



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

ESTUDO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE USINAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Iuri Jadovski (1); Ângela Borges Masuero (2)

(1) Gerência de Desenvolvimento Urbano – Caixa Econômica Federal – e-mail:
iuri.jadovski@caixa.gov.br

(2) Departamento de Engenharia de Civil, Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – e-mail: bmasuero@cpgec.ufrgs.br

RESUMO

Proposta: A indústria da construção civil é o setor da economia que mais consome materiais naturais, e, também, é uma grande geradora de resíduos. Desta forma, a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) é um instrumento para a redução dos impactos gerados por esta indústria, além de produzir materiais de construção mais baratos. O objetivo deste trabalho é determinar parâmetros para a criação de um aplicativo de cálculo de análise de viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD. **Método de pesquisa/Abordagens:** A metodologia de pesquisa utilizada consistiu em pesquisa para coleta de dados em publicações na literatura técnica, contatos pessoais e visitas às usinas de reciclagem já implantadas nos estados de Minas Gerais e São Paulo. **Resultados:** São apresentados os relatórios de visitas dos municípios pesquisados, as equações de cálculo dos custos de implantação, operação e manutenção, bem como os valores determinados para a quantidade de resíduo gerado, custo de aquisição ou locação do terreno, tamanho da equipe de funcionários, período de depreciação, custo das obras civis, custos de manutenção, dentre outros. **Contribuições/Originalidade:** Construção de planilha eletrônica de cálculo, determinação dos custos de implantação, operação e manutenção, e da viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD.

Palavras-chave: análise de viabilidade econômica; reciclagem; resíduos de construção e demolição.

ABSTRACT

Propose: The civil construction industry is the sector of the economy that more consumes natural materials, and also is a great residues generator. This way, the recycling of construction and demolition waste (CDW) is an instrument for the reduction of the impacts generated by this industry, besides producing cheaper construction materials. The aim of this work is to determine parameters for to create a calculation program for the analysis of economic viability of CDW recycling plant. **Methods:** The research methodology used consisted in research for data collection in publications in literature personal technique, contacts and visits to the implanted plants of recycling already in the states of Minas Gerais and São Paulo. **Findings:** The researched cities visit reports, the equations of costs calculation for implantation, operation, and maintenance are presented, as well as the determined values of the amount of generated residue, cost of land acquisition or location, size of the employees team, period of depreciation, cost of the civil workmanships, maintenance costs, among others. **Originality/value:** Construction of electronic spread sheet of calculation, determination of the implantation costs, operation and maintenance, and economic viability of recycling plant.

Keywords: analysis of economic viability, recycling, construction and demolition residues.

1. INTRODUÇÃO

A deposição irregular de resíduos de construção e demolição (RCD) na malha urbana traz prejuízos à paisagem; causa a obstrução de vias de tráfego e enchentes, devido ao assoreamento dos córregos; propicia a atração de resíduos não inertes e a proliferação de vetores de doenças (PINTO, 2001, p.80). O reaproveitamento de RCD justifica-se pelo aumento da vida útil dos aterros sanitários, pela redução da extração de matérias-primas não-renováveis e do consumo de energia (WILBURN; GOONAN, 1998, p.2, 3 e 6), além de criar postos de trabalho para mão-de-obra com baixa qualificação e produzir materiais de construção com custo mais baixo.

A Resolução 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) prevê a elaboração e implantação pelos municípios dos Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (CC) oriundos de geradores de pequenos volumes e que os grandes geradores incluam os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da CC nos projetos a serem submetidos à aprovação e licenciamento pelos órgãos competentes.

Neste contexto, a viabilidade econômica é fator fundamental para a utilização de determinado produto. Desta forma há a necessidade de trabalhos que identifiquem com rigor os custos de produção de agregados reciclados e a viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD e o objetivo deste artigo é apresentar as visitas técnicas realizadas às diversas usinas de reciclagem de RCD no país e os parâmetros iniciais para o estudo de viabilidade econômica destas usinas.

1.1 Geração de resíduos de construção e demolição

Em algumas cidades brasileiras, 50% dos RCD gerados são provenientes do obras novas, enquanto que as atividades de demolição e manutenção são responsáveis pela outra metade (PINTO, 1999, p.37 e 38). Já na Alemanha e Europa Ocidental a parcela de RCD proveniente de manutenção e demolição de edifícios gira em torno de 70% e o restante provém de atividades de construção (BOSSINK; BROUWERS, 1996, p.56). Nos EUA 92% dos resíduos são provenientes de atividades de demolição, reforma e recuperação e somente 8% de atividades de construção (U.S. ... – EPA, 1998, p.2-11). Lauritzen (1998, p.507) aponta a taxa de geração de RCD na Europa de 0,6 a 0,9 t/hab.ano, enquanto que, no Brasil esta taxa varia de 0,23 t/hab.ano até 0,76 t/hab.ano, com um índice de 150 kg/m² construído e massa específica do RCD de 1,2 t/m³ (PINTO, 1999, p.33, 34 e 42). Para os Estados Unidos, Peng et al. (1997, p.49) apontam o índice de 20 a 30 kg/m² construído ou 500 kg/hab.ano.

2. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada é a mesma adotada por Wilburn e Goonan (1998, p.13), que consistiu em visitas às usinas de reciclagem de RCD instaladas no país, coleta de dados em publicações na literatura técnica e contatos pessoais. O objetivo das visitas técnicas, realizadas em 2004, foi determinar os tipos e quantidades dos equipamentos utilizados e suas características gerais; identificar as variáveis que influenciam a formação de custos e sua importância em relação às demais; determinar a forma de operação e o fluxo de atividades, caracterizando as equipes necessárias para operação e manutenção das usinas, a quantidade e categoria dos profissionais envolvidos e seus salários. Buscou-se estabelecer também como ocorre o gerenciamento dos diversos atores envolvidos no processo, os problemas de entorno e as medidas mitigatórias para diminuição dos danos gerados. Também foram coletados os custos de manutenção e operação das usinas, levantando-se os custos de água, energia elétrica, telefone, transporte de resíduos, terreno e instalações prediais, dentre outros.

Inicialmente realizou-se um levantamento de usinas existentes no país, excetuando-se o Distrito Federal e as regiões Norte e Nordeste. Foram identificados e visitados cinco municípios com usinas de reciclagem em operação contínua ou intermitente, de investimento público ou privado, quais sejam: Belo Horizonte (MG) e São Paulo, Vinhedo, Socorro e Piracicaba no estado de São Paulo. Os municípios que possuem instalações de reciclagem de RCD desativadas são: São José dos Campos, Londrina, Campinas e Ribeirão Preto. A usina de Ribeirão Preto foi visitada pois possui dados de custos do seu funcionamento e a usina de Campinas foi visitada para obter-se informações sobre um investimento privado. No município de São José do Rio Preto a usina de reciclagem estava em fase de implantação, com previsão do início de operação para o segundo semestre de 2005. Outros municípios, tais como, Santo André, São Bernardo do Campo, Jundiaí, Cuiabá, Campo Grande,

Ribeirão Pires, Muriaé e Porto Alegre, já desenvolveram algum tipo de estudo para a implantação ou teriam usinas de reciclagem de RCD implantadas. Porém, verificou-se que estes municípios não possuem este tipo de usinas implantadas. Também foram pesquisados fabricantes de equipamentos de britagem com a finalidade de levantar-se dados sobre aquisição, operação e manutenção destes equipamentos e de usinas de reciclagem. Foram identificados e visitados três fabricantes no município de São Paulo, um em Piracicaba, um em Limeira, um em Araraquara, todos no estado de São Paulo, e mais um em Novo Hamburgo (RS). Maiores informações sobre as visitas técnicas podem ser acessadas na dissertação de mestrado do autor deste artigo (JADOVSKI, 2005).

2.1 Visita Belo Horizonte

O município de Belo Horizonte tem uma população de 2.350.000 habitantes e são recolhidos 4.000 t/dia de resíduos sólidos urbanos, sendo que os RCD representam de 34 a 45% do total, em massa. O sistema de gestão de RCD compreende 22 URPV's (unidade de recebimento de pequenos volumes) e duas usinas de reciclagem instaladas. As usinas de Estoril e Pampulha têm capacidade de 15 t/h e 30 t/h, respectivamente e são compostas de calha vibratória, britador de impacto e correia transportadora. O material produzido é utilizado em base e sub-base de pavimentação. Cada URPV possui uma área de aproximadamente 300 m², aonde são entregues volumes de até 2 m³ de RCD, podas e móveis usados, que são dispostos diretamente em containers específicos. Do material recebido, 27% destina-se à reciclagem e 73% destina-se ao aterro sanitário. Estima-se que existam 10.000 carroceiros na cidade de Belo Horizonte, sendo que estão cadastrados apenas mil carroceiros. Nas URPV's, é disponibilizado ao carroceiro um serviço de apoio (banheiro, telefone e apoio veterinário). Estes serviços têm a finalidade de transformar o carroceiro em um agente de limpeza urbana, com a qualificação de trabalho e geração de renda, evitando que deposite resíduos irregularmente.

Com a finalidade de evitar a presença de poeira no pátio da usina é aspergida água na entrada das usinas de Estoril e Pampulha e em diversos pontos internos de tráfego e há também uma barreira vegetal para evitar a sua proliferação para a vizinhança. Ao chegar na usina, o caminhão com resíduos passa por um controle visual de impurezas, admitindo-se no máximo 10% de materiais estranhos ao RCD – classe A. A caçamba é descarregada no pátio, o material é espalhado com o auxílio de uma pá carregadeira e uma equipe de 8 homens realiza a separação dos materiais indesejados, tais como, matéria orgânica, gesso, papéis, papelão, plásticos e metais. Peças maiores de 30 cm são quebradas com marretas. O material então é carregado no alimentador vibratório, britado e estocado. A equipe de operação prevista inicialmente para cada usina era de oito funcionários. No entanto, cada equipe atua na realidade com 14 funcionários. As peças de desgaste do britador de impacto são trocadas em um período de 4 meses e as correias dos motores a cada 3 meses. A Usina de Estoril possui uma área de 8.000 m² e a Usina da Pampulha 12.000 m². Cada usina possui área construída aproximada de 100 m².

