



ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO REAPROVEITAMENTO *IN SITU* DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Márcia Santos de Moraes – marcia.moraes.001@acad.pucrs.br
Faculdade de Engenharia (FENG)
Av. Ipiranga, 6681
90619-900 – Porto Alegre – RS

Rodrigo Sebastian Iglesias – rodrigo.iglesias@pucrs.br
Instituto do Petróleo e dos recursos Naturais (IPR)

Victor Kovaski Cescani – victorcescani@yahoo.com.br
Instituto do Petróleo e dos recursos Naturais (IPR)

Resumo: *O setor da construção civil gera grandes impactos ambientais devido ao alto consumo de recursos naturais e à significativa quantidade de resíduos gerados, principalmente os de classe A, os quais podem ser facilmente processados e reutilizados pelo próprio setor. O presente trabalho propõe um novo sistema de gerenciamento desses resíduos, incluindo o processo de trituração no próprio canteiro de obras estudado, e avalia economicamente esta alteração, através do levantamento de custos do sistema atual e do proposto, considerando a redução na compra de brita graduada, graças à sua substituição pelo material reciclado. Por fim, obteve-se um resultado economicamente favorável à substituição do sistema de gerenciamento já empregado, com uma economia de 20,7% dos custos do sistema proposto, através da redução na compra de brita graduada, material convencional proveniente de recurso natural finito.*

Palavras-chave: *Gerenciamento, Resíduos, Reutilização.*

Case study on economic feasibility for *in situ* reuse of waste construction

Abstract: *The civil construction generates high environmental impacts due to large consumption of natural resources and the significant amount of waste residue, especially Class A, which can be easily processed and reused by themselves. This manuscript proposes a new system of management of such residues, including gridding process in the same place where they are generated and economical studies about this change, made by the analysis of costs in the current system compared with the new system. The reduction in the purchase of graded gravel was considered. Finally, satisfactory results for the replacement of the old system of management were obtained, with a 20.7% cost reduction by reducing the use of finite natural resources.*

Keywords: *Management, Residue, Reutilization.*



1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o contínuo processo mundial de urbanização exigem adequações estruturais nas cidades de forma a garantir uma boa qualidade de vida a seus habitantes. Conforme a revisão de 2014 do relatório “Perspectivas da População Mundial” produzida pela Organização das Nações Unidas (2015), de 1950 até 2014 a população urbana mundial aumentou de 746 milhões para cerca de 3,9 bilhões de pessoas. No Brasil, a previsão é de que a população urbana aumente de 174 milhões para 210 milhões do ano de 2015 até 2050. Devido ao aumento das demandas de habitação, infraestrutura e saneamento básico, entre outros, gerados pelo crescimento populacional, a indústria da construção civil sofreu grande aquecimento, ao mesmo tempo em que as cidades enfrentavam o desafio em gerir o ambiente urbano (CASTELO-BRANCO, 2012).

A construção civil, conforme Melo (2001), ocupa um lugar de destaque no panorama econômico mundial por produzir bens materiais duráveis e gerar um grande número de empregos. Conforme Gonçalves (2015), a mesma representou em 2014 cerca de 8,5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, contribuindo com R\$ 470,3 bilhões e empregou mais de 12 milhões de pessoas em todo o país no mesmo ano. Entretanto, as atividades desse setor apresentam um amplo espectro de potenciais impactos ambientais, tanto devido ao consumo de recursos naturais, quanto à significativa quantidade de resíduos gerados (CASTELO-BRANCO, 2012). Apenas nas últimas décadas do século XX, os aspectos ambientais passaram a ser abordados em debates internacionais, incluindo a preocupação ambiental na sociedade (MACHADO JR. et al., 2012).

Dentre os resíduos sólidos urbanos (RSU), há os gerados pela indústria da construção civil (RCC), os quais, conforme Jhon (2000), podem representar até 67% da massa dos RSU. O processamento dos RCC, por sua vez, contribui com a limpeza da cidade e alivia o impacto nos aterros sanitários e lixões. Os resíduos de classe A, como o concreto, cerâmicos, argamassa, areia, pedras, entre outros, podem compor cerca de 74% dos RCC gerados em um canteiro de obras, e são facilmente reciclados, podendo, através da seleção granulométrica, gerar diferentes subprodutos. Estes podem substituir materiais convencionais utilizados pela própria indústria da construção civil. Desta forma, a reciclagem dos resíduos classe A pode, além de diminuir o descarte destes, reduzir o uso de recursos naturais pelo setor (NOVAES; MOURÃO, 2008).

