VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA USINA DE RECICLAGEM DE ENTULHOS EM GOVERNADOR VALADARES – MG

Gilson Barbosa Athayde Júnior[(1)], Marle José Ferrari Júnior[(1)], Elisa Alves de Paula[(2)], Fabio Roni Borlini[(2)], Mariana Demoner Diniz[(2)], Marconi Oliveira de Almeida[(1)]

[(1)]Professores e [(2)]alunos da Faculdade de Engenharia da Universidade Vale do Rio Doce
Rua Israel Pinheiro, 2000, bairro Universitário,
CEP: 35020-220. Governador Valadares – MG.
Telefone: (33)3279-5048 – Fax: (33) 3279-5117
E-mail: gilson@univale.br

RESUMO

Com o objetivo de se realizar uma análise benefício/custo para uma usina de reciclagem de entulhos que atendesse Governador Valadares, efetuou-se o pré-dimensionamento do empreendimento. A quantidade de entulho gerado em Governador Valadares foi obtida junto à Secretaria Municipal de Obras e Viação, da prefeitura local, enquanto que custos de implantação e operação de uma usina de reciclagem de entulhos foram coletados junto à Secretaria de Limpeza Urbana, da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Adotando-se o valor final de R$ 7,00 para o reciclado de entulho, o empreendimento mostrou-se economicamente viável, com período de retorno de 4,65 anos. Este valor adotado para o reciclado foi o mesmo do agregado de segunda, localmente conhecido como bica-corrida e composto por brita de granulometria variada e pó de pedra, que é utilizado como material de pisos de concreto e base e sub-base para pavimentação de estradas.

ABSTRACT

With the aim of performing a benefit/cost analysis for a building construction rubbish recycling station serving Governador Valadares, its ante-project was worked out. The amount of building construction rubbish which is generated in Governador Valadares was obtained with the Secretaria Municipal de Obras e Viação, from the local city council, while construction and operational costs for such a station was obtained with the Secretaria de Limpeza Urbana, from the Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Considering a final price of R$ 7,00 for the recycled material, the station showed to be a viable option, with a benefit/cost ratio of 4,65 years. This values considered for the recycled material was the same as for the local aggregate known as *bica-corrida* and composed of grit of variable size and stone powder, which is used as material for non-structural concrete and road base and sub-base road pavement.

1 – INTRODUÇÃO

A resolução CONAMA Nº 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, os entulhos. Dentre a várias diretrizes estabelecidas, destacam-se as seguintes: (1) os geradores deverão ter como objetivo prioritário, a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final; (2) a partir de julho de 2004, os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e áreas protegidas por lei; (3) deverá constar no Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, com obrigatoriedade de elaboração pelos municípios e Distrito Federal até janeiro de 2004, o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo.

Dada a importância do assunto e considerando as diretrizes acima mencionadas, professores e alunos concluintes 2003 do curso de engenharia civil da Universidade Vale do Rio Doce – UNIVALE, situada em Governador Valadares, leste de Minas Gerais, desenvolveram estudo de viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de entulho para atender ao referido município.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

Dentre os resíduos sólidos urbanos, um dos que causa grande impacto ambiental é o entulho da construção civil, ou simplesmente entulho. O entulho é oriundo de demolições, reformas e de novas construções e quando são depositados de forma inadequada originam grandes problemas. O entulho é um resíduo de grande massa e volume, ocupando portanto muito espaço nos aterros e locais de descarte clandestinos. Seu transporte, em função não só do volume, mas do peso, torna-se oneroso.

O entulho apresenta como características particulares a predominância de materiais inertes e passíveis de reaproveitamento. A partir de entulhos é possível produzir agregados como areia e brita para uso em pavimentação, contenção de encostas, canalização de córregos e uso em argamassas e concreto.

2.1 – Caracterização quali-quantitativa de entulho

Segundo FIUZA *et* al (2001), em Belo Horizonte, em 1999, a participação percentual dos entulhos em relação aos resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário foi de 48,67%, enquanto os resíduos provenientes da coleta domiciliar e comercial corresponderam a 31,16%. Percebe-se tamanha representatividade dos entulhos perante aos resíduos sólidos urbanos. A Tabela 1 apresenta dados sobre a produção de entulhos para diversas localidades no mundo.

