar em atividade, e se dispor a colaborar com a pesquisa.

Uma vez definido o local da pesquisa, foram realizadas visitas técnicas à usina selecionada, entrevistas com os profissionais envolvidos e solicitados documentos e informações com o objetivo de coletar dados sobre o processo de reciclagem utilizado, referentes a:

- Custos de operação e manutenção da tecnologia;
- Produtividade e quantidade de resíduo reciclado;
- Informações sobre a qualidade e desempenho do produto reciclado;
- Funcionamento da usina;
- Principais fornecedores e clientes;
- Principais dificuldades encontradas no mercado goiano.

Para a determinação da viabilidade econômica do processo de reciclagem estudado foram avaliados o processo de reciclagem em si e a inserção do produto no mercado.

Para a análise do processo de reciclagem, foram considerados fatores como: capacidade de produção instalada, produção atual e custos relacionados, e valor do produto final. O objetivo dessa análise foi identificar a contribuição da empresa como alternativa para o gerenciamento dos RCC gerados no município de Goiânia.

Para a análise do produto reciclado no mercado econômico, foram considerados fatores como: preço do produto reciclado produzido pela usina estudada, preço do produto tradicional produzido pelas principais fornecedoras goianas, e preço do produto tradicional praticado pela Agência Goiana de Transporte e Obras (AGETOP) para o estado de Goiás. O objetivo dessa análise foi comparar o preço do produto reciclado com o preço do produto tradicional no mercado econômico de Goiânia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com informações fornecidas pela Companhia de Urbanização de Goiânia (COMURG), durante o mês de fevereiro de 2015 foram destinadas ao Aterro Municipal de Goiânia 92.588,81 toneladas de resíduos sólidos. Destes, 41.987,62 toneladas eram provenientes das atividades da construção civil. Nesse mês, portanto, os resíduos da construção civil representaram aproximadamente 45% do total de resíduos sólidos destinados ao aterro.

Os RCC, até então recebidos gratuitamente no aterro, eram armazenados em local específico para posteriormente serem utilizados como cobertura para os resíduos sólidos domiciliares ou como sub-base no pátio de manobra.

A empresa em estudo é pioneira na reciclagem de resíduos Classe A na Região Metropolitana de Goiânia e iniciou suas atividades no ano de 2010. Para o funcionamento da usina, a empresa contava com um total de oito funcionários, conforme apresentado no Quadro 1.

**Tabela 1: Quadro de funcionários da empresa.**

ATIVIDADE	NUMERO DE FUNCIONÁRIOS
Gerente	1
Operador de britador	1
Operador de pá carregadeira	1
Ajudantes (triagem manual)	4
Serviços Gerais	1
Total de funcionários	8

De acordo com o responsável, o gasto mensal total da empresa era de R\$ 60.000,00, incluindo todos os gastos da produção e administrativos como aluguel, abastecimento de água, energia, contratação de mão de obra, combustível, entre outros. As atividades na usina aconteciam de segunda a sexta-feira das 08:00 às 18:00 h.

O valor cobrado para o recebimento dos resíduos pela empresa era de R\$ 10,00/m<sup>3</sup> e no momento da entrada dos resíduos na usina, eram emitidas três vias do Controle de Transporte de Resíduos (CTR), sendo a 1º via entregue ao gerador, a 2º via ao transportador e a 3º via ao destinatário, que no caso era a própria usina.

Normalmente, os resíduos entregues à empresa eram misturados com muitos materiais não passíveis de aproveitamento no processo de reciclagem, tais como pedaços de madeira, metais e resíduos orgânicos. Desta forma, era necessário que o resíduo bruto passasse por uma triagem manual para a retirada destes resíduos. Segundo informações fornecidas pelo responsável pela empresa, aproximadamente 20% dos resíduos recebidos eram assim separados e encaminhados para o Aterro Sanitário Municipal de Goiânia, que cobrava uma taxa de R\$ 69,00/tonelada para a disposição final desses resíduos.

Após essa triagem preliminar, os resíduos Classe A eram transportados por uma pá carregadeira até o alimentador e processados de forma a separar o material triturado em quatro granulometrias, produtos finais do processo de reciclagem: rachão, brita 1, pedrisco e, por fim, areia (Figura 1).



