

ANÁLISE EMERGÉTICA DA COLETA SELETIVA DE LIXO EM SÃO PAULO: UMA FERRAMENTA PARA A GESTÃO AMBIENTAL

Eli S. Araujo^(a)

Coordenador de programas
Prefeitura Municipal de Santo André
Praça IV Centenário S/nº
e-mail: esar@terra.com.br

Cecília M.V.B. Almeida^(a)

Biagio F. Giannetti^(a)

Professores Pesquisadores

^(a)Universidade Paulista, Programa de Mestrado em Engenharia de Produção
R. Dr. Bacelar, 1212, CEP 04026-002, São Paulo (SP)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO
2. METODOLOGIA
3. ANÁLISE DOS RESULTADOS
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

RESUMO

Dentre os grandes desafios enfrentados atualmente, esta a questão do que fazer com os resíduos sólidos. Esta questão diz respeito diretamente à administração pública, no que tange a coleta, reutilização e disposição dos resíduos.

Os dados deste trabalho foram obtidos junto ao órgão da administração pública responsável pela coleta e disposição do lixo na cidade de São Paulo. Os resultados foram calculados a partir do estudo emergético do processo de coleta e separação de produtos recicláveis, de uma parte do lixo coletado na cidade. Após o cálculo das emergias de mão de obra, combustível e quantidades de resíduos envolvidas no processo, foi feita uma comparação com as cidades de Siena e Modena. Os resultados sugerem que o processo de reciclagem de materiais na cidade de São Paulo tem um grande potencial para desenvolver-se, podendo aprimorar-se os métodos de coleta e separação, para obter maior eficácia.

PALAVRAS-CHAVE

Energia, análise emergética, transformidade, resíduos sólidos, reciclável, sólidos municipais

1. INTRODUÇÃO

A coleta de resíduos sólidos torna-se a cada dia uma tarefa de grande importância para os administradores públicos. A necessidade de criar normas e políticas destinadas ao gerenciamento da atividade de coleta e disposição dos resíduos, requer dos administradores conhecimentos e ferramentas capazes de auxiliá-los nesta tarefa. A Análise Emergética pode ser uma ferramenta auxiliar para estes administradores, na medida em que pode mostrar o dispêndio de energia na realização das tarefas de coleta e disposição final dos resíduos. Neste artigo faz-se comparações entre as emergias gastas nas coletas de resíduos nas cidades italianas de Modena, Siena (Cidade Nova e Cidade Antiga) e em São Paulo. Considerando as diferenças entre as cidades, nos processos e tecnologias utilizadas. Procura-se avaliar em qual das cidades o gasto emergético é melhor aproveitado.

2. METODOLOGIA

Utilizou-se aqui os conceitos de energia, emergia e transformidade conforme estabelecidos na literatura atual. Para os valores foram obtidas informações sobre a quantidade de lixo coletado na cidade de São Paulo e como é feita esta coleta. Os resíduos na cidade de São Paulo são deixados à porta das residências. A cada dois dias um veículo compactador passa retirando estes resíduos. Em cada veículo vão um motorista e quatro coletores. Os resíduos são apanhados em frente a cada residência e depositados nos veículos compactadores. Os resíduos coletados seguem diferentes caminhos até serem depositados em aterros. Uma parte (55%) é encaminhada diretamente para os aterros. Outra (35%) é levada para uma estação de transbordo onde são utilizados caminhões de maior capacidade em volume. Da estação de transbordo os resíduos são levados para os aterros. As estações de transbordo são utilizadas por uma questão de logística. São uma forma de otimizar e viabilizar a operação de coleta e disposição de resíduos. Existe uma parte de resíduos (2%), composta dos resíduos de serviços de saúde, que é enviada para incineradores. Por fim outra parte (8%) é enviada para estações de compostagem e triagem. A origem dos resíduos destinados à estação de compostagem/triagem é estritamente domiciliar. Nas estações de triagem é feita uma seleção sendo que uma parte dos resíduos é enviada diretamente para os aterros, o que sobra sofre outro processo de triagem mais refinado e, uma parte é direcionada para produção de composto orgânico e outra, formada de produtos recicláveis, será destinada para venda. Este artigo, não trata todo o processo de disposição final dos resíduos coletados na cidade de São Paulo. É centrado na parte de resíduos que é enviada para o processo de compostagem e triagem de produtos recicláveis. Note-se que as porcentagens aqui mostradas, referem-se a um determinado período, no caso, de janeiro de 2002 até dezembro de 2002. No período estudado existiam duas estações de compostagem/triagem, a estação de Vila Leopoldina e a estação de São Mateus. A estação de São Mateus atualmente está desativada. A figura 1 mostra esquematicamente como o fluxo de resíduos ocorre na cidade. A área envolvida pela linha tracejada mostra os processos tratados neste estudo.