O projeto original previa um total de quatro usinas de reciclagem de RCD, sendo que duas já foram instaladas, com um custo de implantação (valores históricos) de R\$ 35.000,00 em 1994 (Estoril) e R\$ 50.000,00 em 1996 (Pampulha). Também está em estudo a criação de áreas de triagem e transbordo (ATT). Com a criação destas áreas pode ser viável a implantação de usinas móveis de reciclagem. A terceira usina de reciclagem estava em fase de contratação em 2004, sendo instalada junto ao aterro sanitário localizado na BR-040 e equipada com britador de mandíbula seguido de peneiras e rebritador cônico, com custo de implantação de R\$ 330.000,00. O britador de mandíbulas foi escolhido em virtude de ter maior vida útil, ser mais resistente e mais indicado para a produção de agregados para concreto, entretanto, exige maior cuidado para evitar-se danos ao equipamento com a presença de materiais estranhos como madeira e metais. Em 1996, o município de Belo Horizonte reciclava 16.000 toneladas de RCD e no ano de 2003 reciclagem 116.000 toneladas de RCD. Os custos de operação e manutenção, em julho de 2003, eram de aproximadamente R\$ 45.000,00. O custo médio de operação de uma URPV é de R\$ 4.300,00, base julho/03 (SERVIÇO... – SLU/PMBH, 2004).

2.2 Visita São Paulo

O município de São Paulo (SP) tem uma população de 10.838.000 habitantes e são recolhidas 5.000 t/dia de RCD, sendo que metade é recolhida pela municipalidade e os outros 50% são destinados para duas áreas de transbordo e ao aterro de Itaquera, o qual já atingiu sua capacidade máxima. Estima-se uma geração total de 17.000 t/dia de RCD. Em 1999 foram identificados 500 pontos crônicos de

deposição irregular no município. No ano de 2003 foram gastos 44 milhões de reais para remoção de RCD. Está prevista a implantação de 96 áreas de Ecopontos, que se assemelham às URPV's de Belo Horizonte, para receber volumes até 1 m³. O custo estimado para implantação de cada ecoponto é de 30 a 40 mil reais. Existem cinco áreas privadas em processo de licenciamento para implantação de Áreas de Triagem e Transbordo. Estima-se que exista um total de 700 caçambeiros no município de São Paulo, dos quais apenas 559 são cadastrados. No entanto apenas 363 empresas estão com o cadastro válido, sendo responsáveis por 13.163 caçambas. O custo da caçamba para coleta de RCD na cidade de São Paulo varia entre R\$ 50,00 e R\$ 90,00 (DEPARTAMENTO... – LIMPURB, 2004). O município de São Paulo possui uma usina de reciclagem desativada, sendo que a sua operação estava em processo de licitação, composta de alimentador vibratório, britador de impacto de 120 t/h, transportadores de correia e conjunto de peneiramento de quatro decks, instalada junto ao aterro de Itaquera. Estima-se o custo de operação da recicladora em R\$ 6,00/t e o custo de deposição em aterro sanitário em R\$ 10,00/t. Está prevista a criação de três novos aterros na cidade de São Paulo.

No município de São Paulo também há uma usina privada de reciclagem de RCD composta de um britador de mandíbulas, com capacidade de 15 t/h, uma esteira e uma peneira rotativa, instalada em uma área de 4.000 m². O custo total de implantação foi de R\$ 90.000,00, em 2003. O preço de venda da brita é de R\$ 12,50/m³, enquanto que o agregado natural no mercado tem preço de R\$ 26,00/m³. A equipe é composta por dez funcionários, sendo dois operadores de caminhão, um apontador, um operador de máquina, um vigia, dois operários separadores de plástico e três operários separadores de sucata ferrosa, papel e PVC. Estes materiais recicláveis são vendidos e o recurso auferido é revertido diretamente para os operários separadores. Para cada 4 m³ de RCD recebidos na estação de triagem são gerados 0,25 m³ de rejeitos que são removidos a um custo de R\$ 80,00 para uma carreta de 17 m³. Para cada caçamba de 4 m³ recebida é cobrada uma taxa de R\$ 25,00. O custo mensal de energia elétrica é de R\$ 400,00 e o aluguel do terreno é de R\$ 1.300,00 (BASE, 2004).

2.3 Visita Campinas

O município de Campinas (SP) tem 1.031.000 habitantes e foi instalada uma usina de reciclagem de RCD privada com capacidade de 25 t/h, em uma área de 1.500 m², inserida em uma área maior degradada de uma antiga olaria, prevendo a sua recuperação, devido a uma solicitação do órgão do meio ambiente para o encerramento das atividades da olaria. Esta usina encontra-se desativada. Segundo Patiri (2004), a usina recebia 250 caçambas/dia captando 3.000 t/dia de RCD. Havia dificuldades na triagem do material e conflitos de interesses entre o operador da usina e os caçambeiros. Foi a primeira área licenciada no município de Campinas para deposição de RCD, cobrando R\$ 8,00/caçamba para o depósito nesta área. O custo da caçamba na cidade de Campinas passou de R\$ 35,00/caçamba para R\$ 70,00/caçamba após a abertura desta área de recebimento. Durante o funcionamento da usina de reciclagem não foi estabelecido o custo de produção do agregado reciclado, sendo vendido à 50% do preço de venda do agregado natural.