Tabela 1 – Dados de produção de entulhos para diversas localidades

Localidade	Taxa de geração (ton/hab.ano)
Osaka, Japão - 1990	0,45
Massachusetts , EUA - 1986	0,17 a 0,83
República Federal da Alemanha - 1982	0,23
Santo André, SP - 1988/89	0,21
São Paulo, SP - 1992	0,10

Fonte: PINTO *et al*, 1993.

Com relação à caracterização qualitativa, existem alguns trabalhos realizados no Brasil, a exemplo do de CARNEIRO *et al* (2000). Estes autores caracterizaram o entulho bruto gerado na cidade de Salvador, encontrando a seguinte composição: concreto e argamassa (53%), areia (22%), material cerâmico (14%), rochas (5%) e outros (6%). Tais autores encontraram ainda que a massa unitária deste resíduo é de 1156 kg/m^3. A caracterização do entulho reciclado também foi realizada, tendo sido encontrados os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da caracterização do entulho reciclado para a cidade de Salvador

Ensaios		**Materiais**	
		Entulho miúdo	**Entulho graúdo**
Granulometria (% passante)	19 mm	100.00%	98.87%
	9.51 mm	100.00%	70.93%
	4.76 mm	100.00%	50.88%
	2 mm	99.59%	42.54%
	0.42 mm	89.68%	26.55%
	0.074 mm	17.85%	6.03%
	0.03 mm	14.37%	3.8%
	0.021 mm	14.37%	3.4%
	0.015 mm	14.14%	3.1%
	0.0078 mm	13.91%	2.1%
	0.0016 mm	11.59%	1.0%
Limite de liquidez		Não apresentou	-
Limite de plasticidade		Não apresentou	-
Índice de forma		-	2.6
Massa específica (NBR 9937)		-	1.98 g/cm^3
Massa específica (NBR 9776)		2.42 g/cm^3	-
Massa específica (NBR 6509)		2.59 g/cm^3	-
Massa unitária		1.30 g/cm^3	1.07 g/cm^3
Teor de materiais pulverulentos		13.5%	3.3%
Impurezas orgânicas		Mais claro que a solução padrão	Mais claro que a solução padrão
Determinação da absorção		-	9.4%
Teor de cloreto		Pequena quantidade	Pequena quantidade
Teor de nitrato		Ausência	Ausência
Teor de sulfato		Ausência	Ausência

Fonte: CARNEIRO *et al* (2000).

A partir destes resultados, CARNEIRO *et al* (2000) observaram que:

a) O entulho miúdo apresentou ótima distribuição granulométrica para ser utilizado como adição em argamassas e em bases e sub-bases de pavimentos. Além disso, este material também apresentou percentual de argila adequado para a fabricação de tijolos de solo estabilizado com cimento.

b) O entulho graúdo apresentou na sua distribuição granulométrica predominância de pedregulho com significativa fração de areia. O percentual de silte e argila foi bastante baixo, significando que o material tem pouca plasticidade. Estas características favorecem ao bom desempenho do entulho graúdo para utilização em bases e sub-bases de pavimentos.

c) Uma das diferenças mais marcante entre agregado natural e agregado reciclado é a absorção. Foi verificado que entulho reciclado possuía maior quantidade de poros em relação ao agregado natural, sendo necessário o ajuste na produção de materiais de construção em função deste fator.

d) Através do ensaio de teor de nitratos, não foi detectada a presença de gesso. A presença deste material no entulho graúdo e miúdo poderia provocar fenômenos expansivos.

e) Os teores de cloretos detectados no entulho reciclado (graúdo e miúdo) foram similares aos apresentados em agregados naturais, não necessitando, assim, o procedimento de lavagem para retirada de partículas em excesso.

Fica demonstrado assim, baseando-se na literatura disponível sobre o assunto, que a quantidade de entulho gerada nos centros urbanos é bastante representativa e que o entulho é de passividade de reciclagem e aproveitamento na própria construção civil.

3 – METODOLOGIA

3.1- Levantamento da quantidade de entulho gerado em Governador Valadares

O município de Governador Valadares situa-se na região leste do estado de Minas Gerais, a 316 km da capital, Belo Horizonte. Estima-se sua população atual em cerca de 247.131 habitantes (IBGE, 2000).

