



## Uma aplicação da programação linear na definição dos fluxos de resíduos sólidos urbanos

### An application of Linear Programming in the definition of urban solid waste flow

Denise Helena Lombardo Ferreira<sup>1</sup>

Paula Venticinque Mendes<sup>2</sup>

**Resumo:** Os resíduos sólidos gerados por centros urbanos devem ser acomodados corretamente de forma a atender questões ambientais, operacionais e econômicas. Um dos problemas é determinar o local que servirá como aterro sanitário levando em conta o impacto ambiental, a logística de transporte e o custo envolvido. Este artigo tem como objetivo aplicar a Programação Linear na definição dos melhores fluxos de resíduos sólidos urbanos entre algumas cidades do Estado de São Paulo. A CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental é a responsável por avaliar uma unidade receptora deste Estado quanto a sua qualidade e sua eficiência ao analisar seu respectivo IQR (Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos), que classifica as condições de um município como inadequadas, controladas ou adequadas. A partir dos resultados encontrados, conclui-se que, caso a conscientização e a educação ambiental fossem plenas, as opções de localização de unidades receptoras seriam restringidas àquelas cujos IQRs são melhores e que, portanto, apresentam condições adequadas para acomodar os resíduos. Entretanto, isso pode acarretar maior custo, pois nem todos os municípios têm tais condições para acomodar seu próprio resíduo, sendo necessário transportá-lo para outros locais.

**Palavras-chave:** Meio ambiente; Modelagem matemática; Resíduos sólidos urbanos.

<sup>1</sup> PUC-Campinas – Pontifícia Universidade Católica de Campinas

<sup>2</sup> PUC-Campinas – Pontifícia Universidade Católica de Campinas

**Abstract:** The solid waste generated in urban centers must be properly accommodated to fulfill environmental, operational and economic issues. One of the problems is to define the location that will serve as landfill taking into account the environmental impact, transport logistics and the costs involved. This article aims at applying Linear Programming in the definition of the best urban solid waste streams among some cities in the state of São Paulo. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, is an agency responsible for sanitation in this state, and therefore responsible for evaluating a receiving unit, its quality and efficiency by analyzing their respective IQR (Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos, or Waste Landfill Quality Index), which classifies the conditions of a municipality as inadequate, controlled or appropriate. From these results, it is concluded that if the awareness and environmental education were present, the location options of receiving units would be restricted to those whose IQRs are better and therefore have adequate conditions to accommodate waste. However, this may lead to higher costs, because not all municipalities have such conditions to accommodate their own waste, requiring its transportation to other places.

**Keywords:** Environment; Mathematical Modeling, Urban solid waste.

---

## 1. Introdução

A atividade humana, principalmente a de caráter industrial, vem impactando o ecossistema e seus recursos ambientais há décadas, desde os primórdios da industrialização na Inglaterra, no século XVIII, período de grandes descobertas no processo produtivo. Este cenário se intensifica com os avanços tecnológicos e o crescimento populacional, juntamente com a falta de conscientização da sociedade.

Como assinalam Hawken, Lovis e Lovis (2007), o processo de produção e de consumo em massa no mundo atual e os fatores decorrentes, como industrialização acelerada, concentração espacial, modernização agrícola, expressivo crescimento populacional e crescente urbanização, alterações climáticas, esgotamento de recursos produtivos, escassez de água e poluição do solo, água e ar, compõem os principais pontos de pressão e conscientização humana sobre a problemática ambiental global.

De acordo com Veiga (2008), a questão ambiental ganhou visibilidade pública a partir da Conferência de Estocolmo, em 1972. Desde então, ocorreram vários encontros no âmbito internacional para debater esse importante tema. Entretanto, o quadro social, político, econômico e ambiental que caracteriza as sociedades contemporâneas revela que os impactos dos humanos sobre o meio ambiente estão se tornando cada vez mais complexos (Jacobi, 2007).

