

# ECONOMIA AGRÍCOLA, RECURSOS NATURAIS, MEIO AMBIENTE E TEORIA ECONÔMICA

## AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA GERAÇÃO E DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS

**Marcelo B. Diniz**

*Professor do Departamento de Macro e  
Microeconomia da Universidade Federal do Pará;  
Mestre em Economia pelo CAEN.*

**Ronaldo A. Arraes**

*Professor do Curso de Pós-Graduação em  
Economia (CAEN) da Universidade Federal do  
Ceará(UFC); Phd em Economia.*

## RESUMO:

Analisa custos e benefícios da implantação conjunta dos métodos de tratamento de resíduos sólidos domésticos, notadamente usinas de reciclagem e compostagem e aterro sanitário. O suporte teórico foi provido pela análise de bem-estar social, com ênfase para o tratamento das externalidades. Como base metodológica empírica montaram-se, inicialmente, modelos econométricos com vistas a identificar as variáveis, prever e simular a dimensão tanto do *déficit* na coleta quanto a geração dos resíduos sólidos urbanos. Os resultados obtidos foram estatisticamente satisfatórios em vista das confiáveis estimativas obtidas. O resultado mais importante indicou a existência de benefícios sociais líquidos advindos da adoção dos empreendimentos considerados. Do confronto entre os benefícios e custos anuais do projeto (aterro sanitário e usina de reciclagem e compostagem), extraiu-se, dentre outros indicadores positivos, uma relação benefício-custo de 1,55, indicando que para cada unidade de custos haveria 1,55 unidades de benefícios.

## PALAVRAS-CHAVE:

Resíduos Sólidos Domésticos, Externalidades, Custo-Benefício; Bem-Estar Social.

## 1- INTRODUÇÃO

As últimas décadas vêm marcar uma mudança significativa no modelo de gestão dos resíduos sólidos municipais, anteriormente adotado pelas administrações públicas nos países desenvolvidos. Isto ocorreu, especialmente nos grandes centros urbanos, em função de um conjunto de fatores, tanto de ordem econômica, como também de natureza ambiental e pecuniária. Nos países da OCDE, por exemplo, durante a década de setenta a prioridade era apenas garantir a disposição adequada dos resíduos, seja através da utilização de Aterros Sanitários, seja através da utilização de Incineradores, considerados, naqueles países, como meios de tratamento/disposição mais eficientes.

Já na década de 1980, passa a ser implantado um modelo de gestão cuja prioridade volta-se para a minimização da geração dos resíduos, a reciclagem de materiais, e o reaproveitamento da energia como subproduto da incineração. Tal mudança de prioridade ocorreu, fundamentalmente, motivada por dois fatores (DEMAJOROVIC, 1995). O primeiro deles, foi que em alguns países, o problema da destinação dos resíduos sólidos passou a ser visto em caráter de urgência, em virtude do volume de lixo produzido exceder a capacidade de descarga dos depósitos municipais. O segundo, foi o revigoramento da problemática ambiental, a partir da década de 1980, que passa a ter uma nova conotação no contexto do crescimento econômico e das relações internacionais. A questão de ordem passa a ser sustentabilidade, não só do ponto de vista da manutenção do crescimento econômico, mas fundamentalmente da conservação dos recursos naturais.

As proposições do desenvolvimento sustentável são a síntese do novo paradigma econômico-ecológico que, do ponto de vista das políticas voltadas aos resíduos sólidos, vão significar a adoção de instrumentos de comando e controle, incentivos de mercado e gastos governamentais, com o objetivo de estimular as práticas e os usos da reciclagem e a minimização da geração dos resíduos na fonte de origem.

A Nova Ordem Econômica, nos moldes do Desenvolvimento Sustentável, foi estabelecida na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Am-

biente e Desenvolvimento (Rio de Janeiro, 1992), e materializada no Programa estabelecido pela Agenda 21. Neste documento, o capítulo 21 (vinte e um) determina que a prioridade é atingir as causas fundamentais da geração dos resíduos, isto é, mudar os “padrões não-sustentáveis de produção e consumo”. Quatro passam a ser as áreas de ação a serem perseguidas: i) redução ao mínimo dos resíduos; ii) aumento ao máximo da reutilização e da reciclagem ambientalmente saudáveis dos resíduos; iii) promoção de depósitos e tratamento ambientalmente saudáveis dos resíduos; iv) ampliação do alcance dos serviços que se ocupam dos resíduos (UNCTAD, 1992)

Nos países em desenvolvimento, as questões mais graves a serem resolvidas são basicamente duas. A primeira é o grande *déficit* observado na oferta do serviço de coleta de lixo, que atinge a população de maneira discriminada. A segunda é a inadequada disposição e tratamento que vêm sendo dados ao lixo urbano, tanto pela população, carente de informações, como pelas administrações municipais, que não possuem uma estratégia de gerenciamento da questão que atenda de forma apropriada os requisitos de ordem sanitária, econômica e social. PEARCE; TURNER, (1994).

Embora algumas práticas do modelo de gestão atual já estejam implementadas, nos países em desenvolvimento, a questão básica ainda é poder dar um tratamento/disposição adequados aos resíduos, bem como dar uma cobertura adequada aos serviços de coleta dos resíduos sólidos. O Brasil reflete muito bem esses problemas; não apenas em decorrência dos *déficits* registrados nos serviços públicos de coleta, como também, a forma pela qual a questão vem sendo tratada. Isso, certamente, sem levar em consideração os elementos técnicos necessários, tanto do ponto de vista da engenharia quanto do ponto de vista econômico-social. Quanto a isto, os números da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (1989) são bem ilustrativos: mais de 50% do lixo gerado no país não sofre qualquer tipo de tratamento, sendo descartado em terrenos baldios, encostas e cursos d'água; e cerca de 48% do lixo hospitalar recebe a mesma destinação que o lixo domiciliar, quando deveria ser a incineração - tratamento mais adequado a este tipo de lixo. O resultado disto se traduz em externalidades (negativas) de toda a sorte, como desliza-

mentos de encostas, inundações, proliferação de vetores transmissores de inúmeras doenças, poluição atmosférica, além da poluição dos recursos hídricos, principalmente, do lençol freático e dos mananciais que abastecem as grandes cidades etc.

Duas questões principais serão abordadas neste artigo. No primeiro, busca-se diagnosticar o problema no que diz respeito à situação da coleta e disposição dos resíduos sólidos no País. A partir daí, identificar tanto as variáveis que norteiam a tendência do *déficit* na distribuição dos serviços de coleta e tratamento, quanto as variáveis que determinam a geração dos resíduos sólidos urbanos. Em segundo, procura-se avaliar através de um processo de simulação sobre qual o resultado que pode ser obtido através da adoção de diferentes métodos de tratamento para os resíduos sólidos do ponto de vista econômico. Cumpre-se, assim, a necessidade de uma avaliação da viabilidade econômica do projeto ou projetos, via utilização do instrumental fornecido pela análise custo-benefício, para uma tomada da decisão.

Nas próximas seções serão discutidos o suporte teórico referente ao bem-estar econômico, os determinantes de coleta e geração de resíduos sólidos e os custos e benefícios advindos com a implantação dos métodos de tratamentos selecionados, quais sejam, aterro sanitário e usina de reciclagem e compostagem<sup>1</sup>.

## 2- ASPECTOS TEÓRICOS - UM CRITÉRIO DE COMPENSAÇÃO

Do ponto de vista teórico, uma regra de decisão econômica, que respeite o princípio paretiano, deve considerar a possibilidade de que o efeito da ação interdependente entre os agentes possa ser mutuamente compensada. Com este intuito, alguns autores elaboram o que passou a ser chamado "princípio da compensação"<sup>2</sup>. Em termos bastante simples, a comparação entre duas situações de

bem-estar, por este critério, estabelece que: um estado Y é socialmente preferível a um estado social X, se aquele que ganha com o movimento para Y pode compensar aquele que perde e, ainda assim, obter algum ganho. Isto ocorre exatamente porque é possível que os ganhadores paguem as perdas a quem teve seu bem-estar diminuído com a ação, de modo que não haverá ninguém pior após a realização de tal ação e, portanto, se pode cumprir o princípio paretiano.

Em termos de uma função preferência, pode-se pensar que algumas pessoas iriam preferir a posição Y (os ganhadores), embora outros possam ficar indiferentes (perdedores), quando fossem completamente compensados, ocorrendo ao final uma ganho social líquido.

Usando o desenvolvimento feito por PEARCE (1976), pode-se demonstrar melhor o que foi dito do seguinte modo. Sejam as definições:

$Cv_g$  = Compensação máxima que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a ação;

$Cv_p$  = Compensação mínima que os perdedores estariam dispostos a receber para não serem prejudicados pela ação.

$Ev_p$  = Compensação máxima que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais não executem a ação.

$Ev_g$  = Compensação mínima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que não realizem a ação.

A prova de compensação é satisfeita quando :

$$(1) \quad \sum_g Cv_g \geq \sum_p Cv_p \quad \text{ocorre a mu-}$$

dança e os perdedores serão compensados.