**Figura 1: Peneiramento e pilhas de armazenamento temporário dos produtos finais.**

Além dos quatro produtos finais provenientes do processo de reciclagem, havia, ainda, um quinto produto, chamado brita graduada simples, feito a partir da mistura dos outros materiais e bastante comercializado para obras de pavimentação.

A partir dos dados fornecidos pela empresa, foi possível calcular seu lucro mensal utilizando a equação (1).

$$F(x) = Cer.x - Cra.y - Ccf + Ca.a + Cb.b + Cc.c + Cd.d \quad (1)$$

Onde:

- $x$  = quantidade de resíduos recebidos na empresa ( $m^3/mês$ );
- $y$  = quantidade de resíduo recebido que não é reaproveitado no processo de reciclagem, destinados no Aterro Sanitário Municipal ( $t/mês$ );
- $a$  = Quantidade de rachão vendido ( $m^3/mês$ );
- $b$  = Quantidade de brita 1 vendida ( $m^3/mês$ );
- $c$  = Quantidade de pedrisco vendido ( $m^3/mês$ );
- $d$  = Quantidade de areia vendida ( $m^3/mês$ );
- $Cer$  = preço cobrado pela empresa para receber os resíduos (receita) = R\$ 10,00/ $m^3$
- $Cra$  = preço cobrado pelo aterro sanitário municipal para a destinação do resíduo que não pode ser aproveitado no processo de reciclagem (custo) = R\$ 69,00/ton
- $Ccf$  = média do custo fixo mensal total com o funcionamento da empresa (custo) = R\$ 60.000,00/ $mês$
- $Ca$  = preço cobrado pela empresa para a venda de rachão (receita) = R\$ 30,00/ $m^3$
- $Cb$  = preço cobrado pela empresa para a venda de brita 1 (receita) = R\$ 30,00/ $m^3$
- $Cc$  = preço cobrado pela empresa para a venda de pedrisco (receita) = R\$ 30,00/ $m^3$
- $Cd$  = preço cobrado pela empresa para a venda de areia (receita) = R\$ 25,00/ $m^3$

O percentual de resíduos não reaproveitados no processo de reciclagem ( $y$ ) e, portanto, destinados ao Aterro Sanitário municipal, era de 20%. Portanto:

$$y = 0,20*x \quad (2)$$

Para calcular o valor cobrado pelo Aterro Sanitário Municipal para a destinação final dos resíduos não aproveitados no processo de reciclagem (R\$69,00/tonelada) em R\$/ $m^3$ , foi considerada uma densidade do resíduo sólido urbano igual a 230kg/ $m^3$  conforme adotado pelo Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos (IBAM, 2001). Assim:

$$R\$69,00/tonelada = R\$15,87/m^3 \quad (3)$$

A quantidade de produto final do processo de reciclagem era de 80% do resíduo bruto recebido na empresa, então:

$$a + b + c + d = 0,8*x \quad (4)$$

Segundo estimativa feita pelo responsável pela empresa, o rachão representava aproximadamente 30% do produto final produzido, a brita 1 e o pedrisco 25% cada, e a areia 20% do produto final. Nessa estimativa foram consideradas também as porcentagens de cada produto usado para a composição da brita graduada simples. Portanto:

$$a = 0,3*0,8*x = 0,24*x \quad (5)$$

$$b = 0,25*0,8*x = 0,2*x \quad (6)$$

$$c = 0,25*0,8*x = 0,2*x \quad (7)$$

$$d = 0,2*0,8*x = 0,16*x \quad (8)$$

Substituindo as equações (2) a (8) na equação (1), tem-se:

$$F(x) = 10*x - 15,87*0,20*x - 60000 + 30*0,24*x + 30*0,2*x + 30*0,2*x + 25*0,16*x \quad (9)$$

$$F(x) = 30,026*x - 60000 \quad (10)$$

Fazendo  $F(x) = 0$  e sabendo que a capacidade máxima de processamento da usina era de  $8.000 \text{ m}^3$  de resíduos/mês, conclui-se que a empresa só apresentaria lucro quando recebesse mais que  $1.998,27 \text{ m}^3$  de resíduos/mês.