Segundo Pucci (2006), até o ano de 2002 os RCC eram de responsabilidade da administração pública. Entretanto, devido ao grande desenvolvimento da indústria da construção civil, e conseqüentemente do aumento na geração de seus resíduos, surgiu a necessidade de uma lei específica para a gestão dos mesmos. Elaborou-se então a Resolução 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de RCC, regulamentando, inclusive, a responsabilidade do gerador sobre seus resíduos (BRASIL, 2002).

A partir de então, os geradores têm o dever de objetivar a não geração, a redução, reutilização, reciclagem e destinação final correta dos resíduos. Baseado nestas diretrizes, o presente trabalho propõe uma alteração no sistema de gerenciamento de resíduos classe A de uma construtora responsável pela etapa de instalação de um empreendimento de grande porte, com área superior a 78.000m², inserindo o processo de reciclagem destes resíduos no canteiro de obras, através da locação de um triturador portátil. A fim de analisar se esta mudança é economicamente e ambientalmente favorável, os custos envolvidos nos dois sistemas foram comparados, considerando ainda a redução na compra de materiais provenientes de recursos naturais finitos, a partir do reaproveitamento de material obtido com a reciclagem.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Consumo de recursos naturais

O setor da construção civil produz os bens de maiores dimensões físicas do planeta, fato este que justifica o mesmo ser o maior consumidor de recursos naturais de qualquer economia, utilizando de 14 a 50% de todos os recursos extraídos mundialmente, renováveis e não-renováveis (JOHN, 2000).



No Brasil, John (2000) estimou um consumo anual de 210 milhões de toneladas em massa de agregados somente na produção de concretos e argamassas. A Pesquisa Anual da Indústria da Construção, publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2015), levantou o consumo total dos principais tipos de materiais de construção no ano de 2013. Conforme os dados obtidos, as 111.931 empresas ativas na indústria da construção civil consumiam um total de R\$ 74,7 bilhões em materiais, os quais 6,2 bilhões eram gastos apenas com concreto e 5,9 bilhões com cimento.

2.2. Geração de resíduos

A geração de RCC tem sido noticiada com frequência, uma vez que tem se tornado um sério problema urbano, social e econômico. Martins (2012) cita a cadeia da construção civil como a principal geradora de resíduos da economia, uma vez que a mesma é responsável por cerca de 40% dos resíduos gerados pelos diferentes setores econômicos brasileiros. De acordo com os dados apresentados no Relatório de Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (BRASIL, 2012), elaborado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), os RCC têm sido coletados, em uma amostra de 372 municípios brasileiros, no montante de 14.557.939,22 t/ano. Entretanto, conforme o IBGE (2010), apenas 9,7% dos municípios brasileiros possuem alguma forma de processamento dos RCC.

De acordo com o relatório “Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014”, elaborado pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS) do Ministério das Cidades (2016), o qual levantou a massa de resíduos coletados per capita (kg/hab./dia) por região, as regiões mais desenvolvidas economicamente do País, a Sul e a Sudeste, foram as únicas que apresentaram médias inferiores à média nacional de 1,05 kg/hab./dia no ano de 2014, encontrada para um conjunto de 3.636 municípios.

Ainda segundo relatório do IPEA (BRASIL, 2012), no Brasil, os resíduos da construção civil (RCC) podem representar de 50 a 70% da massa dos RSU gerados nas cidades brasileiras. Ambos resíduos sempre foram de responsabilidade da administração pública, a qual agia de forma paliativa sobre os depósitos irregulares de RCC, realizando limpezas e arcando com os custos de mão de obra, transporte e destinação final. Entretanto, esta prática apenas incentivava a continuidade da disposição irregular nas áreas atendidas pela limpeza pública (KARPINSKI, 2009). A partir desta compreensão, o poder público regulamentou, através da Resolução 307 do CONAMA, de 5 de julho de 2002, a mudança na responsabilidade por estes resíduos para seus geradores.

