



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



**Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo**

Escola Politécnica



Trabalho Final de Graduação

**“Proposta de implantação de sistema de
coleta de resíduos sólidos a vácuo em uma
área em desenvolvimento urbano na Barra
Funda, em São Paulo”**

Aluno:

Gustavo Cardozo Mukay

540 3311

Orientação:

Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte – FAU USP

Profa. Dra. Karin Regina de Casas Castro Marins – POLI USP

São Paulo, 04 de Dezembro de 2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO DESDE QUE CITADA A FONTE

MUKAY, Gustavo C.
13 de Novembro de 2012

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferenças no perfil de produção de resíduos em função da renda familiar	19
Figura 2. Padrões de geração de lixo municipal em função do PIB per capita.....	21
Figura 3. Exemplo de problema do tipo carteiro chinês.	25
Figura 4. Mapeamento dos municípios que possuem coleta seletiva no Brasil	28
Figura 5. Mapeamento dos Ecopontos e Cooperativas de Reciclagem no Centro expandido de São Paulo	30
Figura 6. Percentual de domicílios com lixo coletado	32
Figura 7. Brasil - Quantidade diária de resíduos sólidos, domiciliares e/ou públicos, coletados e/ou recebidos (t/dia)	32
Figura 8. São Paulo - Quantidade diária de resíduos sólidos coletada por unidade final de destino (t/dia)	33
Figura 9. Pessoal ocupado no serviço de manejo de resíduos sólidos, por tipo de vínculo empregatício (Estado de São Paulo).	34
Figura 10. Lixo acumulado na porta da prefeitura do campus da Universidade de São Paulo.....	35
Figura 11. Aterros e Transbordos de São Paulo	41
Figura 12. Divisão das concessões de coleta de resíduos sólidos em São Paulo por subprefeitura	41
Figura 13. Municípios com serviço de coleta de lixo, que possuem áreas para disposição final dos resíduos, Região Metropolitana de São Paulo e Rio de Janeiro	43
Figura 14. Unidade de destino final do lixo coletado, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro	44
Figura 15. Municípios com serviço de coleta de lixo, que possuem áreas para disposição final dos resíduos, Brasil	44
Figura 16. Quantidade de caminhões utilizados no serviço de manejo de resíduos sólidos em São Paulo .	46
Figura 17. Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte	47
Figura 18. Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na Região Metropolitana de São Paulo RMSP em 2004	48
Figura 19. Caracterização da frota a Diesel	49
Figura 20. Sistema estacionário de coleta de resíduos a vácuo	51
Figura 21. Caminhão coletando container de armazenamento.....	51
Figura 22. Contêiner destinado a uma fração do sistema.....	52
Figura 23. Sistema móvel de coleta a vácuo.....	53
Figura 24. Caminhão com tubulação flexível conectado ao ponto de sucção do sistema móvel.....	53
Figura 25: Pontos de coleta instalados em um condomínio com 3 frações.....	55

Figura 26. Planta: Sistema ENVAC em Hammarby Sjöstad, Estocolmo	58
Figura 27. Pontos de coleta de Hammarby Sjöstad	59
Figura 28. Planta Stora Ursvik.....	61
Figura 29. Padrões de geração de resíduos- frequência semanal	61
Figura 30. Cenário Normal- Número de lixeiras cheias por tempo (horas)- 1 semana em horas (168)	62
Figura 31. Cenário +20% - Número de lixeiras cheias por tempo (horas)- 1 semana em horas (168)	62
Figura 32. Roteirização de coleta para sistema convencional (acima) e ENVAC(abaixo)	63
Figura 33. Redução nas emissões de carbono pela implantação do sistema a vácuo	64
Figura 34. Calçadão com sistema de coleta a vácuo implantado (Almere, Holanda)	66
Figura 35. Acúmulo de lixo	67
Figura 36. Foto Aérea da Operação Urbana (OU) Água Branca	69
Figura 37. Divisão de setores da OU Água Branca.....	70
Figura 38. Localização da Área de Intervenção	72
Figura 39. Macro Regiões de São Paulo- Político Administrativo	73
Figura 40. Densidade de Área construída residencial horizontal.....	73
Figura 41. Densidade de área construída residencial vertical.....	74
Figura 42. Renda Média Familiar	74
Figura 43. Mapeamento de usos (Água Branca)	75
Figura 44. Mapeamento de Equipamentos Urbanos (Água Branca).....	75
Figura 45. Mapeamento das redes de Transportes próximas ao distrito da Água Branca	76
Figura 46. Mapeamento do Valor Venal médio do terreno por quadra fiscal	76
Figura 47. Proposta viária para a operação urbana Água Branca	77
Figura 48. Partido de projeto.....	77
Figura 49. Projeto Urbanístico do Empreendimento	79
Figura 50. Praça de Alimentação	80
Figura 51. Perspectiva do parque linear/ Avenida oeste	80
Figura 52. Corte AA.....	82
Figura 53. Corte BB	82
Figura 54. Corte CC	82
Figura 55. Estudo de Volumes: Vista NE.....	83
Figura 56. Estudo de volumes: Vista SW	83

Figura 57. Sombra para o solstício de inverno, 8:00 hs.....	84
Figura 58. Sombra para o solstício de inverno, 12:00 hs.....	84
Figura 59. Sombra para o solstício de inverno, 15:00 hs.....	85
Figura 60. Coleta por shafts distribuídos pelos pavimentos	86
Figura 61. Coleta central instalada no térreo	86
Figura 62. Traçado proposto da rede de escoamento a vácuo (ver ANEXO B)	88
Figura 63. Trajetos até cooperativas e Ecoponto mais próximos	97
Figura 64. Profundidade média das redes de infra-estrutura urbana.....	98
Figura 65. Sentido das vias no empreendimento	102
Figura 66. Rota do caminhão de coleta dentro do empreendimento.....	103

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. PIB per capita e razão de produção de resíduos kg/dia/pessoa.....	22
Tabela 2. Classificação dos resíduos (LIMPURB, 2012)	23
Tabela 3. Aspectos positivos e negativos das modalidades de coleta seletiva	26
Tabela 4. Custos relativos à disposição de resíduos para aterros sanitários.	38
Tabela 5. Aterros Sanitários existentes em São Paulo	42
Tabela 6. Economia em créditos carbono	46
Tabela 7. Densidade relativa à emissão de caminhões da frota de coleta de lixo.....	49
Tabela 8. Custo da poluição em São Paulo- Internações e Dias perdidos.....	50
Tabela 9. Capacidade máxima recomendada do sistema	53
Tabela 10. Capacidade mínima recomendada do sistema	54
Tabela 11: Pré-dimensionamento de abrangência do sistema ENVAC.....	55
Tabela 12. Dados do componente Tubulação para escoamento a vácuo, adotados no Brasil.....	55
Tabela 13. Análise da massa dos perfis em função da variação da espessura do tubo.....	57
Tabela 14. Hammarby Sjöstad - Dados do sistema de escoamento a vácuo.....	59
Tabela 15. Hammarby Sjöstad- Dados técnicos de implantação	60
Tabela 16. Índices e Dados do sistema ENVAC para diferentes empreendimentos.	65
Tabela 17. Caracterização dos setores, OU Água Branca	70
Tabela 18. Parâmetros urbanísticos estabelecidos pela OU Água Branca para a área escolhida	72
Tabela 19. Parâmetros de uso e ocupação do solo	81
Tabela 20. Parâmetros de ocupação urbana e uso do solo	89
Tabela 21. Quantificação de área construída por tipo de quadra e por lote	89
Tabela 22. Quantificação de área construída e residências equivalentes por uso	90
Tabela 23. Parâmetros adotados para calcular geração de resíduos.....	90
Tabela 24. Estimativa da quantidade de resíduos gerada para as modalidades A e B	91
Tabela 25. Economia em créditos carbono média para 1 caminhão	94
Tabela 26. Levantamentos de quantitativos de obras e execução para geração do orçamento	99
Tabela 27. Custos de obras de implantação da rede a vácuo	100
Tabela 28. Parâmetros adotados para determinação de custos de operação da rede	100

Tabela 29. Estimativa do aditivo do valor do salário do Gari ao km rodado do caminhão	101
Tabela 30. Composição do resíduo domiciliar paulistano e densidade média dos tipos de resíduos	102
Tabela 31. Cenário Base de Geração de Resíduos- Modalidade A.....	105
Tabela 32. Cenário Base de Geração de Resíduos- Modalidade B	105
Tabela 33. Parâmetros de Estimativa da Economia Credito Carbono.....	107
Tabela 34. Fluxo de Caixa do Cenário ENVAC, Modalidade A	107
Tabela 35. Fluxo de Caixa do Cenário ENVAC, Modalidade B	108
Tabela 36. Fluxo de Caixa do Cenário Coleta Seletiva Convencional, Modalidade A.....	110
Tabela 37. Fluxo de Caixa do Cenário Contêiner, Modalidade B	111
Tabela 38. Comparativo entre dos VPLs dos cenários e modalidades apresentadas, e valores de custo em BRL/ton.	112

PARTE I: ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM SÃO PAULO E ANÁLISE PRELIMINAR DA TECNOLOGIA A VÁCUO

Resumo	15
1. Introdução.....	17
1.1 Apresentação	17
2. Diagnóstico: Situação Atual	19
2.1 Produção de resíduos sólidos urbanos	19
2.1.1 Perfil.....	19
Poder de compra, padrão de vida e consumo.....	19
2.1.2 Entre sociedades.....	21
2.2 Sistema atual de gestão de RSU.....	22
2.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	22
2.2.2 Operação de coleta e manejo dos resíduos sólidos urbanos classe II A	23
2.2.3 Programa de Coleta Seletiva	26
2.2.4 Números da coleta atual	31
2.2.5 Política Nacional de Resíduos Sólidos	36
2.2.6 O custo do lixo	38
2.2.7 Aterros e Transbordos	40
2.2.8 Poluição	46
3. Solução Proposta	51
3.1 O sistema de escoamento a vácuo	51
3.1.1 Descrição.....	51
3.1.2 Aspectos Técnicos.....	53
3.1.3 Impacto ambiental do sistema a vácuo	57
3.2 Estudos de Caso	58
3.2.1 Hammarby Sjöstad	58
3.2.2 Stora Ursvik.....	60

3.2.3	Yongin Suji.....	64
3.2.4	Sollefteå Sjukhus.....	64
3.2.5	Outros exemplos:.....	65
3.3	Vantagens do sistema a vácuo.....	65
4	Introdução- Parte II.....	68
4.1	Apresentação	68
4.2	Objetivo.....	68
5	Área de Estudo.....	69
5.1	ÁGUA BRANCA	69
5.1.1	Introdução	69
5.1.2	Projeto de referência	70
5.1.3	Área de Intervenção	71
5.2	Projeto Urbanístico	73
5.2.1	Levantamento de Dados.....	73
5.2.2	Partido de Projeto.....	77
5.2.3	Desenho Urbano	78
5.2.4	Estudo de Volumes	83
6.	Projeto da Rede de Escoamento a Vácuo.....	86
6.1	Premissas	86
6.2	Dimensionamento.....	89
6.2.1	Quantidade de resíduos gerada	89
6.2.2	Critérios cronológicos para dimensionamento da rede	92
7.	Estudo de viabilidade financeira.....	93
7.1	Introdução.....	93
7.1.1	Considerações sobre o sistema ENVAC	93
7.1.2	Critérios de Comparação de custos entre as tecnologias	95
7.1.3	Observações Preliminares	95
7.2	Definição da operação de coleta	95
7.2.1	Considerações sobre a possibilidade de implantação de uma cooperativa de reciclagem anexa ao terminal.....	97

7.3	Orçamento de obras	98
7.4	Parâmetros do Estudo de Viabilidade.....	100
7.4.1	Cenário base de Geração de Resíduos	104
7.4.2	Cenário ENVAC.....	106
7.4.3	Cenário Coleta Seletiva Convencional	109
8.	Conclusão.....	112
9.	Referências bibliográficas.....	116
9.1	Livros, monografias e teses:	116
9.2	Eventos	117
9.3	Filmes.....	117
9.4	Sítios na Internet	117
9.5	Periódicos, Revistas e Artigos.....	119
9.2	Bibliografia Complementar	119
9.2.1	Livros, monografias e teses:	119
10.	ANEXO A: PROJETO URBANO	121
11.	ANEXO B: PROJETO DA REDE A VÁCUO	122
12.	ANEXO C: ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA.....	123

Resumo

Dada a possibilidade de inovação tecnológica na área de resíduos sólidos urbanos (RSU), verificar os benefícios de diferentes naturezas (sociais, técnicos, econômicos e ambientais) que a mesma pode proporcionar face ao sistema tradicional de coleta, de forma a melhorar a performance da gestão de resíduos sólidos como um todo.

OBJETO:

Tecnologia desafiante: Rede de escoamento a vácuo de resíduos sólidos.

Tecnologia desafiada: Sistema de coleta seletiva porta a porta.

OBJETIVO

Estudar uma alternativa ao sistema corrente de manejo e coleta de resíduos sólidos, que possa ser mais eficaz social, econômica e ambientalmente. Como alternativa, entende-se o sistema de coleta, escoamento e transporte de resíduos a vácuo, conforme já implantado em algumas cidades europeias. Ao final deste trabalho, objetiva-se adequar a tecnologia mencionada ao panorama brasileiro por meio do projeto na escala do bairro em área de estudo no distrito da Barra Funda, em São Paulo.

MÉTODO

Inicialmente, será feito levantamento de dados relacionados à questão de resíduos sólidos no Brasil e particularmente em São Paulo. Serão estudados sob perspectiva social, econômica e ambiental as atuais características do sistema de manejo de resíduos sólidos urbanos. Simultaneamente, será estudada a tecnologia desafiante sob as mesmas perspectivas anteriormente citadas, e também sob aspectos de viabilidade técnica e operacional. Finalmente, será feita comparação entre ambas.

PRINCIPAIS RESULTADOS

Se comparada ao custo médio de operação da coleta seletiva nacional, cujo valor é R\$ 367,20 compreendendo a operação como um todo, a tecnologia desafiante se mostrou inviável financeiramente principalmente em função de seu alto custo de implantação e equipamentos, ao custo próximo de R\$ 358 reais por tonelada, valor inferior ao anteriormente mencionado porém servindo apenas à parte do processo necessário à gestão dos resíduos sólidos urbanos: o transporte dos resíduos do bairro ao terminal central, excluindo os demais custos relacionados à estruturação da operação de coleta seletiva.

Se considerados benefícios indiretos e economias ambientais (como redução de ruído e subsídios aos derivados do petróleo), assim como o custo de operação de coleta seletiva em uma região mais próxima da realidade de São Paulo (São Bernardo do Campo) de R\$ 1036,08, o sistema pode ser implantável, porém necessita de estudo mais aprofundado.

Parte I: Estudo e caracterização da problemática de resíduos sólidos em São Paulo e análise preliminar da tecnologia a vácuo

1. Introdução

1.1 Apresentação

Há sentidos urbanos para os quais a cidade não foi e não é pensada. Além da dimensão física que se materializa nas redes de saneamento básico, de transportes e de informações, tangível ao olho e ao toque apesar do desfasamento, há variáveis urbanas ocultas e imateriais cujos movimentos se refletem no espaço da cidade.

É conhecido o fato de que a cidade de São Paulo não cresceu de forma planejada. Manifesta-se no caos rotineiro paulistano a ausência de um programa estruturado de desenvolvimento urbano e a negligência política e social tanto da sociedade quanto de seu governo. Entretanto, nem todo esse caos pode ser atribuído à ausência de planejamento. Há também claro descompasso entre planejamento e gestão urbana, e não necessariamente isso deriva da falta de competência dos técnicos planejadores.

Um urbanista, ao planejar a malha viária de São Paulo há 15 anos, na época em que o “Plano Real” tentava conter uma inflação aparentemente indomável, mal poderia imaginar que no início do 3º. Milênio a China abriria suas portas ao capitalismo e o mundo seria arrastado por sua capacidade de produção e drenagem de recursos, condicionando fortemente a economia mundial.

O Brasil, sob forte influência da economia chinesa, atuou desde a última década como economia emergente, com crescimento mais acelerado do que o previsto. O poder aquisitivo de sua população mudou drasticamente, com uma grande parcela da população saindo da pobreza e migrando para a classe média.

A metamorfose urbana provocada por essa migração social foi muito mais rápida do que qualquer planejamento pudesse acompanhar. A malha viária que havia sido planejada para uma determinada frota de carros está agora sujeita a uma frota muito maior. O mesmo ocorre para a maior parte dos demais sistemas de infraestrutura urbana.

Esse descompasso entre as velocidades de transformação da sociedade e da cidade não apresenta ainda hoje sinais de estabilidade. Embora com taxas mais baixas, São Paulo ainda projeta contínuo crescimento, tanto populacional quanto em termos de oportunidades e serviços.

Esse aparente descontrole torna a solução dos problemas de infraestrutura e serviços públicos urbanos um importante desafio, no qual a problemática dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é uma das variáveis mais relevantes. Coloca-se como primordial a garantia de condições mínimas adequadas de qualidade de vida, para a qual contribuem diretamente os serviços de saneamento ambiental.

É difícil conceber uma cidade de 20 milhões de habitantes como a “Grande São Paulo”. Matematicamente, está muito além da capacidade de contagem de nosso cérebro, que junto à nossa percepção urbana não compreende todo o aparato urbano por trás dos trens, dos semáforos, das instituições que possibilitam a existência e o funcionamento de uma cidade de tais dimensões. Estruturar uma megalópole como essa, física e socialmente, torna se quase impensável.

2. Diagnóstico: Situação Atual

2.1 Produção de resíduos sólidos urbanos

2.1.1 Perfil

A produção de resíduos sólidos acompanha, naturalmente, o crescimento populacional. Porém, dentro de uma mesma população, há diferentes padrões de geração de resíduos, que são influenciados por diversos fatores, alguns deles explicitados abaixo:

Poder de compra, padrão de vida e consumo

Há um claro conceito associado entre padrão de vida e poder de compra na capitalista sociedade moderna. O incentivo ao consumo, a exclusão social oriunda da diferença entre poderes de compra e o medo de uma recessão na economia em função de uma possível queda no padrão de consumo populacional fomentam diretamente a produção de resíduos. Isso não implica necessariamente que ricos produzam mais resíduos do que pobres, mas que há uma diferença entre a composição do lixo produzido entre ambos, como pode ser observado na Figura 1.

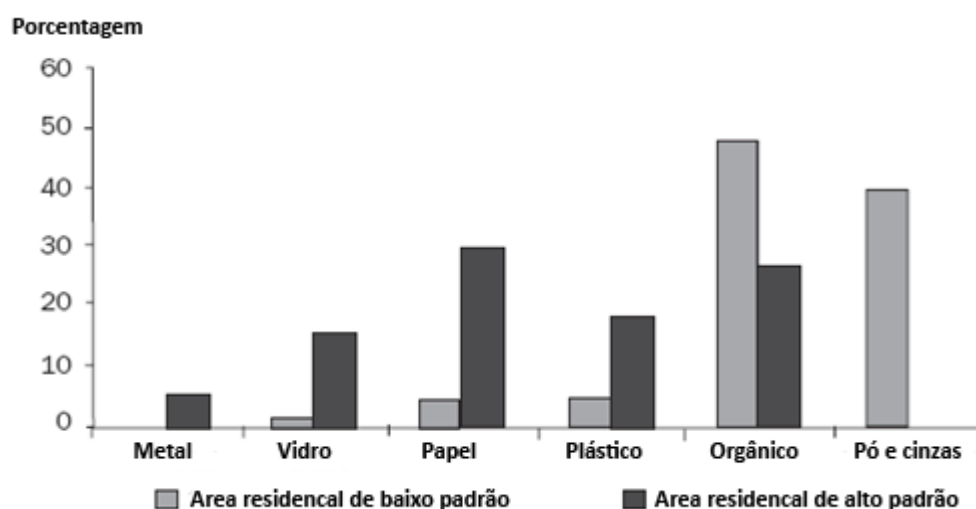


Figura 1. Diferenças no perfil de produção de resíduos em função da renda familiar

Fonte: Hoornweg e Thomas (1999)

A Figura 1 retrata a situação chinesa da cidade de Beijing, em 1996, fruto da comparação entre duas comunidades: uma área residencial de alto padrão e outra de baixo padrão. A produção de cinzas e poeira ocorre apenas para a parcela pobre, pois essa usa carvão por não ser abastecida de gás encanado como ocorre nas áreas mais favorecidas.

A produção de resíduos orgânicos pelas comunidades pobres é nitidamente maior, enquanto nas demais categorias as comunidades ricas se sobressaem. Tal distribuição representa claramente o peso do padrão comportamental de uma comunidade na geração de resíduos.

Cultura de embalagens

A grande maioria dos produtos industrializados participa de uma longa cadeia produtiva, sujeita a custos logísticos e de transportes. Entre produtor primário e consumidor final colocam-se produtores intermediários, centros de distribuição e transbordo. Esses equipamentos de infraestrutura logística objetivam o ótimo de sua operação de manejo de carga, a qual, para que não seja danificada, deve estar contida em embalagens. Busca-se sempre embalagens mais leves e de fácil descarte para que os custos com transportes sejam menores, posto que transportar menor peso consome menos combustível.

Quanto ao produto destinado ao consumidor final, a política de embalagens é fruto de uma estratégia de marketing. Tanto pelo lado positivo, visto em supermercados que implantam o descarte de embalagens logo após a compra visando reconhecimento por tal comportamento sustentável, como pelo lado negativo, comum nas compras efetuadas em shopping centers, que buscam projetar a embalagem de forma que essa possibilite maior prazer de compra, incorporando camadas decorativas extras e desnecessárias ao produto.

Pagamento da taxa de lixo não proporcional

A taxa de lixo cobrada pelo município de São Paulo é calculada com base na metragem quadrada do imóvel e no uso do solo relacionado ao mesmo, ou seja, ela é constante e não depende da quantidade de resíduos gerada, não contribuindo para a menor geração de resíduos. É interessante a implantação de um sistema de cobrança proporcional ao volume ou massa de resíduos gerados, porém é importante considerar o impacto de tal medida, conforme apontado por BROWN (2012): tal atitude pode ter um impacto mais significativo na renda de comunidades e parcelas pobres da população do que ricas, e o custo relativo do lixo pode acabar pesando demais em seu orçamento familiar.

Outros fatores-chave causadores de geração excessiva de resíduos são (ALGEHED, 2012):

Consumo preenche necessidades existenciais

Em uma sociedade capitalista, nem tudo gira em torno da questão do “ter” ou “ser” em si, mas principalmente em torno do “poder comprar”. Poucas experiências se comparam ao prazer de compra, vista como fruto de felicidade por muitos indivíduos.

“Fashion”

Há descarte de itens porque seus proprietários não os querem mais, e não necessariamente porque esses itens estejam com a funcionalidade comprometida. São descartados ou porque estão fora de moda, ou porque se almeja simplesmente ter o prazer de comprar um item novo que cumpra a mesma função que aquele.

Reciclagem

Você deve estar se perguntando o que a reciclagem está fazendo nessa lista, posto que é um ótimo meio de reaproveitamento de resíduos. Paradoxalmente, a possibilidade de reaproveitar pode se tornar um alibi para o descarte de coisas ainda úteis.

Efeito Baumol

O efeito Baumol foi descrito por Baumol e Bowen em 1960. De forma resumida, defende a possibilidade de aumento dos salários em um emprego sem que haja aumento efetivo da produtividade, sendo que esse aumento ocorre em função dos aumentos em salários de outros empregos onde houve aumento efetivo de produtividade¹. Isso incorre no descompasso de remunerações entre os setores secundários e terciários da economia, de forma que pode custar mais barato comprar um equipamento novo do que consertar um produto existente.

Por exemplo, um aumento no salário dos produtores de geladeiras em função de um aumento de sua produtividade na fábrica não faz com que uma geladeira custe mais caro, porém, se em função do aumento acima mencionado houver aumento na cobrança dos prestadores de serviço por conserto de geladeira, o preço de conserto pode ficar relativamente mais caro do que a aquisição de um bem novo.

Durabilidade dos produtos

No geral, empresas querem ter lucro e dificilmente projetarão seus produtos para que sua durabilidade seja extremamente longa de forma que o consumidor nunca mais precise renová-lo. Ainda que a durabilidade possa ser usada como marketing, há um tênue limite entre satisfação do cliente com a durabilidade do produto x frequência de compra que abasteça as necessidades da empresa, que é projetado visando maximizar o lucro, e não necessariamente a redução na geração de resíduos.