O somatório da compensação (máxima) que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a ação seria maior ou igual a compensação mínima que os perdedores estariam dispostos a receber para não serem prejudicados pela ação, ou seja:

<sup>1</sup> A exclusão de usinas de incineração da análise é decorrente de: a) carência de dados quanto ao modelo teórico aplicado; b) maiores custos fixos e operacional por unidade de investimento do empreendimento; c) altos custos externos quando da não implantação de um sistema de depuração.

<sup>2</sup> Aos nomes de HICKS. (1939), KALDOR. (1939) e, mais tarde, SCITOVSKY. (1941) esta relacionada diretamente a elaboração deste princípio.

$$(2) \quad \sum_p Ev_p \geq \sum_g Ev_g \quad \text{n\~{a}o ocorre a mudan\~{c}a}$$

e os benefici\u00e1rios potenciais seriam compensados.

O somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o (m\u00e1xima) que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais n\u00e3o executem a a\u00e7\u00e3o seria maior ou igual a compensa\u00e7\u00e3o m\u00ednima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que n\u00e3o realizem a a\u00e7\u00e3o.

Poderia, entretanto, ocorrer uma situa\u00e7\u00e3o em que, simultaneamente,

$$(3) \quad \sum_g Ev_g \geq \sum_p Ev_p \quad \text{e}$$

$$(4) \quad \sum_g Cv_g < \sum_p Cv_p$$

$$(5) \quad \sum_g Ev_g \geq \sum_g Cv_g \quad \text{e}$$

$$(6) \quad \sum_p Cv_p > \sum_p Ev_p$$

O somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o m\u00ednima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que n\u00e3o realizem a a\u00e7\u00e3o seria maior ou igual a compensa\u00e7\u00e3o m\u00e1xima que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais n\u00e3o executem a a\u00e7\u00e3o (3). E o somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o (m\u00e1xima) que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a a\u00e7\u00e3o seria menor que a compensa\u00e7\u00e3o m\u00ednima que os perdedores estariam dispostos a receber para n\u00e3o serem prejudicados pela a\u00e7\u00e3o (4). Ao mesmo tempo, que o somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o m\u00ednima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que n\u00e3o realizem a a\u00e7\u00e3o seria maior ou igual ao somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o (m\u00e1xima) que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a a\u00e7\u00e3o (5). E o somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o m\u00ednima que os perdedores estariam dispostos a receber para n\u00e3o serem prejudicados pela a\u00e7\u00e3o seria maior que o somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o (m\u00e1xima) que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais n\u00e3o executem a a\u00e7\u00e3o (6).

De modo que se teria:

$$(7) \quad \sum_g Ev_g \geq \sum_p Ev_p \cdot \sum_g Cv_g \quad \text{e}$$

$$(8) \quad \sum_p Cv_p > \sum_p Ev_p \cdot \sum_g Cv_g$$

O somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o m\u00ednima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que n\u00e3o realizem a a\u00e7\u00e3o seria maior ou igual ao somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o m\u00e1xima que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais n\u00e3o executem a a\u00e7\u00e3o e ao somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o m\u00e1xima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a pagar para empreender a a\u00e7\u00e3o. Juntamente com o fato de que o somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o m\u00ednima que os perdedores estariam dispostos a receber para que n\u00e3o fossem prejudicados pela a\u00e7\u00e3o seja maior que o somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o m\u00e1xima que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais n\u00e3o executem a a\u00e7\u00e3o e ao somat\u00f3rio da compensa\u00e7\u00e3o m\u00e1xima que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a a\u00e7\u00e3o.

Com isto n\u00e3o se sabe se  $\sum_g Ev_g$  \u00e9 maior ou menor que  $\sum_p Cv_p$ , de modo que n\u00e3o h\u00e1 como apontar qual seria a situa\u00e7\u00e3o prefer\u00edvel, com ou sem a a\u00e7\u00e3o.

Na vig\u00eancia das desigualdades acima, o princ\u00edpio da compensa\u00e7\u00e3o n\u00e3o satisfaz para expressar uma Melhoria de Pareto. Tal situa\u00e7\u00e3o foi apontada por Scitovsky no que ficou conhecido como Paradoxo de Scitovsky.

Observa-se que a situa\u00e7\u00e3o (2) evidencia uma clara distribui\u00e7\u00e3o de renda e, assim, a regra da compensa\u00e7\u00e3o poderia ser usada em compara\u00e7\u00e3o com os efeitos distributivos de uma decis\u00e3o. Aqui, vale ressaltar que as condi\u00e7\u00f5es acima s\u00e3o poss\u00edveis na efetua\u00e7\u00e3o do pagamento da compensa\u00e7\u00e3o. Se ela n\u00e3o ocorre, e este parece ser o caso mais comum, evidencia-se uma distribui\u00e7\u00e3o dos rendimentos, em favor dos benefici\u00e1rios da decis\u00e3o.

Todavia, numa situa\u00e7\u00e3o no contexto da oferta de um bem p\u00fablico, dever\u00e1 haver perdedores potenciais, por\u00e9m os benef\u00edcios sociais ser\u00e3o repartidos de forma igualit\u00e1ria entre perdedores e ganha-

dores. Assim sendo, se a parcela dos benefícios mais do que compensar os perdedores, gera-se um efeito líquido a despeito de que possa haver perdedores. Observa-se ainda que este parece ser o caso típico da oferta de tratamento adequado ao lixo urbano que atinge a todas as camadas da população.

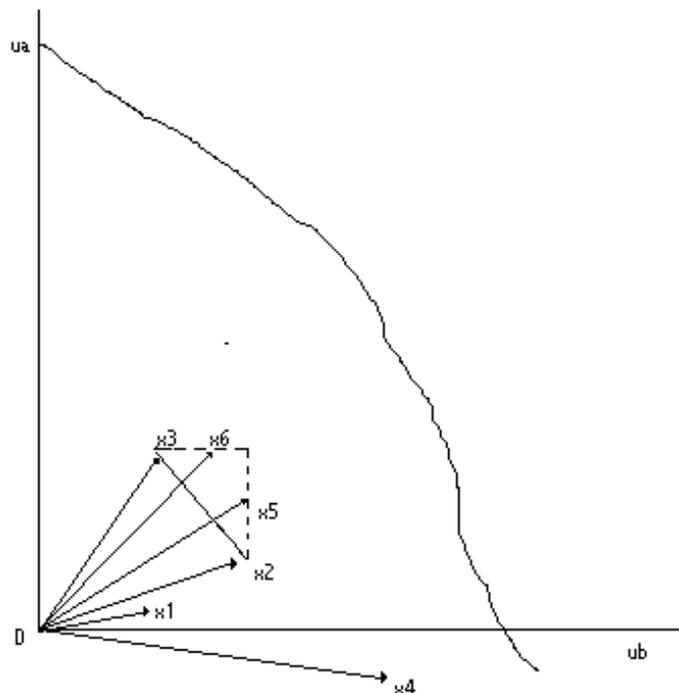
É oportuno realçar que o princípio da compensação introduziu na Análise Custo-Benefício o critério da “Melhoria Potencial de Pareto”. Neste sentido, a relevância social de uma decisão econômica (projeto) existe se a soma total dos benefícios obtida com o projeto por seus ganhadores for suficiente para pagar e garantir que, se o projeto for executado, exceder a soma total de dinheiro que os perdedores aceitariam como compensação SUGDEN; WILLIAMS (1976).

Para ilustrar a diferença existente entre o “critério paretiano” e o “critério de Melhoria Potencial de Pareto”, considere-se a FIGURA 1 abaixo.

xo. Nesta FIGURA, representativa da curva de possibilidade de utilidade entre os indivíduos **a** e **b**, identificam-se quatro cursos de ação possíveis e mutuamente excludentes ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ) que podem ser tomados a partir da situação  $D$  subótima.

Pelo critério paretiano, a escolha de  $DX_4$  será logo eliminada, pois implica na piora da situação de **A**. Comparando as ações restantes, chega-se a que  $DX_2$  e  $DX_3$  são melhores no sentido de Pareto em relação a  $DX_1$ , visto que de  $X_1$  é possível melhorar **A** e **B** ao se passar para os pontos  $X_2$  e  $X_3$ . Todavia, a comparação entre  $DX_2$  e  $DX_3$ , pelo critério paretiano, não é possível, uma vez que, para qualquer um destes casos, haverá uma melhoria da posição de um indivíduo em detrimento do outro. As posições  $X_2$  e  $X_3$  são Pareto incomparáveis.

FIGURA 1 :  
CRITERIO PARETIANO X CRITERIO DA MELHORIA POTENCIAL DE PARETO.



Supondo, agora, que seja escolhido o curso de ação  $DX_3$ , e o indivíduo **A** possa compensar **B** para que este não fique em pior situação do que se estivesse em  $X_2$ . Esta situação pode ser indicada em  $X_5$ . Desde que a posição  $X_5$  possa ser alcança-

da de  $X_3$ , e  $X_5$  é Pareto- superior a  $X_2$ , então se pode considerar  $X_3$  como Pareto Potencialmente Superior a  $X_2$ .