2.3. Perdas e desperdícios

Nas décadas de 70 e 80, havia uma grande demanda imobiliária e baixa concorrência, os empreendimentos eram executados com baixo investimento tecnológico e métodos construtivos antigos. Entretanto, no começo da década de 90, o mercado desaqueceu, exigindo a diminuição dos custos construtivos para que se mantivesse uma taxa de lucro minimamente atrativa (PUCCI, 2006). O Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e a Deutsche *Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ), por exemplo, se uniram a fim de ajudar as empresas a diminuam as taxas de desperdício para se tornarem mais produtivas e competitivas (SENAI; SEBRAE; GTZ, [200-?]).

O conceito de perdas é frequentemente associado unicamente ao desperdício de materiais. No entanto, um volume mínimo de perdas é inevitável e seu volume total é devido a qualquer ineficiência que se reflita no uso de equipamentos, materiais, mão-de-obra ou de capital. Desta forma, as perdas englobam, além do desperdício de materiais, a execução de tarefas desnecessárias que geram custos e não agregam valor, podendo ser eliminadas sem prejudicar o trabalho efetivo (SENAI; SEBRAE; GTZ, [200-?]).

Perdas podem ser originadas desde a fase de planejamento e de projeto, porém, é na fase de execução que há maior visibilidade das perdas, pois as decisões anteriores ganham dimensão física (JOHN, 2000). As perdas podem ser incorporadas à edificação, como, por exemplo, na forma de espessuras excessivas, ou serem retiradas na forma de RCC, aumentando o impacto ambiental, tanto



pelo consumo de material além do necessário, como pela geração de resíduo. (JOHN, 2000; SENAI; SEBRAE; GTZ, [200-?]).

Além disso, deve-se considerar outro fator que influencia as empresas no controle de suas perdas: a Resolução 307 do CONAMA. Esta legislação possui o cunho ambiental de diminuir a deposição final de resíduos e aumentar o reuso e reciclagem, e, tendo passado a responsabilidade sobre os resíduos para seus geradores, a primeira ação das construtoras é a redução da quantidade a ser tratada através da gestão destes resíduos (PUCCI, 2006).

2.4. Aspectos legais

A gestão de resíduos é motivada, acima de tudo, por uma imposição legal, o que torna imprescindível o entendimento dos detalhes da Resolução CONAMA 307, a qual trata especificamente do RCC (PUCCI, 2006). Pela primeira vez, o gerador é considerado responsável pelos seus resíduos gerados. Esta diretriz induziu as empresas da indústria da construção civil não apenas a destinarem corretamente seus resíduos, como também a desenvolverem uma logística na geração, gestão e transporte destes resíduos até seu destino final (PUCCI, 2006).

Os RCC são divididos, conforme a Resolução 307/02 (BRASIL, 2002), em quatro classes:

- Classe A: são os resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação (inclusive solos provenientes de terraplanagem) e de edificações (argamassa, concreto e componentes cerâmicos, como tijolos, blocos e telhas), além de resíduos de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto;
- Classe B: são os resíduos recicláveis passíveis de outras destinações (plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e outros);
- Classe C: são os resíduos para os quais não existem, até o momento, tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- Classe D: são os resíduos perigosos, como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados, bem como telhas ou outros materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Conforme esta legislação, os RCC de classe A devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a aterros específicos para tais, onde poderão ser armazenados para uma futura reutilização ou reciclagem. Posteriormente à Resolução 307/02, o controle sobre os RCC se tornou mais rígido, gerando custos associados a cada tipo de resíduos (KARPINSKI, 2009).

O processo de licenciamento de obras civis se dá conforme a Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997, a qual pode atribuir aos órgãos estaduais e municipais a competência sobre tal processo (BRASIL, 1997). Considerando o caso do canteiro de obras utilizado no presente trabalho, por estar situado dentro dos limites de um único município e apresentar atividades de impacto ambiental local, o licenciamento e a fiscalização deste empreendimento são, então, atribuídos à Secretaria Municipal condizente.

2.5. Gerenciamento de resíduos

A partir do aumento de RSU gerados, a gestão destes resíduos se tornou necessária. De acordo com o modelo básico de gestão de resíduos sólidos, o qual contempla diretrizes, arranjos institucionais, instrumentos legais, mecanismos de financiamento, entre outras questões, estrutura-se então um sistema de gerenciamento. Este sistema, através de princípios de saúde pública, econômicos, de engenharia, de desempenho e de proteção ao meio ambiente, ditará um conjunto de ações técnico-operacionais, apresentando métodos para planejamento e controle da geração, estocagem, coleta, transferência, transporte, processamento e disposição final dos resíduos sólidos (ARAÚJO, 2002; AZAMBUJA, 2002; SCHALCH, 2002).