2.1.2 Entre sociedades

Para uma abordagem comparativa entre diferentes sociedades, há um modelo da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico que faz uso das variáveis PIB, população e padrão de geração de resíduos para uma cidade como pode ser observado na Figura 2. Há uma clara tendência linear diretamente proporcional entre PIB/per capita e a quantidade de lixo (kg/pessoa. dia) gerada para os diversos países analisados, mesmo que esses estejam inseridos em culturas relativamente diferentes.

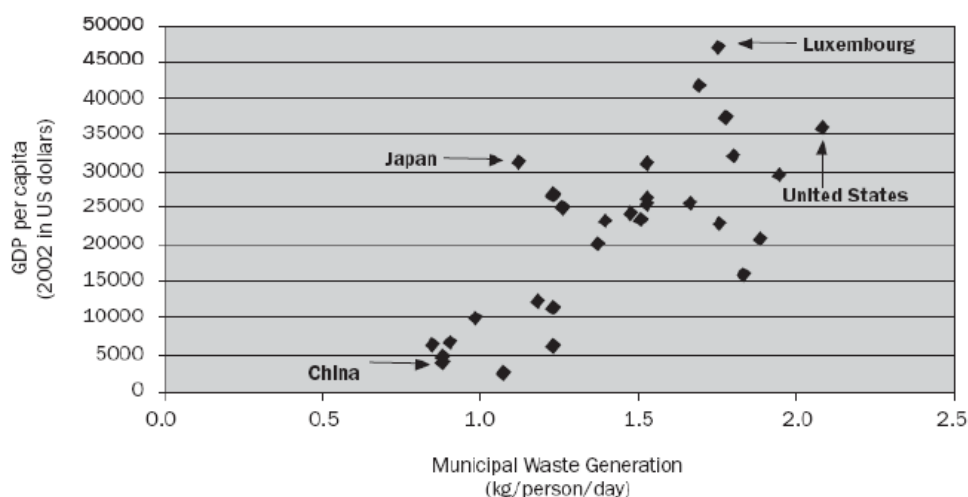


Figura 2. Padrões de geração de lixo municipal em função do PIB per capita

Fonte: OCDE (2002 e 2003)

¹WIKIPEDIA, acessado em 27.06.2012:

Considerando-se que em 2002 o PIB per capita brasileiro era cerca de 7000 reais (Cerca de 4000 USD) por habitante (IBGE), e a produção de lixo era de 1,34 kg/dia. hab. (ver Tabela 1), o Brasil estaria em um ponto um pouco mais à direita do que a China. Se considerados os dados de 2008, o PIB per capita brasileiro é de cerca de 9000 reais per capita, e a produção de lixo 1,4 kg/dia/hab., colocando o Brasil quase na mesma linha vertical do primeiro ponto, mas em uma faixa superior.

Tabela 1. PIB per capita e razão de produção de resíduos kg/dia/pessoa

Ano	Censo IBGE	Total lixo gerado Brasil ton./dia	kg/dia/habitante	PIB per capita
2000	169.872.856,00	228413	1,34	6943,32
2008	186.579.210,40	259547	1,39	16251,56

Fonte: IBGE PNS (2002 e 2008) processado pelo autor.

2.2 Sistema atual de gestão de RSU

2.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

A operação de coleta coordenada pela LIMPURB (Departamento de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de São Paulo) divide em categorias os diferentes resíduos urbanos. A Tabela 2 apresenta o atual sistema classificativo para os diversos tipos.

Natureza dos Serviços	Classificação	Características e Propriedades	Possíveis Destinações
Indivisíveis (não é possível identificar o Gerador)		- Varrição manual e mecanizada de ruas, calçadas e feiras-livres - Serviços diversos e complementares. - Remoção de grandes objetos - Poda e Capina - Remoção manual e mecanizada de entulho - Lavagem de feiras- livres, vias e logradouros. - Limpeza de monumentos. - Limpeza especial de equipamentos públicos.	Variável Aterro Sanitário
Divisíveis (é possível identificar o Gerador)	Classe I- Perigosos	Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) (Biológicos, Químicos, Radioativos, Não Perigosos e Perfurantes e/ou cortantes)	Incineração Processo de Descontaminação Aterro Sanitário
	Classe II A- Não Inertes	Resíduos domiciliares e de coleta seletiva	Transbordo Ecoponto Central de Triagem (Coleta Seletiva) Aterro Sanitário
	Classe II B- Inertes	Entulho	Ecoponto Transbordo de Inertes Aterro Sanitário

Tabela 2. Classificação dos resíduos (LIMPURB, 2012)

Como se pode observar, são variados os serviços que mantêm a cidade limpa. A gestão municipal engloba desde o manejo e transportes de resíduos sólidos domiciliares e comerciais, como também a poda e capina, a varrição manual, o tratamento específico dado aos resíduos perigosos.

Os resíduos indivisíveis são aqueles em que não se pode identificar o gerador, e estão normalmente associados à manutenção de espaços públicos.

Resíduos divisíveis são aqueles cujo gerador é identificado, e são divididos em três classes. Os resíduos classe I são os resíduos considerados perigosos, geralmente oriundos de atividades químicas ou biológicas. Tais resíduos são de responsabilidade do próprio gerador, que deve contratar empresa competente para coleta e condicionamento. Os resíduos de natureza química devem ser incinerados, enquanto os demais são descontaminados e posteriormente ao aterro sanitário.

Os resíduos classe II compõe o lixo urbano mais comumente conhecido, gerado pela atividade domiciliar e comercial. Pode ter diversas destinações, como usina de compostagem e cooperativas de reciclagem, ou aterro de sanitário.

Os resíduos classe III são os resíduos inertes, ou seja, originalmente resíduos de construção e demolição. Devem ser destinados ao aterro sanitário de inertes, podendo ou não passar por ecoporto ou transbordo intermediário no caminho, como será melhor explicado no 2.2.7.

Em função de sua natureza, a tecnologia de escoamento a vácuo pode configurar uma alternativa à operação de coleta dos resíduos divisíveis pertencentes à classe II A. Os resíduos pertencentes à classe II B (Inertes) são muito grandes e pesados para serem transportados pela tecnologia a vácuo, enquanto os resíduos perigosos não podem ser transportados por questões de salubridade.

2.2.2 Operação de coleta e manejo dos resíduos sólidos urbanos classe II A

O atual sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares e comerciais considera as funções de frequência e operação de coleta necessárias para atender a demanda de geração de resíduos, o horário de coleta, destinação final e outras. Cada uma dessas funções tem diferentes condicionantes, entre os quais (SENGES, 1969):

Frequência

- Putrefação dos resíduos alimentares.
- Capacidade de acúmulo de lixo nos pontos de coleta.

Horário de coleta

- Tamanho e composição da frota de veículos coletores.
- Coleta Diurna: muito usada na Europa, tem como vantagem a liberação dos veículos para outros usos posteriores após a coleta (os caminhões basculantes não servem exclusivamente para coleta).

- Coleta Noturna: tem como vantagem o maior rendimento em função do tráfego livre e uso das vias fora dos períodos de pico. Porém, traz como desvantagens: ruído, deficiência na fiscalização, sacos abertos por cães de ruas em função do longo tempo de exposição do lixo.
- Na cidade de São Paulo a coleta ocorre tanto nos períodos diurnos como noturnos, pois é o único meio de coletar os resíduos gerados por seus 12 milhões de habitantes. Porém, nem sempre o resíduo coletado é levado diretamente ao aterro, há alguns pontos de transbordo que servem à operação de coleta e serão discutidos mais adiante.

Geração de resíduos

- Cadastramento populacional em censo demográfico.
- Fluxo diário da população: Em grandes cidades conurbadas com municípios vizinhos, os bairros possuem padrão de geração de resíduos proporcional ao seu potencial atrativo de viagens, e logicamente de acordo com seu horário de funcionamento. É necessário, ao dimensionar a coleta, considerar tanto a densidade demográfica residencial de uma área como a densidade de fluxo de pessoas.
- Produção máxima diária de resíduos sólidos por habitante efetivo.
- Determinação do peso específico aparente úmido do resíduo a ser coletado.

Operação de coleta

- Determinação precisa da área a ser coletada (setor de coleta) com definição dos logradouros, sua extensão, distribuição por metro linear de logradouro e caracterização do tipo de domicílio-comercial, residencial e industrial.
- Condições viárias e geográficas do local.
- Determinação da distância do centro de gravidade da região a ser coletada ao local de vazamento- ponto de transbordo, aterro ou usina.
- Identificação dos tipos de veículos disponíveis para coleta, com capacidade de carga, velocidade de transporte e consumo de combustível.
- Determinação da capacidade humana da coleta e equipe ótima de trabalho em função do tipo de veículo a ser empregado.
- Determinação do horário de trabalho.
- Determinação da frequência de coleta, considerando-se as condições de higiene, técnicas e econômicas.

Algumas cidades brasileiras contam também com a operação de coleta seletiva para os resíduos sólidos domiciliares classe II, que será apresentada no item 2.2.3

Logística do sistema de coleta:

A logística da coleta dos resíduos urbanos varia de acordo com o tipo de resíduo. Essencialmente, as coletas pontuais (como Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) e Resíduos de Construção e Demolição

(RCD)) nas quais o caminhão coleta grandes volumes de resíduos acumulados em um único ponto e o destina a um local final ou intermediário configuram um problema do tipo caixeiro viajante.

Diferentemente, a coleta dos resíduos domiciliares e comerciais envolve o percurso de caminhão ao longo de um traçado, percorrendo os pontos adjacentes ao mesmo, e configurando um problema logístico do tipo carteiro chinês.

O Problema do Caixeiro viajante

O problema do caixeiro viajante consiste em conectar um dado conjunto de pontos percorrendo a menor extensão possível entre eles, voltando ao ponto de partida ao final do percurso. No caso da coleta de RSU, os pontos podem ser por exemplo caçambas de entulho (RCD) ou de material perigoso (RSS) situados em local pré-definido, os quais devem ser atendidos por concessionária especializada. Não sendo foco do trabalho, esse tipo de logística de coleta não será detalhado mais a fundo.

O problema do Carteiro Chinês

O grande problema do atual sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares e comerciais é conhecido como problema do carteiro chinês: dada uma rede de traçados, deve-se percorrer cada traçado pelo menos uma vez e retornar ao ponto de partida percorrendo a menor distância possível. O ideal seria percorrer cada traçado exatamente uma vez, de forma a evitar percursos ociosos. A Figura 3 exemplifica um problema do tipo carteiro chinês.

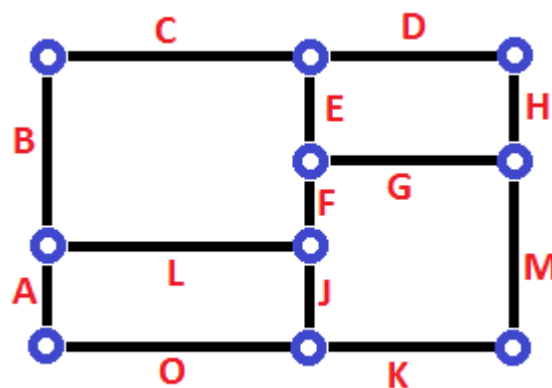


Figura 3. Exemplo de problema do tipo carteiro chinês.

Fonte: elaborado pelo autor

O desafio consiste em desenhar a figura acima sem tirar o lápis do papel e sem sobrepor traços já feitos, o que na verdade é impossível. O mesmo ocorre com um caminhão de coleta de lixo: supondo que essa seja a disposição de ruas em um bairro, o caminhão terá de passar de porta a porta (percorrer todos os traçados obrigatoriamente) para coletar os resíduos sólidos. Porém, obrigatoriamente, para percorrer todos os trajetos, o caminhão terá de passar duas vezes por um mesmo percurso. Isso define um percurso ocioso, ou seja, um trecho que o caminhão percorrerá improdutivamente, pois já passou por ali, emitindo ainda assim poluentes e gastando tempo e combustível. Nesses casos, objetiva-se resolver o problema selecionando os trechos a serem percorridos duas vezes que tenham a menor extensão possível.

Uma estratégia comumente adotada pelas empresas coletoras atualmente é a passagem do caminhão apenas nas vias principais: os garis desembarcam do veículo e percorrem as quadras entre as vias principais levando os sacos lixo de todas as residências da quadra até a esquina com a rua principal, evitando assim que o caminhão trafegue em percursos ociosos.

2.2.3 Programa de Coleta Seletiva

Modalidades de Coleta Seletiva

As três principais modalidades de coleta seletiva empregadas no Brasil são: Porta a porta, PEV (Posto de entrega voluntária) e Trabalhadores autônomos da reciclagem.

A coleta porta a porta é realizada pelos caminhões coletores, que percorrem as vias públicas recolhendo os resíduos recicláveis depositados em sacos separados casa a casa. Os PEVs são containeres dispostos em pontos urbanos estratégicos próximos a áreas residenciais (como bancos, supermercados e terminais de transporte público) aos quais o cidadão deve se dirigir para depositar seu saco de lixo reciclável. A coleta seletiva realizada por trabalhadores autônomos da reciclagem é a operação feita pelos carroceiros e catadores que caminham pela cidade, frequentemente com auxílio de carroça improvisada, vasculhando os sacos deixados na rua.

Os principais pontos positivos e negativos dessas três modalidades são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Aspectos positivos e negativos das modalidades de coleta seletiva ²

MODALIDADE	ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS
PORTA A PORTA	• Geralmente, os recicláveis são agrupados visando facilitar a sua separação na fonte geradora e posterior disposição na calçada do contribuinte • Dispensa o deslocamento do cidadão até um Posto de Entrega Voluntária, o que influi positivamente quanto à participação na coleta seletiva • Permite mensurar a participação da população no programa pela facilidade de se identificar os domicílios e estabelecimentos participantes • Agiliza a descarga nas centrais de triagem	• Exige maior infra-estrutura de coleta, representada pelo aumento da frota de veículos e recursos humanos; • Tende a apresentar custos mais altos de coleta e transporte comparado com outras modalidades de coleta seletiva; • Atrai a presença de maior número de catadores na região onde está implantada (questão social).

² Bringhenti, 2004; modificado de GRIMBERG e BLAUTH (1998)

PEV (PONTO DE ENTREGA VOLUNTÁRIA)	• Maior facilidade e menor custo de coleta Possibilita a redução de custos de coleta e transporte, com otimização de percursos e freqüências, especialmente, em bairros com população esparsa • Permite a exploração do espaço do Posto de Entrega Voluntária com publicidade e eventual obtenção de patrocínio • Em função do tipo de recipiente e estímulo educativo adotados, permite a separação e o descarte de recicláveis, por tipos, facilitando a triagem posterior	• Requer maior disponibilidade da população, que deverá se deslocar até um Posto de Entrega Voluntária para participar • Suscetível a vandalismo (desde o depósito de lixo orgânico e animais mortos no interior de recipientes de coleta até a danificação de sua estrutura) • Exige manutenção e limpeza periódicas; Necessita, em alguns casos, de equipamento especial para coleta • Não possibilita a identificação dos domicílios e estabelecimentos participantes • Dificulta a avaliação da adesão da comunidade ao programa
TRABALHADORES AUTÔNOMOS DE RECICLAGEM	• Promove a inclusão social • Gera emprego e renda • Reduz o custo de coleta, transporte, triagem e destinação final de resíduos sólidos urbanos para a administração municipal • Em relação às demais modalidades de coleta seletiva, apresenta maior independência e menor vulnerabilidade às descontinuidades das administrações municipais.	• Está direcionado para materiais com maior valor de mercado • Apresenta elevado risco de acidentes, principalmente, quando trabalhadores atuam sem equipamentos de sinalização de trânsito e de proteção individual • Dificulta a mensuração da participação da população • Contribui negativamente para a manutenção da limpeza urbana, da saúde pública, uma vez que são danificadas embalagens de lixo devido à procura de materiais recicláveis, promovendo o seu espalhamento nas áreas públicas • Em alguns casos, é explorada a mão de obra do trabalhador e/ou o trabalho infantil.

Coleta Seletiva no Brasil

A Figura 4 mostra a concentração de cidades que possuem programa de coleta seletiva nas regiões Sul e Sudeste, mostrando densidade claramente acima da média no estado de São Paulo.

De acordo com pesquisa do CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), dos 5565 municípios brasileiros, 443 possuem programas de coleta seletiva (cerca de 8% do total). Desses, a maioria realiza a coleta seletiva de porta em porta (78%), e é observado crescimento do apoio a cooperativas de catadores como parte integrante da coleta seletiva municipal (74%).³

Os municípios podem conciliar mais de um método para promover a coleta seletiva, assim como mais de um agente executor para a mesma. Das 443 cidades pesquisadas, 52% tem a operação realizada pela própria prefeitura. Empresas particulares são contratadas para executar a coleta em 26%, e mais da metade (62%) apóia ou mantém cooperativas de catadores como agentes executores da coleta seletiva

³ Disponível em http://www.cempre.org.br/ciclossoft_2010.php, Acesso em 02.12.2012

municipal. Dentre os apoios mais comuns, estão: equipamentos, galpão de triagem, pagamento de gastos com água e energia elétrica, caminhões, capacitações e auxílio na divulgação e educação ambiental.

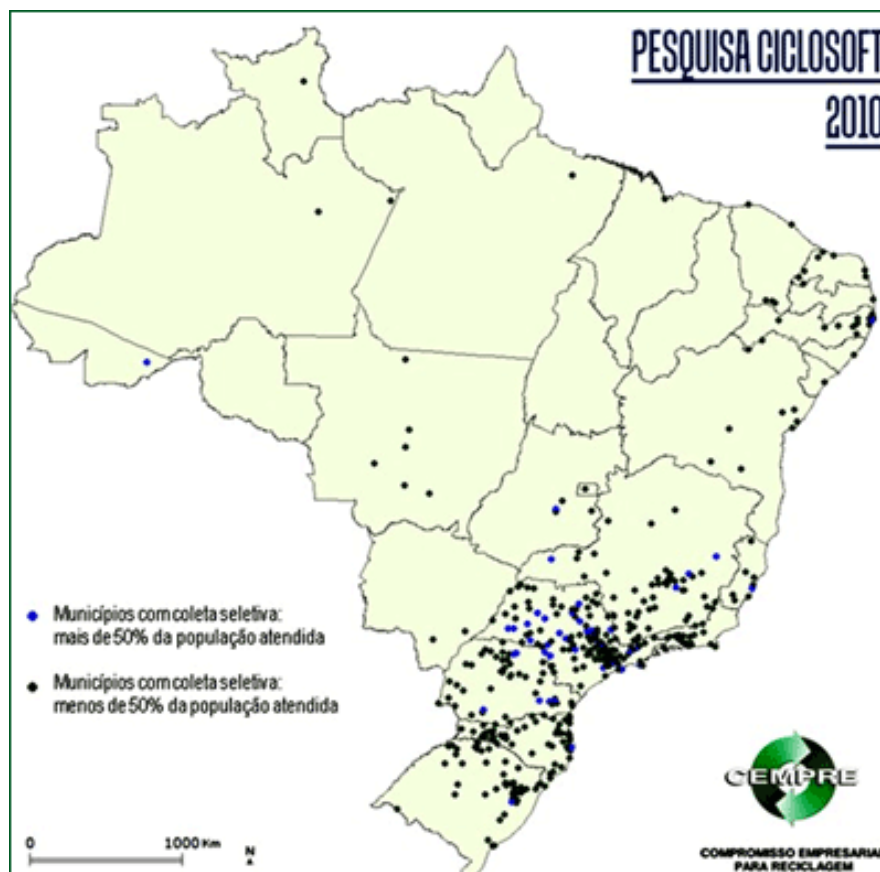


Figura 4. Mapeamento dos municípios que possuem coleta seletiva no Brasil⁴

O custo médio da coleta seletiva nas grandes cidades calculado foi de US\$ 204,00 (ou R\$ 367,20 sob câmbio de 1,8 BRL/USD), e considera-se o valor médio da Coleta Regular de Lixo US\$ 47,22 (R\$ 85,00), mostrando que a coleta seletiva pode chegar a ser 4 vezes ou até mais cara. Esse valores variam muito de uma cidade para outra, e é influenciado por diversos parâmetros.

Coleta Seletiva em São Paulo

Dos 96 distritos do Município de São Paulo, 75 são contemplados com o serviço de coleta seletiva, organizado e realizado em conjunto com as subprefeituras.

“O Programa de Coleta Seletiva da Prefeitura de São Paulo conta atualmente com 20 Centrais de Triagem que possibilitam a geração de renda, emprego e inclusão social para cerca de 1.200 pessoas, de 21 cooperativas conveniadas, que estavam à margem da sociedade.”⁵

São Paulo conta também com quase 3800 PEV (Pontos de entrega voluntária), que são recipientes implantados em locais estratégicos (supermercados, escolas) com capacidade de 1000 e 2500 litros de armazenagem de material reciclável. Participam também do programa 1871 condomínios residenciais.

⁴ CEMPRE 2010.

⁵ Disponível em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/amlurb/coleta_seletiva/index.php?p=4623, Acesso em 30.11.2012

Conjuntos urbanos que não possuem um sistema de coleta seletiva organizado como é o caso dos condomínios fechados também podem participar do programa caso o logradouro seja servido pelo mesmo. Nesse caso, o morador deverá separar o lixo orgânico do reciclável em casa, em sacos diferentes. Não é necessária subseparação de um tipo de lixo reciclável de outro, pois tal atividade é feita na cooperativa de reciclagem ou central de triagem. Há recomendações quanto à manipulação das embalagens recicláveis para que essas ocupem menor volume no site da LIMPURB.⁶

No sítio virtual http://www3.prefeitura.sp.gov.br/limpeza_urbana/FormsPublic/LimpezaRua.aspx pode-se digitar o nome do logradouro e verificar se o mesmo é atendido pelo programa. Nesses logradouros, o dia de coleta seletiva difere dos demais. Cabe ao cidadão disponibilizar o saco de lixo reciclável no dia de coleta seletiva.

Uma outra alternativa é a instalação de um contêiner de coleta seletiva (PEV- Posto de Entrega Voluntário), que deve ser solicitado pela associação do bairro junto à empresa responsável ou subprefeitura, e deve ser requisitado pelo próprio morador. A implantação do contêiner está sujeita à análise de viabilidade.

Questões relativas ao programa de coleta seletiva

Normalmente, é interesse comum por parte dos grandes condomínios residenciais em contar com um sistema de coleta seletiva interno. Porém, implantá-lo custa caro, pois é necessário instalar sinalização, lixeiras especiais e divulgar panfletos educativos. Esse investimento torna-se ineficiente caso o logradouro do condomínio não seja contemplado com o programa de coleta seletiva municipal, pois todo o lixo separado nas residências é misturado novamente na caçamba compactadora.