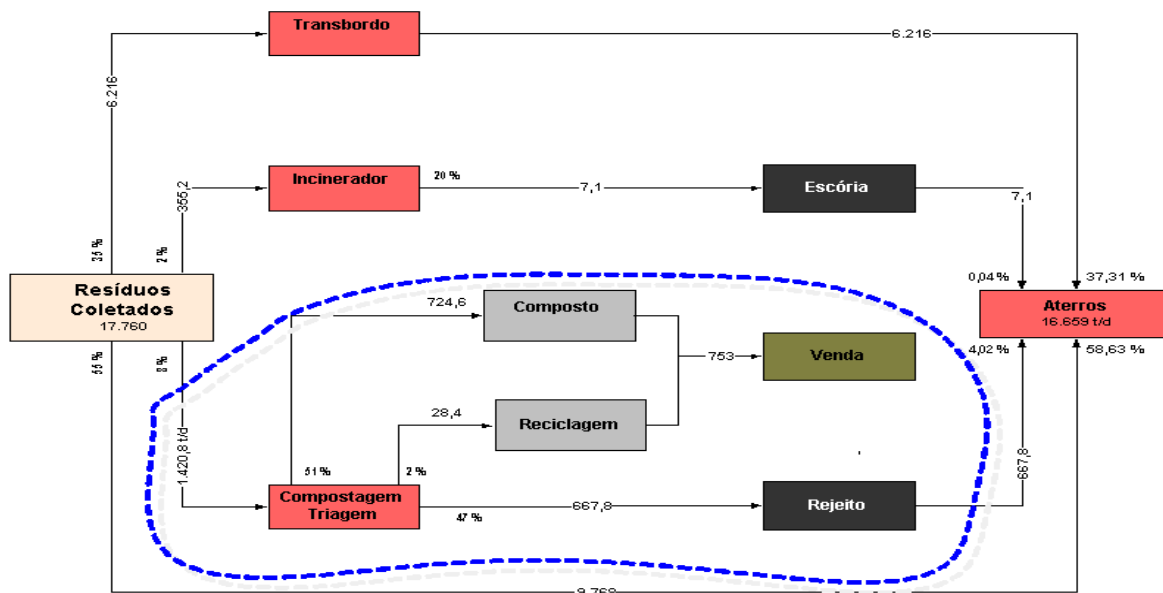


Fig. 1. Fluxo dos resíduos na cidade de São Paulo

As informações referentes à coleta de resíduos em São Paulo, foram obtidas através de entrevistas e relatórios técnicos da LIMPURB, órgão da Secretaria de Serviços e Obras do Município de São Paulo, responsável pela coleta de resíduos na cidade. Os dados referentes à cidade de Siena foram obtidos em F. Luchi e S. Ulgiati [1]. O processo de coleta de resíduos em Siena tem algumas peculiaridades. A cidade é separada em duas partes uma chamada de cidade antiga e a outra de cidade nova. O que as diferencia é a dificuldade na coleta de resíduos, pois a cidade antiga tem ruas estreitas que dificultam o uso de caminhões para a coleta de resíduos. Já a cidade moderna tem ruas mais largas, facilitando assim a coleta de resíduos. Foram identificados três processos independentes de coleta:

- Coleta Seletiva de Papel: Coleta exclusiva de papel
- Coleta Seletiva Multimaterial: Coleta de vidro, plástico e metais.
- Coleta Mista: Material orgânico e uma miscelânea de materiais.

Neste estudo são consideradas as coletas Seletiva de Papel e Seletiva Multimaterial. Os dados referentes à cidade de Modena foram obtidos em Tiezzi, Marchettini [2].

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tabela 1 mostra as transformidades utilizadas para cálculo das energias nas tabelas seguintes, estas transformidades foram obtidas a partir de valores disponíveis na literatura [1-5].

Tab 1. Transformidades dos materiais coletados

Item	Unidade	Energia Por Unidade (seJ/unidade)	Ref.
Papel	g	$1,45 \times 10^8$	1
Vidro	g	$2,16 \times 10^9$	2
Ferro Aço	g	$4,13 \times 10^9$	2
Plástico	g	$5,85 \times 10^9$	2
Latas	g	$4,13 \times 10^9$	2
Alumínio	g	$1,53 \times 10^4$	2
Mão de Obra	J	$7,38 \times 10^6$	3
Combustível	J	$6,60 \times 10^4$	4
Adubo Orgânico	g	$1,27 \times 10^8$	5

A tabela 2 mostra as energias da coleta de resíduos na cidade de São Paulo. Foram calculadas as energias de materiais recicláveis, combustível e mão de obra utilizados na coleta desses materiais.

Tab 2. Fluxos de Energia na Coleta Municipal de Resíduos Em São Paulo, 2002 .

Item	Tipo de Coleta	Unidade	Unidade / Anos	Notas	Energia Por Unidade (seJ/unidade)	Energia Solar/ (seJ/ano)
Papel	Seletiva	g	$2,58 \times 10^9$	1	$1,45 \times 10^8$	$3,741 \times 10^{17}$
Vidro	Seletiva	g	$1,02 \times 10^9$	2	$2,16 \times 10^9$	$22,032 \times 10^{17}$
Ferro e Aço	Seletiva	g	$5,44 \times 10^9$	3	$4,13 \times 10^9$	$224,672 \times 10^{17}$
Plástico	Seletiva	g	$4,99 \times 10^9$	4	$5,85 \times 10^9$	$291,915 \times 10^{17}$
Alumínio	Seletiva	g	$1,54 \times 10^8$	5	$1,25 \times 10^{10}$	$19,250 \times 10^{17}$
Mão de obra	Seletiva	Anos	$4,80 \times 10^1$	6	$2,8 \times 10^{16}$	$13,440 \times 10^{17}$
Combustível	Seletiva	J	$2,24 \times 10^{12}$	7	$6,60 \times 10^4$	$1,478 \times 10^{17}$

Na tabela 3 estão as energias calculadas para a coleta Seletiva de resíduos conforme o processo utilizado em Siena na parte antiga da cidade.