O gerenciamento dos RCC deve existir para que não ocorra a mistura de diferentes tipos de resíduos, uma vez que, não havendo a devida segregação, podem ser encontrados materiais orgânicos, produtos perigosos como óleos usados, solventes e tintas, além de embalagens que podem

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES



reter água e servir para proliferação de vetores de doenças. Portanto, os RCC dispostos inadequadamente podem contaminar o solo, degradar paisagens e oferecer graves ameaças à saúde pública (KARPINSKI, 2009; BRASIL, 2012).

A Resolução 307 do CONAMA é o modelo básico de gestão dos resíduos gerados pela indústria da construção civil. A partir deste instrumento legal, as construtoras enquadradas como grandes geradoras devem elaborar seus Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC). Estes, por sua vez, devem objetivar, prioritariamente, a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, conforme Art. 4º da Resolução 307 do CONAMA (BRASIL, 2002).

O PGRCC de cada empreendimento em fase de instalação apresenta o planejamento para toda a cadeia logística dos resíduos da construção civil, incluindo uma previsão de geração dos RCC. Essa cadeia pode ser dividida em dois subsistemas de gerenciamento: interno e externo à obra. Cada qual conta com diferentes participantes e possui diferentes etapas (PUCCI, 2006).

Gerenciamento interno à obra

O subsistema interno à obra abrange a geração dos resíduos através de uma atividade específica, a segregação e acondicionamento no local de geração, além do transporte até o ponto de armazenagem na obra para posterior destinação (PUCCI, 2006).

As etapas deste subsistema são de responsabilidade de todos os colaboradores da empresa construtora, porém são atuantes também os funcionários de todas as subempreiteiras contratadas por ela. Por este motivo, as práticas de educação ambiental são essenciais nesta fase, pois a redução da geração de resíduos implica na diminuição do tamanho do problema a ser gerenciado, podendo diminuir a taxa de desperdício de material comprado pela empresa. Além disso, se a segregação dos resíduos não ocorrer no momento de sua geração, a construtora precisará dispensar de mão-de-obra e tempo para que os mesmos sejam posteriormente separados, gerando custos de retrabalho, uma vez que as empresas geradoras devem, perante a lei, realizar a separação de seus resíduos conforme classificação.

Cada resíduo pode ser tratado de forma diferente no canteiro de obras - legalmente não há critérios de como os resíduos devem ser tratados internamente -, podendo a frequência de retirada, por exemplo, depender da quantidade gerada, ou ainda do tamanho do recipiente/local onde é acondicionado temporariamente quando gerado. Ainda assim, a legislação fornece indicações quanto ao processamento dos resíduos, e, a cada alteração da mesma, a metodologia no tratamento e transporte interno pode sofrer alterações.

Gerenciamento externo à obra

Apesar do primeiro subsistema exigir maiores esforços da empresa construtora, esta segunda etapa, externa à obra, se apresenta de forma mais complexa, pois seus diferentes interlocutores podem interferir no sucesso do subsistema quanto ao atendimento da legislação.

Estão compreendidas neste subsistema, as etapas de armazenagem do resíduo na obra para retirada, seu transporte, tratamento e/ou sua disposição final. Um dos principais interlocutores desta fase da cadeia de resíduos são as empresas transportadoras. Conforme Pucci (2006), este setor apresenta uma alta taxa de informalidade e alta rotatividade, fatores que contribuem muito na complexidade do gerenciamento externo à obra.

Outro aspecto que agrega dificuldade ao processo são os locais de destinação dos RCC, uma vez que existem poucas áreas regularizadas e um grande entrave burocrático que desestimula a regularização de áreas ainda ilegais utilizadas como aterro (PUCCI, 2006).

Cabe à construtora contratar empresas removedoras legalizadas e exigir das mesmas que depositem em locais licenciados. Além disso, devem ser priorizados destinos que visem a reciclagem e a reutilização dos resíduos que saem dos canteiros de obra.



2.6. Processamento dos RCC

Conforme dados apresentados por Novaes e Mourão (2008), os resíduos classificados como classe A podem representar cerca de 74% de todos os resíduos gerados em uma obra em fase de construção. Desta forma, são os resíduos com maior significância quando o assunto é o tratamento de RCC. Os resíduos de classe A são passíveis de reciclagem, originando o agregado reciclado através de processo de britagem, os quais podem reduzir a pressão sobre os estoques de brita e areia, recursos naturais finitos (CUNHA; MICELI, 2013).