O crescimento populacional e o conseqüente aumento no consumo de produtos industrializados têm gerado detritos com taxas superiores à de absorção do meio ambiente. O Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos (CETESB, 2014) alerta para o acelerado crescimento de resíduos sólidos urbanos em função desse crescimento populacional. Nessa linha, Siqueira e Assad (2015) apontam que a geração de resíduo sólido urbano no Brasil vem crescendo a uma taxa maior se comparada com o crescimento da população urbana.

Segundo Hogan *et al.* (2000) os aterros sanitários são locais para possível destinação de resíduos sólidos onde esses resíduos são compactados no solo e cobertos por uma camada de terra ou algum material próprio. Os gases oriundos da decomposição e o chorume (líquido) devem ser destinados de forma a evitar danos à natureza e à população.

Cunha (2001) aponta que os aterros sanitários são menos prejudiciais à saúde quando comparado aos lixões, tendo em vista que os aterros sanitários têm a base impermeabilizada e recebem uma camada de terra.

Cada vez mais se torna necessário que a sociedade encontre uma forma de desenvolver o equilíbrio entre os seres humanos e o mundo natural. A Pesquisa Operacional, que usa relações matemáticas para descrever ou representar um objeto ou problema de decisão, pode auxiliar no entendimento dessas questões e, conseqüentemente, permitir decisões mais assertivas a esse respeito.

De uma maneira geral, a Pesquisa Operacional está apoiada em quatro ciências fundamentais: economia, matemática, estatística e informática. As técnicas mais utilizadas são: Programação Linear, Programação Inteira, Programação Não Linear, Programação Dinâmica, Teoria dos Estoques, Teoria das Filas, Simulação, Teoria dos Jogos, Teoria dos Grafos e Planejamento com PERT/CPM.

Lachtermacher (2007) destaca que antes do aprimoramento da tecnologia, muitos gerentes faziam uso apenas da intuição para tomar decisões, porém a quantidade de informações nos últimos anos cresceu exponencialmente, dificultando seu tratamento de forma intuitiva. Tal fato reforçou a necessidade de se utilizar ferramentas para resolver problemas envolvendo situações de tomada de decisão, em geral através de modelos matemáticos processados computacionalmente, como ocorre com a Pesquisa Operacional.

Goldbarg e Luna (2000) acrescentam que a Programação Linear pode ser utilizada para alocar eficientemente os recursos limitados e que podem ser disputados por atividades alternativas. Tendo em vista sua importância no auxílio da tomada de decisão, é comum as empresas fazerem uso dessa ciência, sobretudo nos dias de hoje em que os recursos são cada vez mais escassos, gerando grande competitividade econômica. Nessa linha, Murty (2003) assinala que modelos inteligentes são essenciais para obter bons resultados.

Este artigo tem como objetivo propor uma aplicação da Programação Linear, por meio da ferramenta Solver do software Microsoft Excel, para avaliar os melhores fluxos de resíduos sólidos urbanos entre algumas cidades do Estado de São Paulo.

## **2. Desenvolvimento**

Como citado anteriormente, o objetivo desse estudo é avaliar os melhores locais para aterros sanitários e os melhores fluxos de resíduos sólidos urbanos entre algumas cidades do Estado de São Paulo. Para tanto, inicialmente foi realizado um levantamento da capacidade das unidades receptoras e da quantidade de lixo produzida por algumas cidades da UGRHI 5, região do Estado de São Paulo associada às bacias dos rios Piracicaba, Jundiá e Capivari. O levantamento foi feito com base nas seguintes fontes: Gandelini e Caixeta Filho (2007), Gandelini (2000) e CETESB (2014).

Para a avaliação da localização dos aterros sanitários foi necessário considerar as distâncias rodoviárias entre as cidades escolhidas. O estudo realizado incorpora somente dois tipos de custos: operacionais e transporte do lixo. Como modelos são simplificações da realidade, não foram considerados os custos fixos e os custos de preparação das áreas para serem receptoras dos resíduos. Além disso, os valores de custos adotados para todos os municípios selecionados referem-se aos praticados no município de Piracicaba. Certamente,

esses valores não são necessariamente iguais para as demais cidades; porém, o mesmo valor pode ser aplicado devido à complexidade de se obter informações mais precisas de outros municípios.