2.4 Visita Vinhedo

O município de Vinhedo (SP) tem 50.000 habitantes e possui uma central de reciclagem composta por britador de mandíbula com capacidade de produção de 15 t/h, alimentador vibratório, correia transportadora e peneiras, instalada em uma área de 3.000 m². O custo de aquisição dos equipamentos foi de aproximadamente R\$ 80.000,00, no ano de 2000. A usina recebe 10 caçambas/dia, sendo que no município de Vinhedo o custo é de R\$ 50,00/caçamba. No caso de pequenos geradores de resíduos, a prefeitura realiza a coleta e o transporte até a usina de reciclagem. É feita a separação do material recebido em duas categorias, cerâmico e concreto, sendo produzida areia, brita 0, brita 1 e brita 2 do resíduo de concreto e bica corrida do resíduo cerâmico. A equipe de operação é composta por quatro funcionários, sendo um operador de trator, um operador do britador e dois operários. Em três anos de atividade da usina, a manutenção realizada foi uma troca de mandíbulas e uma troca da correia transportadora. O custo de material da correia transportadora foi de R\$ 71,00/m. A introdução de materiais com ferragem com pequenas dimensões não traz problemas para o funcionamento do equipamento, no entanto, o grande problema enfrentado é a qualidade do resíduo que contém muitas impurezas. O material produzido é vendido a R\$ 12,00/m³, posto obra, para execução de contrapisos e calçadas (SECRETARIA... – SMA, 2004).

2.5 Visita Socorro

O município de Socorro (SP) tem 36.000 habitantes e possui uma usina de reciclagem privada composta por um britador de mandíbulas de 10 t/h com alimentação manual, correia transportadora e peneiras, sendo estes dois últimos equipamentos industrializados pela própria empresa. Esta empresa recolhe em média 6 caçambas/dia de RCD. Possui uma área total de 6.000 m² e área construída de 500 m². A equipe de operação é composta por cinco funcionários. A troca de mandíbulas do britador ocorre a cada quatro meses. O consumo de energia elétrica é 1000 kWh/mês com gastos de R\$ 300/mês e os custos de manutenção de R\$ 200,00/mês à R\$ 300,00/mês. O custo de produção estimado é de R\$ 10,00/m³ à R\$ 10,50/m³, sendo o preço de venda de R\$ 25,00/m³ para a areia reciclada enquanto que o preço de mercado da areia natural é de R\$ 30,00/m³ a R\$ 35,00/m³. São vendidos de 100 à 150 m³/mês. Está sendo implementada a coleta seletiva de RCD, com desconto na caçamba com material triado. O custo de recolhimento é de R\$ 36,00/caçamba para resíduo não triado e de R\$ 25,00/caçamba para resíduo triado. O agregado graúdo reciclado é utilizado como bica corrida para pavimentação e o agregado miúdo reciclado é usado como areia para argamassa de assentamento ou no caso de revestimento, é empregado somente para emboço, pois a execução de reboco com este material apresenta fissuração devido a grande presença de finos (IRMÃOS PRETTO, 2004).

2.6 Visita Piracicaba

O município de Piracicaba tem 355.000 habitantes e tem instalada uma usina de reciclagem de RCD, composta por um britador de mandíbulas com capacidade de 25 t/h e por um rebritador de martelos, além de alimentador vibratório, correias transportadoras e peneiras. A usina de reciclagem está instalada em terreno de aproximadamente 10.000 m² e o custo de aquisição do equipamento foi de R\$ 350.000,00, em 1996. A equipe de produção é composta por quatro funcionários, sendo um operador de retro escavadeira, um operador do britador e dois funcionários na triagem fina do material. Uma primeira triagem é realizada pela cooperativa de catadores em um pátio de transbordo operado pela associação dos transportadores de caçambas, aonde são retirados materiais recicláveis e reaproveitáveis, tais como plásticos, madeiras e metais. O custo da caçamba de tele-entulho no município de Piracicaba varia de R\$ 40,00/caçamba à R\$ 60,00/caçamba. São recebidas diariamente no pátio de transbordo 600 toneladas de RCD e são conduzidas para reciclagem aproximadamente 120 m³/dia. O período de troca dos martelos é de 3 meses, sendo que o custo de cada jogo de martelos é de R\$ 450,00. A usina trabalhou com capacidade máxima nos últimos dezoito meses, apresentando somente agora a necessidade de troca das mandíbulas e das placas de revestimento. (EMPRESA ... – EMDHAP, 2004).