Tab 3. Fluxos de Energia na Coleta Municipal de Resíduos em Siena (Cidade Antiga). Coleta Seletiva, 1997 [5].

Item	Tipo de Coleta	Unidade	Unidade/ Anos	Energia Por Unidade (seJ/unidade)	Energia Solar/ (seJ/ano)
Papel	Seletiva	g	$3,60 \times 10^8$	$1,45 \times 10^8$	$0,522 \times 10^{17}$
Vidro	Seletiva	g	$9,52 \times 10^7$	$2,16 \times 10^9$	$2,056 \times 10^{17}$
Ferro e Aço	Seletiva	g	$5,02 \times 10^8$	$4,13 \times 10^9$	$20,732 \times 10^{17}$
Plástico	Seletiva	g	$1,93 \times 10^7$	$5,85 \times 10^9$	$1,129 \times 10^{17}$
Alumínio	Seletiva	g	$5,50 \times 10^5$	$1,25 \times 10^{10}$	$0,068 \times 10^{17}$
Mão de obra	Seletiva	Anos	$5,00 \times 10^0$	$2,80 \times 10^{16}$	$1,400 \times 10^{17}$
Combustível	Seletiva	J	$2,27 \times 10^{11}$	$6,60 \times 10^4$	$0,149 \times 10^{17}$

Na tabela 4 estão as emergias calculadas para a coleta Seletiva Multimaterial de resíduos conforme o processo utilizado em Siena na parte nova da cidade.

Tab 4. Fluxos de Emergia na Coleta Municipal De Resíduos Em Siena (Cidade Nova). Coleta Seletiva Multimaterial, 1997 [5]

Item	Tipo de Coleta	Unida de	Unidade/ Anos	Emergia Por Unidade (seJ/unidade)	Emergia Solar/ (seJ/ano)
Vidro	Seletiva Multimaterial	g	$8,20 \times 10^8$	$2,16 \times 10^9$	$17,712 \times 10^{17}$
Ferro e Aço	Seletiva Multimaterial	g	$9,91 \times 10^8$	$4,13 \times 10^9$	$40,928 \times 10^{17}$
Plástico	Seletiva Multimaterial	g	$1,26 \times 10^8$	$5,85 \times 10^9$	$7,371 \times 10^{17}$
Alumínio	Seletiva Multimaterial	g	$4,48 \times 10^6$	$1,25 \times 10^{10}$	$0,560 \times 10^{17}$
Mão de obra	Seletiva Multimaterial	Anos	$5,33 \times 10^{-1}$	$2,80 \times 10^{16}$	$0,149 \times 10^{17}$
Combustível	Seletiva Multimaterial	J	$8,50 \times 10^{10}$	$6,60 \times 10^4$	$0,056 \times 10^{17}$

Na tabela 5 estão as emergias calculadas para a coleta Seletiva de Papel na cidade de Siena (cidade nova). Este processo é feito especificamente para a coleta de papel. Esse fato poderá causar distorções quando compararmos com a coleta de papel nas outras cidades.

Tab 5. Fluxos de Emergia na Coleta Municipal de Resíduos em Siena (Cidade Nova). Coleta Seletiva de Papel, 1997 [5]

Item	Tipo de Coleta	Unida de	Unidade/ Anos	Emergia Por Unidade (seJ/unidade)	Emergia Solar/ (seJ/ano)
Papel	Seletiva de Papel	g	$3,09 \times 10^9$	$1,45 \times 10^8$	$4,480 \times 10^{17}$
Mão de obra	Seletiva de papel	Anos	$7,90 \times 10^{-1}$	$2,80 \times 10^{16}$	$0,221 \times 10^{17}$
Combustível	Seletiva de Papel	J	$8,50 \times 10^{10}$	$6,60 \times 10^4$	$0,056 \times 10^{17}$

Na tabela 6 estão as emergias gastas na coleta de resíduos da cidade de Modena.

Tab 6. Fluxos de Energia na Coleta Municipal de Resíduos na Cidade de Modena [2]

Item	Tipo de Coleta	Unidade	Energia Solar/ (seJ/ano)
Papel	Seletiva	g	$0,980 \times 10^{17}$
Vidro	Seletiva	g	$0,980 \times 10^{17}$
Plástico	Seletiva	g	$0,580 \times 10^{17}$
Metal	Seletiva	g	$0,490 \times 10^{17}$
Mão de obra	Seletiva	Anos	$0,340 \times 10^{17}$
Combustível	Seletiva	J	$0,630 \times 10^{17}$

Os gráficos mostrados nas figuras de 2 a 6 a seguir, mostram em termos percentuais o peso das energias de mão de obra e combustível, comparados com a energia dos produtos recicláveis coletados. Para cada produto coletado é mostrada a percentagem de energia envolvendo mão de obra, combustível e também a do produto em si.