São Paulo recicla atualmente apenas 1,7% do resíduo coletado. Há grande potencial de geração de empregos relativo à cadeia dos resíduos recicláveis que não é aproveitado, sendo que todo o lixo reciclável deveria ser destinado às cooperativas. Paradoxalmente, as 21 cooperativas oficializadas (Figura 5) e mantidas pela prefeitura não possuem estrutura e equipamentos para receber toda a quantidade de resíduos gerada. A manutenção dos equipamentos é de responsabilidade da cooperativa.⁷

Algumas cooperativas encontram dificuldade na venda do material separado, posta a demanda dos compradores dos resíduos, como por exemplo:

“As empresas do isopor só querem o isopor maciço, pedaços grandes. Elas não querem bandejinha”, afirma Sérgio Longo, coordenador de cooperativa. (Globo, 2012)

Como será melhor abordado no item 2.2.5, a política nacional de resíduos sólidos estabelece a diferença conceitual entre rejeito e resíduos sólidos reversos, ressaltando a importância do

⁶ Disponível em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/amlurb/coleta_seletiva/index.php?p=4623, acesso em 30.11.2012

⁷ Disponível em <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2012/03/falta-de-coleta-seletiva-em-sao-paulo-deestimula-quem-separa-o-lixo.html> Acesso em 01.12.2012

reconhecimento do segundo como insumo e material de valor. É financeiramente e ambientalmente interessante a destinação alternativa a tais resíduos, e para tanto são necessárias tanto criação de mais cooperativas de reciclagem como aumentar a eficiência dos processos existentes. Controversamente, a prefeitura encontra dificuldades quanto à escassez de áreas públicas que atendam à legislação que rege a atividade a se implantar.⁸

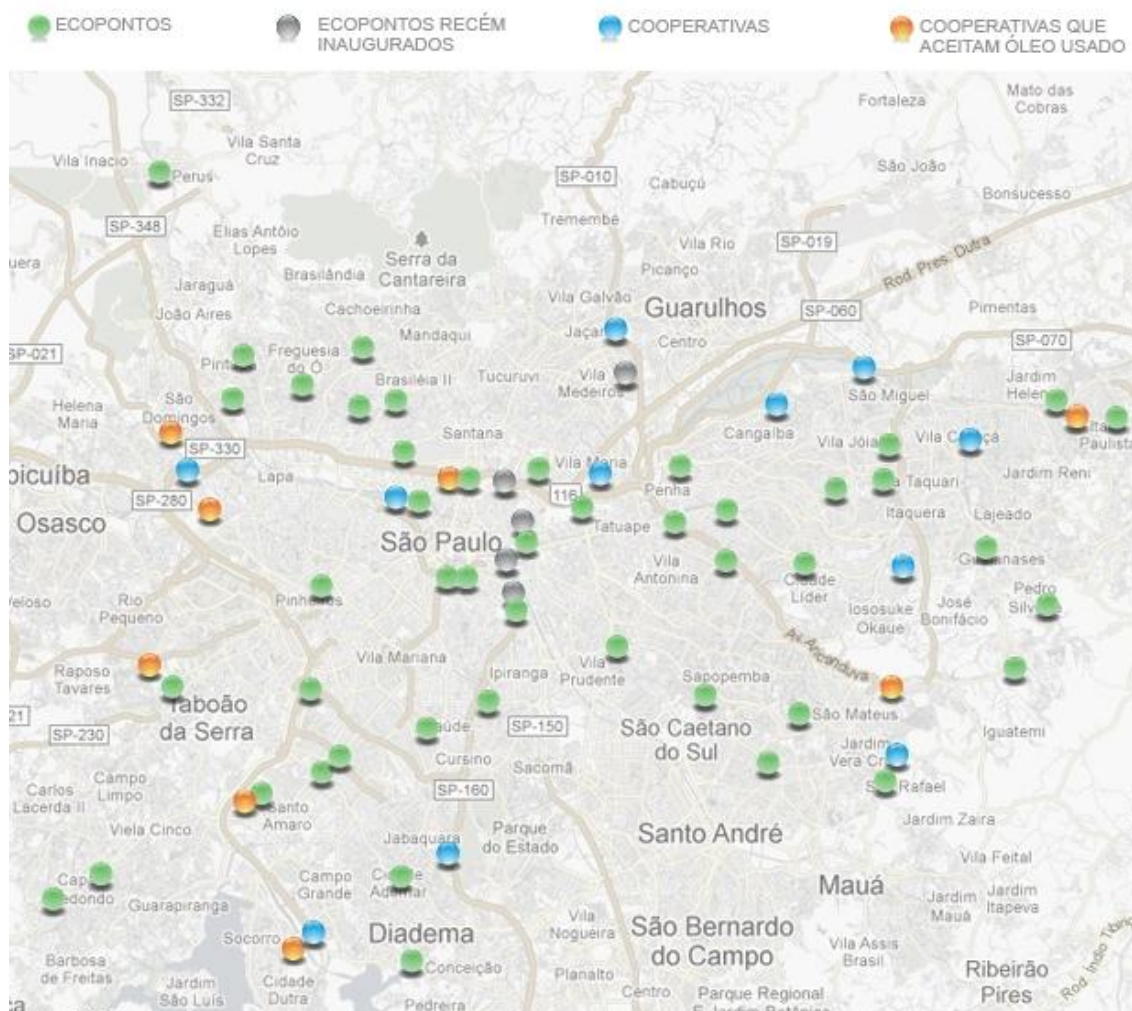


Figura 5. Mapeamento dos Ecopontos e Cooperativas de Reciclagem no Centro expandido de São Paulo⁹

Cooperativas de reciclagem

Uma cooperativa de reciclagem é uma associação entre um grupo de trabalhadores (frequentemente ex-catadores) com objetivo de fundar uma empresa de base econômica solidária. A prefeitura concede um terreno em área urbana e os equipamentos para implantação do local de trabalho, onde é feita triagem, compactação e agrupamento do resíduo reciclável recebido. Associados, os

⁸ Jornal Nacional, Globo, 2012

⁹ Fonte: O Globo, 2012, disponível em <http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-paulo-mais-limpa/noticia/2012/04/veja-onde-estao-os-ecopontos-e-cooperativas-de-reciclagem-em-sp.html>, acesso em 11.11.2012

trabalhadores conseguem negociar em maiores volumes com os compradores dos resíduos. Contém infra-estrutura como refeitórios, equipamentos (prensas e esteiras) e estacionamentos para carroças.

As cooperativas participam de forma significativa no cenário empregatício brasileiro, caracterizadas como fonte de emprego interessante para aqueles que encontram dificuldade em entrar no mercado de trabalho por falta de qualificação ou formação educacional.

“... a Cooperativa de Catadores Autônomos de Materiais Recicláveis da Vila Esperança (Avemare), criada há seis anos por 40 pessoas, em Santana de Parnaíba, na Grande São Paulo... . Hoje, a Avemare tem 90 cooperados, que conseguem uma renda média mensal de R\$ 1,5 mil.”¹⁰

Socialmente, é uma iniciativa interessante o incentivo à esse tipo de economia. Porém, não financeiramente, posto que o valor investido pela prefeitura dificilmente terá um retorno significativo. Adicionalmente, a estruturação organizacional de uma cooperativa é complicada, visto que alguns dos funcionários da mesma não possuem estrutura psicológica para se adaptar a uma situação regular de trabalho. É elevado o número de faltas no trabalho, e há inadequação na administração do salário recebido mensalmente (às vezes gasto em bebidas alcóolicas). Uma cooperativa necessita, portanto, além da associação dos próprios catadores, acompanhamento de profissionais qualificados como psicólogos e assistentes sociais. (fonte: ver com Ronan)

2.2.4 *Números da coleta atual*

A Figura 6 retrata a disparidade para as diversas regiões brasileiras. Ao lado de cada região, encontra-se entre parênteses o número de municípios pertencente a mesma. Percebe-se que cerca de 50% dos municípios da região sudeste tem 100% do seus resíduos sólidos coletado, sendo que considerado o estado de São Paulo isoladamente, 70% dos municípios tem 100% dos resíduos sólidos coletado. Considerada a região metropolitana de São Paulo, apenas 30% dos municípios tem 100% dos resíduos sólidos coletado. A divergência é chamativa com enfoque nas regiões Norte e Nordeste, que possuem maior número de municípios com menos de 50% de seus resíduos coletados e na faixa de 50 a 70%, o que indica que essas regiões estão nas piores condições para o tópico abordado.

A Figura 7 resume a produção de resíduos sólidos no Brasil na última década. Os dados de 2000 e 2008 foram obtidos da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) feita pelo IBGE a cada oito anos. Os dados para 2012 foram obtidos extrapolando-se exponencialmente as taxa de produção de resíduos sólidos entre 2000 e 2008, já que neste ano a PNSB não foi realizada.

¹⁰ Disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2012-05-13/cooperativa-de-reciclagem-gera-renda-de-r-15-mil-para-90-trabalhadores-na-grande-sao-paulo>. Acesso em 01.12.2012

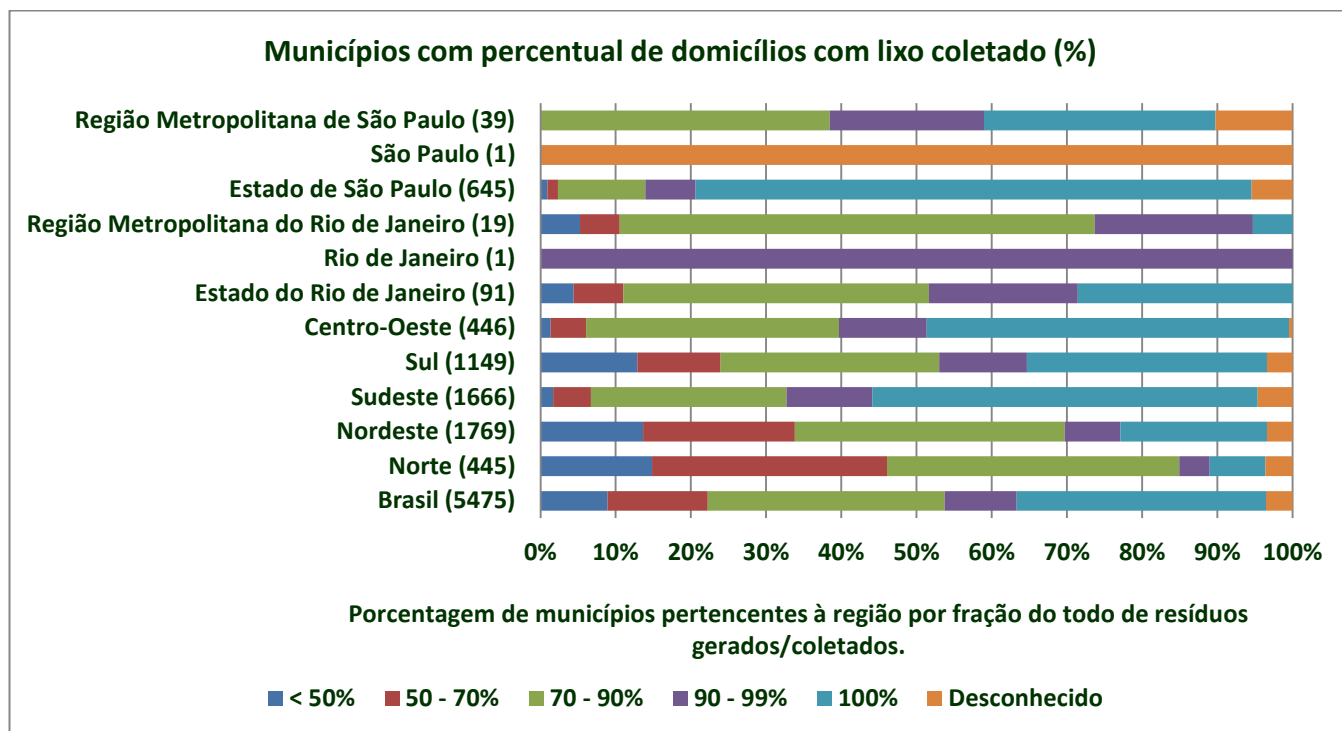


Figura 6. Percentual de domicílios com lixo coletado

Fonte: IBGE (2000) processado pelo autor

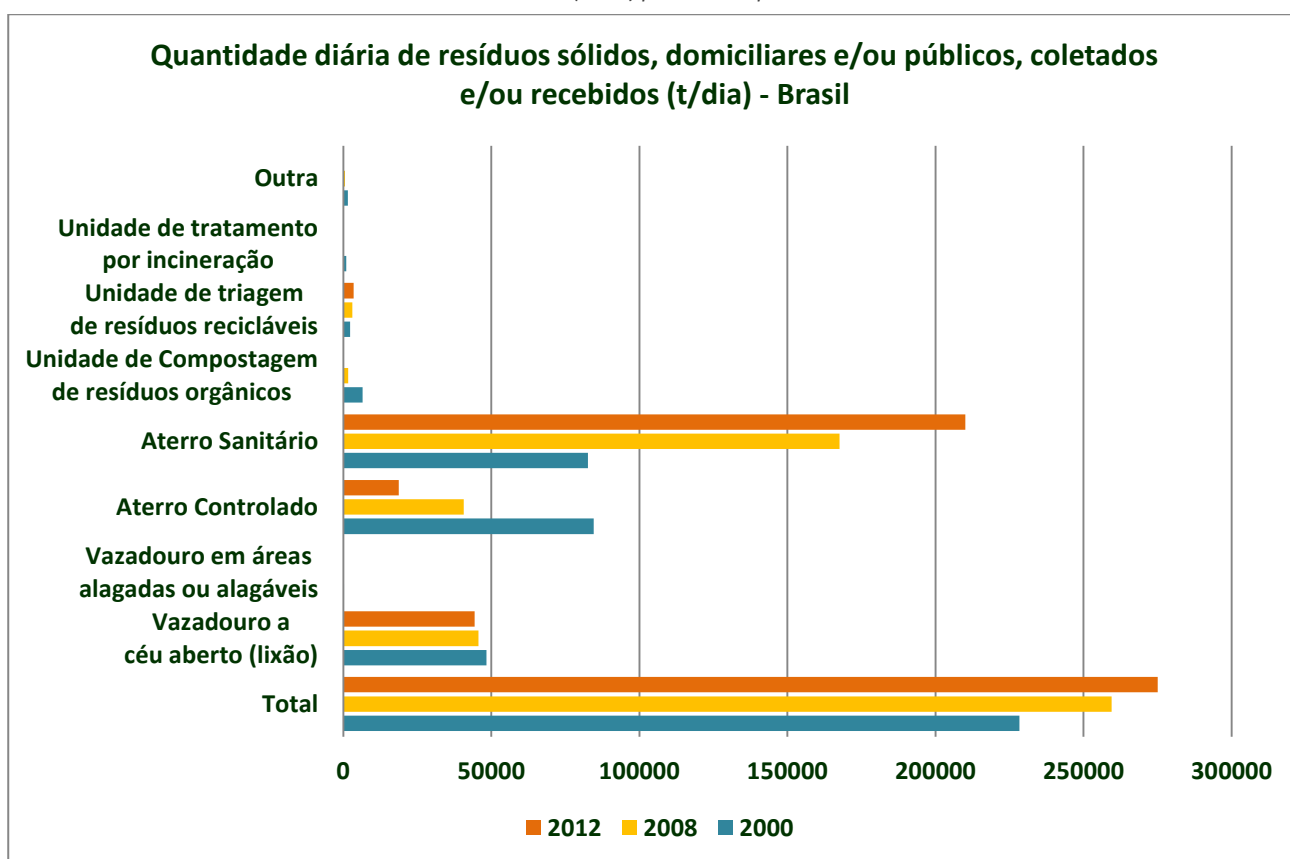


Figura 7. Brasil - Quantidade diária de resíduos sólidos, domiciliares e/ou públicos, coletados e/ou recebidos (t/dia)

Fonte: IBGE (2000 e 2008) processado pelo autor

Nitidamente, a quantidade de resíduos produzida está aumentando, como era de se esperar, em função do aumento populacional. Além disso, a quantidade per capita de lixo produzida (como mencionado acima em kg/habitante. dia) também está crescendo.

Do ano 2000 até hoje, percebem-se as principais mudanças:

- A quantidade de resíduos sólidos destinada a aterros sanitários dobrou
- A quantidade destinada a aterros controlados reduziu drasticamente
- A quantidade destinada a lixões permaneceu quase inalterada

Tais mudanças foram provocadas pela política, tanto no estado de São Paulo como nacionais, de incentivo à destinação de resíduos sólidos aos aterros sanitários, além da ausência de fomento e presença de formas alternativas de tratamento, como incineração e compostagem.

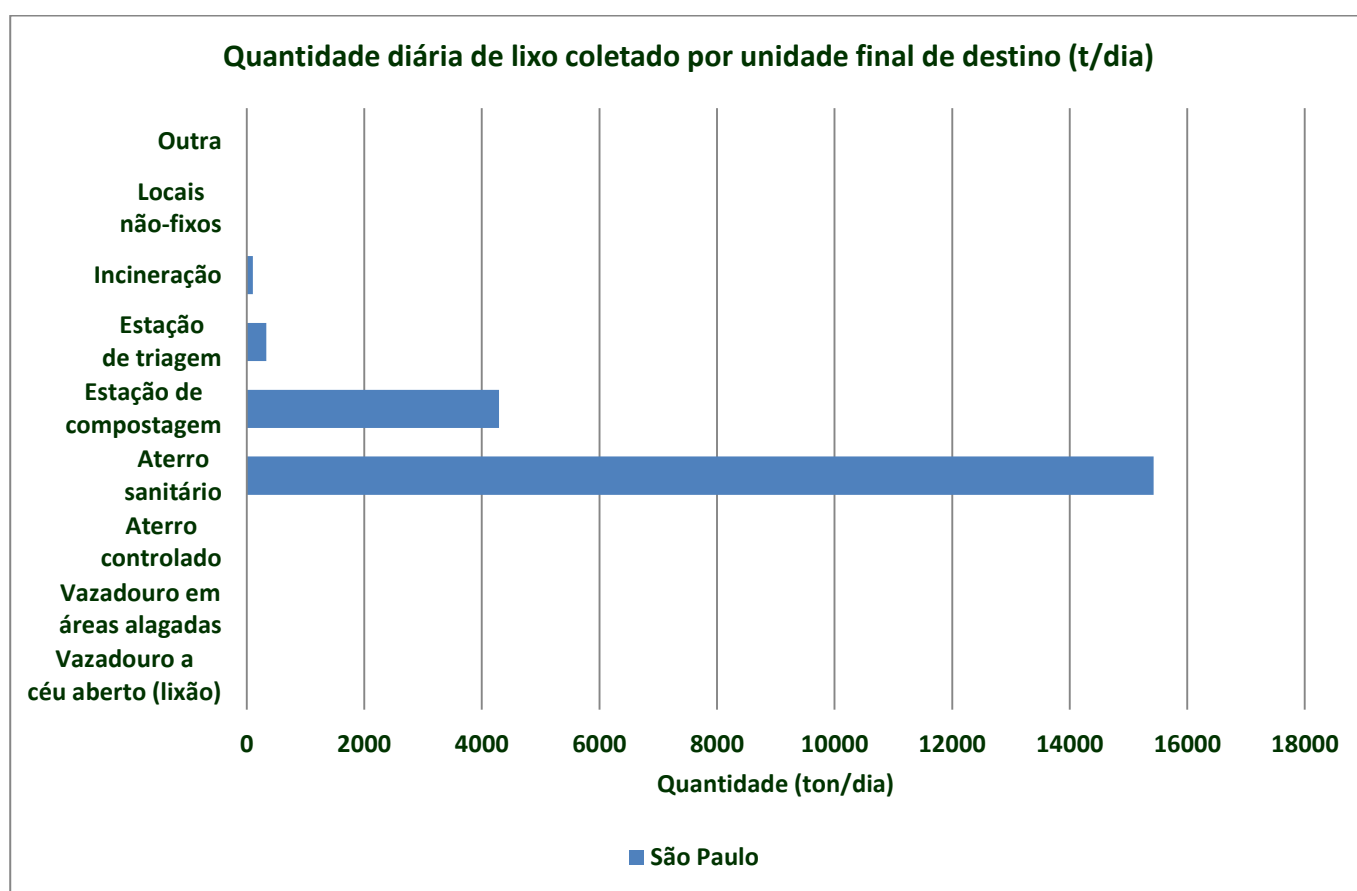


Figura 8. São Paulo - Quantidade diária de resíduos sólidos coletada por unidade final de destino (t/dia)
Fonte: IBGE (2000) processado pelo autor

A figura 6 demonstra o caso de São Paulo isoladamente: a cidade produzia no ano 2000 cerca de 20.000 toneladas de resíduos por dia, o que resulta em uma taxa de cerca de 1,9 kg/dia. hab. para a época. Dessas, aproximadamente 14,5 mil toneladas eram destinadas a aterros sanitários. Em 2000, a cidade contava com dois aterros: Bandeirantes e São João, que serão melhor apresentados abaixo.

Dimensão social do lixo

A cadeia produtiva dos resíduos sólidos é extensa: movimenta desde catadores, garis, motoristas de caminhões e operadores de transbordo até técnicos de destinação, compostagem, incineração e engenheiros civis, que projetam e operam os aterros sanitários. A Figura 9 mostra os empregos gerados diretamente pela indústria do manejo de resíduos sólidos.

Em 2008, a população economicamente ativa (PEA) no estado de São Paulo era de cerca de 20 milhões de habitantes (IBGE), e a taxa média de desemprego no mesmo ano foi de 7,9% (representada por cerca de 1,58 milhões de pessoas). A população empregada em atividades relacionadas ao manejo de resíduos sólidos era de cerca de 60 000 pessoas, número que se comparado ao montante de indivíduos desempregados representa 3,8%. Se, subitamente, todos os trabalhadores relacionados a essa cadeia fossem demitidos, a taxa de desemprego do estado subiria para 8,2%! Tal variação na taxa de desemprego mostra a sensibilidade da economia trabalhista com relação ao potencial empregatício da cadeia produtiva de resíduos sólidos.

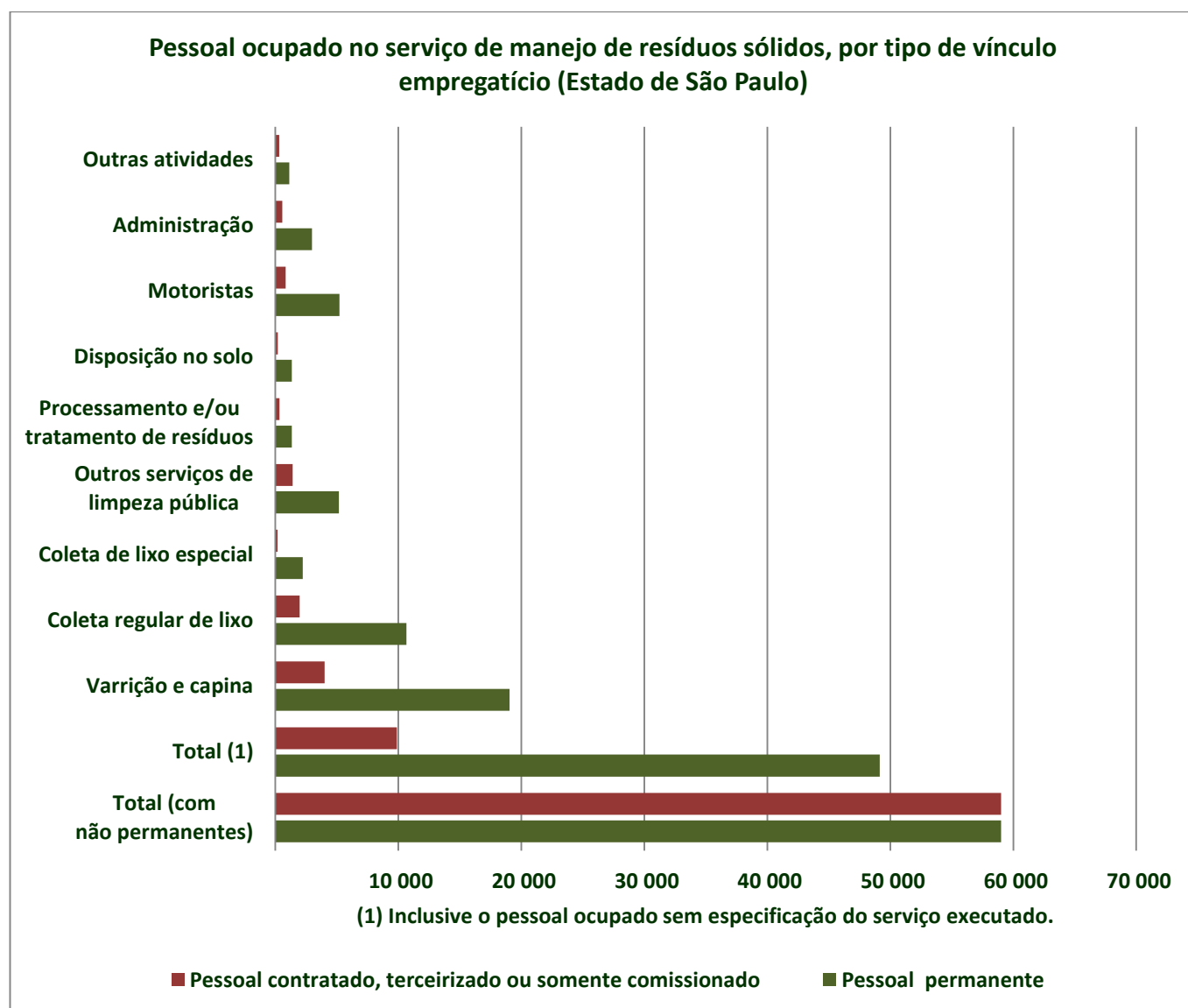


Figura 9. Pessoal ocupado no serviço de manejo de resíduos sólidos, por tipo de vínculo empregatício (Estado de São Paulo).

Da definição encontrada na PNSB 2008 do IBGE:

“pessoal ocupado: Pessoas que exercem ocupação na entidade prestadora de serviços exclusivamente relacionados ao abastecimento de água,... ou no manejo de resíduos sólidos, incluindo as atividades de varrição e capina, coleta regular de resíduos sólidos, coleta de resíduos especiais e outros serviços de limpeza pública, como raspagem, roçagem, limpeza de estátuas e monumentos, lavagem de ruas, retirada de faixas e cartazes, limpeza de bueiros etc., processamento e/ou tratamento de resíduos, disposição de resíduos no solo, entre outras atividades. O pessoal ocupado pode ser do quadro permanente da entidade, contratado, terceirizado, somente comissionado, com dedicação exclusiva, ou com dedicação parcial, abrangendo as atividades de operação, manutenção e administração, na data de referência da pesquisa.” – ou seja, a diferença entre pessoal contratado e permanente consiste na participação do segundo grupo nas equipes de funcionalismo público.