2.7 Visita Ribeirão Preto

O município de Ribeirão Preto tem 542.000 habitantes e atualmente a usina de reciclagem de RCD encontra-se desativada por problemas de vandalismo. Esta usina era composta por um britador de impacto com capacidade de 30 t/h para produção de bica corrida, alimentador vibratório de 40 m³/h, calha metálica, transportador de correia, eletroímã, sistema de contenção de material particulado através de microaspersão e sistema de contenção de ruídos através de mantas antichoque. O investimento realizado em setembro de 1996 foi de R\$ 96.000,00 para as obras civis e R\$ 130.000,00 para aquisição dos equipamentos. Quando em operação, a equipe era composta por 15 funcionários, sendo um encarregado, dois operadores de máquina, sete operários para triagem do material, um faxineiro e quatro vigias, totalizando, em maio de 2003, aproximadamente R\$ 15.000,00 mensais em salários e leis sociais. A cada três meses o jogo de barras era virado, sendo trocado a cada seis meses. Em termos de manutenção, foi trocada uma esteira após três anos de operação e a lubrificação era realizada uma vez por semana. Os custos de manutenção dos equipamentos e instalações eram de R\$ 500,00/mês. O custo de transporte do material reciclável para o centro de triagem era de R\$ 80,00/mês e o custo de disposição dos rejeitos em aterro sanitário era de R\$ 400,00/mês para 100 m³/mês. O terreno aonde está instalada a usina de reciclagem possui 15.000 m² e possui fechamento do perímetro em alambrado e cortina vegetal. A área construída é de 80,00 m² entre escritório, cozinha, sanitário, depósito e guarita (Prefeitura... – PMRP, 2004).

2.8 Considerações Finais Sobre as Visitas Técnicas Realizadas

Após análise dos dados levantados durante as visitas técnicas pode-se resumí-los conforme tabela 1.

Tabela 1 Quadro resumo das visitas técnicas

| ITEM | Unidade | MUNICÍPIOS | | | | | | |
|-------------------|----------------|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------------|
| | | Belo Horizonte | | São Paulo | Vinhedo | Socorro | Piracicaba | Ribeirão Preto |
| | | Estoril | Pampulha | | | | | |
| Tipo de Britador | | Impacto | Impacto | Impacto | Mandíbula | Mandíbula | Mandíbula | Impacto |
| Capacid. Produção | t/h | 15 | 30 | 120 | 15 | | 25 | 30 |
| Custo Aquisição | R\$ | 65.000 | 140.000 | | 80.000 | | 350.000 | 130.000 |
| ano de referência | | 1994 | 1996 | | | | | 1996 |
| Total empregados | | 14 | 14 | 14 | 4 | 5 | 5 | |
| Administração | | 1 | 1 | | | | | |
| Encarregado | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| Op. Britador | | 2 | 2 | 3 | 1 | | 2 | 2 |
| Triagem | | 8 | 8 | 10 | 2 | | 2 | 7 |
| Serv. Gerais | | 2 | 2 | | | | | 1 |
| Área Total | m ² | 8.000 | 12.000 | | | 6.000 | 10.000 | 15.000 |
| Área construída | m ² | 100 | 100 | | | 500 | | 80 |

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Após realizadas as visitas técnicas às Usinas de Reciclagem de RCD, os dados coletados foram analisados e consolidados, observando-se uma grande dispersão dos mesmos. Determinou-se então os custos médios de implantação, operação e manutenção de uma usina de reciclagem de RCD para elaboração de uma planilha eletrônica para análise da viabilidade econômica. A avaliação destes custos está em conformidade com o elencado por outros autores, sendo que outras informações sobre os parâmetros para cálculo utilizados neste trabalho podem ser obtidas em (JADOVSKI, 2005).

3.1 Custos de implantação

O custo de implantação de uma usina de reciclagem de RCD é composto pelos seguintes custos: aquisição de equipamentos (britador, esteiras, peneiras, calhas vibratórias, pá carregadeira, entre outros); aquisição de máquinas e veículos próprios; instalação de equipamentos; aquisição do terreno; obras civis (terraplenagem, administração, guarita, barreira vegetal e obras de contenção).

3.1.1 Custo de Aquisição de Equipamentos

Tabela 2 Preços médios (jan/2005) de aquisição de equipamentos para britagem

| Capacidade de Produção (ton/h) | Alimentador Vibratório | Calha Vibratória | Grelha Vibratória | Britador de Mandíbulas | Rebritador de Mandíbulas | Moinho de Martelo | Britador de Impacto | Peneiras | Correias | |
|-----------------------------------|------------------------|------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|----------|--------------|---------------|
| | | | | | | | | | Bica Corrida | Areia e Brita |
| 20 | 31 | 5 | | 98 | 60 | 30 | 85 | 28 | 23,25 | 62 |
| 30 | 40 | 8 | | 136 | 73,8 | 37 | 95 | 35 | 27,9 | 73,6 |
| 40 | 53 | 9,3 | | 160 | 80 | 50 | 107 | 43 | 31 | 85,25 |
| 50 | 62 | 15 | 32 | 183 | 100 | 75 | 125 | 60,5 | 37,2 | 115,2 |
| 75 | 75 | 16 | 32 | 238 | 120 | 100 | 185 | 78 | 48 | 135,75 |
| 100 | 90 | 18 | 32 | 293 | 120 | 100 | 245 | 95,5 | 56 | 151,5 |

Nota: fonte: informação dos fabricantes.