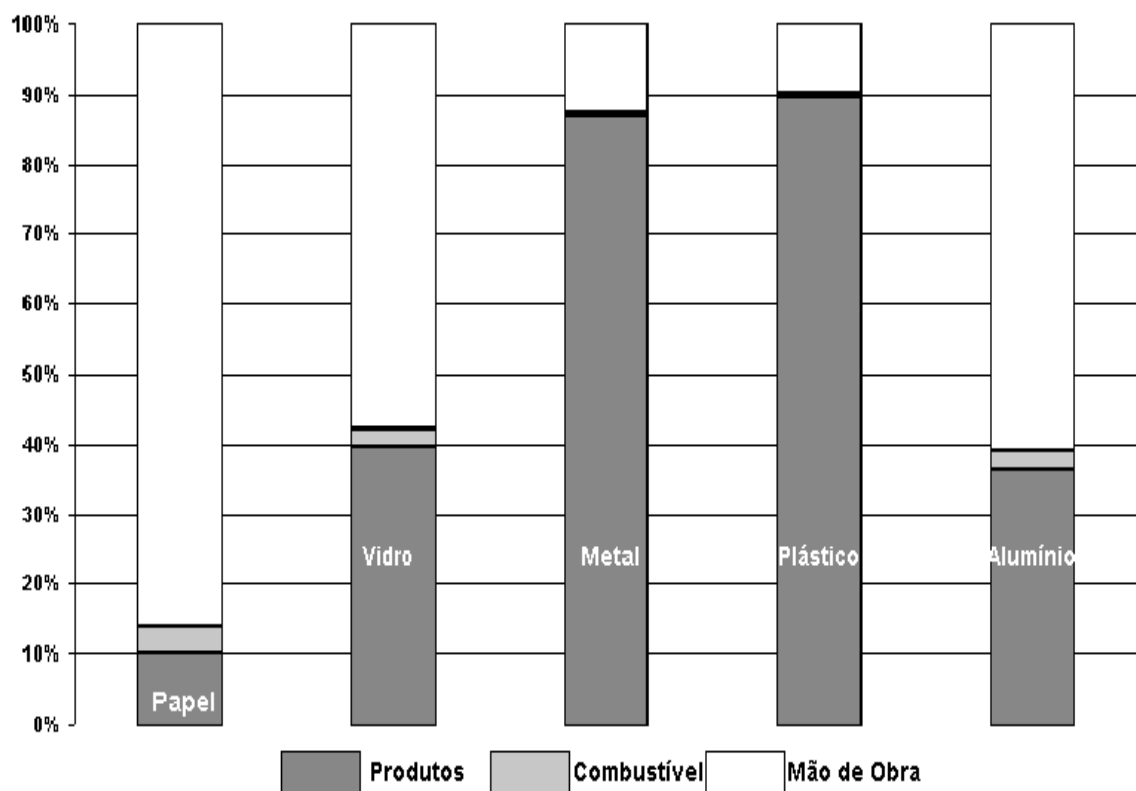


Fig. 2. Fluxos de Energia na Coleta Municipal de Resíduos na Cidade de São Paulo.