Os custos operacionais dos aterros sanitários referem-se aos gastos despendidos com manutenções e reparos demandados, além do capital necessário para acomodar os resíduos no solo. O valor médio utilizado no modelo foi de R\$ 15,00/dia de lixo, praticado na cidade de Piracicaba.

O custo do transporte do lixo é um valor médio do transporte de uma tonelada de resíduos por quilômetro obtido através de dados coletados por Cunha (2001) para o município de Piracicaba. Em seu trabalho, Cunha (2001) obteve dados de coleta de resíduos para 27 setores atendidos na cidade de Piracicaba. Tais dados fornecem, por mês, as distâncias percorridas nesses setores até a unidade receptora, as quantidades de lixo movimentadas em cada um dos setores e o custo por quilômetro para transportar essas quantidades, resultando no custo médio para o frete de R\$ 0,0174/t.km.

A classificação dos aterros sanitários é feita por meio de um índice denominado IQR (Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos), mostrada na Tabela 1. Seu cálculo é feito a partir de levantamento realizado por técnicos da CETESB (2014), a respeito das características operacionais e de infraestrutura dos sistemas de tratamento de lixo, considerando a população de cada cidade e a produção de resíduos sólidos *per capita*. O levantamento dos dados pertinentes por meio da aplicação de formulários padronizados, que vem sendo realizado desde 1997, considera 41 variáveis, às quais são atribuídas notas específicas.

A partir da contabilização da média dessas notas, tem-se o IQR de cada instalação receptora de resíduos em operação no Estado de São Paulo, que pode variar de 0 a 10, de tal forma que os aterros são classificados, como inadequados, controlados e adequados.

**Tabela 1:** Enquadramentos das instalações de destinação final do lixo em função dos valores de IQR.

IQR	Enquadramento
$0,0 \leq \text{IQR} \leq 6,0$	Condições inadequadas
$6,0 < \text{IQR} \leq 8,0$	Condições controladas
$8,0 < \text{IQR} \leq 10,0$	Condições adequadas

**Fonte:** Gandelini e Caixeta Filho (2007).

O modelo matemático de Programação Linear a ser resolvido é apresentado pelas equações (1)-(5), o mesmo descrito por Gandelini e Caixeta Filho (2007) com algumas adaptações.

Função objetivo: Deseja-se minimizar o custo total, considerando o custo de transportar o lixo dos municípios para os aterros sanitários e o custo operacional referente ao município selecionado como receptor do lixo (equação (1)).

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} x_{ij} C_{ij} + \sum_{j=1}^n F_j CO_j \quad (1)$$

sendo que:

$A_{ij}$  = distância rodoviária do município  $i$  ao município  $j$ ;

$x_{ij}$  = quantidade de lixo produzido no município  $i$  e aterrado no município  $j$ ;

$C_{ij}$  = custo de transporte do lixo produzido no município  $i$  e aterrado no município  $j$ ;

$F_j$  = variável binária, tipo zero-um, associada à recepção ou não de lixo por um aterro sanitário (ou lixão) localizado no município  $j$ ;

$CO_j$  = custo operacional (manutenção e disposição) do aterro ou lixão localizado no município  $j$ .

Restrições:

a) A movimentação de lixo a partir do município  $i$  deve ser igual à produção de lixo do próprio município (equação (2)).

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = S_i \quad \forall i \quad (2)$$

sendo que:

$\sum_{j=1}^n x_{ij}$  = quantidade total de lixo produzido no município  $i$  transportada para o

município  $j$ ;

$S_i$  = quantidade de lixo (em toneladas) produzido por dia no município  $i$ .

Vale ressaltar que para encontrar a quantidade de lixo final, em metros cúbicos, foi feito o seguinte cálculo  $(S_i / 0,7) * 1,2$ . A divisão por 0,7 refere-se à compactação do lixo e a multiplicação por 1,2 refere-se aos 20% de cobertura de terra que o lixo deve receber antes de ser colocado no aterro sanitário.

b) Capacidade de recepção dos aterros sanitários e/ou lixões (equação (3)).