Os custos médios de aquisição de equipamentos estão apresentados na tabela 2. Estes dados foram obtidos junto à cinco fabricantes de equipamentos através de pesquisa orientada, ou seja sempre considerando o mesmo lay-out de produção e potência dos equipamentos. Os custos coletados incluem o frete até uma distância de 1.000 km da cidade de São Paulo. Para usinas de reciclagem com produção de bica corrida considera-se o custo do alimentador vibratório, britador de impacto e correias transportadoras. Para usinas de reciclagem com produção de agregados para concreto (areia e brita) considera-se o custo do alimentador vibratório, calha vibratória, grelha vibratória, britador de mandíbulas, rebritador de mandíbulas, moinho de martelos, peneiras e correias transportadoras.

3.1.2 Custo de Aquisição de Máquinas e Veículos Próprios

As máquinas e veículos necessários em uma usina de reciclagem de RCD são retro-escavadeira ou pá carregadeira, conforme a capacidade da usina, e caminhão basculante. Estas máquinas e veículos podem ser comprados ou alugados. No caso de serem alugados, o aluguel mensal fará parte dos custos de operação. No caso de aquisição, os custos são: R\$ 165.000,00 para retro-escavadeira, R\$ 295.000,00 para pá carregadeira e R\$125.000,00 para caminhão basculante, conforme pesquisa realizada com fabricantes destes equipamentos.

3.1.3 Custo de Instalação de Equipamentos

Os custos de instalações mecânicas e elétricas de equipamentos obedecem a um percentual do custo de aquisição dos equipamentos, sendo 5% e 10% respectivamente. O custo de obras de terraplenagem e obras de contenção é arbitrado em um percentual de 5% sobre o custo de aquisição dos equipamentos. Estes percentuais foram estipulados conforme levantamento junto aos fabricantes de equipamentos.

3.1.4 Custo de Aquisição do Terreno

A área requerida para instalação da usina de reciclagem foi arbitrada com base nas visitas técnicas realizadas às diversas usinas em atividade, variando em função da capacidade de produção da usina de reciclagem, conforme segue: 10 ton/h – área 5.000 m², 20 ton/h – área 6.500 m², 30 ton/h – área 8.000 m², 40 ton/h – área 10.000 m², 50 ton/h – área 12.000 m², 75 ton/h – área 16.000 m² e 100 ton/h – área 20.000 m². O custo unitário do terreno foi obtido junto ao banco de dados de imóveis do Setor de Avaliações da Caixa Econômica Federal no Rio Grande do Sul, variando de R\$ 20,00/m² a R\$ 40,00/m², em função da população do município e da área requerida.

3.1.5 Custo de Obras Civis

O custo de construção da administração e da guarita prevê a construção de um prédio de 100 m², com custo unitário de 70% do CUB. O custo da barreira vegetal é estimado pelo plantio de uma muda de árvore a cada 2 metros em todo perímetro da usina de reciclagem, com custo unitário de R\$ 3,00.

3.2 Custos de operação

O custo de operação de uma usina de reciclagem de RCD é composto pelos seguintes custos: mão-de-obra própria para operação da usina (salários, leis sociais, benefícios e EPI's); locação de veículos e máquinas (caso não sejam comprados); operação de veículos, máquinas e equipamentos próprios; insumos de produção (água e energia elétrica); despesas administrativas (mão-de-obra administrativa, telefone, vigilância e material de consumo); aluguel do terreno (caso não seja comprado); impostos (PIS/COFINS, ICMS, imposto de renda e contribuição social).

3.2.1 Custo de Mão-de-obra de Produção

A equipe de produção é arbitrada em função da capacidade de produção da usina de reciclagem de RCD. Os salários previstos são os praticados na indústria da construção civil para uma jornada de 44 horas semanais e 22 dias mensais. O custo das leis sociais é de 139,52% sobre os salários. Também estão inclusos os custos de vale-transporte (R\$ 3,10/dia), vale-refeição (R\$ 6,20/dia) e plano de saúde (R\$ 61,00/mês). Estes valores estão apresentados na tabela 3. O custo unitário dos EPI's são os seguintes: calça, R\$ 15,80; jaleco R\$ 15,30; camiseta R\$ 9,00; botina R\$ 26,80; luvas R\$ 4,00; capacete R\$ 5,60; óculos R\$ 6,00; protetor auricular R\$ 2,30.