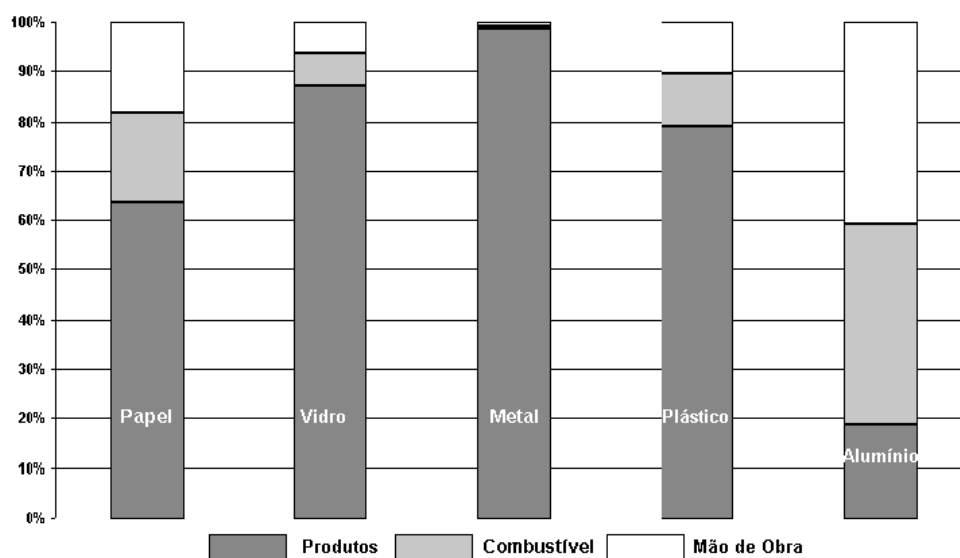


Fig. 3. Emergia da Coleta Seletiva na Cidade de Siena (Cidade Antiga) - Itália

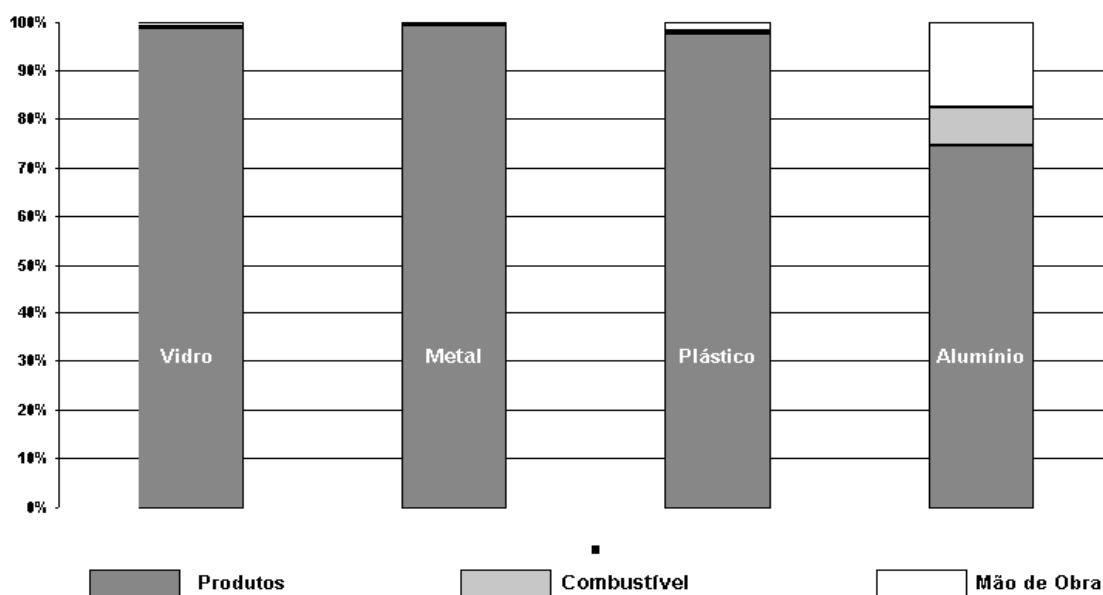


Fig. 4. Emergia da Coleta Seletiva Multimaterial na Cidade de Siena (cidade nova) - Itália

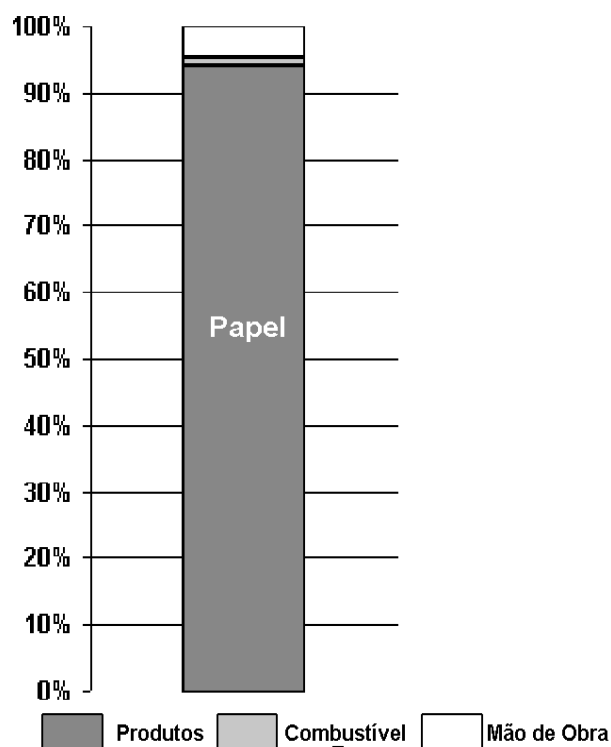


Fig. 5 Emergia da Coleta Seletiva de Papel na Cidade de Siena (Cidade Nova) - Itália