Além da representatividade do lixo como potencial setor empregatício brasileiro, há potencial para que sua cadeia possa ser explorada mais a fundo nesse aspecto: atualmente, apenas Belo Horizonte iniciou um vasto programa de incentivo à oficialização das cooperativas de catadores e aplicação das Consolidações das Leis do Trabalho (CLT) para essa profissão. São Paulo e Rio contam com incentivos a cooperativas e apoio de ONGs. No Brasil, esse potencial é inexplorado, pois o país tem potencial para geração de um milhão de empregos (OLIVEIRA, 2004).

O Brasil recicla cerca de 95% de suas latas de alumínio, mérito atribuído às cooperativas de catadores. Paradoxalmente, isso reflete o baixo nível educacional e a péssima condição social da população envolvida em contrapartida à carência de profissionais qualificados.



Figura 10. Lixo acumulado na porta da prefeitura do campus da Universidade de São Paulo.

Fonte: Veja (2011)

Como outros serviços básicos e essenciais à vida, a gestão eficaz de resíduos sólidos é uma área de atuação essencial ao bom funcionamento da cidade. Por isso, uma greve nesse setor tem consequências

críticas, como as experimentadas pela paralização dos funcionários da limpeza da Universidade de São Paulo em 2011, ou em escala maior e mais grave, como ocorrido na Itália em 2008.

A greve de funcionários durou semanas, e o lixo acumulado nas ruas atingiu quantidades absurdas. Em Nápoles, com a saturação dos espaços de depósito, os moradores foram obrigados a incinerar lixo e os bombeiros tiveram muitas dificuldades para apagar incêndios. Milhões de toneladas de resíduos doméstico e industrial, altamente tóxicos, foram jogados no mar ou na área rural.¹¹

O caso de Nápoles é um extremo quanto à política de resíduos sólidos: o oligopólio de empresas operantes formou uma máfia e sabotou quaisquer tentativas de construção de incineradores mais modernos, tornando a cidade totalmente dependente dos depósitos de lixo. Em função da situação de calamidade, a Itália foi ameaçada pela União Europeia da punição com multa caso a situação não se regularizasse rapidamente.

2.2.5 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Há na PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos) vários artigos paralelos que fortalecem as várias críticas já mencionadas neste documento. A política nacional de resíduos sólidos cobre plenamente a questão dos resíduos sólidos no Brasil, defendendo ações sustentáveis como a redução na geração de resíduos, o uso do potencial empregatício do lixo, a erradicação dos lixões, a correta destinação dos resíduos e o respeito às áreas de preservação ambiental. Quanto à geração de resíduos, ressaltam-se os seguintes tópicos:

Artigo 2.

II - não-geração, redução, reutilização e tratamento de resíduos sólidos, bem como destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - desenvolvimento de processos que busquem a alteração dos padrões de produção e consumo sustentável de produtos e serviços;

VI - incentivo ao uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

Há também incentivos à geração de empregos por através da inclusão social de catadores:

¹¹BBC BRASIL em http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2008/01/080107_napoleslixoexercitofn.shtml. Acesso em 02.07.2012

Artigo 2.

XIV - integração dos catadores de materiais recicláveis nas ações que envolvam o fluxo de resíduos sólidos.

Seção II - Da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

Artigo 13.

XIII - mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos

Os artigos acima, juntamente com outros, estabelecem diretrizes para que os catadores não sejam explorados e para que a informalidade no setor seja reduzida. Com a legislação atuante sobre esse panorama é possível, além do estabelecimento da contratação de trabalhadores baseado na CLT, treinar os catadores de forma a aumentar sua produtividade e a qualidade da matéria prima recuperada, além de evitar que eles se exponham a riscos.

O grande avanço da política aprovada em 2010, entretanto, situa-se na definição de rejeitos e resíduos, que estabelece o importante conceito dos resíduos sólidos como insumo, matéria prima, e objeto de valor:

CAPÍTULO III- DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Seção I - Da Classificação dos Resíduos Sólidos

Art 11.

II - quanto à finalidade:

a) resíduos sólidos reversos: resíduos sólidos restituíveis, por meio da logística reversa, visando o seu tratamento e reaproveitamento em novos produtos, na forma de insumos, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos; e

b) rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos acessíveis e disponíveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

De forma geral, a política visa a correta destinação dos resíduos sólidos no Brasil, assim como a proteção de áreas de risco e mananciais, com grande enfoque na questão sustentável da logística reversa, incluindo planos de incentivos e financiamento para sua implantação e monitoramento. Determina a obrigatoriedade da elaboração de um plano para os resíduos sólidos em escala municipal, e a periodicidade de sua revisão. Há também grande preocupação social, pois coloca em pauta a questão dos catadores, assim como proíbe:

“... nas áreas de disposição final de rejeitos, a utilização dos rejeitos dispostos como alimentação, catação em qualquer hipótese, a fixação de habitações temporárias e permanentes e outras atividades vedadas pelo Poder Público.” (Art. 29)

Por fim, observada a importância da logística reversa, outro importante tópico inserido na política e de fundamental importância para:

Seção única: Logística reversa (Art. 20)

IV - compatibilizar interesses conflitantes entre os agentes econômicos, ambientais, sociais, culturais e políticos;

As exigências políticas e legais permitem atuar de forma incisiva sobre toda a indústria. A partir do ponto em que há estabelecimento da logística reversa, é interessante para os projetistas e engenheiros conceberem os mais variados produtos de forma a aproveitar todos seus componentes, economizando insumos. Diferentemente de antes, em que a preocupação por parte de uma empresa com o processo produtivo de um produto terminava no momento em que esse saía da fábrica, com o conceito de logística reversa o descarte de um produto passa a ser parte do processo produtivo da indústria, gerando preocupações extras sobre como ele deve ser estruturado e pensado.

Ainda assim, a força maior para a redução de geração de resíduos e poluentes por parte da indústria está na exigência do consumidor final. Quando os produtos forem selecionados não somente por seu preço, mas também por seu impacto ambiental, e os consumidores exigirem que esse seja reduzido, as empresas terão de adequar seus parâmetros de produção para manter seus índices de satisfação do cliente.

2.2.6 O custo do lixo

Custos diretos

Tabela 4. Custos relativos à disposição de resíduos para aterros sanitários.

Custos relativo à destinação para aterros sanitários – São Paulo	Unidade
Quantidade de lixo total produzida	20.000,00 ton./dia
Quantidade destinada a aterros sanitários	14.000,00 ton./dia
Custo da tonelada dispostaa aterro	60,00 R\$/ton.
Custo diário	840.000,00 R\$/dia
Custo anual (somente disposição em aterros)	306,60 Mi R\$/ano
Gastos totais anuais com resíduos sólidos	1400 Mi R\$

Fontes: IBGE (2008), GLOBO(2012), VOGABRASIL (2012)

A Tabela 4 apresenta, de forma estimada, os custos relativos à disposição de resíduos sólidos para aterros sanitários. Os aterros cobram cerca de 60¹² reais por tonelada disposta. Isso implica em um custo de 840 mil reais por dia para a cidade de São Paulo, ou de 300 milhões de reais por ano. Considerando-se que a cidade de São Paulo gasta aproximadamente 1,4 bilhões de reais por ano para coletar e transportar os resíduos produzidos na capital, o custo da disposição ao aterro corresponde a um quinto desse total. Os gastos com segurança pública da cidade de São Paulo foram de cerca de 7 bilhões de reais em 2011 (CARTA CAPITAL, 2011). Logo, os gastos totais com resíduos sólidos urbanos correspondem a cerca de 20% desse montante.

Custos indiretos

Essa parcela de quase um bilhão de reais aponta, entretanto, apenas os gastos tangíveis. Há custos relacionados ao lixo que podem ser considerados intangíveis, como por exemplo:

Enchentes

Enchentes são um dos piores problemas enfrentados pela cidade de São Paulo nas épocas de chuva. Ocorrem tanto em função de problemas na rede de microdrenagem quanto da excessiva impermeabilização do solo, possuindo o lixo uma participação especial no primeiro caso. Provocada pelo acondicionamento inadequado do resíduo, e pela falta de conscientização da população, o acúmulo de resíduos sólidos urbanos em bocas de lobo e junções pode entupir a rede de microdrenagem e provocar enchentes e alagamentos. Participam dos custos relacionados à enchentes as despesas públicas com saúde e abrigo das populações atingidas, além do dano emocional provocado a essas famílias, com grave risco de ocorrência de TEPT (Transtorno do Estresse Pós Traumático)¹³.

Internações

O acondicionamento inadequado de resíduos sólidos urbanos facilita a propagação de pragas e vetores, que podem ser causadores de doenças. Internações em hospitais públicos e particulares (quando a conta é repassada ao SUS) custam caro para o Estado, e é difícil mensurar com precisão qual a efetiva participação do não acondicionamento no lixo na taxa de internações hospitalares.

Poluição do ar na coleta por caminhões

Poluição mata em São Paulo mais do que AIDS (SALDIVA, 2010). Para deslocamento de cargas pesadas, a eficiência energética do transporte rodoviário é a pior possível se comparada com o transporte ferroviário e aquaviário. São Paulo conta com as três opções modais, porém só faz uso do transporte rodoviário para escoamento dos resíduos. Os caminhões de coleta são movidos a diesel, combustível altamente poluente, fator agravado pelos níveis de presença de enxofre nesse combustível. De acordo com SALDIVA (2010), a poluição mata em São Paulo cerca de 4000 pessoas por ano.

¹²Disponível em <http://www.vogabrasil.com.br/noticias.php?c=18>. Acesso em 29.06.2012

¹³ Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Transtorno_de_estresse_p%C3%B3s-traum%C3%A1tico, acesso em 03.07.2012

Situação atual

Aterros são pontos de disposição final da maioria dos resíduos sólidos produzidos no Brasil. Aterro é uma grande área com objetivo de receber os resíduos sólidos urbanos, depositá-los em patamares e aterrá-los, controlando as condições de segurança e estabilidade dos taludes criados, além de disporem de dispositivos para saída e queima do metano oriundo da biodegradação dos resíduos orgânico. É necessário que a base do aterro seja impermeabilizado, para que não haja contaminação de águas subterrâneas pelo lixiviado.

Podem ser aterros controlados ou sanitários. Um aterro controlado é um lixão melhorado, em área não prevista para tal finalidade. Já no caso do aterro sanitário a área é preparada para receber os resíduos com impermeabilização do solo e obras de terra, e há projeto previsto para construção e operação do mesmo.

São Paulo conta hoje com quatro aterros sanitários, dois deles já desativados. São eles os aterros CTL (Central de Tratamento de Resíduos Leste), Caieiras, São João e Bandeirantes. O primeiro recebe atualmente os resíduos das regiões sul e leste da capital, e o segundo recebe os resíduos anteriormente destinados ao aterro Bandeirantes, das regiões Norte e Oeste. Aterro bandeirantes está desativado desde Março de 2007. O aterro São João foi desativado em Outubro de 2009. Em função das grandes distâncias a serem vencidas pelos caminhões de coleta, são necessárias estações de transbordos, que (LIMPURB, 2012):

“São pontos de destinação intermediários dos resíduos coletados na cidade, criados em função da considerável distância entre a área de coleta e o aterro sanitário... O volume estimado de movimentação nos transbordos é em torno de 1200 toneladas por dia. Hoje há três estações de transbordo na cidade de São Paulo: Transbordo Vergueiro, Transbordo Santo Amaro e Transbordo Ponte Pequena”.¹⁴

Conforme explicitado acima, além da necessidade por áreas mais distantes, há também a necessidade de estações de transbordo à medida que essas distâncias aumentam, assim como de veículos maiores, incidindo em custos extras de implantação e operação.

A Figura 11 mostra a localização aproximada dos transbordos e aterros existentes em São Paulo. Em relação ao centro da cidade, os aterros se encontram a cerca de 23,5 quilômetros de distância.

¹⁴Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/limpurb/aterros_e_transbordos/index.php?p=4633>. Acesso em: 08 abr. 2012, 15:00

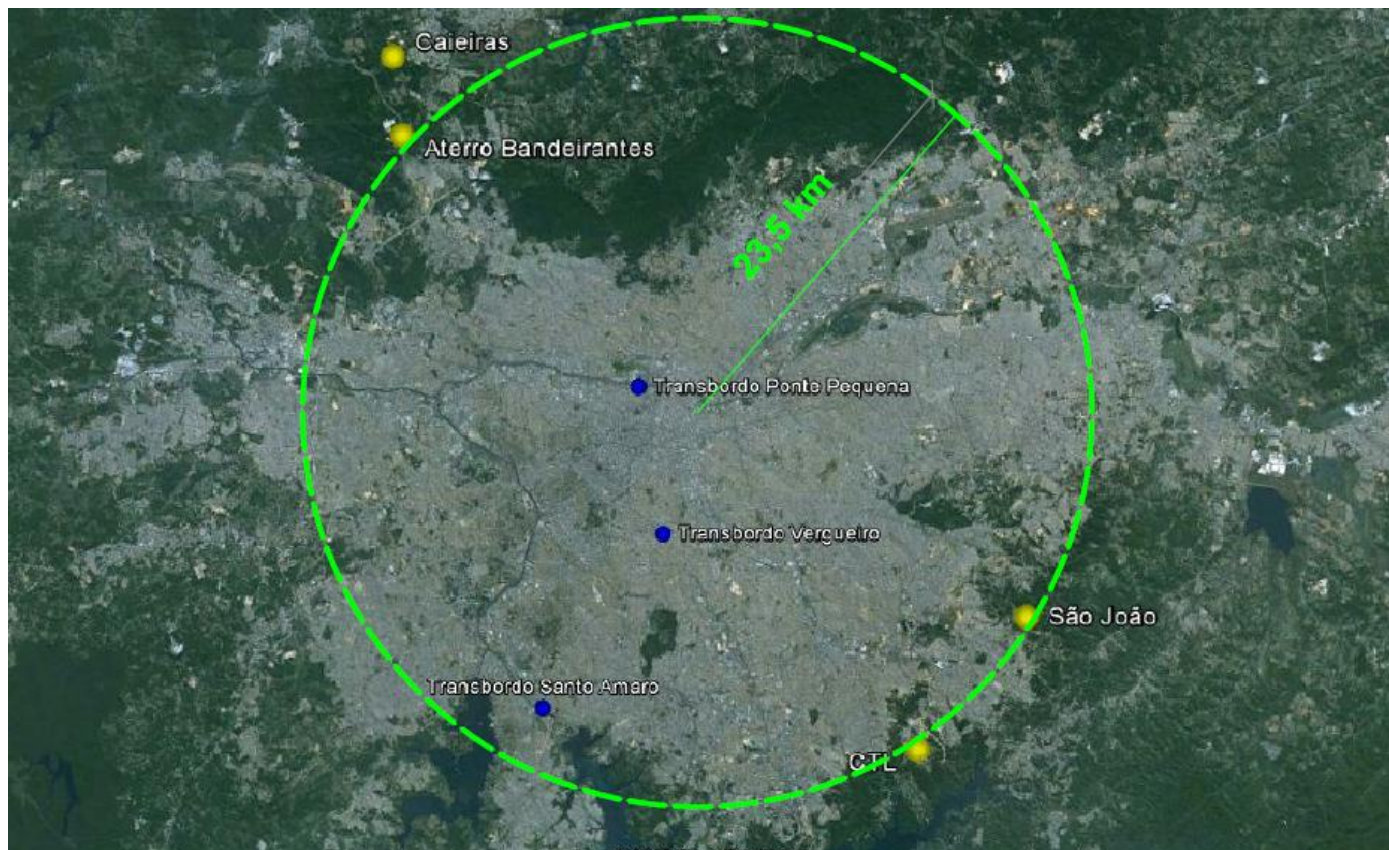


Figura 11. Aterros e Transbordos de São Paulo

Fonte: Google Earth (2012), processado pelo autor



Figura 12. Divisão das concessões de coleta de resíduos sólidos em São Paulo por subprefeitura

Fonte: LIMPURB (2012)

Os serviços públicos relacionados ao manejo de resíduos sólidos em São Paulo são concessionados, tanto na coleta quanto na varrição dos logradouros: as empresas concorrentes podem participar através de licitações. Traçada uma linha imaginária no sentido nordeste- sudoeste no município de São Paulo, as regiões acima e à esquerda desta linha contam com a coleta de resíduos operada pela empresa LOGA (ver Figura 12), a qual também foi responsável pelo monitoramento do aterro Bandeirantes até sua desativação em 2007. Hoje, os resíduos que eram destinados ao aterro bandeirantes vão para o aterro Caieiras, que é operado pela Essencis.

As regiões abaixo e à direita da linha imaginária são servidas pela Ecurbis, que operou o aterro São João, e hoje opera e monitora o aterro CTL (Central de Tratamento de Resíduos Leste).

Tabela 5. Aterros Sanitários existentes em São Paulo

Aterro	Localização	Observações
CTL (Central de Tratamento de Resíduos Leste)	Estrada do Sapopemba	• Destinação da Ecourbis
São João	Estrada de Sapopemba km 33, em São Mateus	• Desativado em outubro de 2009 • 155 m de altura (Prédio de 50 andares) • Deslizamento em 2007
Bandeirantes	Rodovia dos Bandeirantes km 26, em Perus	• Desativado em março de 2007 em função da saturação • Usado desde 1992 • Recebeu os resíduos coletados pela Loga
Caieiras		• Recebe atualmente os resíduos que eram destinados ao aterro bandeirantes

Fonte: LIMPURB (2012)

A questão dos aterros sanitários nas grandes cidades

Os aterros sanitários participam de forma importantíssima no quadro de gestão dos resíduos sólidos urbanos. Configuram uma tecnologia estruturada de como sanar a alta demanda pelo manejo de resíduos sólidos no Brasil. Porém, o volume de resíduos que poderia ser detinado à formas alternativas de tratamento é grande, como mencionado no item 2.2.3. Há complicações relativas ao uso excessivo do aterro sanitário como única solução para os RSU.

Em função do crescimento populacional da última década, a saturação dos meios de disposição existentes (aterros sanitários) ocorre cada vez mais rapidamente e, ao mesmo tempo em que esses se saturam, surge a carência por grandes área cada vez mais afastadas, gerando maiores percursos para os caminhões e, conseqüentemente, maiores custos para o sistema de coleta, além da poluição e complicação do planejamento da operação (Ruberg 2005).

No caso das cidades do Estado de São Paulo, à medida que os aterros são preenchidos e a cidade se conurba com os seus arredores, caso não haja a fiscalização devida, a aquisição de terrenos dentro do perímetro urbano torna-se inviável ao poder público em função do custo do terreno por metro quadrado. Por isso busca-se áreas mais afastadas, sendo que a viabilidade de um aterro sanitário é influenciada em

termos operacionais, além de outro fatores técnicos, pela matriz preço do terreno x custo do transporte até o local.

Há outras implicações na construção de um aterro sanitário. Uma delas é que a busca por terrenos mais distantes pode incorrer em áreas próximas de atividade agropecuária, já que grande parte das cidades do Estado de São Paulo conta com cinturões agrícolas ao seu redor. Há chance de contaminação dos lençóis freáticos pelo lixiviado do aterro, e tal ocorrência em áreas próximas a atividades agropecuárias ou de extração de água por poços pode incidir em complicações propagantes e problemas de saúde pública.

Além da proximidade a áreas com atividade agropecuária explicitada nos gráficos acima, temos um cenário paradoxal quanto à disposição final dos resíduos sólidos no Brasil. Comparados os anos de 2000 e 2008 na Figura 7, há uma leve redução na quantidade de resíduos depositada em vazadouros a céu aberto (lixões), e um significativo aumento na quantidade depositada em aterros sanitários, fruto da legislação vigente obrigar a destinação dos resíduos ao mesmo (CETESB).

É nítida essa realidade tanto na escala brasileira quanto paulistana e carioca, observadas as Figura 13 e Figura 14. Além do agravante mencionado no parágrafo anterior, e de acordo com a mesma autora, os aterros sanitários são problemáticos por exigirem grandes áreas e restringirem o uso futuro dessas áreas em função da degradação ambiental e social que provocam ao seu redor, pois áreas próximas a aterros estão sujeitas à desvalorização imobiliária.

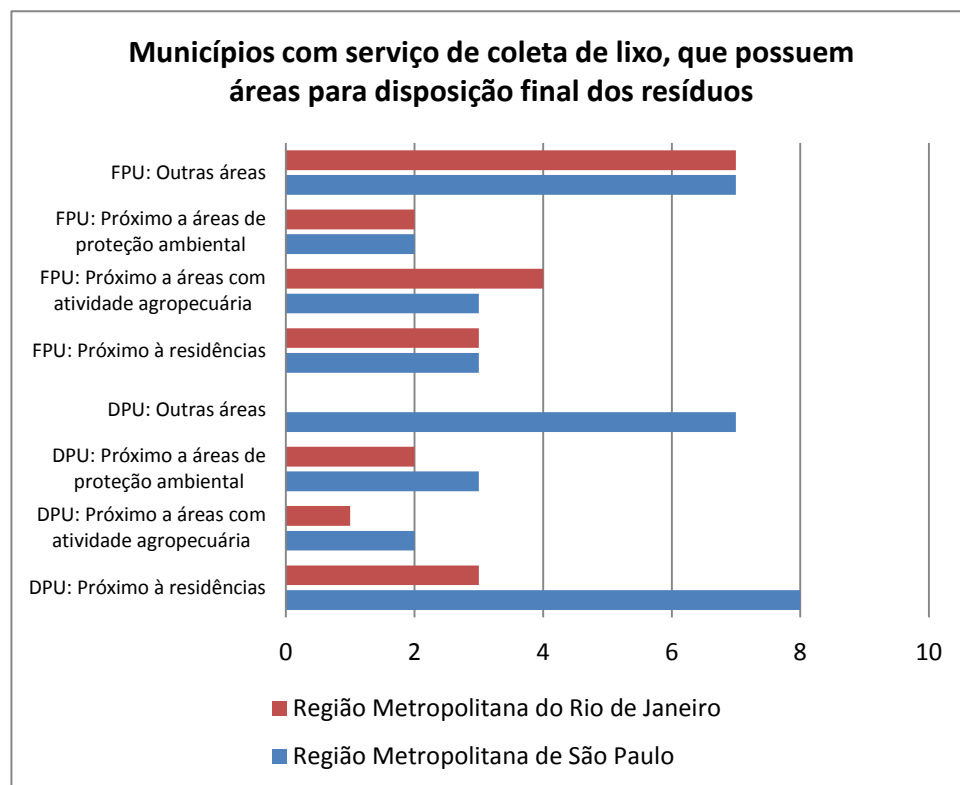


Figura 13. Municípios com serviço de coleta de lixo, que possuem áreas para disposição final dos resíduos, Região Metropolitana de São Paulo e Rio de Janeiro

Fonte: IBGE 2000 processado pelo autor

A diferença nos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro com relação à realidade brasileira é por uma sutil proporção menor no número de vazadouros a céu aberto. Um outro fato interessante que deve ser observado na Figura 7: o volume de resíduos sólidos produzidos no Brasil desde 2000 aumentou,

provavelmente, em função do aumento de sua população. E essa perspectiva resiste para os próximos anos. De acordo com as pesquisas nacionais de saneamento básico (PNSB) mais recentes, houve um aumento de 13,6% na quantidade total de resíduos gerada no Brasil de 2000 para 2008.