Ressalte-se, entretanto, que se pode supor, também, seja optado o curso de ação  $DX_2$ , e ao indivíduo B seja possível compensar A para que este não fique em pior situação, caso estivesse em  $X_3$ . Esta situação é alcançada em  $X_6$ . Como a posição  $X_6$  (hipoteticamente) pode ser alcançada de  $X_2$ , então poderíamos considerar  $X_2$  como Pareto Potencialmente Superior a  $X_3$ . Este seria o próprio argumento que fundamenta o Paradoxo de Scitovsky, pois tanto A como B poderiam ser ditos potencialmente superiores relativamente um ao outro. Na definição “ex-ante” de um juízo distributivo em favor de A ou B, a escolha de somente um curso de ação ( $X_2$  ou  $X_3$ ) seria possível.

No caso da adoção de métodos de tratamento/disposição adequados, a decisão tomada, desde que seguindo os princípios e procedimentos sanitários adequados, tornaria os benefícios resultantes independentes de quaisquer efeitos distributivos. Dito de outro modo, a decisão tomada atingiria de modo indiscriminado a todos, não causando, portanto, efeito distributivo.

### 3- DETERMINANTES DA COLETA E GERAÇÃO DE LIXO A PARTIR DOS ESTADOS BRASILEIROS

A necessidade da verificação das variáveis que determinam tanto a coleta, como a geração dos resíduos sólidos, tem como objetivo final poder gerar previsões do quanto de lixo não será coletado em cada caso, e desse modo se ter uma medida de referência quanto a geração potencial de externalidades ambientais.

$$DEF = 0,1338269 - 0,0005556 DENS + 602,70763 PIB_{pc}^{-1} \quad R^2 = 0,88 \quad F = 46$$

(3,0)                      (-2,54)                      (7,6)

onde,  $DEF$  = déficit no atendimento da coleta de lixo doméstico.

$DENS$  = densidade populacional

$PIB_{pc}$  = Produto Interno Bruto per capita.

Nota: Valores entre parênteses são estatísticas t

Pelos resultados obtidos<sup>3</sup>, fica evidente que o *déficit* no atendimento é explicado satisfatoriamente

<sup>3</sup> Teste de homocedasticidade foi conduzido, de onde não se rejeitou a hipótese.

### 3.1 DETERMINANTES DA COLETA DE LIXO

Para se verificar os determinantes do comportamento do nível de atendimento da coleta de lixo doméstico nos estados, estimou-se uma regressão pelo método dos mínimos quadrados, seguindo as seguintes especificações :

- a) modelo *cross section* para os Estados da Federação, em 1995, excluindo-se os Estados do Amapá, Rondônia, Roraima e Acre, pois seus níveis de cobertura da coleta de lixo doméstico não constam da Pesquisa Nacional por Amostra por Domicílio (PNAD), tomada como referência de dados.
- b) variável dependente: *déficit* no atendimento do serviço de coleta de lixo doméstico por Estado. Esta variável foi tomada como a razão entre o número de domicílios que não possuem coleta de lixo doméstico e o número de domicílios totais.
- c) variáveis independentes : Produto Interno Bruto *per capita* dos Estados; densidade demográfica, representada pela razão entre a população residente e a área geográfica do Estado. Além destas, duas outras variáveis foram testadas: dispêndio por Estado com saneamento, como parcela percentual do PIB e nível de Desenvolvimento da População, representado pelo índice de Desenvolvimento Humano - IDH.

Os resultados, estatisticamente significantes, e que demonstraram ser os melhores resultados para fins de previsão, são apresentados abaixo:

te pela densidade populacional e inverso do  $PIB_{pc}$  dos Estados, o que é comprovado pela significância dos parâmetros ao nível de significância de 1%. Estas variáveis podem ser ditas como àquelas que definem, para fins de previsão, o *déficit* no

nível de atendimento, haja vista o elevado valor obtido para o coeficiente de determinação.

Além disso, estes resultados corroboram as observações feitas por SEROA DA MOTTA (1996) e DINIZ (1997), de que existe uma relação inversa entre os índices de atendimento e o nível de riqueza da população atendida, aqui evidenciado pelo Produto Interno Bruto *per capita*. Assim, quanto maior o PIB *per capita* do estado menor o *déficit* e, portanto, maior o nível de atendimento da coleta.

Por outro lado, também se evidencia a relação negativa entre o *déficit* e a concentração populacional. Quanto mais povoado o estado, representado pela densidade demográfica, menor será o *déficit* no serviço de coleta. Este resultado ressalta o fato de existirem economias de escala na coleta dos resíduos sólidos domésticos. Desta forma, quanto maior a concentração populacional, menores os custos médios envolvidos no serviço de coleta, o que aumenta a eficiência nos serviços oferecidos. Adiante será feita uma simulação com base nesses resultados.

### 3.2 DETERMINANTES DA GERAÇÃO DE LIXO

A indisponibilidade de informações (séries históricas) dificulta a determinação das variáveis que teriam relevância na geração de lixo no país, especialmente com relação à existência de estatísticas recentes sobre a geração de lixo.

Todavia, com base em algumas informações disponíveis, procurou-se construir esta série e a partir dela verificar os determinantes da geração de lixo no país. Estes resultados são apresentados na TABELA 1 abaixo. Esta tabela mostra como os dados referentes ao lixo gerado foram construídos. Os procedimentos utilizados foram os seguintes: a) Adotou-se a série estatística da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 1989, fazendo, entretanto, alguns ajustes para aqueles dados que não pareciam corresponder a realidade. No caso, as informações foram conferidas com os órgãos de limpeza pública das capitais a que se referiam os dados; b) Para o ano citado (1989), tomaram-se os

índices de cobertura<sup>4</sup> dos serviços de coleta das Regiões Metropolitanas e Estados, citados na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD-1989)<sup>5</sup>; c) com os índices de cobertura calculados, dividiu-se a quantidade coletada de lixo pelo respectivo índice de cobertura para cada Estado. O resultado foi, então, usado como a variável a ser prevista no modelo.

As variáveis explicativas foram escolhidas conforme o que é citado na literatura existente sobre o assunto como fator causal de determinação do lixo gerado. Assim pois, consideraram-se as seguintes variáveis<sup>6</sup>: a) população (residente); b) Renda *per capita* - adotando-se como *proxy* do Produto Interno Bruto *per capita* dos Estados; c) Nível de Instrução da População, adotando-se como variáveis testadas o “índice de Instrução” e, mesmo, o “Índice de Desenvolvimento Humano - IDH”.

---

<sup>4</sup> O índice de cobertura é calculado como o número de domicílios com acesso ao serviço de coleta sob o número de domicílios totais.

<sup>5</sup> Foram adotados os seguintes procedimentos, a partir destas informações: i) Para os Estados que possuem Regiões Metropolitanas (PA, BA, BH, RJ, SP, PR, RS), adotou-se o índice de cobertura correspondente ao da Região Metropolitana; ii) para Brasília adotou-se o índice correspondente ao do Distrito Federal. Explica-se que este procedimento foi adotado porque os serviços de coleta que servem às capitais, têm, em geral, abrangência para as Regiões Metropolitanas. Daí, o índice de cobertura para a Região Metropolitana ser uma boa aproximação para os das respectivas capitais. De igual modo, o índice de cobertura do Distrito Federal, parece ser uma boa aproximação do de Brasília; iii) finalmente para os demais Estados, o procedimento adotado partiu da hipótese de que existe uma diferença entre o nível de atendimento para os Estados e para as suas respectivas capitais. Para se achar esta diferença utilizou-se a diferença média existente entre os nove Estados anteriores e suas respectivas Regiões Metropolitanas. O resultado obtido foi que, em média, o nível de atendimento nas Regiões Metropolitanas é 20% superior ao dos Estados. De posse desse resultado somou-se 20% ao nível de atendimento em cada Estado que não possuía Região Metropolitana.

<sup>6</sup> Com relação as variáveis selecionadas, ver por exemplo BEED ; BLOOM (1996).

As estimativas da melhor especificação funcional, para fins de previsão, são apresentadas como segue<sup>7</sup>:

As estimativas indicam que a quantidade de lixo gerado é diretamente relacionada ao tamanho da população e, particularmente, com o grau de concentração populacional especificado pela vari-

$$LIXOGER = 2554,88 + 0,296 DENS - 2,28 PIB_{pc} + 0,000523 PIB_{pc}^2 \quad R^2 = 0,90 \quad F = 42,7$$

(2,90)    (3,99)                    (-2,80)                    (5,74)

onde, *LIXOGER* = lixo gerado segundo as capitais dos Estados  
*DENS* = densidade populacional  
*PIB<sub>pc</sub>* = Produto Interno Bruto *per capita*.