Tabela 3 Composição da equipe de operação de usinas de reciclagem de RCD

| Capacidade de Produção | EQUIPE DE OPERAÇÃO | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| | Encarregado | Operador de Equipamentos | Auxiliar de Produção |
| até 10 t/h | | | 3 |
| até 30 t/h | | 1 | 4 |
| até 50 t/h | 1 | | 6 |
| até 75 t/h | | | 8 |
| até 100 t/h | | 2 | 10 |
| acima de 100 t/h | | 3 | 12 |
| Salários (R\$/h) | 6,50 | 4,00 | 2,00 |

3.2.2 Custo de Veículos e Máquinas Alugados

Os veículos e máquinas alugados são: caminhão basculante e pá carregadeira (capacidade de produção maior de 30 t/h) ou retro-escavadeira (capacidade de produção menor de 30 t/h), com custos horários de R\$ 20,00/h, R\$ 80,00/h e R\$ 40,00/h, respectivamente, para uma jornada de 968 horas mensais.

3.2.3 Custo de Operação de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios

Os salários do operador e motorista são de R\$ 4,00/h e incluem leis sociais, benefícios e EPI's. O consumo de combustível é de 16 litros/h para a pá carregadeira e de 8 litros/hora para a retro-escavadeira. O deslocamento previsto do caminhão varia de 1.000 km até 2.500 km, de acordo com a capacidade de produção da usina. O custo do óleo diesel é de R\$ 1,70/litro. O custo de licenciamento e seguro do caminhão é de R\$ 1.125,00/mês.

3.2.4 Custo dos Insumos de Produção

O consumo de água é função da capacidade de produção da usina e seu valor unitário é R\$ 5,60/m³. O consumo de energia elétrica é dado em função dos equipamentos instalados conforme a capacidade de produção da usina e a finalidade do agregado produzido e seu custo unitário é de R\$ 0,40/kW.hora.

3.2.5 Custo de Despesas Administrativas

O custo de mão-de-obra administrativa prevê um funcionário com salário mensal de três salários mínimos, incluindo leis sociais e benefícios. Os custos de telefone e material de consumo foram apropriados conforme levantamento efetuado nas usinas de reciclagem de Belo Horizonte, tendo um custo fixo mensal médio de R\$ 160,00/mês e R\$ 410,00/mês respectivamente. O custo de vigilância prevê um vigilante 24 horas por dia, 7 dias por semana, representando um custo de R\$ 5.419,00/mês.

3.2.6 Custo de Aluguel do Terreno

No caso do terreno não ser adquirido está previsto uma taxa de aluguel do terreno com custo unitário mensal de R\$ 0,35/m².mês, multiplicado pela área requerida para instalação da usina de reciclagem.

3.2.7 Custo de Impostos

São considerados os seguintes impostos: PIS/COFINS (3,65%), ICMS (17%), imposto de renda (15%) e contribuição social (9,00%).

3.3 Custos de manutenção

O custo de manutenção de uma usina de reciclagem de RCD é composto pelos seguintes custos: troca de peças de desgaste; manutenção preventiva dos equipamentos de britagem; manutenção preventiva de máquinas e veículos próprios; manutenção corretiva; depreciação de equipamentos; depreciação de máquinas e veículos próprios; manutenção das obras civis, terraplenagem e contenções; depreciação das obras civis.

3.3.1 Custo de Troca de Peças de Desgaste

O custo de troca das peças de desgaste foi calculado com base no custo unitário das peças de desgaste e na durabilidade destas peças, conforme levantamento efetuado junto aos fabricantes de equipamentos, apresentando os seguintes valores por tonelada de agregado produzido: alimentador

vibratório R\$ 0,008/t; grelha vibratória R\$ 0,008/t; britador de mandíbulas R\$ 0,083/t; rebritador de mandíbulas R\$ 0,058/t; moinho de martelo R\$ 0,145/t; britador de impacto R\$ 0,143/t; peneiras R\$ 0,051/t; correia transportadora R\$ 0,007/t.

3.3.2 Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem

O custo de manutenção preventiva dos equipamentos de britagem foi calculado com base na mão-de-obra mensal necessária para troca das peças de desgaste, lubrificação e manutenção geral dos equipamentos, conforme levantamento efetivado junto à cinco fabricantes de equipamentos, conforme segue: alimentador vibratório 4,75 h; calha vibratória 1,00 h; grelha vibratória 5,00 h; britador de mandíbulas 10,00 h; rebritador de mandíbulas 10,00 h; moinho de martelo 10,00 h; britador de impacto 15,00 h; peneiras 4,25 h; correia transportadora 5,00 h. O valor da hora de manutenção foi arbitrado em R\$ 50,00.

3.3.3 Custo de Manutenção Preventiva das Máquinas e Veículos Próprios

Os custos de manutenção preventiva foram obtidos em entrevistas com fabricantes de páscarregadeiras, retroescavadeiras e caminhões, e com empresários do setor de terraplenagem. O custo de manutenção preventiva das máquinas é função das horas trabalhadas por mês e o custo de manutenção preventiva dos caminhões é função da capacidade de produção da usina de reciclagem. Para uma usina de 40 ton/h os custos mensais de manutenção preventiva são os que seguem: pácarregadeira R\$ 1.565,28, retroescavadeira R\$ 1.392,86 e caminhão R\$ 494,66.