O fato da empresa receber apenas  $800 \text{ m}^3$  de resíduos/mês, quantidade inferior à mínima necessária para que a atividade gerasse lucros para a empresa, pode ser atribuído a um conjunto de fatores, dentre eles o fato do Aterro Sanitário Municipal de Goiânia receber gratuitamente os resíduos Classe A.

Como aproximadamente 20% do resíduo recebido não era reaproveitado no processo de reciclagem (sendo destinado ao aterro sanitário após a triagem), e que o Aterro Sanitário de Goiânia recebeu  $41.987 \text{ m}^3$  de entulho no mês de fevereiro de 2015, considera-se que a usina poderia reduzir aproximadamente 15,24% do entulho destinado ao aterro sanitário municipal, conforme apresentado na equação (11).

$$F(x) = ((0,8*8000)/41987)*100 \quad (11)$$

$$F(x) = 15,24 \%$$

De acordo com o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás (SECIMA, 2014), a região metropolitana de Goiânia era responsável por uma geração estimada de  $3.088,61$  toneladas/dia de resíduos da construção civil, o que representava 39,30% dos resíduos gerados em todo o estado. Nesse contexto, uma usina com a capacidade de produção igual a da empresa avaliada poderia reciclar 6,91 % dos resíduos gerados na região metropolitana de Goiânia, conforme demonstrado na equação (12).

$$f(x) = (0,8*8000/(3088,61*30))*100 \quad (12)$$

$$f(x) = 6,91\%$$

Por fim, para a análise da viabilidade econômica do material reciclado produzido na usina, foi escolhido o produto mais vendido por ela - a brita graduada simples (BGS). Assim, considerando a área amostral da pesquisa, o valor comercial para o produto em questão foi comparado aos praticados pelos principais fornecedores de Goiânia (Tabela 2).

**Tabela 2: Comparação dos preços da brita graduada simples praticados por diferentes fornecedores.**

PRINCIPAIS FORNECEDORES DE BGS EM GOIÂNIA	AGETOP	USINA DE RECICLAGEM
R\$ 28,50/m <sup>3</sup>	R\$ 26,71/m <sup>3</sup>	R\$ 30,00/m <sup>3</sup>

Observando os valores encontrados, percebe-se que o material reciclado comercializado pela usina apresentava valor de mercado superior ao do produto tradicional comercializado pelas principais fornecedoras. Essa realidade provavelmente devia-se ao fato da empresa estar trabalhando abaixo da sua capacidade de gerar lucros. Se a empresa recebesse uma quantidade de resíduos próxima à sua capacidade de produção, o preço final do seu produto com certeza diminuiria.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Embora a usina de reciclagem estudada possuísse uma capacidade de reintroduzir no mercado 15% do entulho até então destinado ao aterro de resíduos urbanos, ela não funcionava com sua capacidade de produção máxima, principalmente porque esses resíduos podiam ser destinados gratuitamente ao aterro municipal de Goiânia, opção economicamente mais atraente para o gerador do resíduo.

Outra grande dificuldade identificada foi a má segregação dos resíduos recebidos na empresa. Após a triagem inicial, aproximadamente 20% do entulho recebido não podia ser reciclado.

Observa-se que a partir do ano de 2017 o aterro sanitário de Goiânia passou a cobrar pelos RCC recebidos no local. Desta forma, o levantamento deverá ser atualizado para que se verifique se este fator alterou as condições identificadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ÂNGULO, S. C.; KAHN, H.; JOHN, V. M.; ULSEN, C. **Metodologia de caracterização de resíduos da construção e demolição.** Seminário de desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil. IBRACON. São Paulo, 2003.
2. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº307, de 05 de julho de 2002.** Brasília, 2002.
3. INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 197 p.
4. MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.** Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
5. OLIVEIRA, G. E.; MENDES, O. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA.** Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2008.
6. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, RECURSOS HIDRICOS, INFRAESTRUTURA, CIDADES E ASSUNTOS METROPOLITANOS (SECIMA). **Plano de Resíduos Sólidos do Estado de Goiás – Versão Preliminar.** Elaboração do panorama geral dos resíduos sólidos 1ª parte. Goiânia, 2014.