Dados da caracterização quantitativa do entulho gerado em Governador Valadares foram obtidos junto à Secretaria Municipal de Obras e Viação – SEMOV, da Prefeitura Municipal de Governador Valadares (LANA *et al*, 2001), sendo a geração atual e futura estimada com base no crescimento populacional da cidade, baseada em dados do IBGE.

De acordo com os dados levantados pela SEMOV no período de 21 de julho e 22 de agosto de 2001, foi obtida uma média de 43 caçambas por semana com valores médios de 5.396 kg de entulho por caçamba. Considerando-se 25 dias de operação por mês da usina de reciclagem, chegou-se ao total de 232.028 kg/dia de entulho.

A população de Governador Valadares foi então estimada para o ano de 2001 (ano do levantamento da quantidade de entulho gerada), segundo um modelo aritmético de crescimento, com base em dados populacionais do IBGE mostrados na Figura 1. O valor encontrado para a taxa de crescimento aritmético foi de 3589,5 hab/ano.

Para esta taxa de crescimento, estimou-se a população de Governador Valadares para o ano de 2001, encontrando-se o valor de 250.720 habitantes, resultando numa contribuição *per capita* de 0,925 kg/hab.dia ou 0,338 ton/hab.ano, para melhor comparação com os dados apresentados na Tabela 1.

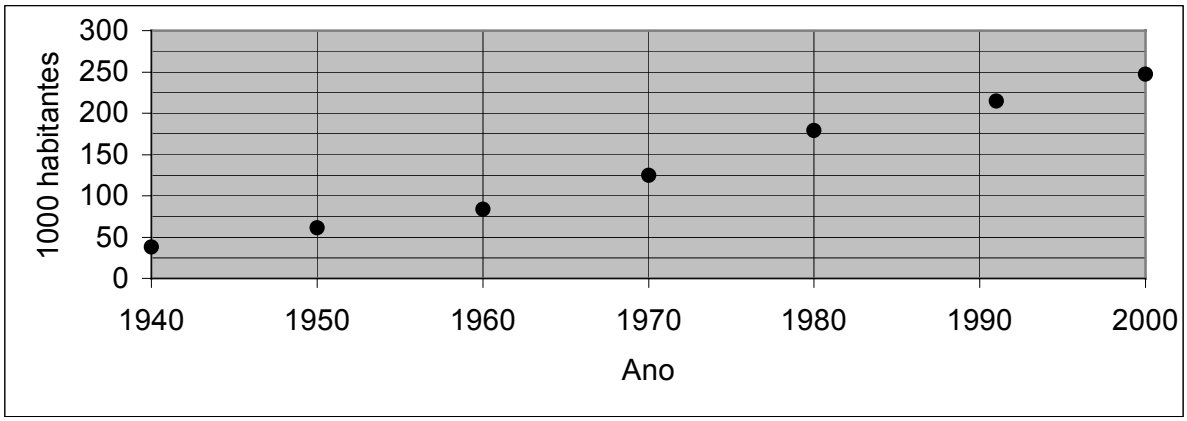

Figura 1 – Crescimento populacional em Governador Valadares – MG (IBGE)

Estimou-se também, a partir da taxa aritmética de crescimento populacional encontrada, a população de Governador Valadares para os anos de 2003 a 2023 (vida útil de 20 anos considerada para o empreendimento). A contribuição *per capita* obtida para 2001 foi considerada constante durante este período de 20 anos para o cálculo da quantidade de entulho gerada ao longo deste período (Tabela 3).

Tabela 3 – Estimativa da população e quantidade de entulho gerado em Governador Valadares

Ano	População (habitantes)	Quantidade de entulho (ton/d)	Quantidade de entulho (m3/d)
2003	257.899	238,6	149,1
2004	261.489	241,9	151,2
2005	265.078	245,1	153,2
2006	268.668	248,4	155,3
2007	272.257	251,7	157,3
2008	275.847	255,0	159,3
2009	279.436	258,2	161,4
2010	283.025	261,5	163,4
2011	286.615	264,8	165,5
2012	290.204	268,1	167,5
2013	293.794	271,3	169,6
2014	297.383	274,6	171,6
2015	300.973	277,9	173,7
2016	304.562	281,2	175,7
2017	308.152	284,4	177,8
2018	311.741	287,7	179,8
2019	315.330	291,0	181,9
2020	318.920	294,3	183,9
2021	322.509	297,5	186,0
2022	326.099	300,8	188,0
2023	329.688	304,1	190,1

Obs.: foi considerado o peso específico médio do material reciclado de 1.600 kg/m³.