3.3.4 Custo de Manutenção Corretiva

O custo de manutenção corretiva foi arbitrado em R\$ 1.090,00/mês, conforme dados coletados nas usinas de reciclagem de Belo Horizonte.

3.3.5 Custo de Depreciação de Equipamentos

O custo de depreciação dos equipamentos de britagem é calculado de forma linear para um período de 10 anos, de acordo com o indicado por Greco e Arend (1998, p.348) para instalações e maquinários, considerando um valor residual de 10% do custo de aquisição.

3.3.6 Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios

O custo de depreciação das máquinas e veículos próprios é calculado de forma linear para um período de 10 anos, considerando um valor residual de 10% do custo de aquisição destas máquinas e veículos. Conforme Greco e Arend (1998, p.347 e 348), o período de depreciação para veículos de carga é de cinco anos, no entanto, estes autores indicam que pode-se utilizar prazos superiores aos indicados. Conforme levantamento junto aos empresários do setor de terraplenagem, estes equipamentos continuam em serviço, mesmo depois de dez anos, adotando-se então o período de 10 anos.

3.3.7 Custo de Manutenção das Obras Civis, Terraplenagem e Contenções

O custo de manutenção das obras civis é arbitrado como um percentual do custo de implantação das obras civis (1,0% anuais) e o custo de manutenção das obras de terraplenagem e contenções é arbitrado como um percentual do custo de implantação destas obras (5,0 % anuais).

3.3.8 Custo de Depreciação das Obras Civis

O custo de depreciação das obras civis é calculado de forma linear para um período de 20 anos sem valor residual previsto. Segundo Greco e Arend (1998, p.347) o período de depreciação de edifícios e benfeitorias é de 25 anos, no entanto, com a finalidade de adequar o prazo de depreciação com o horizonte de planejamento, adotou-se o prazo de 20 anos, por simplificação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função das visitas técnicas realizadas, verificou-se as diversas realidades em que se encontram as usinas de reciclagem de RCD no país e de acordo com os parâmetros de custos e com a planilha eletrônica desenvolvidos verificou-se viabilidade econômica para usinas de reciclagem de RCD com capacidades a partir de 30 t/h. Além disto, a diferença entre o sucesso e o fracasso na implementação

destas usinas está no planejamento global e na gestão integrada do “sistema RCD” (JADOVSKI, 2005). Os autores agradecem à Caixa Econômica Federal pelo apoio à realização das visitas técnicas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASE. área de transbordo e triagem de resíduos da construção civil, Eng. Caio de Lucca, responsável pela operação da usina de reciclagem de RCD, São Paulo, 2004. Informação verbal.
- BOSSINK, B.A.G.; BROUWERS, H. J. H. Construction waste: quantification and source evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**. Canadá, v.122, n.1, p.55-60, mar. 1996.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002. Seção 1, p. 95-96.
- DEPARTAMENTO DE LIMPEZA URBANA DA PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO – LIMPURB. Responsável Eng. Dan Moche Schneider, 2004. Informação verbal.
- DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA DE PORTO ALEGRE – DMLU. Responsável Eng. Evandro, Porto Alegre, abr. 2004. Informação verbal.
- EMPRESA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL DE PIRACICABA – EMDHAP, Responsável Eng. Edson, Piracicaba, abr. 2004. Informação verbal.
- GRECO, A. L.; AREND, L. R. **Contabilidade**: teoria e prática básicas. 8. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1998.
- IRMÃOS PRETTO. Responsável Diretor João Godoy, Socorro, abr. 2004. Informação verbal.
- JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. 2005. Trabalho de conclusão (mestrado profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2005.
- LAURITZEN, E. K. The global challenge of recycled concrete. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford Pub, 1998, p.506-519.
- PATIRI. Responsável diretor Sr. Rogério Patiri, Campinas, abr. 2004. Informação verbal.
- PENG, C.; SCORPIO, D. E.; KILBERT, C. J. Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. **Construction, Management and Economics**, London, v.15, n.1, p.49-58, 1997.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- PINTO, T. P. Gestão dos resíduos de construção e demolição em áreas urbanas: da ineficiência a um modelo de gestão sustentável. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001. Cap.3, p.76-113.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO – PMRP. Responsável Eng. Helder Barquete Carvalho da Divisão de Obras e Serviços. Ribeirão Preto, abr. 2004. Informação verbal.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DA PREFEITURA MUNICIPAL VINHEDO – SMA. Responsável Sr. Henrique Lopes Neto. Vinhedo, 2004. Informação verbal.
- SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA DA PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE – SLU/PMBH. Responsável Eng. Iacomini, Belo Horizonte, fev. 2004. Informação verbal.
- U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY MUNICIPAL AND INDUSTRIAL SOLID WASTE DIVISION – EPA. Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States. – EPA. PRAIRIE Village, KS: Franklin Associates, June 1998. Report nº EPA530-R-98-010.
- WILBURN, D. R.; GOONAN, T. G. Aggregates from Natural and Recycled Sources: economic assessments for construction applications: a materials flow analysis. **U.S. Geological Survey Circular 1176**. 1998. Disponível em: <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/circulars/c1176/c1176.html>.