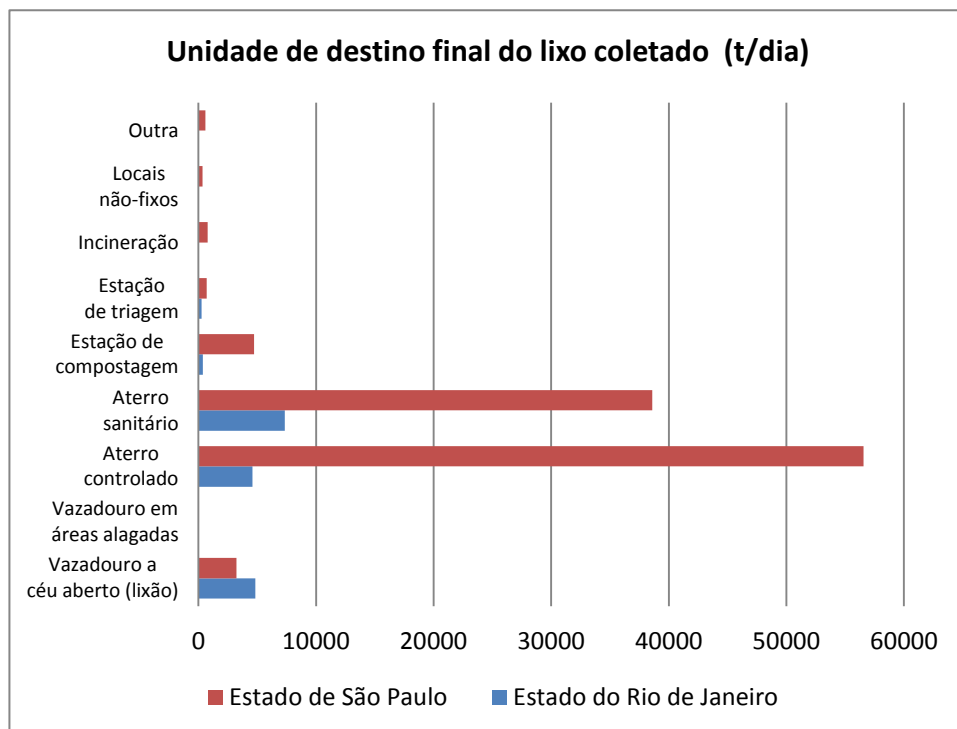


Figura 14. Unidade de destino final do lixo coletado, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro
Fonte: IBGE 2000 processado pelo autor

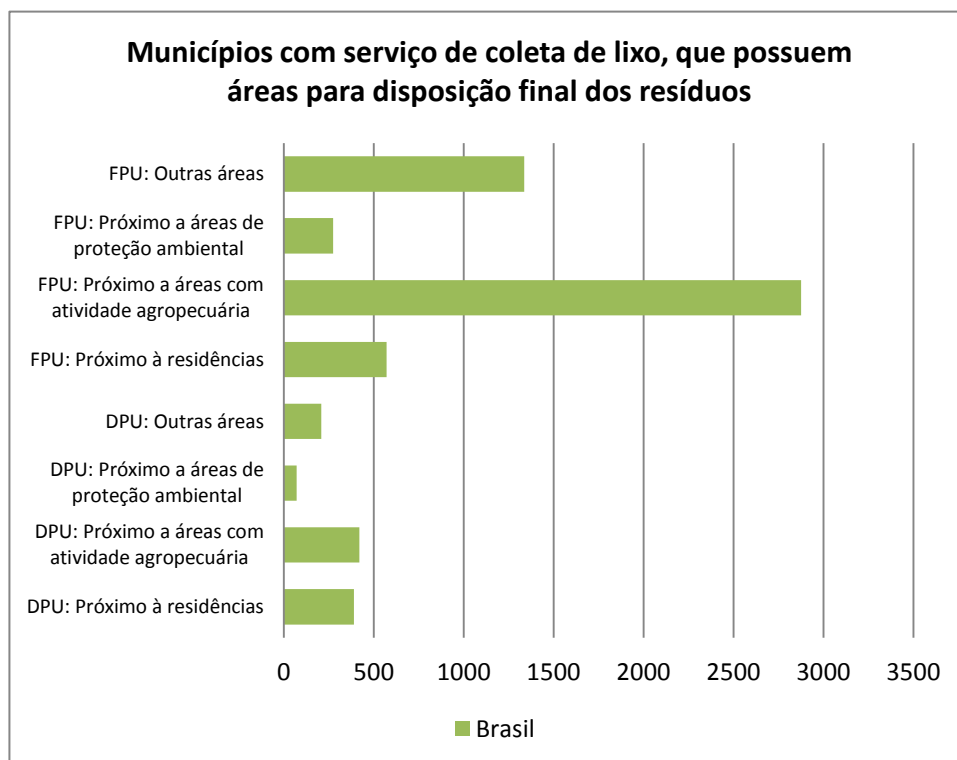


Figura 15. Municípios com serviço de coleta de lixo, que possuem áreas para disposição final dos resíduos, Brasil
Fonte: IBGE 2000 processado pelo autor

Considerando o relativo aumento na produção brasileira de resíduos, essas variações se tornam mais significativas. Por outro lado, podem indicar o sobrecarregamento populacional de regiões que já contam com o serviço operante, indicando apenas um esgotamento mais rápido da infraestrutura existente.

Outros dois grandes riscos da opção por aterros sanitários é o deslizamento, como ocorreu no aterro São João em 2007, e a queima inaproveitada do metano, que apesar de ser melhor do que não queimar, emite GEE (gases de efeito estufa), quando o mesmo poderia estar sendo queimado em usina térmica ou usado em processos de calefação.

Os impactos do deslizamento de terra de um aterro de tais proporções são drásticos: além de ser de difícil remediação, coloca em risco a vida dos funcionários que operam o aterro, o mau cheiro pode ser sentido à distância, causando náuseas. No caso do aterro São João, o deslizamento provocou rompimento de uma tubulação que coletava metano no próprio aterro, fazendo com que esse gás fosse dispersado livremente na atmosfera.

Os dados da operação logística que mantém São Paulo limpa, levando os resíduos até o aterro, são alarmantes:

- A distância entre os transbordos e aterros varia de 32 a 54 km, o tempo médio de transporte é de 2 a 4 horas, ou de 6 a 9 horas nos horários de pico. (RUBERG, 2005)
- “O lixo coletado na capital é levado para dois aterros. O CTL, no extremo da Zona Leste, recebe 7 mil toneladas por dia. Como já falta espaço na cidade, o restante é levado para um aterro na cidade de Caieiras, na Grande São Paulo... A operação no aterro não para - 24 horas por dia, de domingo a domingo. Setecentos caminhões chegam no local diariamente e, com eles, 6 mil toneladas de lixo...” (GLOBO, 2012)
- Observa-se que 700 caminhões por dia é o mesmo que 1 caminhão a cada 2 minutos

A alternativa de disposição dos resíduos sólidos a aterros sanitários é com certeza mais adequada do que a vazadouros a céu aberto. Contudo, comparada às demais tecnologias existentes, não é a solução ideal que deveria ser dada aos resíduos sólidos urbanos. A Figura 7 indica a acentuada discrepância entre a quantidade destinada a aterros sanitários e a outras formas mais interessantes, como unidades de compostagem e reciclagem. A incineração é uma alternativa delicada pois emite gases estufa e exige tratamento sob cuidado adicional de gases tóxicos. Por outro lado, possibilita geração de energia.

A discrepância entre o volume disposto em aterros sanitários e destinado a sistemas mais adequados ocorre por muitas razões, mas principalmente em função da ausência de um programa de coleta seletiva ou elaboração de plano de recolhimento mais adequado. De acordo com a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, o lixo em 1993 ainda não era um fator considerado no plano diretor da cidade, como hoje ainda não é em muitos municípios brasileiros.

É de suma importância incentivar, politicamente, formas alternativas de destinação e tratamento de resíduos sólidos, como compostagem e coleta seletiva, que contribuem de forma muito significativa para o desenvolvimento sustentável do país e para estruturação de uma sociedade ambientalmente correta. Através de tais alternativas, ao mesmo tempo em que se opera de forma menos poluidora, prolonga-se a vida útil dos aterros sanitários pois esses terão de receber menor quantidade de resíduos e poderão ser operados de forma mais eficiente, participando de forma mais otimizada na questão dos resíduos sólidos urbanos.

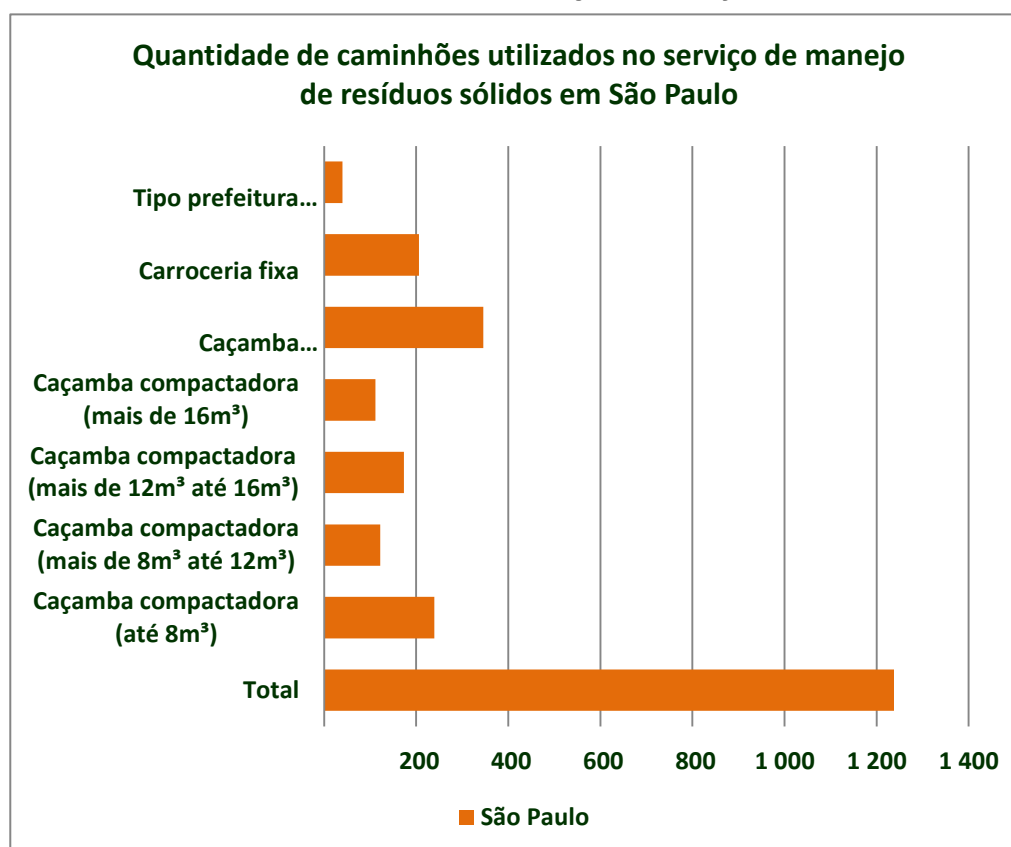
A questão do não-tratamento dos resíduos sólidos urbanos

Vale lembrar também os aspectos sociais e de saúde pública provocados pela gestão ineficiente de resíduos sólidos, como a destinação a lixões. É miserável a situação a que estão sujeitos os habitantes dos lixões, como já mostrado em vários documentários como “Ilha das Flores”, de Jorge Furtado. A população de baixa renda está mais sujeita aos perigos de exposição a lixões e aterros controlados, já que a disposição dos resíduos sólidos geralmente se dá em áreas periféricas onde tal população reside. Atualmente, é proibida pela PNRS residir em áreas de destinação de resíduos, assim como se alimentar dos rejeitos.

Os lixões exalam gases tóxicos e atraem patógenos e vetores, além de permitir a condição sub-humana de vida levada pelos moradores de lixões. De acordo com (SENGES, 1969), embora não se possa afirmar que o lixo é um transmissor de doenças, sua disposição irregular é o principal proliferante de moscas e ratos. O transporte e condicionamento dos resíduos sólidos de forma higiênica podem reduzir em até 90% a existência de moscas e 65% de roedores.

2.2.8 Poluição

Figura 16. Quantidade de caminhões utilizados no serviço de manejo de resíduos sólidos em São Paulo



Fonte: IBGE PNSB (2008) processado pelo autor

Tabela 6. Economia em créditos carbono

ECONOMIA EM CRÉDITOS CARBONO	
Fator de emissão de CO ₂ para veículos pesados a diesel:	1240 g/km
Frota de caminhões de São Paulo	1 238

Frequência de coleta	1 diária
Dias de coleta por mês (inclui sábados)	26
Média de km rodados por dia	40 km
Quilômetros rodados por ano	15.445.943,39 km/ano
kg emitidos de CO ₂	11.893.376,41 kg CO ₂
Preço médio do crédito carbono ¹⁵	7,34 U\$
Potencial de Créditos de carbono por ano	87.297.382,83 U\$

Fonte: IBGE PNSB 2008, AMBIENTE BRASIL¹⁶ CETESB e LIMPURB

Na Figura 6 estão apresentados os diversos veículos usados na operação de coleta de resíduos sólidos em São Paulo, todos eles movidos a diesel. Uma estimativa da poluição gerada por essa frota foi estimada na Tabela 6.

São Paulo tem potencial para economia de cerca de 87 milhões de dólares em crédito carbono por ano considerando-se a frota total de veículos operantes na coleta de resíduos sólidos urbanos. Observa-se que o potencial efetivo de economia é maior, pois o cálculo acima desconsidera o baixo rendimento dos caminhões quando parados no trânsito e a quilometragem morta. Obviamente, é impossível simplesmente retirar todos esses veículos da operação de coleta. Porém, há milhares de alternativas, não somente relacionadas à estratégias para com os resíduos sólidos que, se implantadas na cidade, podem melhorar o sistema de coleta. Por exemplo, se São Paulo contasse com melhores iniciativas no setor de transporte público, a cidade teria menos trânsito, e os veículos coletores conseguiriam percorrer as rotas estabelecidas em menor tempo, otimizando a operação e reduzindo significativamente os níveis de emissões.

O custo da poluição em São Paulo

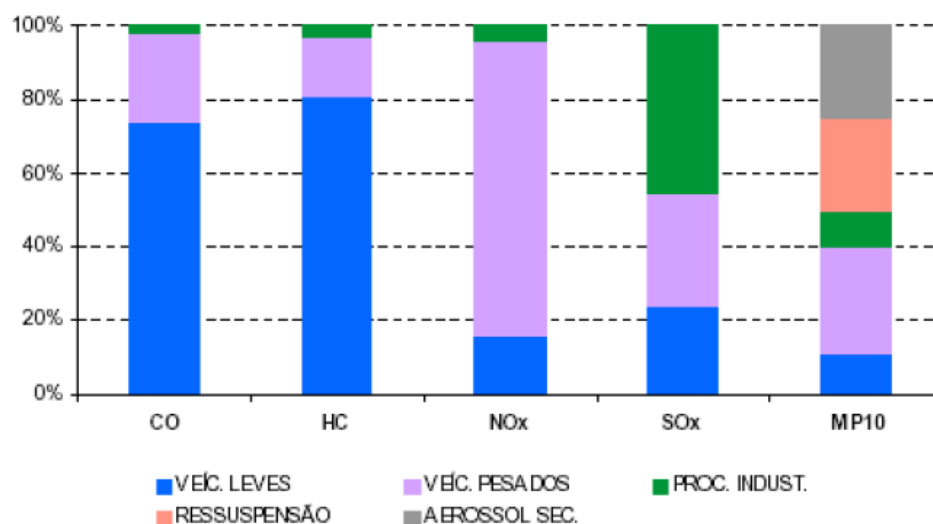


Figura 17. Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte

¹⁵ Disponível em <http://revistaescola.abril.com.br/ciencias/fundamentos/como-funcionam-creditos-carbono-471948.shtml>
Acesso em 29.06.2012

¹⁶ Disponível em <http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2011/10/24/75973-caminhoes-de-lixo-sao-os-que-mais-emitem-dioxido-de-carbono.html>, Acesso em 02.12.2012

A Figura 17 mostra a participação dos diferentes agentes nas emissões de material particulado na atmosfera. Claramente, a quantidade emitida pelos veículos leves e pesados é a principal causa da má qualidade do ar na RMSP.

A Figura 18 mostra a participação por tipo de veículo na quantidade de poluentes emitida. Observa-se que nas categorias NO_x, SO_x e MP₁₀ o diesel é o combustível de maior participação nas emissões relacionadas a fontes móveis de emissões. Isso ocorre tanto em função da larga quantidade de diesel usada nas mais diversas operações de transporte da RMSP, como em razão da má qualidade do combustível.

Neste ano, a ANFAVEA (Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores) implantou o PROCONVE 7 (Programa de controle de poluição do Ar por Veículos automotores). Esse programa tem como objetivo a substituição completa do diesel atualmente fornecido para veículos pesados por um diesel de melhor comportamento energético. O Diesel usado atualmente é o S500 (500 partes de Enxofre por milhão), e deverá ser substituído a partir de 2012 pelo S50 (50 ppm de Enxofre), e a partir de 2013 o S10.

FONTE DE EMISSÃO			POLUENTES (%)				
			CO	HC	NO _x	So _x	MP ₁₀ ¹
M O V E I S	Tubo de escapamento de veículos	Gasolina C ¹	46,5	20,6	12,3	21,4	9,6
		Álcool	12,5	5,8	3,5	-	-
		Diesel²	23,7	16,2	79,8	31,4	29
		Táxi	0,1	0,1	0,1	0,8	0,2
		Motocicleta e similares	15	8,5	0,4	1,3	1,2
	Cárter e evaporativa	Gasolina C	-	33,5	-	-	-
		Álcool	-	4,3	-	-	-
		Motocicleta e similares	-	5	-	-	-
	Operações de transferência de combustível	Gasolina C	-	2,9	-	-	-
		Álcool	-	0,1	-	-	-
F I X A S	Operação de Processo Industrial (1990)		2,2	3	3,8	45,1	10
	Ressuspensão de partículas		-	-	-	-	25
	Aerossóis secundários		-	-	-	-	25
	TOTAL		100	100	100	100	100

1 - Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis. A contribuição dos veículos (40%) foi rateada entre veículos a gasolina e diesel de acordo com os dados de emissão disponíveis (tabela 1).

Figura 18. Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na Região Metropolitana de São Paulo RMSP em 2004

Fonte: CETESB (2005)

Da frota completa de veículos movidos a diesel de São Paulo, cerca de um quinto é composta por caminhões. Destes, aproximadamente 1% pertence à frota de coleta e transportes de resíduos sólidos (Figura 16 e Figura 19).

Regiões ou Municípios	ônibus	micro-ônibus	caminhões	caminhonetes
RMSP	45.187	29.320	213.008	554.320
São Paulo	33.570	26.426	118.254	435.501
Campinas	3.053	2.243	12.287	41.509
Sorocaba	1.026	815	5.634	17.332
Estado de São Paulo	94.358	48.367	458.429	1.238.087

Figura 19. Caracterização da frota a Diesel

Fonte: Colombo (2002)

Para cálculo da estimativa dos custos associados à poluição da frota de caminhões coletores, foi usada a metodologia desenvolvida pelo banco mundial proposta por LVOVSKY (2000), através da seguinte fórmula:

$$\Delta S = b * \Delta C * P;$$

em que ΔS é o impacto na saúde, b é a função dose-resposta (número de internações em função da densidade de material particulado no ar), ΔC é a variação na concentração do poluente MP10 e P é a população exposta a tal concentração. Em MAC KNIGHT e YOUNG (2006), foi feita uma análise utilizando esse modelo para emissão de material particulado por ônibus. Os ônibus consomem cerca de 1,5 bilhões de litros de diesel e são responsáveis por cerca de 6,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da poluição do ar da cidade (ver Tabela 7).

A partir dos dados na Tabela 6 e da análise feita por MAC KNIGHT e YOUNG (2006), foi possível estimar a contribuição para a poluição do ar da frota de caminhões usada na coleta e transporte de resíduos sólidos. Os resultados encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7. Densidade relativa à emissão de caminhões da frota de coleta de lixo

Poluição em São Paulo		
Fonte	Quantidade	Unidade
Consumo de Diesel pelos ônibus urbanos da RMSP	1.506.233.333,00	litros
Parcela da concentração de poluentes oriunda de emissões dos ônibus	6,4	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Consumo de Diesel de um caminhão de coleta de resíduos por ano	43.680,00	litros
Consumo de Diesel pelos caminhões da frota de coleta de resíduos por ano	54.060.801,85	litros
Parcela da concentração de poluentes oriunda de emissões de caminhões da frota de coleta de resíduos	0,22970487	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fonte: elaborado pelo autor a partir de MAC KNIGHT e YOUNG (2006)

A partir do resultado de 0,2297 micrograma por metro cúbico obtido nos cálculos da Tabela 7, foi possível aplicar a fórmula de LVOVSKY (2000). Os resultados são apresentados na Tabela 8. O valor de ΔC corresponde ao valor calculado na Tabela 7 de 0,2297 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o fator b é dado por LVOVSKY (2000) e a população exposta às emissões na RMSP é de 17 milhões (CETESB 2005). O custo das internações é obtido do DATASUS (2005), e o custo por dias perdidos é obtido com base no rendimento médio mensal de

R\$2.551,28 (Serôa da Motta et al (2000)). Dividindo-se esse valor por 30, chega-se a um rendimento médio diário de R\$85,04.

Tabela 8. Custo da poluição em São Paulo- Internações e Dias perdidos

Custo da poluição em São Paulo- Internações		Unidade
ΔC	0,28107347	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
b para internações	0,000012	dias perdidos / ΔC
P	17000000	pessoas
Custo por internação	575,27	R\$
Custo total com internações em função da poluição	32.985,40	R\$
Custo da poluição em São Paulo- Dias Perdidos		Unidade
ΔC	0,28107347	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
b para dias perdidos	0,0575	dias perdidos / ΔC
P	17000000	pessoas
Custo por dia perdido	85,04	R\$
Custo total com internações em função da poluição	23.364.681,87	R\$

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de MAC KNIGHT e YOUNG (2006)

Somando-se os valores dos dias perdidos e das internações por poluição, obtém-se cerca de 23,4 milhões de reais. A maior parte destes custos é composta pela parcela de dias perdidos, representando os custos com internações uma parte muito pequena do montante. Em outras palavras, a poluição causada pelos caminhões de coleta de resíduos sólidos urbanos custa 24 milhões de reais para o governo por ano.

3. Solução Proposta

3.1 O sistema de escoamento a vácuo

3.1.1 Descrição

O sistema de coleta de lixo a vácuo compõe uma rede de infraestrutura urbana como outra qualquer (i. e. esgoto, águas pluviais), e é composto por pontos de coleta, rede de escoamento e transporte, estações de compactação e triagem com objetivo de otimizar e racionalizar a coleta de resíduos sólidos em áreas urbanas altamente adensadas. Configura uma tecnologia paralela e mais eficiente que os tradicionais veículos coletores.

Funcionamento

As lixeiras (pontos de coleta) estão conectadas a válvulas de armazenamento, que guardam o resíduo até o momento de descarga. As válvulas estão ligadas aos tubos de aço carbono, que funcionam sob altas pressões e levam o resíduo até uma central de armazenamento (sistema estacionário, Figura 20) ou caminhão de coleta (sistema móvel, Figura 23). Há separação do resíduo por categoria (frações), possibilitando coleta seletiva. Caso haja demanda suficiente, o escoamento pode ser feito diretamente até a destinação final, como acontece em usinas de compostagem ou incineração.

Sistema Estacionário



Figura 20. Sistema estacionário de coleta de resíduos a vácuo

Fonte: ENVAC, 2012



Figura 21. Caminhão coletando container de

O lixo é jogado nas lixeiras (pontos de coleta), que possuem pequenos reservatórios subterrâneos (válvulas) conectados ao corpo superior de cada lixeira. Cada tipo de resíduo (fração) requer implantação de um compartimento lixeira-válvula específico. No mínimo, são implantados sistemas com 2 frações (orgânico e indiferenciado).

O resíduo que vai sendo depositado ao



Figura 22. Contêiner destinado a uma fração do sistema

Fonte: ENVAC (2012)

longo do dia é acumulado temporariamente na válvula, até que seu volume seja grande o suficiente para que ocorra uma descarga. No momento de descarga, as válvulas se abrem por controle automatizado. É necessária uma descarga diferente para cada fração do sistema.

O resíduo é transportado pelo sistema de tubulações ao qual estão ligadas todas as frações, em velocidades de cerca de 70 km/h. Ventiladores criam a pressão parcial que suga o resíduo até a estação de coleta (descarga de rede). A fração coletada é destinada ao container respectivo (Figura 22). Quando conveniente, há compactação do resíduo coletado.

O ar usado para transporte dos resíduos é filtrado antes de ser devolvido para a atmosfera.

As descargas de rede ocorrem sempre quando esgotada a capacidade de um determinado número de válvulas. Há sistemas inteligentes que monitoram tal processo, e consideram também fatores como a distância entre válvulas cheias. Por exemplo, caso uma válvula acuse estar completamente preenchida, o sistema detecta se outras válvulas relativamente próximas à mesma também o estão. Caso não, considera-se que o usuário, ao perceber que não se pode jogar mais lixo na lixeira que já está cheia, poderá andar até a lixeira mais próxima para depositar seu lixo. Isso barateia a operação da rede, considerando-se que o custo é diretamente influenciado pelo número de descargas.

A vantagem desse sistema é a possibilidade de locação da central de armazenamento em área periférica. Isso evita o trânsito excessivo dos caminhões pelas ruas, acumulando todo o resíduo em um só ponto e otimizando a coleta, evitando circulação de caminhões pesados em áreas residenciais.