Pela equação estimada fica evidente que o lixo gerado é explicado satisfatoriamente pela densidade populacional e PIB *per capita* dos Estados,

tal como definida no outro modelo, isto é, a razão entre a população residente na capital e área geográfica do município

TABELA 1  
 GERAÇÃO DE LIXO SEGUNDO AS CAPITALS DOS ESTADOS (1989)

Capital	Coletado t.	Índice de Cobertura. (%)	Gerado t.
Manaus	1.550	0,80	1.937,50
Belém	1.033	0,84	1.229,76
São Luís	350	0,32	1.093,75
Teresina	186	0,38	581,25
Natal	632	0,69	915,94
João Pessoa	422	0,71	594,37
Maceió	450	0,63	714,25
Aracaju	500	0,64	781,25
Salvador	1.500	0,72	2.083,33
Belo Horizonte	1.479	0,67	2.207,46
Vitória	350	0,66	500,00
Rio De Janeiro	4.030	0,69	5.840,58
São Paulo	8.834	0,95	9.298,95
Curitiba	988	0,84	1.176,19
Florianópolis	185	0,73	253,42
Porto Alegre	1.741	0,85	2.048,23
Campo Grande	247	0,78	316,67
Cuiabá	210	0,64	328,12
Goiânia	1.050	0,67	1.567,16
Brasília	843	0,93	906,45

FONTE: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (1989) e PNAD (1989) Tomos I, II, III, IV.

o que é comprovado pela significância dos parâmetros ao nível de significância de 1%. Ademais, estas variáveis podem ser ditas como relevantes para a determinação do lixo gerado no país, em virtude dos significantes resultados estatísticos obtidos.

da capital. A variável densidade demográfica é usada, então, como PROXY da população. De modo que, como a área geográfica do município permanece a mesma, o crescimento da densidade demográfica do município guarda a relação positiva entre o crescimento da população e a quantidade de lixo gerado. Por outro lado, esta quantidade de lixo gerada evidenciou uma relação quadrática com o PIB *per capita*. Assim, para valores baixos do PIB *per capita* a relação com o lixo gerado é

<sup>7</sup> Multicolinearidade mostrou ser um sério problema para a inclusão de outras variáveis. Várias outras especificações foram testadas, e esta apresentou-se como a melhor

negativa, entretanto, para valores altos do PIB *per capita*, a relação com o lixo gerado é positiva.

Para as cidades com um baixo PIB *per capita*, um aumento do mesmo leva a um decréscimo do lixo gerado, fato que para ser melhor explicado precisaria de maiores investigações acerca das atividades econômicas dessas capitais. Todavia, é importante se observar os seguintes elementos: em primeiro lugar, como a variável dependente é lixo gerado (em tonelada), originário de todas as atividades econômicas urbanas, o aumento do PIB *per capita* nestas cidades, pode representar um maior desenvolvimento de atividades que geram menos lixo e assim o volume total do lixo diminua com o aumento do PIB *per capita*. Em segundo lugar, deve-se relevar os aspectos de natureza qualitativa do lixo, pois pode ocorrer uma mudança qualitativa no lixo gerado, em função do aumento do PIB *per capita*, o que afeta o peso específico do lixo gerado de cada unidade geradora, no caso pode diminuir, e assim pode ocorrer a diminuição da quantidade total de lixo gerado.

Não obstante, para as cidades com um alto PIB *per capita*, um aumento deste leva a um acréscimo no lixo gerado, fato que pode ser explicado pela maior geração *per capita* para as faixas de renda mais altas<sup>8</sup>.

O importante com relação aos resultados dos dois modelos, é se poder chegar a uma estimativa aproximada da quantidade de resíduos que se deixa de coletar em um determinado período e, por essa via, ter-se uma noção das externalidades potenciais que serão geradas.

Para comprovar o que foi dito e admitindo a hipótese de que os parâmetros dos modelos acima estimados permaneçam constantes no período 1989-95, foi feita uma “simulação” para o ano de 1989 a partir dos resultados que seriam obtidos com os mesmos para duas capitais brasileiras: São Paulo e São Luís, com notadas diferenças quanto às variáveis consideradas nos modelos.

<sup>8</sup> Acerca da maior geração de lixo per capita para faixas de renda mais altas ver os resultados apresentados por BEED; BLOOM, Op. cit

São Paulo:

Densidade Populacional do Estado: 131,65 hab./km<sup>2</sup>

Densidade Populacional da Capital: 7.194,94  
PIB *per Capita*: R\$5.897,13

Substituindo esses valores nas equações estimadas acima, obtem-se as seguintes estimativas para o *deficit* e o lixo gerado:

$$DEF = 16,28\%$$

$$LIXOGER = 9490,05 \text{ t/dia}$$

Com os resultados das estimativas dos dois modelos combinados ter-se-ia:

$$\text{lixo não coletado} = 0,1628 \times 9.490,05 \text{ t/dia} = 1.544,98 \text{ t/dia.}$$

Cerca de 1.544,98 toneladas por dia não seriam coletadas e, portanto, causariam externalidades. Contabilizando este resultado em um ano, os resultados parecem mais relevantes:

$$1.544,98 \text{ t/dia} \times 365 \text{ dias} = 563.917,70 \text{ t/ano.}$$

Mais de 500 mil toneladas de lixo que vão causar as externalidades já descritas.

São Luís:

Densidade Populacional do Estado: 15,57 hab./km<sup>2</sup>

Densidade Populacional da Capital: 750,656  
PIB *per Capita*: R\$1.194,32

De posse desses valores e com base nas equações estimadas acima, tem-se as previsões para o *deficit* e o lixo gerado, ou seja:

$$DEF = 62,97\%$$

$$LIXOGER = 800,041 \text{ t/dia}$$

Com os resultados combinados dos dois modelos ter-se-ia:

$$\text{lixo não coletado} = 0,6297 \times 800,041 \text{ t/dia} = 503,78 \text{ t/dia.}$$

Cerca de 192 toneladas por dia não seriam coletadas e, portanto, causariam externalidades. Contabilizando este resultado em um ano, ter-se-ia:

$$503,78 \text{ t/dia} \times 365 = 183.881,81 \text{ t/ano.}$$

O potencial de externalidades geradas seria de 183.881,81 t/ano.

Para se verificar a eficiência do modelo quanto a previsão realizada, calculou-se o erro percentual médio para cada um dos modelos com respeito as duas capitais consideradas. Observa-se, então, na quadro 1 que o erro percentual médio entre o *déficit* real e o estimado é de 0,18, enquanto que o

erro percentual médio entre o lixo gerado (lixo ger.) real e o estimado é de 0,14.

Comparando os valores reais e os previstos apresentados neste quadro, percebe-se, também, que os modelos apresentam melhor previsão para a cidade com maior PIB *per capita* e maior densidade populacional.

QUADRO 1  
PREVISÃO DO *DEFICIT* E DO LIXO GERADO - SÃO PAULO E SÃO LUIS

Variáveis/Capital	Real (1)	Previsto (2)	2/1	EPM*
def (%)/São Paulo	91	83,72	0,92	0,18
def (%)/São Luís	87	62,97	0,71	
lixo ger.(t)/São Paulo	9.289	9.490	1,02	0,14
lixo ger.(t)/São Luís	1.093	800,041	0,73	

\* EPM - Erro Percentual Médio

#### 4- INVESTIMENTOS E CUSTOS REQUERIDOS PARA OPERAÇÃO CONJUNTA DE ATERRO SANITÁRIO E USINA DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM

A alternativa conjunta de Aterro Sanitário com Usina de Reciclagem e Compostagem em uma mesma área, agrega outros benefícios além daqueles obtidos por cada método de tratamento, individualmente<sup>9</sup>. Os benefícios citados dizem respeito basicamente a duas classes. A primeira classe refere-se ao aumento da vida útil do aterro. A segunda classe relaciona-se à economia obtida no custo

unitário e no investimento, caso as duas alternativas fossem levadas a efeito de forma individual.

Para fins de cálculo dos investimentos e custos da usina e do aterro sanitário, as seguintes hipóteses foram adotadas: i) população a ser atendida de 1.000.000 habitantes; ii) produção *per capita* de resíduos sólidos (domésticos) de 0,5 kg/dia; iii) usina de reciclagem e compostagem utilizando tecnologia padrão, isto é, adotando um conjunto de operações que são comuns à maioria dos \*sistemas\*<sup>10</sup> utilizados no país; iv) receita potencial da usina calculada a partir do rendimento médio por produto (papel, papelão, plástico, sucata, latas de aço, vidro e composto), observado em algumas usinas no país; v) aterro sanitário com área definida de 2.000.000 m<sup>2</sup>.

Das hipóteses acima derivam a capacidade instalada e vida útil da usina e do aterro sanitário,

<sup>9</sup> Do ponto de vista sanitário, individualmente, o principal benefício do Aterro Sanitário está em minimizar a produção de odores e proliferação de vetores, assim como controlar os gases e líquidos provocados pela decomposição do lixo. Quanto a Usina de Reciclagem e Compostagem destacam-se dois tipos de benefícios : a) os decorrentes da atividade recicladora, em termos da diminuição do consumo de matérias-primas e energia, promovida pela Usina; b) os benefícios em termos dos efeitos diretos da própria Usina, enquanto um método de tratamento, os quais incluem-se, entre outros, i) a redução do lixo aterrado, ii) a diminuição do potencial de contaminação da parcela que é descartada como rejeito da Usina, o que diminui o custo do aterramento por tonelada; c) a diminuição das externalidades geradas pelo lixo.