O segmento da reciclagem dos RCC contribui com a limpeza da cidade e alivia o impacto nos aterros sanitários e lixões, além de possuir retorno social, podendo expandir a geração trabalho e renda. O processo de reciclagem dos resíduos de classe A ocorre em usinas, as quais podem ser fixas ou móveis, e é amplamente estudado pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolições – ABRECON (2013).

São basicamente três etapas que ocorrem nas usinas: alimentação, trituração/britagem e peneiramento. Após a devida segregação dos resíduos conforme sua classificação, o material alimentará a usina e passará por um processo de britagem. Após a trituração, os resíduos se encontram misturados e possuem baixo valor agregado para que sejam vendidos, devendo então passar por um sistema de peneiramento, a fim de separar as frações e classificá-las conforme granulometria. Cada um dos agregados reciclados gerados neste processo (rachão, bica corrida, brita reciclada, pedrisco reciclado ou ainda areia reciclada) possuem diferentes recomendações para aplicações, considerando suas vantagens.

Entretanto, a reciclagem do entulho pode ser realizada por equipamento de baixo custo, no próprio canteiro de obras. No caso de operarem em campo, as construtoras podem aproveitar os agregados reciclados diretamente na obra, em substituição, principalmente, à brita graduada, uma vez que este material é uma mistura de diferentes faixas granulométricas, não sendo preciso realizar o peneiramento. Desta forma, reduz-se a compra de material e elimina-se o custo com transporte e destinação destes resíduos.

3. METODOLOGIA

3.1. Sistema implementado na obra

A partir de uma avaliação do sistema atual de gerenciamento de resíduos classe A do empreendimento estudado, definiram-se as três fontes de custos: mão-de-obra, locação de mini carregadeira e a locação de caçambas para disposição e posterior destinação dos resíduos conforme legislação vigente.

A mão-de-obra consiste em sete funcionários já capacitados, sendo um encarregado e seis serventes, formando a equipe de limpeza da obra, responsáveis pela coleta de todos os resíduos em seus pontos de origem (no caso da calça) e em seus pontos de armazenamento temporário (no caso do metal, madeira, plástico, papel, vidro, dentre outros) dispostos pela obra, como, por exemplo, salas devidamente isoladas e identificadas.

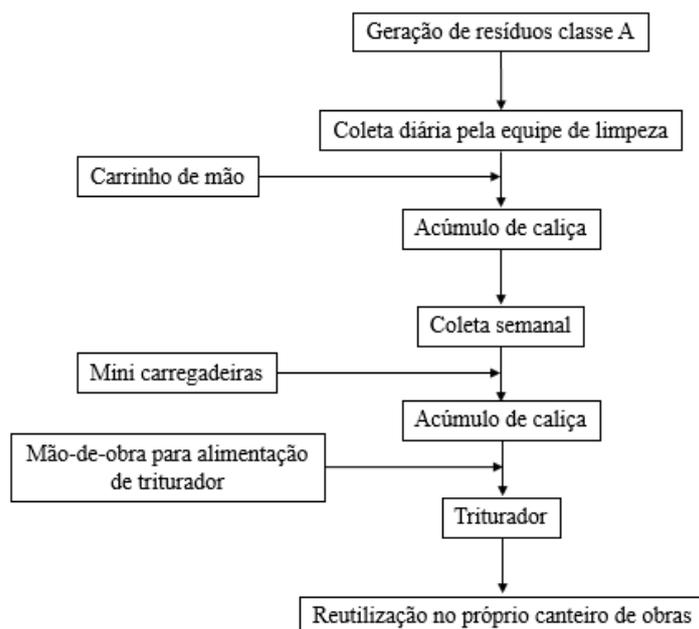
Os custos da mini carregadeira, por sua vez, variam conforme o tempo de uso para este fim, sendo o valor da locação paga por hora, já incluindo os gastos com combustível. No restante do tempo, este equipamento é utilizado pela equipe de produção.

O custo deste sistema no que tange ao gerenciamento externo à obra depende principalmente da quantidade gerada de entulho. Para o cálculo dos custos de transporte, foi considerado uma média de geração mensal destes resíduos a partir do valor estimado do início ao fim da obra, apresentado no PGRCC, elaborado por profissional da área - contratado como consultor de resíduos sólidos - e aprovado pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM), conforme localização do empreendimento.