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq D_j F_j, \text{ para todo } i \text{ e } j \quad (3)$$

sendo que:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = \text{quantidade de lixo recebida dos municípios produtores de lixo pelo aterro do}$$

município  $j$ ;

$$D_j = \text{capacidade total de recepção de resíduos do município } j.$$

c) Existência de pelo menos uma unidade receptora de resíduos no Estado de São Paulo (equação (4)).

$$\sum_{j=1}^n F_j \geq 1 \quad (4)$$

d) Exclusão dos aterros considerados inadequados, ou seja, cujos IQRs sejam inferiores a  $k$  (equação (5)).

$$x_{ij} = 0 \text{ se } P_j \leq k \text{ para todo } i \text{ e } j \quad (5)$$

sendo que:

$$P_j = \text{valor do IQR do município } j;$$

$$k = \text{IQR mínimo exigido para que um município possa ser selecionado};$$

$$x_{ij} = \text{quantidade de lixo produzido no município } i \text{ e aterrado no município } j.$$

Três cenários foram realizados tendo em vista os dados de Gandelini e Caixeta Filho (2007), Gandelini (2000) e CETESB (2014), com dois grupos de cidades. O Grupo 1 é formado por Americana, Campinas, Jaguariúna, Paulínia e Sumaré. O Grupo 2 é composto por Águas de São Pedro, Cordeirópolis, Jundiaí, Piracicaba e Santa Bárbara D'Oeste.

**Cenário 1:**  $k = 8,1$  na equação (5). Somente os aterros adequados podem fazer parte do resultado, já que apenas os municípios com IQRs iguais ou superiores a 8,1 podem ser selecionados.

**Cenário 2:**  $k = 6,1$  na equação (5). Somente os aterros controlados e os adequados podem fazer parte do resultado, já que as unidades com IQRs maiores ou iguais a 6,1 podem ser selecionadas.

**Cenário 3:** sem restrição de IQR. Não foram consideradas as variáveis de caracterização dos aterros, ou seja, a equação (5) que envolve o IQR não foi considerada e, portanto, todas as cidades podem ser selecionadas.

### 3. Resultados

A partir do modelo matemático de Programação Linear apresentado pelas equações (1)-(5) e utilizando os dados das características das cidades dos Grupos 1 e 2 descritos nas Tabelas 2-5, por meio do Solver do Programa Microsoft Excel, foram obtidas as respectivas soluções.

#### Grupo 1: Americana, Campinas, Jaguariúna, Paulínia e Sumaré

**Tabela 2:** Dados das cidades.

	<b>Lixo (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Capacidade do aterro (m<sup>3</sup>)</b>	<b>IQR</b>
Americana	155,65	150125	4,8
Campinas	1142,23	41300	6,5
Jaguariúna	17,65	0	0
Paulínia	34,80	60800	8,9
Sumaré	165,60	0	0

**Fonte:** Adaptado de Gandelini e Caixeta Filho (2007).

**Tabela 3:** Distâncias entre cidades (km).

<b>De/Para</b>	<b>Americana</b>	<b>Campinas</b>	<b>Jaguariúna</b>	<b>Paulínia</b>	<b>Sumaré</b>
Americana	0	37,7	58,5	28,8	12,8
Campinas	37,7	0	33,8	20,8	29,3
Jaguariúna	58,5	33,8	0	37,2	50,1
Paulínia	28,8	20,8	37,2	0	20,1
Sumaré	12,8	29,3	50,1	20,1	0

**Fonte:** <http://www.entrecidadesdistancia.com.br/>

O total de resíduos sólidos produzidos pelas cinco cidades do Grupo 1 no ano de 2000 é 1.515,93 t/dia.

A seguinte solução foi obtida pelo Solver do Programa Microsoft Excel.

**Cenário 1:** Foi selecionada apenas uma cidade para ser receptora de resíduos: Paulínia. Ela receberá todo o lixo produzido pelas cinco cidades. O custo será de R\$ 575,74.