<sup>10</sup> Entende-se por "sistemas" os diferentes métodos - a partir de diferentes tecnologias - para a fabricação do composto orgânico e triagem dos materiais inertes, cuja operacionalização por equipamentos eletro-mecânicos, ocorre em unidades industriais chamadas usinas. A tecnologia padrão adotada vai compreender as seguintes operações: a) recepção e alimentação do lixo; b) catação; c) trituração; d) peneiramento; e) tratamento e estocagem do composto; f) beneficiamento e estocagem dos materiais separados.

respectivamente, 500 t/dia para uma vida útil de 10 anos e 1000 t/dia para uma vida útil de 14 anos<sup>11</sup>.

#### 4.1 INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS (PREÇOS DE JUL/97):

Os cálculos a seguir seguem as especificações de engenharia apresentadas por DINIZ (1997).

**1 - Estudos Preliminares:**

Valor: R\$ 50.000,00

**2- Obras Preliminares:**

Valor: R\$ 50.000,00

**3- Terreno: Área Considerada 2.000.000 m<sup>2</sup>:**

Valor: 2.000.000 x 2,50 = R\$ 5.000.000

**4 - Infra-estrutura:**

a) Sede Administrativa: área construída 350m<sup>2</sup>

- Sala da Superintendência
  - Sala da Secretaria e Arquivo
  - Almoxarifado
  - Refeitório
  - Cozinha e Despensa
  - Sanitário masculino (55m<sup>2</sup>);
  - Sanitários feminino (55m<sup>2</sup>).
- Valor Total: R\$ 129.675,00

b) Muro (6100m):

Valor Total: R\$ 552.755,00

c) Estação de Pesagem (cabine de pesagem 12m<sup>2</sup>) e plataforma de concreto de 8x3m:

Valor Total: R\$ 8.146,39

d) Guarita (14m<sup>2</sup>):

Valor Total: R\$ 5.187,00

e) Portão de ferro (9,80 m<sup>2</sup>):

Valor Total: R\$ 370,00

f) Sistema sanitário: fossas sépticas (comprimento 1,60m; largura, 80m; profundidade de 1,00m) e sumidouros (tanque cilíndrico na extensão de 1,00m de diâmetro por 1,00m de profundidade).

Valor Total: R\$ 1.039,02

g) Rede de Distribuição (água); 798m com tubulação e PVC (diâmetros variando de 50mm, 110mm e 85mm).

Valor Total: R\$ 14.199,84.

h) Rede de Distribuição Complementar: 720 metros com tubulação de ferro galvanizado rosqueado, classe 10, com diâmetros de 100 e

105mm e reservatório elevado (de concreto com capacidade de 50.000 litros)

Valor Total: R\$ 51.987,74.

i) Sistema de Drenagem: composto de caixas de drenagem conectadas por tubulação e um tanque de armazenamento:

Valor Total: R\$ 44.314,31.

j) Fossos de recepção: de 120m<sup>3</sup>:

Valor Total: R\$ 12.337,61.

k) Pavimentação da Área de Cura: 3.000m<sup>2</sup>

Valor Total: R\$ 60.000,00

l) Pátio de recepção: 200m<sup>2</sup>

Valor Total: R\$ 8.000,00

m) Galpão de Triagem - área coberta 560m<sup>2</sup>, confeccionado em chapas de aço carbono, com pés e tesouras treliçadas, com cobertura e fechamento nas cabeceiras em telhas galvanizadas de 0,6mm, contravento horizontal e longitudinal com chumbadores.

Valor Total: R\$ 135.078,34.

n) Lagoa de Estabilização: - Constituído de Lagoas de Tratamento: duas Lagoa de Estabilização: uma lagoa aeróbia e outra lagoa anaeróbia.

Lagoa Anaeróbia:

Profundidade: 3,5m

Área inferior: 784m<sup>2</sup> (28 x 28)

Área superior: 2.401m<sup>2</sup> (49 x 49)

Lagoa Facultativa:

Profundidade: 2,5m

Área Inferior: 3.300 m<sup>2</sup> (30 x 110m)

Área Superior: 4.800 m<sup>2</sup> (40 x 120m)

Valor Total: R\$ 45.000,00

o) Drenagem dos Gases: - Drenos Verticais constituídos por tubos de concreto perfurados, com diâmetro interno de 0,30m e altura de 4,0m. Cada dreno será assentado sobre uma base sólida de concreto.

Valor Total: R\$ 286.387,20.

#### 5- Equipamentos:

Uma balança rodoviária (40 t): Valor: R\$10.000,00

Dois tratores de esteiras, equipados com lâminas (Caterpillar, modelo: D4E - 143 4A):

Valor: R\$ 113.802,00

Um trator com rolo pé de carneiro (DYNAPAC, modelo: CG-141 - 20ton.)

Valor: R\$116.911,82.

Dois caminhões basculante (General Motors, modelo: F12000/194 - 131 4,0/11)

Valor: R\$64.200,00

<sup>11</sup> Para o cálculo da vida útil ver DINIZ (1997).

Um conjunto moto-bomba: Valor: R\$1.800,00

Um conjunto moto-bomba: Valor: R\$530,00

**6- Móveis e Utensílios:**

Três mesas p/ escritório;

Duas estantes em ferro;

Duas cadeiras de escritório;

Quatro mesas de madeira;

Catorze cadeiras de madeira;

Dois arquivos (em ferro);

Um aparelho de ar condicionado;

Um filtro de água Industrial;

Utensílios diversos.

Valor Total: R\$60.000.

**7 - Uniformização e Equipamentos de Proteção Individual:**

Valor Total : R\$5.386,00

**Investimento Total:** R\$26.759.244,48.

## 4.2 ESTRUTURA DE CUSTOS

A estrutura de custos para a alternativa conjunta é apresentada na TABELA 2 a seguir:

TABELA 2  
ESTRUTURA DE CUSTOS DA USINA DE RECICLAGEM E  
COMPOSTAGEM E ATERRO SANITARIO

Discriminação	Valor <sup>1</sup>	Valor <sup>2</sup>
Custos Totais	1.315.346,30	1.329.740,17
a) Custos Fixos	759.469,71	773.863,58
- Mão-de-obra	102.480,00	
- Encargos sociais	118.641,09	
- Depreciação	263.615,04	
- Manutenção	259.544,18	
- Uniformes e EPI		14.106,00
- Eventuais <sup>3</sup>	15.189,39	15.477,27
b) Custos Variáveis	555.876,59	555.876,59
- Mão-de-obra	158.160,00	
- Encargos Sociais	183.101,83	
- PIS	7.387,05	
- CONFINS	22.729,38	
- Combustíveis	5.980,80	
- Energia Elétrica	167.400,00	
- Eventuais <sup>3</sup>	11.117,53	

(1) Referentes aos custos do primeiro ano de implantação (R\$ de julho de 1997);

(2) Referentes aos custos a partir do segundo ano (R\$ de julho de 1997);

(3) Calculado como 2% do custo fixo e variável.

Custo Total Anual : R\$ 1.315.346,30; Custo Total Mensal : R\$ 109.612,19;

Custo Total/ t :R\$ 7,307.

A Receita operacional da usina de reciclagem e compostagem é apresentada na TABELA 3 adiante.

## 5- BENEFÍCIOS SOCIAIS ADVINDOS DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO

Após a definição dos custos de implantação e operação de uma Usina de Reciclagem e Compostagem e de Aterro Sanitário, serão estimados os custos evitados a serem somados à receita potencial gerada pela Usina, para que se determine o valor

total dos benefícios advindos com o projeto. O objetivo desta seção é, portanto, determinar cada classe de benefício gerado pelo projeto, para que possa ser conhecido o valor total dos mesmos. Este

resultado será utilizado, ainda, para se calcular o fluxo líquido do projeto ao longo de sua vida útil. Ao final, então, serão apresentados os indicadores dos benefícios líquidos do projeto.

TABELA 3  
MATERIAL A SER VENDIDO PARA UMA USINA QUE PROCESSE 500 T/DIA:

Item	Composição Média Do Lixo Brasileiro <sup>1</sup>	Rend. Médio	Quant. t/dia	Quant. t/mês	Preço <sup>2</sup>	Receita Total (Mensal)
Papel	18,65	3,4	3,17	95,1	58,64	5.576,66
Papelão	18,65	3,4	3,17	95,1	94,44	8.981,24
Plástico	11,2	9,1	5,1	153	76,5 <sup>3</sup>	11.704,5
Sucata	3,75	25,7	4,81	144,3	395,18	57.024,47
Latas De Aço	3,75	25,7	4,81	144,3	30,89	4.475,65
Vidro	3,85	5,6	1,08	32,4	26,44	856,66
Composto	50,9 <sup>4</sup>	41,5	105,61	3168,3	2,00	6.336,6
<b>Total</b>	-	-	-	-	-	<b>94.955,78</b>

(1) Média das cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador e Fortaleza (em porcentagem do total)

(2) Preço de abril/97.