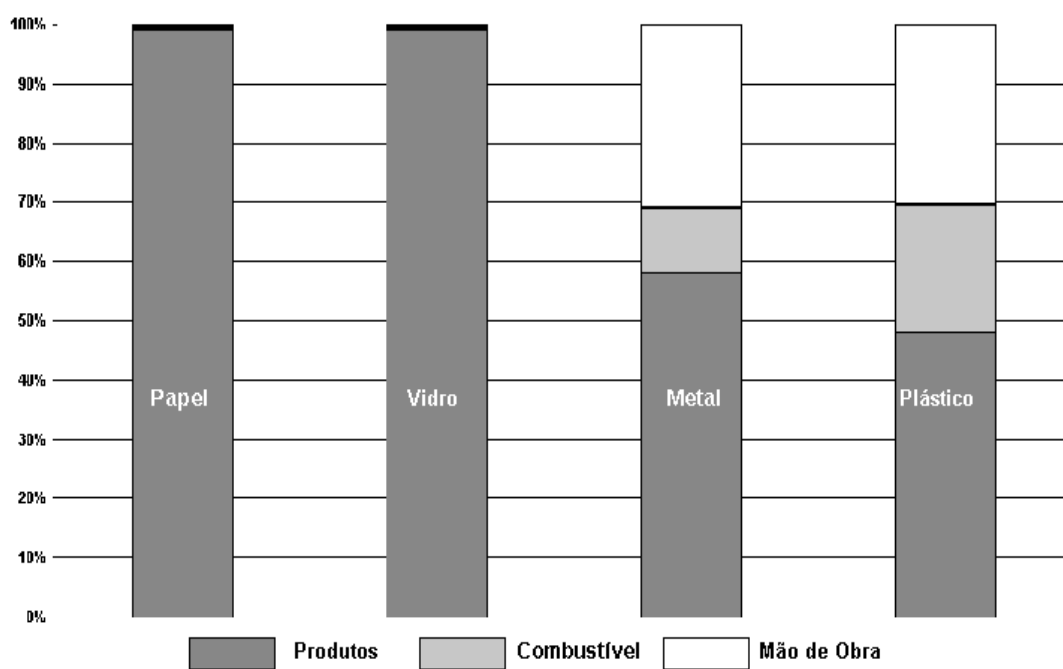


Fig. 6. Emergia da Coleta Seletiva na Cidade de Modena - Itália

Note-se que o gráfico referente à coleta Seletiva de papel na cidade Siena (Fig. 5), possui somente uma coluna devido ao fato desse processo não ser diretamente comparável com o processo de coleta de papel na cidade de São Paulo. Visto que em São Paulo, não há um processo específico para coleta seletiva de papel.

Comparando as energias gastas na cidade de São Paulo com as energias gastas nas cidades de Siena e Modena, podemos avaliar quais os processos que dão melhor resultado e causam menor impacto. A primeira comparação é entre a coleta de São Paulo e a coleta seletiva feita em Siena (cidade antiga). Os gráficos 2 e 3 mostram o resultado das coletas em ambas as cidades. O gráfico 2 mostra que a energia da mão de obra tem um valor alto em quase todos os produtos coletados, excetuando a coleta de plástico. São Paulo é mais eficiente na coleta de alumínio do que Siena, mas o peso da mão de obra ainda é alto em relação à quantidade coletada. Em Siena somente na coleta de alumínio, a energia do produto é menor que as energias de mão de obra e combustível. Em São Paulo, dos cinco produtos coletados, só dois apresentam energia acima de 50% em relação às energias de mão de obra e combustível. Analisando os gráficos 2 e 4 podemos comparar como se comporta São Paulo em relação à Siena (cidade nova). Note-se que no gráfico 4 não está relacionada a coleta de papel, visto que em Siena existe uma atividade específica para a coleta desse produto, portanto, a comparação para a coleta de papel estaria muito distorcida. Em todos os produtos a eficiência de Siena é superior à de São Paulo, vale ressaltar as diferenças de processo em ambas as cidades. Somente na coleta de alumínio o peso da mão de obra assume um valor destacado em relação ao produto na cidade de Siena. Pelos gráficos 2 e 5 trata da coleta de papel nas cidades de São Paulo e Siena (cidade nova). Fica evidente que Siena é muito mais eficiente, devemos ter em mente que na cidade de Siena, existe um processo específico para coleta de papel a ser reciclado, enquanto em São Paulo, esta coleta não tem um caráter específico. O papel coletado na cidade de São Paulo, vem junto com uma série de outros produtos e muitas vezes torna inviável o aproveitamento do produto. As comparações entre São Paulo e Modena podem ser avaliadas a partir dos gráficos 2 e 6. Em Modena a coleta de papel e vidro é feita de forma altamente eficiente alcançando quase 100%, enquanto que em São Paulo estes valores não ultrapassam os 40%. Já em São Paulo a coleta de Plástico é mais eficiente que em Modena. Quanto à coleta de alumínio não podemos fazer comparações já que em Modena este item não está contabilizado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados citados acima, pode-se concluir que o processo de coleta de resíduos recicláveis na cidade de São Paulo, ainda é muito ineficiente quando comparado com as cidades de Siena e Modena. É necessário dizer que a coleta seletiva na cidade de São Paulo, ainda é incipiente. Os gráficos mostrados nas figuras 7 e 8 mostram uma comparação das energias totais gastas nos processos de coleta de resíduos entre as cidades de São Paulo, Modena, Siena (cidade antiga) e Siena (cidade nova).