**Cenário 2:** Foram selecionadas duas cidades para serem receptoras de resíduos: Campinas e Paulínia. Campinas receberá 1.142,23 t diárias de lixo de si mesma e 17,65 t diárias de lixo de Jaguariúna, resultando em 1.159,88 t. Este valor representa 76,51% do total de lixo. Paulínia receberá 155,65 t diárias de lixo de Americana, 34,80 t diárias de lixo de si mesma e 165,60 t diárias de lixo de Sumaré, resultando em 356,05 t. Este valor representa 23,49% do total de lixo. O custo será de R\$ 176,30.

**Cenário 3:** Foram selecionadas duas cidades para serem receptoras de resíduos: Americana e Campinas. Americana receberá 155,65 t diárias de lixo de si mesma e 165,60 t



diárias de lixo de Sumaré, resultando em 321,25 t. Este valor representa 21,19% do total de lixo. Campinas receberá 1.142,23 t diárias de lixo de si mesma, 17,65 t diárias de lixo de Jaguariúna e 34,80 t diárias de lixo de Paulínia, resultando em 1.194,68 t. Este valor representa 78,81% do total de lixo. O custo será de R\$ 89,86.

Dentre os cenários apresentados, o Cenário 3 obteve o menor custo, entretanto, não atende a restrição do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR).

Grupo 2: Águas de São Pedro, Cordeirópolis, Jundiaí, Piracicaba e Santa Bárbara D'Oeste

**Tabela 4:** Dados das cidades.

	<b>Lixo (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Capacidade do aterro (m<sup>3</sup>)</b>	<b>IQR</b>
A. S. Pedro	1,2	0	0
Cordeirópolis	10,97	7000	3,3
Jundiaí	308,23	0	0
Piracicaba	325,54	148000	7,8
S. B. d'Oeste	143,65	80000	7,1

**Fonte:** Adaptado de Gandelini e Caixeta Filho (2007).

**Tabela 5:** Distâncias entre cidades (km).

<b>De/Para</b>	<b>A. S. Pedro</b>	<b>Cordeirópolis</b>	<b>Jundiaí</b>	<b>Piracicaba</b>	<b>S. B. d'Oeste</b>
A. S. Pedro	0	68,6	131	31,7	55,8
Cordeirópolis	68,6	0	105	47,7	44,3
Jundiaí	131	105	0	105	85,1
Piracicaba	31,7	47,7	105	0	29
S. B. d'Oeste	55,8	44,3	85,1	29	0

**Fonte:** <http://www.entrecidadesdistancia.com.br/>

O total de resíduos sólidos produzidos pelas cinco cidades do Grupo 2 no ano de 2000 é 789,59 t/dia.

A seguinte solução foi obtida pelo Solver do Programa Microsoft Excel.

**Cenário 1:** Nenhuma cidade foi escolhida, pois todas apresentam IQR inferior a 8,1.

**Cenário 2:** Foram selecionadas duas cidades para serem receptoras de resíduos: Piracicaba e Santa Bárbara D'Oeste. Piracicaba receberá 1,20 t diárias de lixo de Águas de São Pedro e 325,54 t diárias de lixo de si mesma, resultando em 326,74 t. Este valor representa 41,38% do total de lixo. Santa Bárbara D'Oeste receberá 10,97 t diárias de lixo de Cordeirópolis, 308,23 t diárias de lixo de Jundiaí e 143,65 t diárias de lixo de si mesma, resultando em 462,85 t. Este valor representa 58,62% do total de lixo. O custo será de R\$ 495,53.

**Cenário 3:** A solução obtida foi a mesma do Cenário 2.

Dentre os cenários apresentados, apenas os Cenários 2 e 3 foram viáveis.

Na mesma linha, foi realizado outro estudo para os dois grupos de cidades, porém considerando a produção do lixo e o IQR de cada cidade relativos ao ano de 2014, mas com a capacidade dos aterros sanitários do ano de 2000.