Os resíduos são depositados em containers e posteriormente recolhidos por um caminhão (Figura 21) e levados ao destino adequado. Os containers estão disponíveis nos volumes de 20, 25 e 30 m³. A densidade média do resíduo coletado em tais contêineres é de 350 a 500 kg/m³.

Sistema móvel

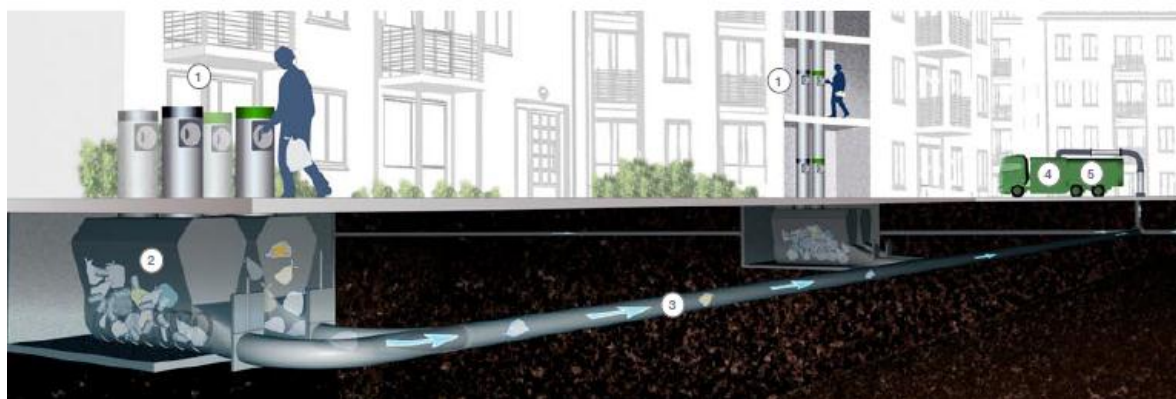


Figura 23. Sistema móvel de coleta a vácuo

Fonte: ENVAC (2012)

Em pequenos condomínios residenciais, por questões de demanda ou de carência de espaço, pode não ser adequada a instalação do sistema estacionário. Nesses casos, o sistema móvel cumpre a função de escoamento de forma mais efetiva, ocorrendo coletas e descargas menos frequentes.



Figura 24. Caminhão com tubulação flexível conectado ao ponto de sucção do sistema móvel

Fonte: ENVAC (2012)

O processo funciona de forma semelhante ao sistema estacionário. A grande diferença é que o sistema móvel não conta com uma central de armazenamento dotada de contêineres: o resíduo fica armazenado em tanques subterrâneos, sob as lixeiras onde é jogado.

Esses tanques estão conectados a um ponto de sucção, ao qual um caminhão de coleta conecta uma tubulação embarcada.

O processo de sucção é automatizado, e o vácuo é criado por bombas, fazendo com que o resíduo seja escoado a 90km/h e sugado pelo ponto de sucção para dentro do caminhão. O ar é filtrado antes de ser devolvido à atmosfera.

Neste tipo de sistema, é possível expandir a rede de tubulação de escoamento, caso haja expansão da área residencial.

3.1.2 Aspectos Técnicos

Como parâmetros de seu principal fabricante, a ENVAC, o sistema possui as seguintes capacidades:

Tabela 9. Capacidade máxima recomendada do sistema

CAPACIDADE MÁXIMA DO SISTEMA	
Terminal	

Domicílios atendidos	9000	
Usuários	24000	
Válvulas / Inlets	360	
Rede de escoamento		
Extensão da rede de tubulações	6 a 8	km
Distância máxima de sucção	1,8	km
Inlets		
1 válvula	600	litros
Produção de resíduo por habitante	0,8	kg/dia
Densidade do resíduo	0,09	kg/litro
1 válvula	25	domicílios
Capacidade do sistema	20	ton./dia

Fonte: ENVAC (2012)

A recomendação inicial para dimensionamento de acordo com seu fabricante (ENVAC), estabelece uma distância máxima de 2 km do ponto de coleta mais distante até o terminal de sucção, atendendo a 8500 moradias com capacidade de geração de resíduos de até 20 toneladas por dia por fração do sistema. Uma fração compõe uma unidade de coleta seletiva. Geralmente, são instalados sistemas com 2 a 4 frações, uma para cada tipo de resíduo, como orgânico, indiferenciado, papel e plástico.

Tabela 10. Capacidade mínima recomendada do sistema

CAPACIDADE MÍNIMA DO SISTEMA		
Terminal		
Domicílios atendidos	5000	
Usuários	15000	
Válvulas / Inlets	200	
Rede de escoamento		
Extensão da rede de tubulações	4 a 6	km
Distância máxima de sucção	1,8	km
Inlets		
1 válvula	400	litros
Produção de lixo por habitante (sem vidro)	0,8	kg/dia
Densidade do lixo	0,09	kg/litro
1 válvula	25	domicílios
Capacidade do sistema	13	ton./dia

Fonte ENVAC (2012)

Essas limitações podem variar de acordo com o tipo de resíduo e disposição da rede, e é claro, com os padrões de geração de resíduo. Para o caso de São Paulo, por exemplo, a capacidade de 40 ton./dia (considerando-se 2 frações) seria suficiente para suprir cerca de 20 000 pessoas, de acordo com dados da PNSB de 2008 (ver Tabela 11). Considerando uma família média de 3,5 pessoas, de acordo com o último Censo (2010), o sistema seria adequado para cerca de 6000 domicílios.

Obs.: O fator de multiplicação é obtido dividindo a quantidade total de resíduos gerada no Brasil em 2008 pela quantidade total de resíduos gerada no Brasil em 2000.

População de São Paulo	Geração de Ton/dia em 2000	Fator de multiplicação	Geração de Ton/dia em 2008	Ton/hab.dia	Capacidade do sistema ENVAC Ton/dia	Habitantes servidos
11316149	20150,2	1,136305727	22896,788	0,0020234	40	19768,972

Tabela 11: Pré-dimensionamento de abrangência do sistema ENVAC

Fonte: IBGE 2000 e 2010, processado por MUKAY, 2012

Cerca de 80% dos tipos de resíduos domésticos podem ser escoados pelo sistema a vácuo. Não podem ser escoados no sistema a vácuo resíduos infectantes, pilhas, baterias, resíduos inflamáveis, resíduos que possam danificar o sistema (pedras, pedaços de metal), soluções alcalinas, ácidas ou alcóolicas e líquidos, por exemplo. Tais resíduos devem contar com sistemas especial de coleta, transporte e tratamento, pois são, no geral, resíduos perigosos e merecem atenção especial.

Essencialmente, o principal fator degradante do sistema é a erosão física provocada pelo material escoado. Por isso, metais e materiais duros não podem ser levado pelas tubulações a vácuo.



Figura 25: Pontos de coleta instalados em um condomínio com 3 frações

Fonte: ENVAC (2012)

A vida útil de projeto da rede de tubulações é de 30 anos. As tubulações são feitas de aço de diferentes espessuras de acordo com a vida útil desejada em projeto e a agressividade dos resíduos aos quais estará sujeita.

O sistema de coleta a vácuo está sujeito ao adensamento urbano do bairro no qual é implantado, podendo operar de forma integrada com o plano diretor da cidade e as premissas de ocupação urbana, como todos os outros serviços de infraestrutura, devendo ser projetado como toda rede para um cenário de saturação de ocupação demográfica.

Tabela 12. Dados do componente Tubulação para escoamento a vácuo, adotados no Brasil

Tubo para rede de tubulações de escoamento de lixo a vácuo	
Material:	Aço carbono convencional tipo ASTM A1018 SS
Comprimento:	Fornecido nos comprimentos de 3 a 18 m
Diâmetro interno:	500 mm
Espessura:	De 3 a 22 mm
Massa linear:	Varia em função da espessura. Um tubo de 5 mm pesa em média 62 kg/m.

Custo:	Varia em função do fornecedor e sua localidade. Para um tubo de 5mm, o custo situa-se entre as faixas de 400 a 600 BRL/metro.
Observações:	Os tubos podem ter diferentes espessuras de acordo com a necessidade do projeto. Porém, o diâmetro interno é fixo. Os tubos são feitos sob encomenda de acordo com a necessidade de cada projeto.

Fonte: ENVAC Brasil (2012)

Os tubos são normalmente instalados em trincheiras, enterrados entre 1,5 e 2,5 m de profundidade, podendo também ser instalados sob a água. Nesse caso, precisam de um leito de concreto para fixação. As conexões, por serem especialmente sensíveis, são feitas de aço-boro.

Apesar de já ter 40 anos de história, a aplicação do sistema não ocorreu de forma vasta e não há normas técnicas de referência para sua aplicação. É uma tecnologia ainda não documentada, o que é comum na Europa, onde há incentivo à inovação tecnológica e implantação de sistemas revolucionários ainda não normatizados.

Porém, quando possível, são usadas normas já existentes que possam apresentar semelhança com o sistema proposto. Por exemplo, para revestimento dos tubos usa-se polietileno, sujeito às mesmas condições de proteção exigidas pela norma europeia para tubulações a gás. O mesmo ocorre para as junções e conexões.

Durabilidade:

A durabilidade dos tubos está associada à frequência de uso e composição do resíduo a ser drenado e suas propriedades erosivas. Essas são as principais variáveis que determinam as espessuras das tubulações.

Como no sistema de escoamento a vácuo o resíduo é drenado a altas velocidades (25m/s), materiais duros como vidro e partes metálicas provocam erosão no sistema, não podendo ser escoados pelo sistema diretamente. No caso dos metais, o sistema não permite coleta e escoamento, sendo necessário destiná-los a outro meio de recolhimento. No caso do vidro, que é um resíduo comumente domiciliar, é necessário embrulhá-lo antes de jogá-lo na rede, tal que a massa de vidro não pode ser superior a 10% da massa do pacote total de lixo.

Os tubos são revestidos com polietileno, o que garante proteção contra corrosão nas condições normais (enterrados). Caso os tubos sejam instalados em ambiente particularmente agressivo, pode ser adicionada proteção catódica ou anódica. Essa alternativa é priorizada por ser mais barata do que o uso de aço inoxidável.

Ao final de sua vida útil, pode ser necessária substituição dos tubos, porém não de toda a rede. Como toda infraestrutura subterrânea, o sistema de tubos demanda manutenção, porém isso não implica que 100% da rede deverá ser substituída ao final dos 30 anos. A empresa ENVAC conta atualmente com aproximadamente 40 sistemas em diferentes continentes que operam há mais de 30 anos sem substituição da rede de transporte.

3.1.3 Impacto ambiental do sistema a vácuo

É difícil mensurar de forma direta o impacto ambiental da implantação das obras do sistema a vácuo. Prioritariamente, está associado à produção das tubulações de aço destinadas ao transporte de resíduos sólidos. Como análise preliminar, podemos comparar a massa linear dos tubos de aço com a massa linear dos perfis metálicos mais comumente usados na construção civil.

Observada a Tabela 13, percebe-se que a massa linear das tubulações em função de sua espessura não é muito distante da massa linear dos perfis de aço mais comumente usados na indústria. Salvo por diferenças processuais de fabricação, pode-se considerar que o impacto ambiental do tubo é parecido com o impacto ambiental da produção de outros elementos de aço. Considerando-se que a emissão de kg CO₂ do aço varia de 200 a 2000 por tonelada de aço produzida, e a produção dos tubos pode emitir em média de 40942 a 31153 kg CO₂ por metro linear de tubulação produzida.

Tabela 13. Análise da massa dos perfis em função da variação da espessura do tubo

Espessura (mm)	Massa linear (kg/m)	Espessura (mm)	Massa linear (kg/m)
3	37,22	13	164,48
4	49,72	14	177,47
5	62,27	15	190,52
6	74,88	16	203,62
7	87,53	17	216,76
8	100,23	18	229,96
9	112,98	19	243,2
10	125,78	20	256,49
11	138,63	21	269,84
12	151,53	22	283,23

Fonte: ENVAC BRASIL (2012) processado pelo autor

Quanto aos impactos sociais e ambientais, a empresa seleciona fornecedores de tubulações que tenham certificação ISO14000 e ISO9000.

Casos anteriores de implantação do sistema à vácuo

O sistema de coleta de resíduos a vácuo já foi implantado em algumas cidades europeias como Barcelona (Espanha), Helsinki (Finlândia) e Estocolmo (Suécia). O estudo de alguns casos será essencial para entender sua aplicabilidade ao panorama brasileiro, englobando desde políticas de financiamento até aspectos de viabilidade técnica.

Esse sistema existe há mais de quarenta anos. A tecnologia já está desenvolvida suficientemente a ponto de ser instalada e adequada aos mais diferentes tipos de uso, como aeroportos, hospitais, residências, e até mesmo auxiliar no serviço prestado pelos varredores públicos e empresas de limpeza particulares.

3.2 Estudos de Caso

3.2.1 Hammarby Sjöstad

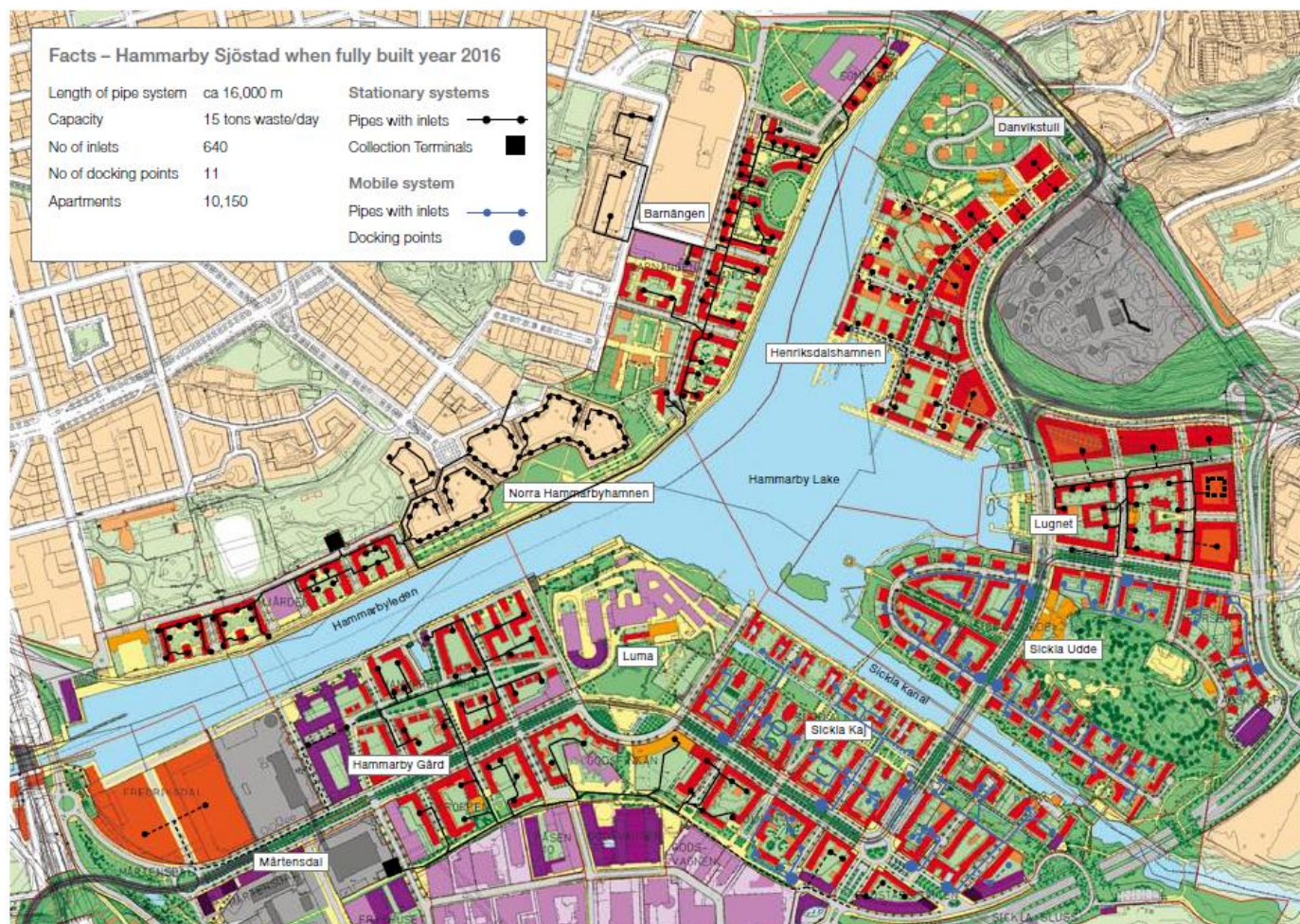


Figura 26. Planta: Sistema ENVAC em Hammarby Sjöstad, Estocolmo

Fonte: ENVAC, 2012

Hammarby Sjöstad é uma das primeiras experiências do mundo do sistema a vácuo. Esse distrito de Estocolmo recebeu o sistema inicialmente em 1982. Com objetivo de receber grande evento esportivo em 2004, o governo municipal impôs estritas regras de desempenho ambiental para as edificações, instalações e tráfego. As metas estabelecidas para a questão de resíduos sólidos foram:

- Redução da geração de 15% em massa de 2005 a 2010
- Redução da quantidade de resíduos acumulados nos pontos de coleta
- Resíduo de classe perigosa deve ser separado de forma especial, e a geração do mesmo deve ser reduzida pela metade
- Coleta seletiva de grande efetividade
- 80% dos resíduos orgânicos devem obrigatoriamente ser destinados a usinas de tratamento biológico onde os nutrientes e energia contidos no resíduo podem ser recuperados
- O transporte de lixo na área deve ser reduzido

Essas metas contribuíram para implantação do sistema de coleta a vácuo. Em termos arquitetônicos, diferente da abordagem dada aos pontos de coleta e armazenamento até então, característicos pela má aparência e necessidade de isolamento, as lixeiras desenhadas para esse projeto se inseriam na paisagem urbana de forma natural e não representavam um incômodo ao ambiente, podendo ser locadas em praças e pátios internos de forma discreta, como mostra a Figura 27.



A implantação do sistema a vácuo foi planejada também politicamente. Uma parceria foi formada entre o governo municipal e a empresa ENVAC. De um lado, a prefeitura estabeleceu a cobrança de impostos reduzidos (em função do menor volume de resíduos gerado), e do outro a ENVAC ficou responsável pela implantação, operação e manutenção do sistema.

Figura 27. Pontos de coleta de Hammarby Sjöstad

Fonte: ENVAC (2012)

O projeto de implantação se desenvolveu em quatro fases nos bairros pertencentes ao distrito de Hammarby Sjöstad (Norra Hammarbyhamnen/ Barnängen, Sickla Udde/ Sickla Kaj, Hammarby Gård Lugnet / Henriksdalshamnen), conforme mostra a Tabela 14 e a Figura 26. O término das implantações está previsto para 2016.

Tabela 14. Hammarby Sjöstad - Dados do sistema de escoamento a vácuo

Distrito	Norra Hammarbyhamnen/Barnängen	Sickla Udde/Sickla Kaj	Hammarby Gård	Lugnet/Henriksdalshamnen	Total
Número de domicílios	3000	2050	2100	3000	10150
Sistema ENVAC	Estacionário	Móvel	Estacionário	Estacionário	
Frações de resíduo	Indiferenciado	Indiferenciado e orgânico	Indiferenciado, orgânico, Papel	Indiferenciado, orgânico, Papel	
Data de implantação	1982	2000	2005	2007	
Área (km ²)	0,41	0,46	0,33	0,24	1,45
Família Média (hab./domicílio) ¹⁷	2,1	2,1	2,1	2,1	
Total de Habitantes	6300	4305	4410	6300	21315
Densidade habitacional hab./	153,66	91,99	133,64	260,33	159,9 (Densidade)

¹⁷Disponível em: http://www.nationmaster.com/graph/peo_ave_siz_of_hou-people-average-size-of-households. Acessado em 29.06.2012

Fonte: ENVAC (2012)

Tabela 15. Hammarby Sjöstad- Dados técnicos de implantação

Hammarbu Sjorstad	Total
Comprimento da tubulação (km)	16
Densidade do sistema km Tubulação/ km ²	11,03
Custo médio do sistema Euros/km ²	17.434.482,00
Capacidade ton./dia	15
Número de lixeiras	640
Pontos de sucção	11
Centrais de armazenamento	2

Fonte: ENVAC, elaborado pelo autor

Estudados os dados da Tabela 15, para cada km² de área de cobertura do sistema foram implantados cerca de 11 km de tubulação, com custo médio de 174 mil euros por km². Como será discutido mais a frente, os altos custos de implantação são compensados pelos gastos mínimos com operação ao longo da vida útil do sistema.

3.2.2 Stora Ursvik

Outro distrito também em Estocolmo que contou com a implantação do sistema a vácuo é Stora Ursvik. O empreendimento continha 3488 apartamentos em uma área de 13,5km², além de escritórios, comércio e uma escola, e contava com sistema tradicional de coleta de resíduos: caminhões com caçamba e periodicidade semanal. A Figura 28 representa em planta o bairro de Stora Ursvik.



Figura 28. Planta Stora Ursvik

Fonte: TÖRNBLOM (2006)

A ENVAC projetou o sistema de escoamento a vácuo para a área considerando uma taxa de aumento na geração de resíduos sólidos de 20%. Propôs 113 pontos de coleta com 3 frações, considerando-se os descartes semanais de 389 m³ de resíduos destinado à geração de energia, 127 m³ de papel e 63 m³ orgânico.

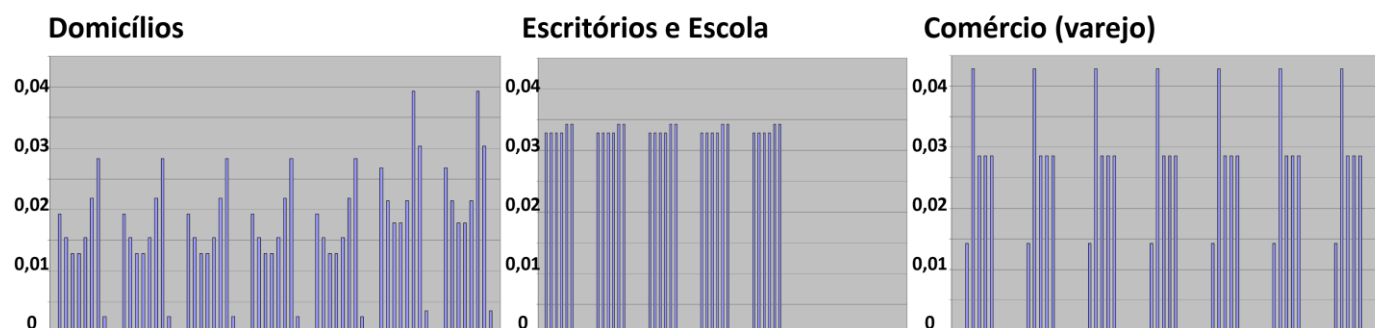


Figura 29. Padrões de geração de resíduos- frequência semanal

Fonte: TÖRNBLOM (2006)

A Figura 29 representa os padrões de geração de resíduos para domicílios, escola e escritórios e comércio (varejo). Cada conjunto de colunas verticais representa um dia da semana: enquanto os domicílios produzem maior quantidade de lixo nos finais de semana, o comércio se mantém em ritmo constante, e as escolas e hospitais não geram resíduo algum durante os finais de semana.

Face ao grande volume de resíduos descartados no empreendimento, era grande a quantidade de lixeiras cheias, e por longos os períodos de horas até que o sistema público realizasse a coleta.