3.2. Sistema proposto

Objetivando um sistema unicamente interno de gerenciamento de resíduos de classe A, o trabalho em questão propôs a inclusão de um triturador portátil na logística do gerenciamento de caliça, conforme a Figura 1, eliminando os gastos com a locação de caçambas e transporte para o destino final.

Figura 1 – Fluxograma do gerenciamento de resíduos classe A proposto.



A mão-de-obra necessária para a coleta dos resíduos e para a alimentação do triturador é a mesma, sendo necessário apenas um rearranjo na determinação das funções diárias dos funcionários. Ainda se prevê um treinamento básico para a utilização do triturador, não envolvendo custos à construtora, pois o próprio fornecedor aplica o treinamento no momento da entrega do equipamento. Além da mão-de-obra, o custo com a locação da mini carregadeira também se mantém igual.

Para a avaliação dos gastos envolvidos nesta nova configuração, foram consideradas, além das despesas que se mantiveram iguais, outras duas: a locação do triturador e a energia utilizada pelo equipamento. Estes dois custos variam conforme a escolha do modelo de triturador a ser utilizado. A definição deste modelo levou em consideração a disponibilidade de mercado e a capacidade do equipamento, a qual deveria ser próxima, porém superior, à média de geração de resíduos, considerando o tempo de funcionamento do triturador.

A partir da potência do equipamento escolhido e da definição do regime de funcionamento, foi possível calcular o gasto energético do mesmo. Por sua vez, este valor, em kWh, foi utilizado para o cálculo de custos com energia elétrica consumida pelo equipamento, conforme simulação de consumo disponível no site da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) do Rio Grande do Sul.

O fornecedor do equipamento escolhido também apresentou a característica granulométrica do agregado reciclado gerado. Com esta informação, foi possível propor ainda uma aplicação para o material reciclado, em substituição de um material mineral convencional, reduzindo a ordem de compra e, conseqüentemente, o impacto ambiental gerado na extração e transporte destes minérios. Avaliou-se, então, a economia mensal na compra deste material mineral convencional, considerando a estimativa de compra do mesmo para todo o período da obra e a quantidade de agregado reciclado gerado mensalmente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os cálculos dos custos de ambos os sistemas, foi calculada uma média mensal de geração de 65 m³ de resíduos classe A, considerando a estimativa apresentada no PGRCC da obra em questão, de 1300 m³ de calça em um total de 20 meses de construção, conforme cronograma interno.

A Tabela 1 apresenta os dados levantados e calculados dos custos mensais envolvendo o sistema de gerenciamento de resíduos classe A já implementado no canteiro de obras estudado, somando um gasto total de R\$ 16.818,47/mês para a empresa.

Tabela 1 – Custos do sistema de gerenciamento implementado na obra estudada.

Mão-de-obra	Encarregado (R\$/mês)	2.379,17
	Serventes (R\$/mês)	10.599,30
	Custo real total (R\$/mês)	12.978,47
Locação da mini carregadeira	Locação (R\$/hora trabalhada)	65,00
	Horas trabalhadas (horas/mês)	12
	Custo total (R\$/mês)	780,00
Locação de caçambas/ transporte	Locação (R\$/caçamba)	180,00
	Volume da caçamba (m ³ /caçamba)	4
	Média de caçambas locadas (caçamba/mês)	17
	Custo total (R\$/mês)	3060,00
Custo total do sistema implementado (R\$/mês)		16.818,47

Os valores de mão de obra e das locações foram fornecidos pela empresa construtora. Para o custo total mensal da mini carregadeira foi considerado o tempo médio de trabalho da mesma de 3h por semana na coleta dos resíduos em estudo, somando 12h mensais. Apenas a média mensal de caçambas locadas foi calculada, a partir da média de geração de 65 m³ de resíduos dividido pelo volume das caçambas, de 4 m³.

Por sua vez, o levantamento dos custos gerados a partir do sistema proposto teve início com a definição do modelo de triturador a ser utilizado. O equipamento escolhido foi o Mini Triturador de Entulho LEM 220, da marca italiana Komplet, fornecido pela empresa Máquina Solo, localizada na cidade de São Paulo. Este equipamento é portátil, facilmente transportado em qualquer veículo utilitário leve e ideal para pequenas quantidades de material. Através de uma alimentação manual, o britador do tipo mandíbula possui potência de 2,5kW e capacidade de triturar cerca de 2 m³/h de calça, obtendo um agregado reciclado com granulometria de 5 a 30 mm, visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Custos do sistema de gerenciamento proposto.