Grupo 1: Americana, Campinas, Jaguariúna, Paulínia e Sumaré

**Tabela 6:** Dados das cidades.

	<b>Lixo (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Capacidade do aterro (m<sup>3</sup>)</b>	<b>IQR</b>
Americana	348,55	150125	9,8
Campinas	2139,84	41300	9,8
Jaguariúna	67,54	0	9,8
Paulínia	130,47	60800	9,8
Sumaré	399,94	0	9,8

**Fonte:** Adaptado da CETESB (2014).

O total de resíduos sólidos produzidos pelas cinco cidades do Grupo 1 no ano de 2014 é 3.086,34 t/dia.

A seguinte solução foi obtida pelo Solver do Programa Microsoft Excel.

**Cenário 1:** Foram selecionadas três cidades para serem receptoras de resíduos: Americana, Campinas e Paulínia. Americana receberá 348,55 t diárias de lixo de si mesma e 399,94 t diárias de lixo de Sumaré, resultando em 748,49 t. Este valor representa 24,25% do total de lixo. Campinas receberá 2139,84 t diárias de lixo de si mesma e 67,54 t diárias de lixo de Jaguariúna, resultando em 2.207,38 t. Este valor representa 71,52% do total de lixo. Paulínia receberá 130,47 t diárias de lixo de si mesma. Este valor representa 4,23% do total de lixo. O custo será de R\$ 173,80.

**Cenário 2:** A solução obtida foi a mesma do Cenário 1.

**Cenário 3:** A solução obtida foi a mesma do Cenário 1.

Dentre os cenários apresentados, apenas uma solução foi viável.

Grupo 2: Águas de São Pedro, Cordeirópolis, Jundiá, Piracicaba e Santa Bárbara

D'Oeste

**Tabela 7:** Dados das cidades.

	<b>Lixo (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Capacidade do aterro (m<sup>3</sup>)</b>	<b>IQR</b>
A. S. Pedro	3,69	0	7,3
Cordeirópolis	24,74	7000	7,1
Jundiá	587,54	0	8,6
Piracicaba	586,39	148000	9,8
S. B. d'Oeste	289,66	80000	7,5

**Fonte:** Adaptado da CETESB (2014).

O total de resíduos sólidos produzidos pelas cinco cidades do Grupo 2 no ano de 2014 é 1.492,02 t/dia.

A seguinte solução foi obtida pelo Solver do Programa Microsoft Excel.

**Cenário 1:** Foi selecionada apenas uma cidade para ser receptora de resíduos: Piracicaba. Ela receberá todo o lixo produzido pelas cinco cidades. O custo será de R\$ 1257,17.

**Cenário 2:** Foram selecionadas três cidades para serem receptoras de resíduos: Cordeirópolis, Piracicaba e Santa Bárbara D'Oeste. Cordeirópolis receberá 24,74 t diárias de lixo de si mesma. Este valor representa 1,66% do total de lixo. Piracicaba receberá 3,69 t diárias de lixo de Águas de São Pedro e 586,39 t diárias de lixo de si mesma, resultando em 590,08 t. Este valor representa 39,55% do total de lixo. Santa Bárbara D'Oeste 587,54 t diárias de lixo de Jundiaí e 289,66 t diárias de lixo de si mesma, resultando em 877,20 t. Este valor representa 58,79% do total de lixo. O custo será de R\$ 917,03.

**Cenário 3:** A solução obtida foi a mesma do Cenário 2.

Dentre os cenários apresentados, os Cenários 2 e 3 apresentaram o menor custo, entretanto, o Cenário 3 não atende a restrição do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR).

#### 4. Conclusão

Com os resultados obtidos nos três cenários desenvolvidos neste trabalho e apresentados na Tabela 8, foi possível concluir e comprovar, ao minimizar os custos considerados para a determinação da localização ideal dos aterros sanitários, que, ao se considerar os IQRs, o custo aumenta, visto que tal índice é fator limitante para a escolha das unidades receptoras. Tal conclusão é mais evidente para os resultados obtidos a partir dos dados da CETESB (2000) apud Gandelini e Caixeta Filho (2007) com o primeiro grupo de cidades.