3.2 – Custos de implantação e operacionais de uma usina de reciclagem de entulhos

Custos de implantação e operação de uma usina de reciclagem de entulhos foram coletados junto a Secretaria de Limpeza Urbana – SLU, da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, órgão responsável pela operação de duas usinas de reciclagem de entulhos naquela cidade. Uma destas usinas, a de Usina de Reciclagem de Entulhos de Estoril, processa cerca de 300 tonelada de entulho por dia e foi tomada por base para o levantamento dos custos de implantação e operação para o empreendimento ora considerado.

Os salários foram adotados com base nos praticados em Governador Valadares, para outubro de 2003. De acordo com os valores dos salários estipulados, obteve-se um valor mensal de R$ 5.400,00, que adicionado dos encargos sociais de 45,50% e multiplicado por 12 meses, resultou num total anual de R$ 94.284,00. O quadro de pessoal foi definido com base na Usina de Estoril.

Tabela 4 – Custos de implantação de uma usina de reciclagem (outubro de 2003)

Item	Custo(R$)
Pá-carregadeira	200.000,00
Usina de britagem	180.000,00
Área de 11.000 m²	100.000,00
Infra-estrutura	50.000,00
Total	**530.000,00**

Tabela 5 – Despesa mensal com pessoal

Número de funcionários	Cargo operacional	Quantidade de sal. mínimos	Salário (1 salário mínimo = R$ 240,00)
1	Engenheiro Civil	7	1.680,00
1	Secretária	2	480,00
1	Porteiro	1,5	360,00
5	Auxiliar de triagem	1,5	1.800,00
1	Operador de britagem	1,5	360,00
1	Operador de máquina	1,5	360,00
1	Aux. de manutenção	1,5	360,00
Total		**16,5**	**5.400,00**

As despesas operacionais da estação foram as seguintes: energia elétrica, água, combustível para a pá-carregadeira e manutenção da usina.

- Energia elétrica (R$/ano): através de dados fornecidos pela Usina de Reciclagem de Entulho de Estoril, foi encontrada uma média de 9,0133 kWh/mês para cada ton/dia de material processado. Levantou-se a despesa para a situação de Governador Valadares multiplicando-se o consumo acima referido pela taxa da energia local de R$ 0,37 por kWh (valor fornecido pela CEMIG da tarifa para indústria em outubro de 2003), por 12 meses e pela quantidade de entulho estimada para cada ano.

- Água (R$/ano): assim como no caso da energia elétrica, a taxa de consumo também foi fornecida pela Usina de Reciclagem de Entulho do Estoril, sendo este valor de 1,0567 m³/mês para cada tonelada de material processado por dia. Levantou-se a despesa para a situação de Governador Valadares multiplicando-se o consumo acima referido pela taxa da água local de R$ 2,33 por m3 (valor fornecido pelo SAAE-GV para tarifa industrial em outubro de 2003), por 12 meses e pela quantidade de entulho gerada estimada para cada ano.

- Combustível da pá carregadeira (R$/ano): estimado com base em informações do fabricante de 8 litros de óleo diesel por hora, considerando 8 horas de trabalho diário, 25 dias mensais de funcionamento e valor do litro de óleo diesel de R$ 1,35 (outubro de 2003. Da multiplicação de todos esses dados citados por 12 meses teremos um valor anual de R$ 25.920,00.

- Manutenção da usina (R$/ano): R$ 15.000,00, valor este fornecido pela Usina de Reciclagem de Entulho do Estoril.

3.3 – Receita anual

A vida útil do empreendimento foi considerada de 20 anos, iniciando em 2004, com término em 2023. Foi considerado ainda que no ano 1 (2004) não ocorreriam receitas. Inicialmente, a receita bruta anual foi obtida multiplicando-se, para cada ano, a quantidade, em m^3, de entulho gerada no ano pelo valor estabelecido para o m^3 do entulho reciclado. Foi considerado um valor final para o reciclado de entulho de R$ 7,00, sendo este o mesmo valor do agregado de segunda, localmente conhecido como bica-corrida e composto por brita de granulometria variada e pó de pedra, que é utilizado como material de pisos de concreto e base e sub-base para pavimentação de estradas. Para o cálculo da receita anual líquida, subtraiu-se, ano a ano, a receita bruta do total de despesas anuais.