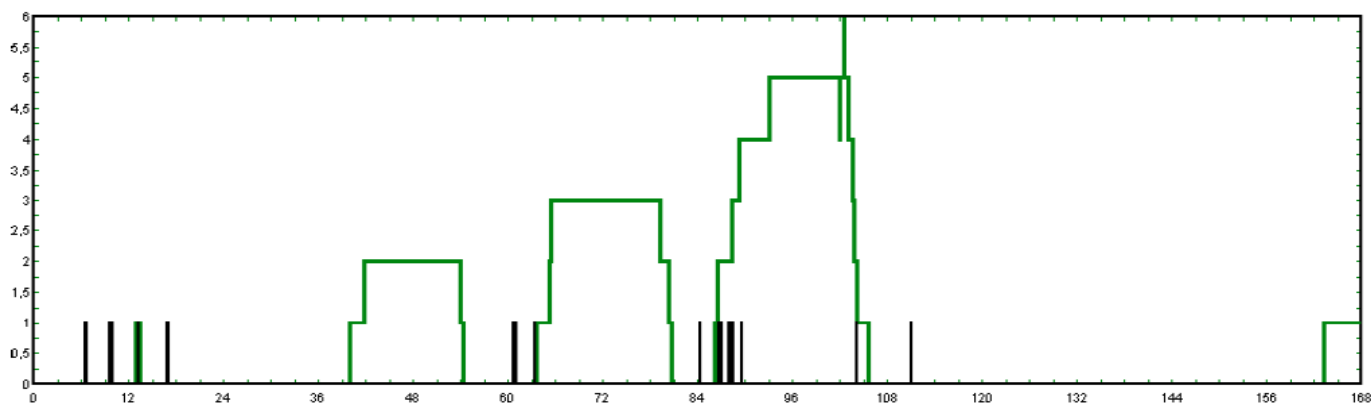


Figura 30. Cenário Normal- Número de lixeiras cheias por tempo (horas)- 1 semana em horas (168)

Fonte: TÖRNBLOM (2006)

A Figura 30 representa o número de lixeiras cheias, e por quanto tempo elas ficaram saturadas. As linhas em verde representam o desempenho do sistema convencional, e as linhas pretas do sistema de coleta a vácuo. Observa-se que no sistema convencional no intervalo entre o quarto e quinto dia (84-100 horas) há um grande número de lixeiras que ficaram cheias por um mais de 10 horas. O número de lixeiras cheias por semana nesse sistema foi de 14, com um montante de 155 horas com lixeiras saturadas por semana. No sistema ENVAC, esses números se reduzem para 7 pontos de coleta e 1,4 horas respectivamente. Vale observar que o gráfico do sistema ENVAC é caracterizado por finas linhas verticais, que representam o curto tempo em que as lixeiras ficam cheias até que ocorra uma descarga.

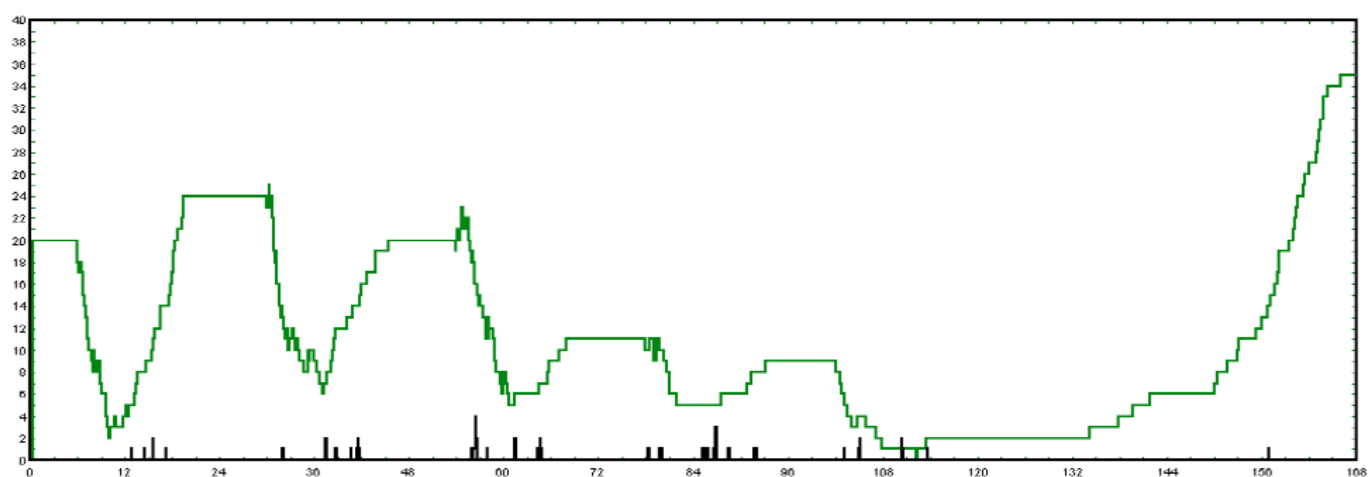


Figura 31. Cenário +20% - Número de lixeiras cheias por tempo (horas)- 1 semana em horas (168)

Fonte: TÖRNBLOM (2006)

A Figura 31 representa a performance do sistema considerando aumento de 20% na geração de resíduos. Neste caso, não há pontos em que a linha verde toca o eixo x do gráfico, o que implica em

sempre haver alguma lixeira cheia no sistema. Os números são alarmantes: 139 lixeiras cheias com total de 1841 horas. No sistema ENVAC, esses números caem para 44 lixeiras e 5 horas respectivamente. Os números da Figura 30 e da Figura 31 demonstram que o aumento de 20% na taxa de geração de resíduos, por quaisquer razões, gera uma rápida saturação do sistema e torna o cenário convencional quase inabitável e inoperável.

Trânsito

Os mapas na Figura 32 mostram as rotas percorridas pelos caminhões de coleta antes e depois da implantação do sistema a vácuo. É nítida a proporção da redução de sua extensão.

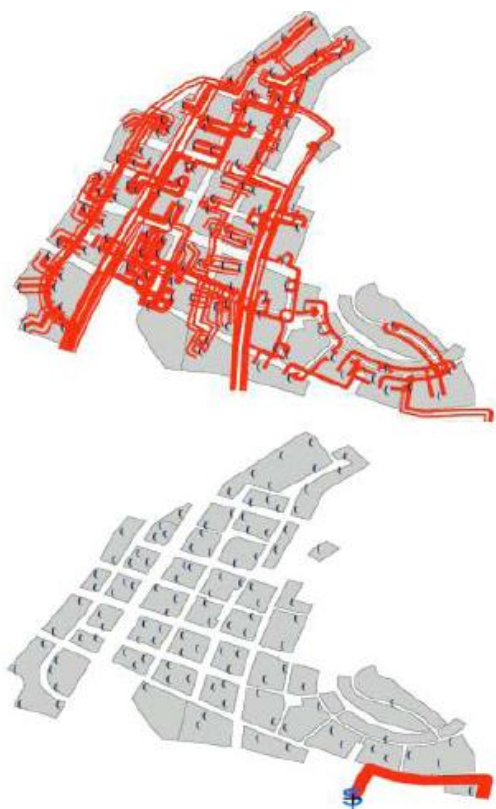


Figura 32. Roteirização de coleta para sistema convencional (acima) e ENVAC (abaixo)

Fonte: TÖRNBLOM (2006)

Enquanto no sistema convencional os caminhões rodavam cerca de 2881 km, no sistema a vácuo eles passaram a percorrer apenas 250 km, ou seja, cerca de 10% do original. O número de horas que os caminhões gastavam na área foi reduzido de 4238 horas para 213 horas, menos de 10%. Isso resultou na média de 95% de redução nas emissões.

A redução da presença de veículos pesados tem outras implicações além da redução das emissões: a partir do ponto em que não percorrem todo o percurso de vias, não há grande desgaste da pavimentação e o número de interseções cruzadas também é reduzido, contribuindo também para evitar eventuais acidentes de trânsito.

A Figura 33 mostra as emissões do sistema com nível de serviço normal (convencional-vermelho, ENVAC- azul) e elevado (convencional-cinza, ENVAC- verde).

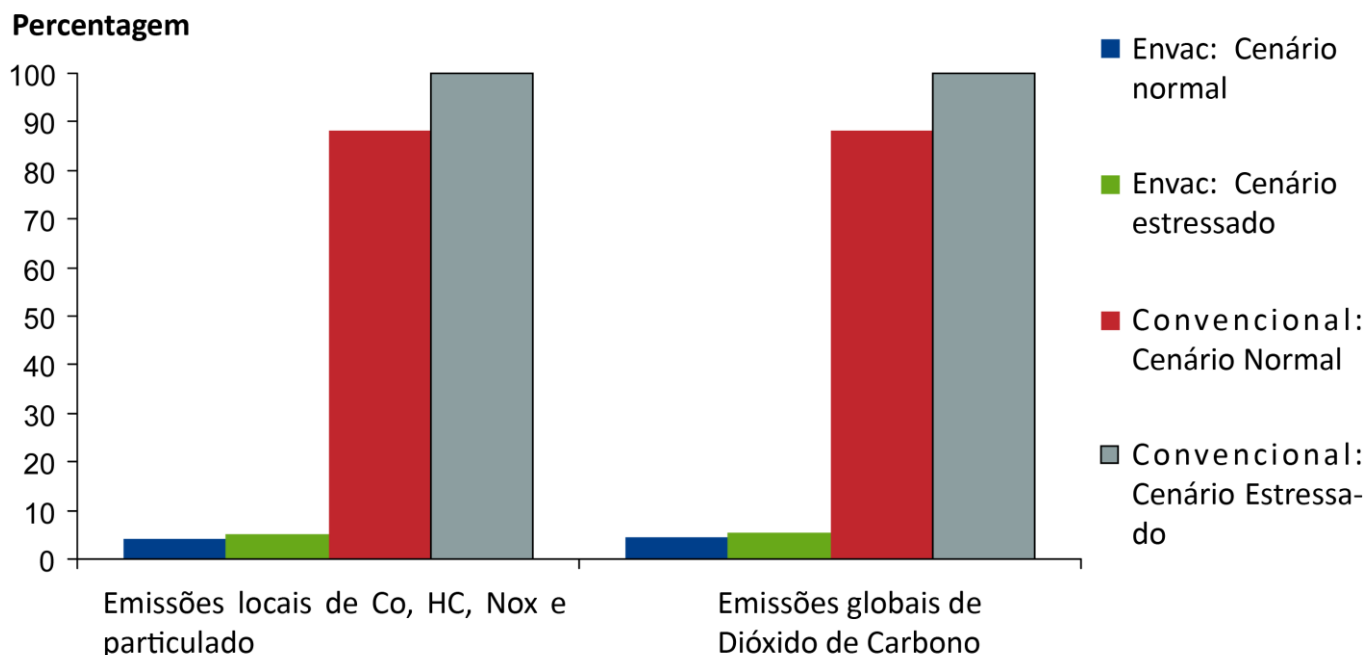


Figura 33. Redução nas emissões de carbono pela implantação do sistema a vácuo

Fonte: TÖRNBLOM (2006)

3.2.3 Yongin Suji

Em Yongin, cidade na Coreia, foi criada uma lei regional com objetivo de tornar a cidade mais verde com meta de obter qualificação Green Belt para cerca de 30% da cidade. Todos os edifícios que tenham mais de 700 apartamentos deveriam ser providos do sistema de escoamento a vácuo.

O sistema a vácuo serve 14.000 domicílios, em 105 edifícios de múltiplos pavimentos de 14 a 20 andares, escoando 20 toneladas de resíduos por dia. A grande diferença do sistema implantado em Yongin Suji em relação aos anteriormente apresentados é a demanda: em função do alto volume de resíduos produzido, uma das frações é conectada diretamente à usina de incineração, que gera energia para calefação da cidade. Não há nenhum gasto ou necessidade de caminhão para transporte do container da fração incinerada, o que anula os custos logísticos. A outra fração é destinada a um aterro sanitário.

De acordo com os moradores locais, 90% acreditam que o sistema a vácuo contribuiu para valorização do próprio imóvel e da região.

3.2.4 Sollefteå Sjukhus

O hospital de Sollefteå foi construído em 1961, na cidade de Sollefteå, 500 km ao norte de Estocolmo. Foi a primeira experiência do sistema subterrâneo de transporte de resíduos. O hospital de 9 pavimentos mais 3 subsolos foi projetado para receber 328 pacientes e 328 funcionários da área médica, além de 25 funcionários para a cozinha.

Inicialmente, a ideia era implantação de um sistema de sucção de pó, feito pela empresa Centralsug AB, que mais tarde seria conhecida como ENVAC. A tentativa de escoar resíduos por essa tubulação foi inédita, e provou-se sustentável e vantajosa ao longo dos anos de operação do hospital.

Ao final do ano 2010, foi necessário trocar a tubulação pela primeira vez. Feitas as contas de viabilidade do sistema, Vincent Måström, diretor de operações chegou à conclusão que o hospital economizou o salário de 3 funcionários em tempo parcial por 50 anos.

Originalmente, o lixo era incinerado no subsolo do hospital. Em 1985, tal ato foi proibido e o forno de incineração não contava com a tecnologia de limpeza do ar adequada. Foram locados containers que eram coletados uma vez por semana em substituição ao forno incinerante. O sistema contém 300m de tubulação, atendendo a 300 leitos com 1 fração apenas (pois todo resíduo hospitalar é incinerado). (ENVAC, 2012)

A grande vantagem do sistema a vácuo implantado em um hospital é a não necessidade do contato direto do operador com o lixo, evitando rasgamento de sacos e exposição a produtos perigosos.

3.2.5 Outros exemplos:

A Tabela 16 relaciona os principais índices para outros exemplos de implantação do sistema subterrâneo de escoamento de lixo, que serão usados para comparação com as características urbanas de um bairro em São Paulo, objeto da segunda parte deste trabalho.

Tabela 16. Índices e Dados do sistema ENVAC para diferentes empreendimentos.

Tabela 2.6.1.1 – Exemplos de sistemas ENVAC para diferentes empreendimentos										
	Aplicação	Sistema ENVAC	Frações de resíduo	Data de implantação	Capacidade (ton./dia)	Extensão da tubulação (m)	Pontos de Coleta	Área (km²)	Razão m.Tubulação/km²	
	Hammarby Sjöstad	Área Residencial	Estacionário e Móvel	1 ou 2	1982-2016	15	16000	640	145	110,3
	Hong Kong Science Park	Campus, Offices	Estacionário	2	2000-2009	2,5	2390	162	33	72.4
	Pearl of Qatar	Área Residencial e Shopping center	Estacionário	1	2000-2014	135	6500	220	400	16,25
	Yongin Suji	Área Residencial	Estacionário	2	2003-2005	20	16900	444	10.4	1625

Fonte: ENVAC (2012) Disponível em <http://www.envacgroup.com/references>, Acesso em 04.05.2012

3.3 Vantagens do sistema a vácuo

A implantação do sistema de coleta a vácuo simboliza um grande passo rumo a um planejamento urbano mais sustentável, em diversos quesitos:

Meio ambiente

A redução do trânsito de veículos pesados no local proporcionou menores níveis de ruído e emissões.

Redução da geração de resíduos

É possível controlar a frequência de uso do sistema por um determinado usuário através de um cartão. Essa proposta é um primeiro passo no sentido de redução do resíduo gerado, com vista na futura possibilidade de controlar o volume e a massa gerados por um usuário.

Coleta seletiva

A fácil identificação das lixeiras, além do fácil acesso às mesmas, induz o usuário a participar da separação do lixo em categorias.

Melhor ambiente de trabalho

Para os trabalhadores diretamente ligados à indústria de manejo de resíduos sólidos, o sistema proporciona melhores condições de trabalho, por evitar que sacolas de lixo tenham de ser carregadas manualmente. Isso evita o contato direto do trabalhador com o resíduo e a chance de lesão com objetos pontudos e contaminação com o resíduo.

Higiene

Evita que o lixo fique exposto por longos períodos (Figura 35), além de os pontos de coleta serem esteticamente mais agradáveis (Figura 34).



Figura 34. Calçada com sistema de coleta a vácuo implantado (Almere, Holanda)

Fonte: ENVAC (2012)



Figura 35. Acúmulo de lixo

Fonte: TÖRNBLOM (2006)

Operabilidade e Acessibilidade

O sistema está disponível 24 horas por dia e 365 dias por ano. Não há necessidade das famílias se preocuparem com o horário em que o lixo é recolhido, ou para os condomínios sobre os horários de coleta dos veículos. Além de tudo, dispensa os acumuladores externos e situações como a figura ao lado.

Satisfação do usuário

O feedback dos usuários foi positivo sobre as instalações feitas.

Menor dependência de veículos pesados a diesel

Reduz a dependência de caminhões, e, portanto, todos os custos relacionados ao condicionamento e transporte por caminhões como armazenagem, necessidade de veículos específicos, consumo de combustível e emissão de poluentes, manutenção, depreciação, poluição visual e ruídos nos horários de coleta. No caso de São Paulo há ainda o agravante do trânsito (caminhões de coleta no sistema porta a porta possuem baixo rendimento por km rodado/hora nos horários de congestionamento). O sistema a vácuo auxilia, de forma direta, um melhor uso das vias públicas.

4 Introdução- Parte II

4.1 Apresentação

Na primeira parte do trabalho, foram estudadas de forma macro as características do sistema de escoamento de resíduos a vácuo, em termos de adequação tecnológica, custos e viabilidade financeira. Simultaneamente, estudou-se as principais variáveis relacionadas à questão da infra estrutura urbana voltada para administração de resíduos sólidos nas grandes cidades brasileiras, com enfoque em São Paulo. Essas variáveis englobaram políticas públicas, dados relacionados à operação, processamento e geração de resíduos sólidos, questões de salubridade pública e saneamento básico.

4.2 Objetivo

O objetivo desse estudo é verificar a viabilidade e implantação da tecnologia desafiante (escoamento de resíduos a vácuo) face ao sistema tradicionais de coleta (transporte por caminhão coletor ou carreta).

A partir desse estudo em maior escala, é proposta para esta segunda parte do trabalho a experimentação da tecnologia a vácuo em uma pequena área pertencente a um bairro em São Paulo. Participam do escopo de trabalho a solução geral para desenho urbano empreendimento, incluído o projeto viário através do uso das quadras, lotes e parâmetros urbanísticos (como taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento) propostos por MARINS (2010), para posteriormente elaboração do projeto da rede de escoamento de resíduos a vácuo. Estabelecida a configuração dessa rede, visou-se estudar suas características técnicas, assim como sua viabilidade de implantação de forma comparativa aos outros sistemas de coleta atuantes na cidade de São Paulo.

5 Área de Estudo

5.1 ÁGUA BRANCA

5.1.1 Introdução



Figura 36. Foto Aérea da Operação Urbana (OU) Água Branca

Fonte: Google Earth, EMURB (2009), tratado por MUKAY, 2012

A complexidade urbana e a localização estratégica da Água Branca foram os principais fatores que justificaram a escolha para projeto do sistema a vácuo. Há, atualmente, uma operação urbana em andamento para essa região.

A operação urbana Água Branca (OU Água Branca) prevê a revitalização de todo o entorno próximo à estação barra funda através da divisão em setores, com variados usos do solo e densidades populacionais. Oferece oportunidade de estudo para quadras com diferentes identidades urbanas, nas quais o sistema poderá ser testado quanto à sua viabilidade técnico-econômica e adequação logística. A Figura 37 e a Tabela 17 mostram a diversidade urbana e a divisão em setores urbanos prevista pela prefeitura para o distrito.

Outro fator que contribuiu para a escolha desse bairro é a vasta quantidade de informações disponíveis sobre a região e trabalhos já produzidos. A região da Água Branca é urbanisticamente interessante, próxima às marginais e ao metrô, e há projetos urbanísticos muito interessantes já desenvolvidos para essa área¹⁸. A implantação do sistema a vácuo partirá dos parâmetros e indicadores para projetos urbanísticos já propostos, com a tipologia das quadras e proporções de usos do solo já definidos, assim como os parâmetros de loteamento.

¹⁸ Marins, 2010; Ferreira, L. S. (2012)

O sistema de escoamento de resíduos a vácuo é aplicável às mais diversas configurações urbanas, como se pode observar na Tabela 16. O município de São Paulo possui diversas densidades populacionais e de circulação, distribuídos em uma ampla faixa de valores¹⁹, variando de 500 a 12000 hab/km².



Figura 37. Divisão de setores da OU Água Branca²⁰

Tabela 17. Caracterização dos setores, OU Água Branca²¹

Setores	EXISTENTE NA REGIÃO			PROPOSTO NO PLANO URBANÍSTICO		
	Uso residencial	Uso comercial/serviços	Densidade populacional (hab/ km ²)	Uso residencial	Uso comercial/serviços	Densidade populacional (hab/ km ²)
Setor A	22%	78%	3.000	41%	59%	10.000
Setor B	8%	92%	1.000	40%	60%	20.000
Setor C	59%	41%	15.000	49%	51%	20.000
Setor D	15%	85%	8.000	24%	76%	12.000
Setor E	0%	100%	0	40%	60%	20.000
Setor F	0%	100%	0	40%	60%	20.000
Setor G	36%	64%	5.000	40%	60%	15.000
Setor H	22%	78%	4.500	49%	51%	25.000
Setor I	71%	29%	55.000	71%	29%	60.000

5.1.2 Projeto de referência

A referência para o desenvolvimento urbano da área da Água Branca escolhida, para a qual será desenhada rede de tubulação subterrânea de escoamento de resíduos, foi elaborada por Marins (2010). Por ter se mostrado uma abordagem completa, abrangendo circularmente a questão da influência da

¹⁹ Disponível em: <http://observasaude.fundap.sp.gov.br/RgMetropolitana/Condio%20de%20Vida%20e%20Sade/Informa%C3%A7%C3%A3o%20Demogr%C3%A1fica/PopRMSP07.pdf> Acessado em 29.06.2012

²⁰ Fonte: EMURB, 2009

²¹ Fonte: EMURB, 2009

disposição geométrica de edifícios no consumo energético em busca da forma mais otimizada, estabelece como ponto de partida para a instalação da rede a vácuo uma disposição urbanística já madura e em sua melhor configuração possível, transcendendo a importância energética já desenvolvida para a escala de resíduos sólidos.

Para diversas configurações envolvendo tipologias fixas das quadras, Marins (2010) realizou simulações de eficiência energética em termos de consumos kWh relacionados à densidade habitacional, assim como emissões de material particulado e gases de efeito estufa.

Será elaborado desenho urbano baseado nas tipologias propostas, para posteriormente se considerar a adaptação da rede de escoamento a vácuo à morfologia urbana. Todas as nove tipologias de quadras propostas por Marins (2010) estão detalhadas no ANEXO A, no desenho TIPOLOGIA DAS QUADRAS.

5.1.3 *Área de Intervenção*

Foi escolhida para desenvolvimento de projeto urbanístico e de implantação da rede a vácuo a área assinalada na Figura 38. Essa é delimitada ao norte pela Av. Marques de São Vicente, a leste pela Av. Nicolas Boer, ao sul pela linha de trem da CPTM, e a oeste pelo clube esportivo Náutico.

Tal região foi escolhida a partir dos pré-requisitos urbanísticos e técnicos da proposta de trabalho. Partiu-se da análise da foto aérea da região delimitada pela operação urbana Água Branca. A grande maioria do solo urbano nesse perímetro está ocupada por galpões e áreas industriais. Ao sul, há uma maior concentração relativa de residências. Encontra-se com certa facilidade alguns terrenos vazios menores distribuídos em glebas imobiliariamente não interessantes, como próximos à linha do trem.

Porém, para implantação da rede do sistema a vácuo, estabelece-se a necessidade de uma área relativamente grande e contínua, dadas limitações de ordem técnica e econômica da tecnologia. Primeiramente, a extensão total de tubulações do terminal de armazenamento de resíduos até o ponto mais distante do sistema é de dois quilômetros, e secundamente, instalar uma rede de tubulações subterrâneas que interligasse vários pequenos terrenos separados seria quase impossível, colocadas as interferências com a malha urbana e o custo das obras.



Figura 38. Localização da Área de Intervenção²²

A área destacada na Figura 38 mostrou-se adequada ao escopo proposto do presente trabalho, por ser íntegra e contínua. Está próxima às grandes avenidas, as quais são pontos estratégicos para implantação do terminal e pelas quais se pode escoar facilmente os resíduos à sua destinação final. Os parâmetros urbanísticos definidos para a área nos planos da operação urbana proporcionam boa diversidade de usos do solo (ver Tabela 18), com proporções equilibradas de usos residencial, misto e comercial. A área foi recentemente comprada pela construtora TECNISA, a qual está construindo um loteamento com 30 edifícios com 27 andares cada, para usos residencial e comercial.²³

Tabela 18. Parâmetros urbanísticos estabelecidos pela OU Água Branca para a área escolhida²⁴

OPERAÇÃO URBANA ÁGUA BRANCA	Existente na Região			Proposto no Plano Urbanístico		
	Residencial	Comercial/ Serviços	Densidade Populacional (hab/ km ²)	Residencial	Comercial/ Serviços	Densidade Populacional (hab/ km ²)
Sector B	8%	92%	1000	40%	60%	20000

²² Fonte: Elaborado pelo autor a partir de GOOGLE EARTH, 2012

²³ Jornal da Tarde, disponível em <http://blogs.estadao.com.br/jt-cidades/em-seis-anos-um-bairro-surgira-na-barra-funda/>, acesso em 14.11.2012

²⁴ Fonte: EMURB, 2009

5.2 Projeto Urbanístico

5.2.1 Levantamento de Dados



Figura 39. Macro Regiões de São Paulo- Político Administrativo²⁵

Densidade de área construída residencial horizontal 2005

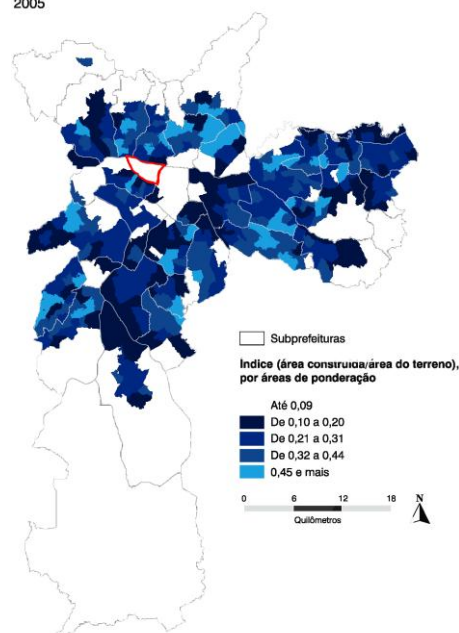


Figura 40. Densidade de Área construída residencial horizontal²⁶

A etapa inicial de projeto foi composta pelo levantamento de dados da área escolhida, com objetivo de estudar seu atual perfil urbano. Conforme mostrado nas figuras Figura 39 a Figura 42, o distrito da Água Branca se situa na macro-região oeste de São Paulo, com baixíssima participação residencial no uso do solo, tanto em termos de densidade vertical como horizontal. Conforme apontado na Tabela 18, em 2009 a representatividade do uso residencial na área escolhida era de apenas 9%. O distrito da Água Branca situa-se na faixa de renda média familiar de 6 a 10 salários mínimos. (ver Figura 42)

Predominam os usos do solo de indústria e galpões e de comércio e serviços (Figura 43). Ao sul da operação urbana, em função da proximidade com Perdizes e de áreas mais residenciais, encontram-se algumas quadras de uso misto e residencial.