Mão-de-obra	Custo real total (R\$/mês)	12.978,47
Locação da mini carregadeira	Custo total (R\$/mês)	780,00
Locação de triturador	Custo para locação mensal	7.200,00
Energia gasta pelo triturador	Uso do triturador (horas/mês)	36
	Potência (kW)	2,5
	Consumo Mensal (kWh/mês)	90
	Custo da energia utilizada pelo triturador (R\$/mês)	66,90
Custo total do sistema proposto (R\$/mês)		21.025,37

O valor da locação do triturador escolhido foi consultado junto à empresa fornecedora. Apesar de ser um dos menores equipamentos disponíveis no mercado, sua capacidade de triturar 2 m³/h de caliça é ainda muito superior à média de geração de caliça, de 65m³/mês, ou 0,37 m³/h, considerando 44h semanais de trabalho no canteiro de obras. Desta forma, foi possível definir um tempo de funcionamento do triturador que fosse adequado ao sistema interno da obra. Funcionando 3h por dia, 3 dias por semana (9h semanais), o equipamento pode triturar até 72 m³/mês de caliça. Este regime de funcionamento (36 h/mês) foi utilizado para o cálculo da energia elétrica consumida pelo equipamento (90kWh/mês), resultando num gasto de R\$ 66,90/mês.

É possível notar que o custo mensal do sistema proposto é mais elevado do que o sistema já implementado, porém, deve-se considerar ainda que os 65m³ de caliça a serem triturados, originarão um mesmo volume de material reciclado com uma granulometria de 5 a 30mm, o qual pode ser utilizado como base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, na regularização de vias não pavimentadas (entorno do canteiro de obras), aterros e acerto topográfico do terreno, em substituição à brita graduada, reduzindo a ordem de compra desta. A partir da estimativa de compra de 3.100 m³ de brita graduada até o fim da obra, ou seja, 155 m³/mês, conforme fornecido pela empresa construtora, todo o material oriundo da britagem poderá ser reaproveitado no canteiro. A Tabela 3 apresenta o valor que poderá ser economizado com a substituição do material mineral.

Tabela 3 – Valor economizado com a substituição da brita graduada.

Estimativa de compra da Brita Graduada (m ³ /mês)	155
Geração de agregado reciclado (m ³ /mês)	65
Valor da Brita Graduada (R\$/m ³)	67,00
Valor economizado na compra de agregado (R\$/mês)	4.357,55

O valor da brita foi fornecido também pela construtora, a partir do cobrado pelo fornecedor da mesma. Com esta economia, pode-se comparar os custos dos sistemas na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação final dos valores envolvidos na substituição do sistema de gerenciamento dos RCC classe A.

Custo do sistema implementado (R\$/mês)	16.818,47
Custo do sistema proposto (R\$/mês)	21.025,37
Valor economizado na compra de agregado (R\$/mês)	4.357,55
Economia (R\$/mês)	150,65

Apesar dos custos com o gerenciamento de resíduos Classe A terem aumentado de R\$ 16.818,47/mês no sistema implementado, para R\$ 21.025,37/mês no sistema proposto (um aumento de 25,0%), a empresa construtora poderia economizar 20,7% do custo do sistema proposto - ou ainda 25,9% do custo do sistema implementado – apenas na redução da compra da brita graduada. Desta forma, mesmo tendo uma economia total de apenas 0,9% (R\$ 150,65 /mês), a substituição do sistema implementado é considerada favorável, principalmente no que tange às questões ambientais, uma vez que deixaria-se de utilizar 780 m³/ano, ou ainda 1.300 m³ para todo o período de obra, de materiais novos provenientes de recursos naturais finitos.

5. CONCLUSÕES

Sendo os RCC um grande problema nas cidades, é de suma importância que as empresas responsáveis por estes resíduos passem a se preocupar com a quantidade que será gerada e com a destinação que será dada aos mesmos. Porém, o empresário costuma associar as questões sobre meio ambiente a custos adicionais para sua empresa. Desta forma, as oportunidades para reduzir custos através de iniciativas sustentáveis muitas vezes passam despercebidas.