3.4 - Valor presente da receita líquida

Foi calculado o valor presente líquido das receitas através da Eq. (2), ano a ano, considerando uma taxa de juros de 9% a.a., que é geralmente praticada para financiamentos desta natureza.

$$VP_j = \frac{(\mathrm{Re}\,ceita\ Líquida)_j}{(1+i)^t} \tag{2}$$

onde:

VP = Valor presente da receita líquida do ano j
i = Taxa de juros anual de 9%
t = intervalo de tempo, em anos, entre o ano j e o ano 1.

4 - RESULTADOS

Com a soma dos valores presentes líquidos de todos os anos, relativos ao ano 1, e o custo de implantação da usina (Tabela 4), considerado como ocorrido também no ano 1, calculou-se a razão benefício/custo do empreendimento para as duas opções de valor final do reciclado de entulho. Adicionalmente, calculou-se o valor final do m^3 do entulho reciclado que resultaria numa razão benefício/custo igual a 1,00. Além da razão benefício/custo, foi calculado também o período de retorno para cada uma das opções de valor final do reciclado. Tais resultados são apresentados na Tabela 6.

Considerando uma vida útil de 20 anos, percebe-se pela Tabela 6 que o empreendimento é viável para valor final do reciclado de entulho acima de R$ 3,41, valor esta que se encontra muito abaixo do valor do agregado de segunda bica-corrida (R$ 7,00). Considerando o valor final de R$ 7,00 para o reciclado de entulho, encontrou-se razão benefício/custo de 3,24, com período de retorno de 4,65 anos, refletindo os custos prazos para recuperação do capital investido. Vale a pena salientar que em grandes centros urbanos com nas cidades de São Paulo e Brasília, o m^3 de areia pode chegar a R$ 40,00, o que certamente eleva o valor do agregado de segunda.

Tabela 6 – Razão benefício/custo e período de retorno para o empreendimento proposto

Opções de valor final do reciclado	Valor final para o reciclado de entulho (R$/$m^3$)	Razão benefício/custo	Período de retorno (anos)
A	7,00	3,24	4,65
B	3,41	1,00	20,00

5 – CONCLUSÕES

- A proposta de usina de reciclagem de entulho para atender Governador Valadares mostrou-se economicamente viável para valor final do reciclado de entulho acima de R$ 3,41.
- Para um valor final do reciclado de entulho de R$ 7,00 a razão benefício/custo encontrada foi de 3,24, com período de retorno de 4,65 anos.
- Em grandes centros urbanos, onde o valor da areia pode chegar a R$ 40,00, o empreendimento seria ainda mais interessante do ponto de vista econômico.
- Há ainda que se considerar os outros diversos benefícios decorrentes do empreendimento, notadamente os de natureza ambiental, tais como o aumento da vida útil dos aterros e a diminuição da poluição visual.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; COSTA, D. B.; ALBERTE, E. P. V.; SAMPAIO, T. S. *Reciclagem de entulho da região metropolitana de Salvador para a produção de materiais de construção de baixo custo*. In: IX SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Seguro. 2000.

2. FIUZA, S.M.; MAGNI, T.; REGUEIRA, I.S.R. *Projeto para unidades de recolhimento de entulho da construção civil*. In: 21° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa. 2001.

3. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. URL: http://www.ibge.gov.br. 2000.

4. LANA, M.C.C.C; LIMA, N.R.A.; FABIANA, T.F. *Geração de Entulho*. Prefeitura Municipal de Governador Valadares - PMGV, Secretaria Municipal de Obras e Viação - SEMOV. Núcleo de Pesquisas. 26p., set, 2001.

5. PINTO, T. P.; LIMA, J. A. R. *Industrialização de componentes a partir de definição de uma política de reciclagem de resíduos da construção urbana*. In: Simpósio Ibero-Americano sobre Técnicas Construtivas Industrializadas para Habitação de Interesse Social, São Paulo. 1993.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem o apoio da Universidade Vale do Rio Doce ao desenvolvimento do trabalho.