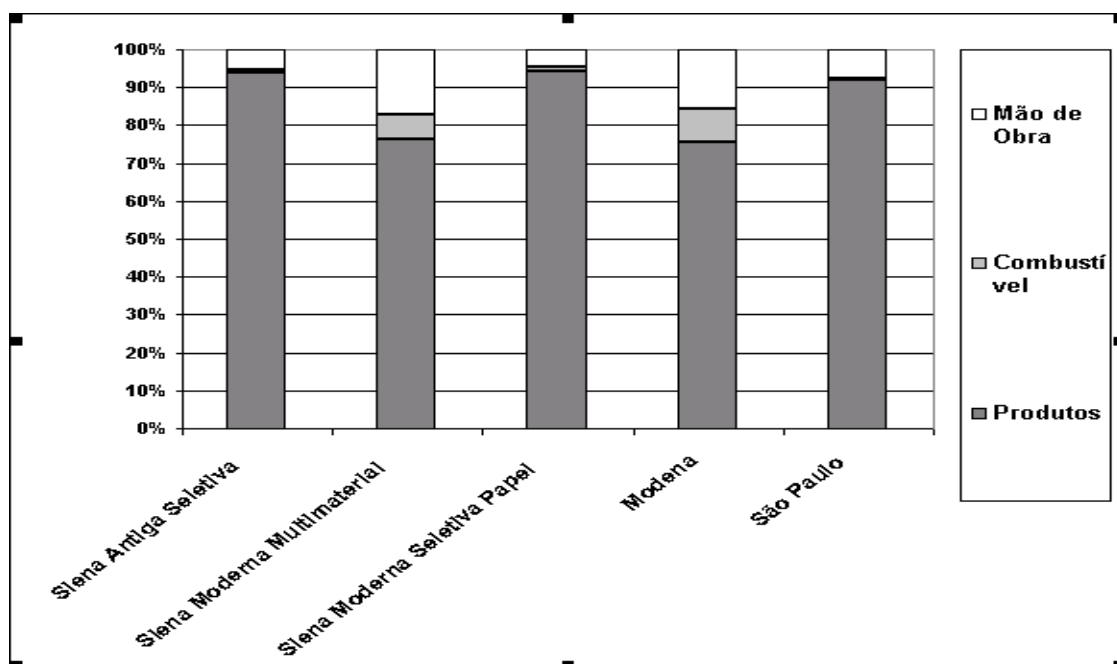


Fig. 7. Energia totais do produto, combustível e mão de obra nas cidades de São Paulo, Siena e Modena.

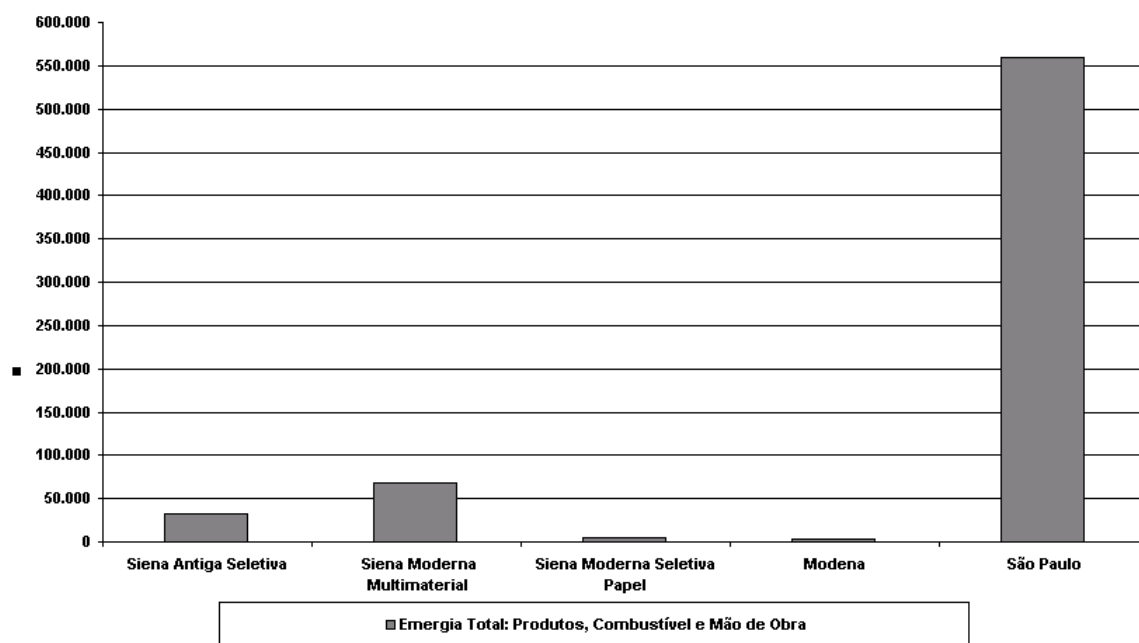


Fig. 8. Energia totais da coleta de resíduos nas cidades de São Paulo, Siena e Modena.

Quando comparadas as emergias totais, incluindo mão de obra e combustível nota-se a grande discrepância entre São Paulo e as cidades de Siena e Modena. Ressalte-se as diferenças culturais, geográficas, territoriais e tecnológicas entre as cidades envolvidas nesta comparação. De qualquer maneira é inegável que a cidade de São Paulo, tem oportunidade para melhorar o processo de coleta e disposição final dos resíduos coletados. Estes dados podem servir como parâmetros para ajudar na tomadas de decisões quanto às questões referentes à coleta e disposição de resíduos. Espera-se que a Análise Emergética possa ser um auxiliar confiável dos gestores públicos envolvidos com a coleta e disposição de resíduos, por mostrar de forma científica os valores envolvidos no processo de coleta e triagem de produtos recicláveis. Dessa forma, ela, a Análise Emergética, passa a ser uma etapa importante para que seja implementada uma contabilidade ambiental confiável e livre de preconceitos.

Embora o trabalho apresente dados referentes a coleta de resíduos municipais, deve-se entretanto atentar para o fato de que a Análise Emergética é uma ferramenta que pode ser aplicada tanto na indústria como no comércio. Pode ser o instrumento que permita aos administradores ter uma visão de quanto se gasta em termos de energia em um processo de coleta e reciclagem de materiais.