(3) Média dos preços do plástico rígido e plástico filme.

(4) Matéria orgânica.

Receita total mensal : R\$94.955,78; Receita total anual: R\$1.139.469,36; Receita por tonelada de resíduos : Receita mensal/quant. de lixo processada no período -R\$ 94.955,78/15.000 = R\$6,33.

## 5.1 BENEFÍCIOS AUFERIDOS QUANDO SE EVITA A POLUIÇÃO HÍDRICA

A poluição hídrica, bem como a poluição do solo, ocorrem principalmente em função da contaminação do Chorume, que é o líquido que resulta da biodegradação dos resíduos sólidos orgânicos. Seu potencial de contaminação é decorrente especialmente da presença de matéria orgânica, coliformes fecais e metais pesados, que podem contaminar tanto o homem quanto o meio ambiente.

A contaminação dos recursos hídricos provocada pelo chorume ocorre por duas formas : a poluição das águas superficiais e a poluição das águas subterrâneas :O modo pelo qual ocorre a poluição das águas superficiais é através da lixiviação direta, horizontal, provocada pela água das chuvas, que pode atingir o leito dos rios e mananciais.

Quanto à contaminação das águas subterrâneas, esta pode ocorrer através de três mecanismos:

- Lixiviação direta, horizontal, dos resíduos sólidos pela água subterrânea;
- Lixiviação vertical dos resíduos sólidos pela água de percolação;
- Transferência de gases produzidos na decomposição dos resíduos sólidos através da difusão e convecção.

A lixiviação direta, horizontal, ocorre quando o lixo é depositado a uma cota inferior à do lençol freático. Já a lixiviação vertical dos resíduos sólidos pela água de percolação é proveniente do movimento descendente das águas das chuvas, ou mesmo, através da própria umidade existente nos resíduos sólidos.

Mesmo quando seguidas as recomendações do CONAMA, a deposição do chorume na água provoca um comprometimento da potabilidade da água ficando a mesma imprópria para o consumo humano. Assim, quando ocorre a contaminação da água pelo chorume, se compromete o fornecimento

para a população atendida pela mesma. Esta hipótese será levada em consideração, admitindo-se que anualmente a carga líquida do chorume despejado compromete a qualidade da água em cerca de 0,001%<sup>12</sup>.

## 5.2 MEDIDA DO BENEFÍCIO

Com base na população adotada para a determinação dos custos dos métodos de tratamento/disposição, 1.000.000 de habitantes, foi calculado o benefício advindo do custo evitado da poluição hídrica, como :

Hipóteses admitidas :

Consumo per capita de água - 250litros<sup>13</sup> (697m<sup>3</sup>);

Custo de fornecimento de água 0,15 m<sup>3</sup> <sup>14</sup>;

Comprometimento anual da qualidade da água : 0,001%.

Cálculo do benefício: 254.587,5 m<sup>3</sup> (consumo anual *per capita*) x 0,0001 (perda estimada) x 1.000.000 (hab.) x R\$0,15 = R\$3.818.812,5

## 5.3 BENEFÍCIOS AUFERIDOS QUANDO SE EVITAM OS CUSTOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica decorrente dos *lixões* é proveniente da emissão de gases resultantes da matéria orgânica em decomposição. Estes podem ser agrupados em quatro áreas: i) aqueles que contribuem para o aquecimento global; ii) aqueles que contribuem para a destruição da camada de ozônio; iii) os que causam poluição convencional e iv) os gases tóxicos (Powell; Brisson, 1994).

As concentrações maiores dos gases emitidos são de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e gás sulfídrico (SO<sub>2</sub>), mas além destes são encontrados halocarbonos, benzeno, vinil, clorídicos entre outros.

As maiores emissões associadas com o aquecimento global são justamente, de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) e também de óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), além de halocarbonos.

Os halocarbonos são, ademais os gases responsáveis pela destruição da camada de ozônio.

Outros gases de emissão convencional são os gases ácidos, que contribuem para as chuvas ácidas, como por exemplo o gás sulfídrico (SO<sub>2</sub>) e os óxidos de nitrogênio (NO). Observa-se, ainda, que o gás sulfídrico é mais facilmente identificado porque é responsável pelos maus odores característicos da matéria em decomposição.

É importante observar que o nível de poluição atmosférica decorrente dos aterros sanitários é próximo daquele resultante dos “lixões”, a diferença é que, com a implantação de um aterro sanitário, em substituição a um “lixão”, os gases gerados passam a ser drenados, de modo que se evita a possibilidade de combustão espontânea e, mesmo, a concentração destes gases em determinadas áreas próximas ao terreno onde se situa o “lixão”. Assim, as externalidades decorrentes da emissão de gases não são evitadas quando da implantação de um aterro sanitário.

## 5.4 BENEFÍCIOS AUFERIDOS QUANDO SE EVITAM OS CUSTOS DA POLUIÇÃO DO SOLO

A poluição do solo é também resultado da lixiviação horizontal e vertical provocada pelas águas das chuvas, ocasionando uma concentração de chorume, cujos poluentes torna impróprio o solo para uso na agricultura. Todavia, como para se chegar a esta medida seria necessário conhecer a área atingida, ou a área em que existiria um “lixão”, antes da instalação dos métodos de tratamento, não foi possível se calcular a perda anual em termos de produtividade do solo provocada pela contaminação do chorume.

<sup>12</sup> Este índice varia em cada caso, e depende do quão caudaloso seja o manancial.

<sup>13</sup> Conforme definido por MAY (1995)

<sup>14</sup> Idem. Vale observar que este custo médio varia muito de Estado para Estado. Em 1996 o custo médio do m<sup>3</sup> de água no Rio de Janeiro era de R\$0,3012, enquanto na Região Norte e Região Nordeste, R\$0,54 e R\$0,60, respectivamente (CORTEZ, 1996).

## 5.5 BENEFÍCIOS AUFERIDOS QUANDO SE EVITAM OS CUSTOS INCORRIDOS COM AS DOENÇAS TRANSMITIDAS PELOS VETORES LIGADOS AO LIXO

Além das três formas de poluição citadas, observam-se também as externalidades ligadas aos problemas de saúde pública, que o lixo pode causar quando em contato direto com o homem ou pela contaminação indireta através de vetores que se encontram no lixo, o local ideal para sua multiplicação e seu habitat. O lixo é, aqui, fonte de externalidades pelos riscos epidemiológicos que pode trazer à saúde humana.

Quanto a este tipo de externalidade, vale observar que, conforme o conceito moderno de epidemiologia ZANON (1990), o risco de transmissão direta de doenças infecciosas por qualquer tipo de resíduo sólido dependerá :

- a) da presença de um agente infeccioso;
- b) da sua capacidade de sobrevivência no lixo;
- c) da possibilidade de sua transmissão para um hospedeiro susceptível.

É preciso haver a interação simultânea destes elementos para que o lixo tenha potencial contaminador para a saúde do homem. Levando-se em consideração estes três elementos, a via de conta-

minação direta do lixo sobre a saúde humana é muito reduzida, ficando praticamente restrita à possibilidade que o homem venha a se contaminar através de lesão cutânea ou por ingestão. Ambos os casos limitam o potencial de risco àquela população que sobrevive da catação ou mesmo se alimenta de restos de alimentos nos lixões.

O fato de o lixo se transformar no habitat de vetores de doenças infecciosas, em grande parte não presentes no próprio lixo, é a via de contaminação dos resíduos quando dispostos na forma de lixões. O lixo se transforma em problema de saúde pública pela via indireta através da relação: lixo (habitat) → vetor → doenças (homem).

Segundo a Organização Panamericana de Saúde apud ROUQUAYROL (1993), a correta solução para o problema do lixo possibilita a redução de 90% das moscas, 65% dos ratos e 45% dos mosquitos.

## 5.6 MEDIDA DO BENEFÍCIO

Para efeito de cálculo, foram adotadas as seguintes hipóteses :

Incidência de cada doença provocada pelos vetores ligados ao lixo, conforme definido na TABELA 4, a seguir:

TABELA 4  
INCIDENCIA PARA 100.000 HAB. DAS  
DOENÇAS CAUSADAS PELOS RESIDUOS SOLIDOS

Doenças	ANO (1986)
Febre Tifóide e	2,4
Peste	0,0
Malária	320,3
Leishmaniose	
Tegumentar	11,4
Leishmania	
Visceral	1,3
Leptospirose	1,3
Filariose	-
Febre Amarela	-
Dengue	35,2

FONTE : POSSAS (1991)

\* dado acrescentado pelo autor com base no número de ocorrências no ano de 1986 em relação, à população daquele ano.

Gastos Totais com cada patologia conforme definido pelo SUS apresentado na TABELA 5.

TABELA 5  
GASTOS EM SERVIÇOS HOSPITALARES POR DOENÇAS RELACIONADAS COM AS  
EXTERNALIDADES PROVOCADAS PELO LIXO.