Este trabalho visou estimular as empresas geradoras de RCC a buscar conhecimento e implementar sistemas de gerenciamento destes resíduos que deem preferência a reutilização dos mesmos, para que seja possível a redução dos descartes que tanto impactam no meio ambiente – o presente trabalho garantiu a reutilização de 1.300 m³ de resíduos classe A para todo o período da obra estudada, consequentemente reduzindo em um mesmo volume o consumo de material proveniente de recursos naturais finitos.

Apesar do resultado obtido ter sido favorável – gerou-se uma economia de 0,9% à construtora –, é possível ainda que sejam obtidos melhores resultados econômicos, através de novos estudos, os quais podem avaliar este sistema com outros modelos de trituradores, ou então que proponham a aquisição definitiva do equipamento no lugar da locação, uma vez que o valor da locação do modelo selecionado neste trabalho é considerado alto.

Ademais, o fornecedor do triturador escolhido neste estudo é da cidade de São Paulo, onde há muito oferta deste tipo de serviço, conforme informação do mesmo. No Rio Grande do Sul, apesar de haver grandes obras que podem oferecer grande demanda para o mercado de locação de equipamentos compactos de reciclagem de resíduos, encontrou-se imensa dificuldade em encontrar algum fornecedor. Desta forma, estudos para avaliação deste mercado podem ser realizados, auxiliando no estímulo às empresas construtoras na implementação de sistemas de gerenciamento de resíduos sustentáveis.

Agradecimentos

Ao meu orientador Rodrigo Sebastian Iglesias, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos. Ao querido amigo Victor Kovaski Cescani, pela sua paciência, compreensão, disponibilidade e imprescindível motivação. Aos meus pais, pelo amor e apoio incondicionais, além de seus esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida e os meus colegas de trabalho, os quais possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1.004**: resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABRECON – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÕES. **Relatório de Pesquisa Setorial 2013**: A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. Paraná: Design Editorial, 2013.

ARAÚJO, Valdete Santos de. **Gestão de resíduos especiais em universidades: estudo de caso da Universidade Federal de São Carlos**. 2002. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

AZAMBUJA, Eloisa Amábile Kurth de. **Proposta de gestão de resíduos sólidos urbanos – análise do caso de Palhoça/SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial da União**. Brasília, 22 dez. 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 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, 17 jul. 2002.

BRASIL. Governo Federal. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**: Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.



CASTELO-BRANCO, Elizabeth. **O Meio Ambiente para as Pequenas Empresas da Construção Civil e suas Práticas de Gestão Ambiental**. 2. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012. 176 p.

CUNHA, Gabriel Nocito Miquelino; MICELI, Vitor Machado. **Análise da viabilidade econômica de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil a partir de sistemas dinâmicos**. 2013. 66 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

GONÇALVES, Robson Ribeiro (Coord.). **Perfil da indústria de materiais de construção**. 2015. [S.l.]: ABRAMAT; FGV, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Tabelas de Resultados. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2013**. Rio de Janeiro, v. 23, p.1-88, 2015.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

KARPINSKI, Luisete Andreis et al. **Gestão Diferenciada de Resíduos da Construção Civil: Uma abordagem ambiental**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2009.

MACHADO JR., Celso et al. **A incorporação da gestão ambiental na estrutura organizacional**. Análise. Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 140-154, maio-ago. 2012.

MARTINS, Flávia Gadêlha. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte – estudos de caso**. 2012. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação e área de Concentração em Engenharia Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

MELO, Maria Bernadete Fernandes Vieira de. **Influência da cultura organizacional no sistema de gestão de segurança e saúde no trabalho em empresas construtoras**. 2001. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico de Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos - 2014**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2016.

NOVAES, Marcos de Vasconcelos; MOURÃO, Carlos Alexandre Martiniano do Amaral. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil**. 2. ed. Fortaleza: Coopercon – Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará, 2008. 100 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, Departamento de Economia e Assuntos Sociais, Divisão de População. **Perspectivas da População Mundial: Revisão de 2014**. Nova York, 2015.

PUCCI, Ricardo Basile. **Logística de resíduos da construção civil atendendo à Resolução Conama 307**. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SCHALCH, Valdir et al. **Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. São Paulo: USP, 2002.

SENAI; SEBRAE; GTZ. **Gestão de Resíduos na Construção Civil: Redução, Reutilização e Reciclagem**. [200-?]