Bibliografia

1. F. Luchi, S. Ulgiati, "Energy and Emergy Assesment of Municipal Waste Collection. A case study", (1997), 303-316.
2. E. Tiezzi, N. Marchettini, "Che cos'è lo sviluppo sostenibile?", Donzelli, 1999, XXX-194.
3. R. Vieira, T. Domingos, P. Canaveira e ^a Simões; "Avaliação Econômico/Ecológica Comparativa de Papel de Fibra de Eucalipto e de Canhamo", Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2002, 1-47.
4. M.T. Brown e V. Buranakarn, "Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options", *Resour Conserv Recy*, 38(2003) 1-22.
5. S. Ulgiati, H.T. Odum, S. Bastianoni, "Energy Use, Environmental Loading and Sustainability - An Energy Analysis of Italy", *Ecol Model*, 73(1994) 215-268.
6. H. T. Odum, "Environmental Accounting. Emergy and Environmental Decision Making", John Wiley & Sons, Nova Iorque, 1996, 1-370
7. S. Bastianoni, N. Marchettini, M. Panzieri e E. Tiezzi, "Sustainability Assesment of a Farm in the Chianti area (Italy)", *Journal of Cleaner Production*, 9 (2001), 365-373.
8. Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria de Obras e Serviços Públicos, Departamento de Limpeza Urbana, Divisão Técnica de Compostagem, "Relatório de Avaliação / 2002"
9. Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria de Obras e Serviços Públicos, Departamento de Limpeza Urbana, Divisão Técnica de Compostagem, "Relatório Técnico Nº 68", 1 (2003), 1-67.

10. Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria de Obras e Serviços Públicos, Departamento de Limpeza Urbana, Divisão Técnica de Compostagem, “Caracterização Quantitativa e Qualitativa dos Resíduos Sólidos Domiciliares no Município de São Paulo”, 10(2000), 1-83.

Notas

1. Total de papel coletado e comercializado no ano de 2002 : 2577 toneladas.
2. Total de vidro coletado e comercializado no ano de 2002 : 1019 toneladas.
3. Total de metais coletado e comercializado no ano de 2002 : 5443 toneladas.
4. Total de plástico coletado e comercializado no ano de 2002 : 4993 toneladas.
5. Total de alumínio coletado e comercializado no ano de 2002 : 154 toneladas.
6. Cálculo da quantidade de anos necessárias para executar o trabalho de coletar o resíduo domiciliar:
 - Quantidade de caminhões coletores / compactadores : 430 [10]
 - Quantidade de pessoas trabalhando nos caminhões coletores/compactadores: 5
 - Total de pessoas trabalhando na coleta : $430 \times 5 = 2150$ pessoas
 - Total de lixo coletado por ano : 3.548.934 toneladas [9]
 - Quantidade de lixo coletado por pessoa ao ano:
 $3.548.934 / 2150 = 1.650,67$ ton/pessoa
 - Total de lixo destinado às usinas de compostagem no ano: 495.331 toneladas [9]
 - Quantidade de pessoas trabalhando na coleta de lixo destinado às usinas de compostagem:
$$\left(\frac{495331 \frac{ton}{}}{1650,67 \frac{ton}{pessoa}} \right) = 301 pessoas$$
 - Quantidade de horas que uma pessoa trabalha no ano, considerando:
 - 6 horas diárias de trabalho
 - 5 dias de trabalho por semana
 - 52 semanas no ano
 - 30 dias de férias anuais
 - $(5 \times 52 - 30) \times 6 = 1380$ horas / pessoa.
 - Quantidade de horas disponíveis no ano considerando :
 - 360 dias por ano
 - 24 horas por dia
 - $360 \times 24 = 8640$ horas/ano.

- Quantidade de pessoas trabalhando para completar as horas contidas em um

$$\text{ano é: } \left(\frac{\frac{8640 \frac{\text{horas}}{\text{ano}}}{\frac{1380 \frac{\text{horas}}{\text{pessoas}}}} \right) = \left(6,26 \frac{\text{pessoas}}{\text{ano}} \right)$$

- Quantidade de anos representados pelo trabalho das pessoas que coletam, resíduo domiciliar:

$$\left(\frac{301 \frac{\text{pessoas}}{\text{ano}}}{6,26 \frac{\text{pessoas}}{\text{ano}}} \right) = 48 \text{anos}$$

7. Cálculo do combustível gasto :

- Kilômetros percorridos na coleta de resíduos:
 - Diurna : 31.375 Km
 - Noturna : 36.388 Km
 - Total : 67.763 Km
- Quantidade de litros por kilometro percorrido:
 - 1,8 Km/l
- Quantidade de litros gastos na coleta de resíduos anualmente :

$$\left(\frac{67763 \frac{\text{km}}{\text{ano}}}{1,8 \frac{\text{km}}{\text{l}}} \right) \times 12 = 451752 \text{l}$$

- Quantidade de resíduo coletado por tonelada :

$$\left(\frac{3548934 \frac{\text{ton}}{\text{ano}}}{451752 \frac{\text{l}}{\text{ano}}} \right) = 7,86 \frac{\text{ton}}{\text{l}}$$

- Total de combustível por ano, destinado à compostagem/triagem:

$$\left(\frac{495331 \frac{\text{ton}}{\text{ano}}}{7,86 \frac{\text{ton}}{\text{l}}} \right) = 63019 \text{l}$$

- Fator de transformação de litros em joules = $35,6 \times 10^6$
- Total de combustível gasto por ano em J :
 $63019 \times 35,6 \times 10^6 = 2,24 \times 10^{12} \text{ J}$