Doenças	Permanência Média (dias)	Serviços Hospitalares (R\$)	Serviços profissionais (R\$)	Serviço Auxiliar de Diagnóstico e Terapia (R\$)	Total (R\$)
Febre Tifóide e outras	8	64,75	19,80	5,99	90,54
Salmoneloses					
Peste	8	64,75	19,80	5,99	90,54
Malária	7	54,63	16,92	7,22	78,77
Leishmanioese	7	54,63	16,92	7,22	78,77
Leptospirose	9	86,58	23,44	17,07	127,09
Filariose	6	52,55	17,52	6,33	76,40
Febre Amarela	7	60,91	17,29	7,10	85,30
Acidente por mordedura de ratos	4	51,96	12,57	5,81	70,34
Intoxicação por Gases	3	34,45	11,14	2,08	47,67

FONTE : TABELA de Procedimentos Hospitalares SIH/SAI-SUS (1997)

Para os cálculos referentes aos benefícios incorridos quando se evita as doenças provocadas pelos lixo, foram realizados os seguintes procedimentos: multiplicou-se a incidência (para 1.000.000 de hab.) relativa a cada doença, pelo gasto total com a mesma (TABELA do SUS), atribuindo-se ainda, como peso, a percentagem relati-

va da redução dos vetores<sup>15</sup> quando se dá uma correta solução ao problema do lixo.

Os cálculos para cada doença relacionada aos resíduos é apresentado na TABELA 6 abaixo:

<sup>15</sup> DINIZ (1997) sobre a relação entre a respectiva doença e o vetor de transmissão.

TABELA 6  
CALCULO DOS CUSTOS INCORRIDOS COM AS DOENÇAS PROVOCADAS PELOS RESIDUOS

Doenças	Incidência para 1.000.000 hab.	Custo Total	Peso	Benefício (R\$)
Febre Tifóide e Peste	24	90,54	0,65	1,412,42
Malária	3200,3	78,77	0,65	163.841,60
Leishmaniose Tegumentar Leishmania Visceral	114,0	78,77	0,45	4.040,90
Leptospirose	13,0	78,77	0,45	460,80
Filariose	-	127,09	0,65	-
Febre Amarela	-	76,40	-	-
Dengue	0,0	85,30	-	-
	352*	78,77*	0,65	18.022,57
<b>Total</b>				<b>187.778,29</b>

Fonte: Os autores.

\* Foi considerado para dengue o mesmo custo requerido para a malária.

### 5.7 BENEFÍCIOS ADVINDOS DA RECICLAGEM DO LIXO PROMOVIDA PELA USINA DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM:

Os benefícios oriundos da reciclagem promovida pela Usina de Reciclagem e Compostagem advém da economia de energia, água, matérias-primas custos com a deposição final dos resíduos :

### 5.8 MEDIDA DOS BENEFÍCIOS

O cálculo dos benefícios oriundos da Reciclagem promovida pela Usina de Reciclagem e Compostagem segue os cálculos feitos por CALDERONI (1997), que estimou o quanto se perde, em termos de gastos com energia, água, matérias-primas, e deposição final dos resíduos para cada tipo de produto.

A síntese dos resultados é apresentada na TABELA 7 abaixo :

TABELA 7  
ECONOMIA OBTIDA COM A PRODUÇÃO DE RECICLAVEIS PELA USINA

Produto	Economia por t R\$	Prod. Usina	Economia Anual por Produto
Lata de Alumínio	480,30	1.731,60	782.035,74
Vidro	99,50	388,80	36.376,07
Papel	386,24	1.141,20	414.462,69
Lata de Aço	311,16	1.731,60	506.638,01
Plástico	1.466,00	1.836,00	2.530.888,91
<b>Total</b>	-	-	<b>4.270.401,42</b>

FONTE : Os autores.

Para efeito de cálculo multiplicou-se a economia por tonelada pela produção da Usina.

O somatório dos benefícios totais é apresentado abaixo :

Receita da Usina de Reciclagem e Compostagem: R\$ 1.127.618,88

Custos Evitados com a Poluição Hídrica:  
R\$ 3.818.812,50

Custos Evitados com Saúde:  
R\$ 187.778,29

Economia com a Reciclagem :  
R\$ 4.541.530,21

Total R\$ 9.404.610,53

## 5.9 FLUXO DOS BENEFÍCIOS LÍQUIDOS DO PROJETO DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM E ATERRO SANITÁRIO:

Para se calcular os benefícios líquidos do projeto, inclusive os indicadores financeiros do mesmo, recorreu-se aos resultados quanto aos “custos”, apresentados na seção anterior.

- Investimento Total, Usina de Reciclagem e Compostagem (alternativa conjunta) - R\$ 26.759.244,48
- Custo total anual da Usina de Reciclagem e Compostagem (alternativa conjunta) - Ano 1: R\$ 1.315.346,30; Ano 2: R\$ 1.329.740,17.

Os fluxos dos custos, benefícios e benefícios líquidos são apresentados na TABELA 8, a seguir:

TABELA 8  
FLUXOS DE CUSTOS E BENEFÍCIOS DO PROJETO. (R\$ DE JULHO/97)

Anos	Benefícios	Custos	Benefícios Atualiz.	Custos Atualiz.	Fluxo Líq. Atualiz.
0	0	26.759.244,48	0	26.759.244,48	26.759.244,48
1	9.404.610,53	1.315.346,30	8.396.973,69	1.174.416,34	7.222.557,35
2	9.404.610,53	1.329.740,17	7.497.297,94	1.060.060,72	6.437.237,21
3	9.404.610,53	1.329.740,17	6.694.016,01	946.482,79	5.747.533,23
4	9.404.610,53	1.329.740,17	5.976.800,01	845.073,922	5.131.726,09
5	9.404.610,53	1.329.740,17	5.336.428,58	754.530,28	4.581.898,30
6	9.404.610,53	1.329.740,17	4.764.668,38	673.687,75	4.090.980,62
7	9.404.610,53	1.329.740,17	4.254.168,19	601.506,92	3.652.661,27
8	9.404.610,53	1.329.740,17	3.798.364,46	537.059,75	3.261.304,71
9	9.404.610,53	1.329.740,17	3.391.396,84	479.517,64	2.911.879,20
10	9.404.610,53	1.329.740,17	3.028.032,89	428.140,75	2.599.892,14
Total			53.138.146,99	34.259.721,34	18.878.425,65

FONTE : os autores.

Obs : O fluxo de custos e benefícios do projeto no tempo foi calculado admitindo-se a taxa de desconto clássica de 12% ao ano.

Com base nos resultados obtidos (benefícios líquidos) foram calculados os seguintes indicadores para o projeto :

*Pay Back* Clássico - 2,82 (anos)

*Pay Back* Atualizado - 3,7 (anos)

Relação Benefício-Custo - : 1,55

Valor Presente Líquido - R\$18.878.425,65

Taxa Interna de Retorno - 14%

Na TABELA 6, os benefícios e custos são atualizados à taxa de 12% ao ano, para o ano de implantação do projeto, admitindo-se que esta taxa está próxima do custo de oportunidade do capital. Além do mais considerou-se um tempo de vida útil de 10 anos, que seria aproximado do tempo de vida útil da Usina.

O *Pay Back* Clássico, tempo de retorno do Investimento sem considerar a atualização de benefícios e custos, é de 3,3 anos

O *Pay Back* Clássico, tempo de retorno do Investimento atualizado a uma taxa de desconto de 12% é de 3,8 anos

O Valor Presente Líquido ao final de 10 anos é de R\$18.878.425,65. O que demonstra claramente que os benefícios totais obtidos com o projeto de Usina de Reciclagem e Compostagem juntamente com o aterro Sanitário geram um benefício líquido bem considerável já ao final do primeiro período, sendo que o projeto é totalmente pago já ao quarto ano de duração do empreendimento.

A Relação Benefício/Custo acima de 1,55 denota que, no espaço de tempo considerado, os benefícios do projeto são mais de uma vez e meia seus custos.

A taxa Interna de Retorno é igual a 14%, o que indica que até esta taxa o valor presente dos benefícios é maior ou igual valor presente dos custos do projeto.

Ao final, conclui-se que a sociedade tem um ganho de bem-estar, em um espaço de tempo bastante reduzido, além do que, considerando o período de 10 anos, o benefício líquido será bem mais significativo.

## 6- CONCLUSÕES

Comprovou-se a hipótese central levantada neste artigo de que a implantação dos métodos de tratamento de resíduos sólidos urbanos selecionados - Aterro Sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem - quando utilizados de forma conjunta, conduz a benefícios sociais líquidos.

Do ponto de vista teórico, foram demonstradas, sob o escopo da Economia do Bem-Estar, as características que fazem da disposição inadequada dos resíduos sólidos externalidades ambientais, assim como, os métodos de tratamento, como bens públicos, capazes de promover um ganho de bem-estar social, quando da existência de um benefício social líquido.