**Tabela 8:** Custos resultantes para cada cenário.

Cenário	CETESB (2000) Grupo 1	CETESB (2000) Grupo 2	CETESB (2014) Grupo 1	CETESB (2014) Grupo 2
1 (IQR $\geq$ 8,1)	R\$ 575,74	-	R\$ 173,80	R\$ 1257,17
2 (IQR $\geq$ 6,1)	R\$ 176,30	R\$ 495,53	R\$ 173,80	R\$ 917,03
3 (sem IQR)	R\$ 89,86	R\$ 495,53	R\$ 173,80	R\$ 917,03

**Fonte:** Elaboração própria.

Pode-se concluir que o não atendimento da classificação imposta pelo Índice de Qualidade de Aterro de Resíduo (IQR) (CETESB, 2014) quanto à condição adequada do depósito do lixo possibilita economia no custo final. Entretanto, o fato de não atender às restrições impostas pode acarretar vários danos ambientais, sobretudo para as gerações futuras.

Vale destacar que os dados obtidos para a análise da melhor determinação da localização dos aterros sanitários são aproximações das informações disponíveis em Gandelini e Caixeta Filho (2007), tendo em vista a dificuldade para a obtenção dos dados reais. Entretanto,

isso não inviabiliza a análise realizada, apenas destaca a importância do assunto tratado, mostrando a necessidade de obter informações que sejam confiáveis.

O propósito deste trabalho é mostrar que, como as características dos locais receptores de resíduos modificam-se expressivamente ao longo do tempo, conforme observado ao comparar os dados do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos (Gandelini; Caixeta Filho, 2007; CETESB, 2014), é necessário advertir os órgãos fiscalizadores e o Poder Público quanto ao uso de ferramentas apropriadas, como o modelo sugerido neste estudo, para facilitar o monitoramento e controle da disposição e da utilização de lixões e aterros sanitários.

## 5. Referências

- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2014. *Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos*. Disponível em: <<http://residuossolidos.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/36/2013/11/residuosSolidos2014.pdf>>. Acesso em: 11 fev 2016.
- CUNHA, V. 2001. *Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas*. Piracicaba, Dissertação. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- GANDELINI, L. 2002. *Localização de aterros sanitários e lixões no estado de São Paulo, considerando padrões ambientais distintos: uma aplicação de modelos matemáticos de otimização*. Monografia apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas. Piracicaba-SP.
- GANDELINI, L.; CAIXETA FILHO, J. V. 2007. Otimização dos aterros sanitários. *Revista de Economia Contemporânea*, p. 509-523.
- GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. 2000. *Otimização Combinatória e programação linear: modelos e algoritmos*. Rio de Janeiro: Campus.
- HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, H. 2007. *Capitalismo Natural: criando a próxima revolução industrial*. São Paulo: Cultrix.
- HOGAN, D. J.; CUNHA, J. M. P.; BAENINGER, R.; CARMO, R.L. (Org). 2000. *Um Breve Perfil Ambiental do Estado de São Paulo*. Resíduos Sólidos. In: Migração e Ambiente em São Paulo: Aspectos Relevantes da Dinâmica Campinas. Núcleo de Estudos de População. Unicamp.
- JACOBI, P. R. 2007. Educar na sociedade de risco: o desafio de construir alternativas. *Pesquisa em Educação Ambiental*, São Carlos, v. 2, n. 2, p. 49-65.
- LACHTERMACHER, G. 2007. *Pesquisa Operacional na tomada de decisões*. Rio de Janeiro: Campus.
- MURTY, K. G. 2003. *Optimization Models for Decision Making*. Michigan: Ann Arbor.
- SIQUEIRA, T. M. O.; ASSAD, M. L. R. C. L. 2015. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no Estado de São Paulo (Brasil). *Ambiente&Sociedade*, v. XVIII, n. 4, p. 243-264.
- VEIGA, J. E. 2008. *Desenvolvimento Sustentável: o desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Garamond.