Ao longo do caminho metodológico percorrido neste trabalho, foram utilizados dois modelos econométricos com o objetivo de se fazer previsões acerca da quantidade de resíduos sólidos não coletados (*déficit*), elemento necessário para se ter uma aproximação do potencial de externalidades geradas pelos resíduos. Assim, para dados *cross section* dos Estados, o primeiro modelo identificou as variáveis que determinam o *déficit* na coleta (de resíduos) enquanto o segundo modelo, para dados *cross section* das capitais, identificou as variáveis que determinam a geração de resíduos. A partir dos bons resultados estatísticos obtidos em ambos os modelos, previsões foram feitas com elevada acurácia. Conduziu-se simulações para dois Estados distintas, Maranhão e São Paulo, tomando o resultado em relação ao *déficit* para cada Estado particular e multiplicando pelo resultado quanto ao lixo gerado para a capital do Estado respectivo, pode-se chegar a quantidade de lixo não coletado e, portanto, a uma aproximação das externalidades geradas pelos resíduos para cada localidade

Para a execução dos cálculos pertinentes aos custos de inversão e operação dos métodos de tratamento selecionados, assim como dos benefícios sociais, partiu-se da hipótese de que eles venham a atender uma população de 1.000.000 de habitantes. Assim, calculou-se os custos de implantação e operação da alternativa conjunta do uso integrado dos métodos de tratamento - aterro sanitário e usina de reciclagem e compostagem. Quanto aos benefícios, estes foram calculados

como decorrentes da implantação conjunta dos métodos de tratamento selecionados, onde foram considerados os seguintes elementos: custos evitados com a poluição hídrica, custos evitados com as doenças causadas pelos vetores que se reproduzem na presença de resíduos sólidos, economia com a reciclagem promovida pela Usina de Reciclagem e Compostagem e receita proveniente da venda do material triado e beneficiado pela mesma.

Do confronto entre os benefícios e custos anuais do projeto (aterro sanitário e usina de reciclagem e compostagem), extraiu-se os seguintes indicadores: a) Prazo de retorno do investimento atualizado, corrigido à taxa de 12% a. a. - 3,8 anos; b) Relação benefício-custo - 1,55, isto é, para cada unidade de custos haveria 1,55 unidades de benefícios; c) Taxa interna de retorno - 14%.

É de elevada importância a aplicação prática dos resultados auferidos. Em primeiro lugar, como os benefícios sociais obtidos mais do que excedem os custos de implantação e operação requeridos, ressaltando as diferenças pertinentes a cada caso particular, seria então, recomendada a adoção dos métodos de tratamento selecionados aos conglomerados urbanos com cerca de 1.000.000 de habitantes em cada unidade da Federação. Em segundo lugar, o ganho de bem-estar a ser alcançado, quando se evita a proliferação de doenças infécto-contagiosas, também atua de maneira positiva pela redução do ônus materializado nas contas públicas, através do Sistema Único de Saúde, o que aumenta a escala de benefícios indiretos do projeto.

## ABSTRACT

This paper focuses on the the analysis of costs and benefits arising from the solid wastes treatment methods, emphasizing a waste processing plant and landfill deposit area. Theoretical background is provided by the social welfare analysis from the externalities generation standpoint. By the empirical methodological approach, econometric models are built up to identify the selected variables, to forecast and simulate the dimension of both the generation and the the collection deficit of solid wastes. Reliable estimates are obtained and accurate forecasts are performed. The main result shows that a net social benefit is achieved as

the project takes place. By combining the annually benefits and costs from the project arises, among other positive indicators, a benefit-cost ratio of 1.55, that is, 55% of benefits over costs.

## KEY WORDS:

Domestic solid wastes, externalities, benefit-cost analysis, social welfare.

## 7- BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AMAZONAS, M. **O lixo do futuro e o futuro do lixo:** a importância da reciclagem no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. São Paulo, 1989. (mimeo).

ARAÚJO, A. **Engenharia e montagens - industrialização do lixo urbano:** aterro, compostagem e incineração. [S.l], 1992.( mimeo).

BAUMOL, W. J. , OATES, W. E. **The theory of environmental protection**, Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

BEED, D. , BLOOM, D. The economics of municipal solid waste. **The World Bank Research Observer**, v.10 n.2, ago. 1995, p. 113-150.

CALDERONI, Sabetai. **Os bilhões perdidos no lixo.** São Paulo: Humanitas Editora / FFLCH/USP, 1997.

CEMPRE- COMPROMISSO EMPRESARIAL DA RECICLAGEM; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Manual de gerenciamento integrado.** Rio de Janeiro, 1994.

CEMPRE, COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Pesquisa Ciclosoft**, 1995.

\_\_\_\_\_. **Informativos Mensais:** out/nov/93, ago/94; out/94; nov/94; dez/94; fev/95; jun/95; ago/95; fev/96; ago/96; out/96; fev/97; maio/97.

CHERMONT, L. & SEROA DA MOTTA, R. **Aspectos econômicos da gestão integrada de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro : IPEA/DIPES, 1996. (Texto para Discussão, n. 416)

CORTEZ, M. Del C. Tarifa x Subsídio. **Bio**, jan/mar, 1996, p.35-38.

- DEMAJOROVIC, V. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. **REA**, São Paulo, v.35, n.3, p. 88-93, maio-jun. 1995.
- DINIZ, M.B. **Resíduos Sólidos**: Uma abordagem da economia ambiental dos métodos de tratamento. 1997. (Tese de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Ceará).
- EIA/RIMA - Complexo de Destinação dos Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Belém, **SESAN**, Belém, 1994.
- GALVÃO JÚNIOR, A. de C. **Aspectos operacionais relacionados com as usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil**. São Paulo, 1994. (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo).
- HICKS, J. R. - Foundations of Welfare Economics. **The Economic Journal**, v.49 1939, p. 696-712.
- IBGE, ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1989. **Suplemento**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.
- \_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD)** - 1989. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. Tomos 1, 2, 3, 4 .
- \_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.
- \_\_\_\_\_. **Áreas municipais por unidade da federação: quadro territorial vigente em 31 de dezembro de 1993**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995.
- \_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD)** - 1995. Rio de Janeiro: IBGE, 1996.
- KALDOR, N. Welfare propositions of economics and interpersonal comparisons of utility. **The Economic Journal**, v.49, n.1939, p. 696-712.
- LAVINAS, L. , MAGINI, M. (Coord.). **Atlas regional da desigualdade**. Rio de Janeiro: FINEP/ANPOCS/IPEA, 1997.
- LONDERO, E. **Benefícios e Beneficiários**: una introdución a le estimación de efectos distributivos en el analisis costo beneficio, Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID. [S.l: s.n.], 1987.
- MAY, P. H. (Org.). **Economia ecológica**: aplicações no Brasil. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- PAGE, T. **Conservation and economic efficiency**: an approach to materials policy. London: Resources for the Future, 1976.
- PEARCE, D. , BRISSON, I. The economics of waste management. In : R. HESTER; HARRISON, R. **Issues in Enviromental Science and Technology**, n. 3, 1995. (Reimpresso de: Waste treatment disposal).
- \_\_\_\_\_. TURNER, R. K. **Economic of natural resources and the enviroment**. Baltimore: The Jonh Hopkins University Press, 1996.
- \_\_\_\_\_. Economics and solid waste management in the developing world. **CSERG Working Paper WM 94-05**, London, 1994.
- PEARCE, W. D. **Economic ambiental**. Tradução por Eduardo L. Suárez. México: Fondode Cultura Econômica, 1985.
- POSSAS, M. C. **Epidemiologia e Sociedade** : heterogeneidade estrutural e saúde no Brasil. 2. ed. São Paulo: HUCITEC/ABRASCO, 1989.
- POWELL, V. C, BRISSON, I. The assessment of social costs and benefits of waste disposal. **CSERG Working Paper, WM n.6**, London, 1994.
- QUEIROZ LIMA, M. **Lixo**: tratamento e biorremediação. 3. ed. São Paulo: Hemus, 1995.
- RIBEIRO DA LUZ, F. X. O tratamento do lixo. **Limpeza Pública**, São Paulo, n. 26, 1992.
- ROUQUAYROL, M. Z. **Epidemiologia e Saúde**. 2ª ed. Rio de Janeiro: MEDSI, 1993.
- SCITOVSKY , T. A note on welfare propositions in economics. **Review of Economic Studies**, 1941, p. 79-88.

- SEROA DA MOTTA, R. **Indicadores ambientais no Brasil** : aspectos ecológicos, de eficiência e distributivos. Rio de Janeiro: IPEA/DIPES, 1996.
- SILVA PINTO, M. DE. **A coleta e disposição do lixo no Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1979.
- SILVEIRA, G. T. R. Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos. **Saneamento Ambiental**, Ano VI, p. 30-35, julho/agosto, n 40, 1996.
- SUGDEN, R. ; Willians, A. **The principles of practical cost-benefit analysis**. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- UNCTAD - United Nations Conference on Environment and Development. **Agenda 21**, Rio de Janeiro, June 14, 1992.
- VERONESE, R. , FOCCACIA, R. **Tratado de Infectologia**. São Paulo: Atneu, 1996.
- ZANON, U. **Riscos Infeciosos Imputados ao Lixo Hospitalar**: realidade epidemiológica ou ficção sanitária ? Vitória: Companhia de Desenvolvimento de Vitória, Prefeitura de Vitória, 1995.