Em função da predominância de usos industriais e de comércio, a área tem carência de infra-estrutura urbana de lazer, equipamentos públicos de esporte e cultura, assim como escolas e hospitais (Figura 44). Há uma grande concentração de clubes esportivos particulares, como o Náutico, Palmeiras e o centro de treinamento do São Paulo Futebol Clube. Não há também praças ou parques lineares, exceto pelo parque Água Branca.

A malha circulação viária e o sistema de transporte urbano da região é bem desenvolvida (Figura 45). Conta com avenidas largas, proximidade à marginal Tietê, ao terminal multifuncional Palmeiras- Barra Funda, à linha rubi da CPTM e corredores de ônibus. Em função da ausência de equipamentos públicos de lazer, configura-se como uma área de passagem e transposição nas viagens entre o centro e as zonas norte e oeste.

²⁵ Fonte: Lei Municipal 11.220/92; Lei Municipal 13.399/02; Secretaria Municipal de Planejamento – Sempla/ Departamento de Estatística e Produção de Informação – Dipro; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

²⁶ Fonte: Secretaria Municipal de Finanças/Departamento de Rendas Imobiliárias. PGV, 2005 agregação por quadra fiscal e TPCL, 2005; Secretaria Municipal de Habitação – Sehab/Superintendência de Habitação Popular – Habi/Departamento de Regularização de Parcelamento do Solo – Resolo; IBGE. Censo Demográfico 2000. Projeção Estatística da Amostra.

Densidade de área construída residencial vertical
2005

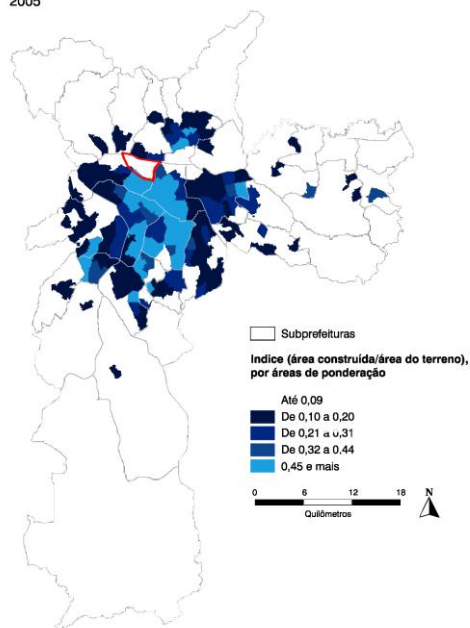


Figura 41. Densidade de área construída residencial vertical²⁷

Renda média familiar
2000

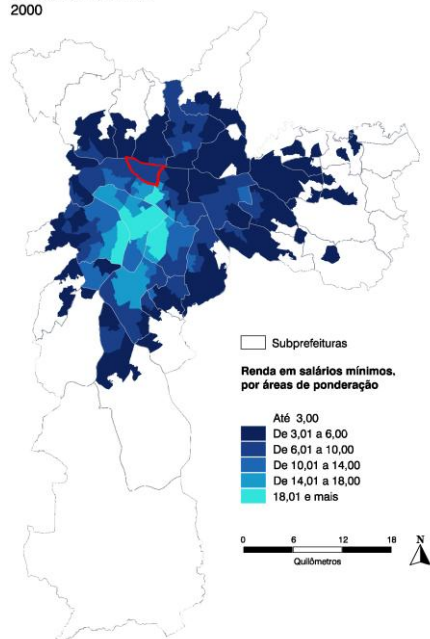


Figura 42. Renda Média Familiar²⁸

O valor venal médio dos terrenos é de 300,00 a 500,00 reais por metro quadrado (Figura 46), também porque a área não era, na data em que a Figura 46 foi elaborada, um alvo primário do mercado imobiliário. Nos últimos anos, a área tem mudado drasticamente, e em quase todos os terrenos que há 5 anos estavam desocupados há, atualmente, um canteiro de obras instalado. Muito provavelmente, tal alteração tão repentina foi consequência do aquecimento do mercado da construção civil vivenciado nos últimos anos. A área conta com boas condições de infra-estrutura de transportes, está próxima a bairros nobres de São Paulo como Higienópolis e Perdizes, e situa-se no centro expandido.

Com a aceleração do ritmo de expansão do mercado imobiliário, a demanda por terrenos na cidade de São Paulo foi elevada em contrapartida a uma oferta incongruente. Em função dessa demanda, glebas em zonas industriais como a Água Branca passaram a ser valorizadas.

²⁷ Fonte: Secretaria Municipal de Finanças/Departamento de Rendas Imobiliárias. PGV, 2005 agregação por quadra fiscal e TPCL, 2005; Secretaria Municipal de Habitação – Sehab/Superintendência de Habitação Popular – Habi/Departamento de Regularização de Parcelamento do Solo – Resolo; IBGE. Censo Demográfico 2000. Projeção Estatística da Amostra.

²⁸ Idem.

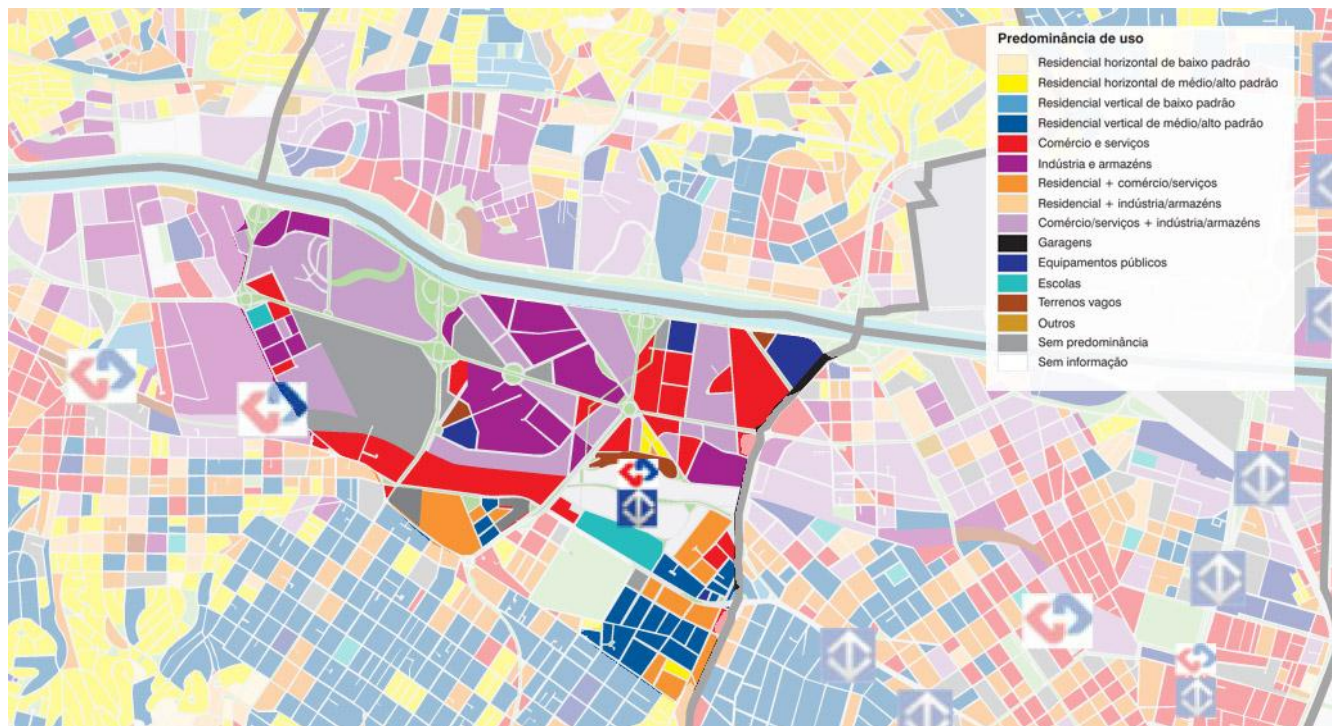


Figura 43. Mapeamento de usos (Água Branca)²⁹

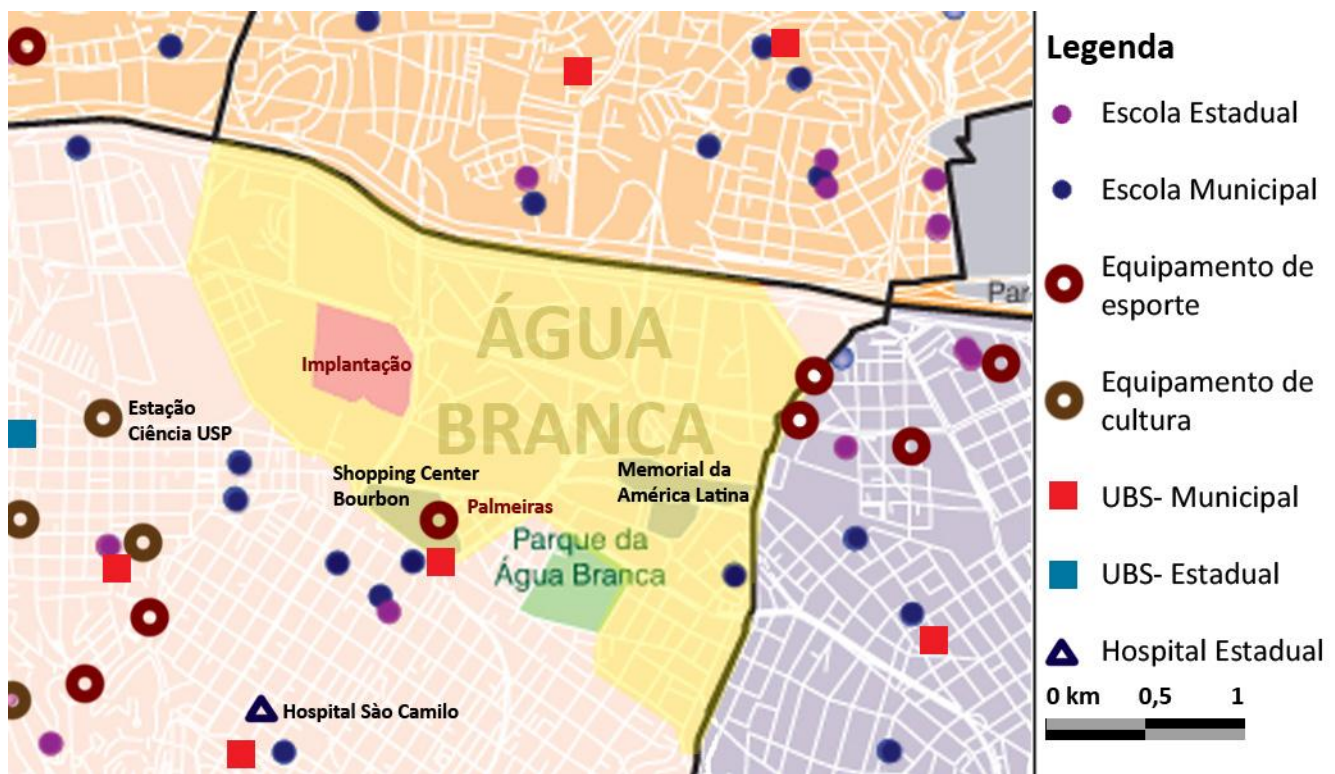


Figura 44. Mapeamento de Equipamentos Urbanos (Água Branca)³⁰

²⁹ Fonte: Secretaria Municipal de Finanças/Departamento de Rendas Imobiliárias – PGV-2005 agregação por quadra fiscal e TPCL 2005;

IBGE. Censo Demográfico 2000. Projeção Estatística da Amostra.

³⁰ Fonte: MEC/Inep. Censo Escolar 2006; SEE/CIEE.

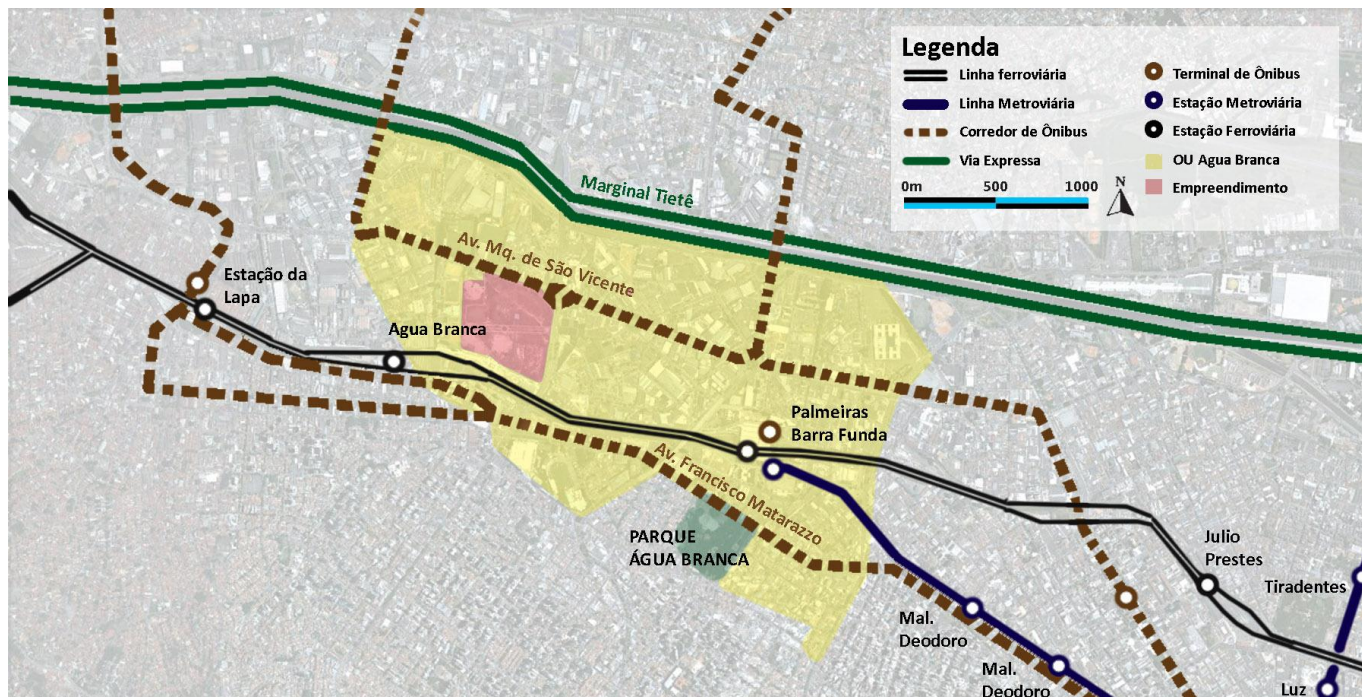


Figura 45. Mapeamento das redes de Transportes próximas ao distrito da Água Branca³¹

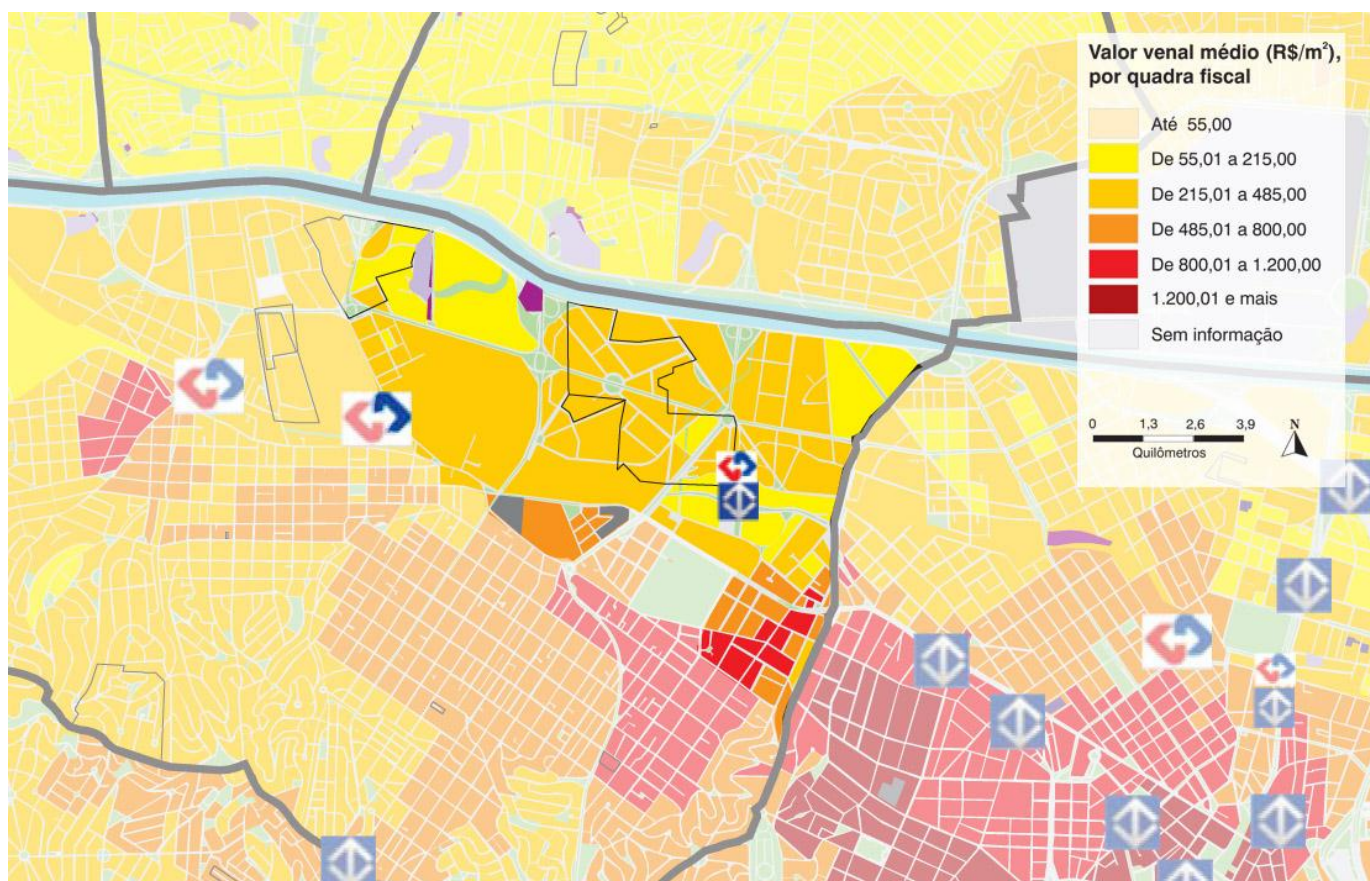


Figura 46. Mapeamento do Valor Venal médio do terreno por quadra fiscal³²

³¹ **Fonte:** Secretaria Municipal de Planejamento Sempla/Departamento de Estatística e Produção de Informação Dipro; São Paulo Transportes SPTrans.

³² **Fonte:** Secretaria Municipal de Finanças/Departamento de Rendas Imobiliárias. PGV, 2005 agregação por quadra fiscal e TPCL, 2005; Secretaria Municipal de Habitação – Sehab/Superintendência de Habitação Popular – Habi/Departamento de Regularização de Parcelamento do Solo – Resolo; IBGE. Censo Demográfico 2000. Projeção Estatística da Amostra.

5.2.2 Partido de Projeto

Primeiramente, foi considerado o projeto urbano para a operação urbana Água Branca proposto pela EMURB (Empresa Municipal de Urbanização), e seu traçado viário proposto para a área de implantação. A partir do mesmo, e da análise do entorno do empreendimento, foi elaborado o partido de projeto mostrado na Figura 48.

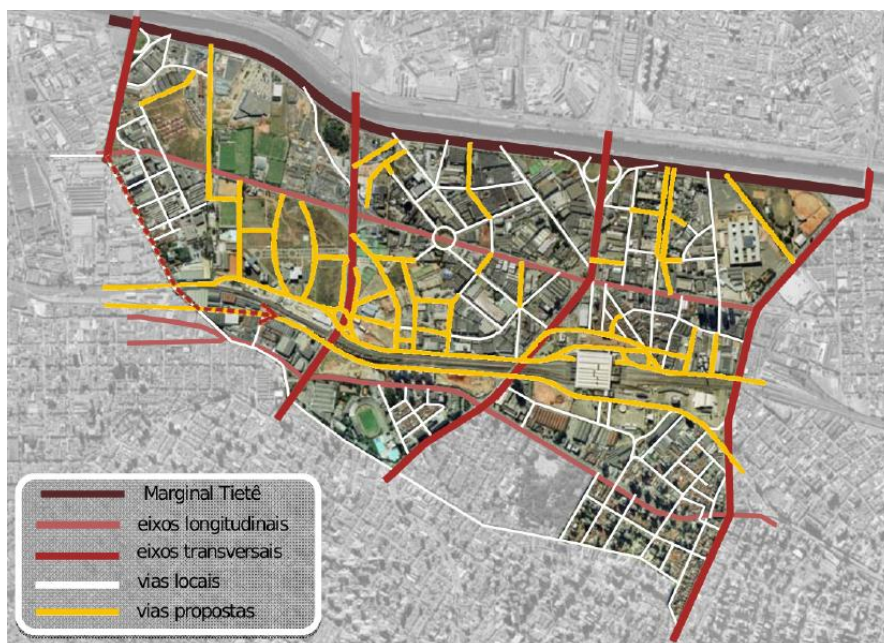


Figura 47. Proposta viária para a operação urbana Água Branca³³



Figura 48. Partido de projeto³⁴

³³Fonte: EMURB, 2009

³⁴Fonte: Desenhado pelo autor, 2012

O partido foi definido considerando-se todas as premissas urbanísticas já mencionadas, incluindo os parâmetros estabelecidos na Tabela 18. Com o objetivo de se criar uma área diversificada e interessante, foram adotados usos do solo residencial, misto e comercial ponderadamente equilibrados, ocupando áreas com mesmo tamanho. Foi proposta a criação de parques urbanos e espaços públicos de lazer, de forma a criar uma estrutura urbana adequada para as áreas livres.

O fluxo de veículos é intenso nas avenidas ao norte (Marques de S. Vicente) e a leste (Nicolas Boer) do empreendimento, locais onde há grande geração de ruído. Procurou-se nos terrenos adjacentes a essas áreas implantar as quadras comerciais e mistas, que servem como área de transição para os empreendimentos residenciais, que se situam no interior do empreendimento. Foram assim criadas três grandes zonas que organizam os usos residencial, misto e comercial. Entre as áreas residenciais e mistas, foram propostas extensas áreas arborizadas e ajardinadas, de forma a preservar a tranquilidade do espaço nas quadras residenciais.

Foram reservadas duas áreas para locação do terminal de coleta dos resíduos, tal que ambos se situam próximos às avenidas de grande volume, por onde os caminhões de coleta tem fácil acesso.

5.2.3 *Desenho Urbano*

Definido o partido de projeto, e adotado o traçado viário proposto pela EMURB como malha viária primária, foi desenhado o tecido urbano com as quadras propostas por (Marins 2010), e propostas algumas vias extras, geradas pela necessidade de coerência urbana do encaixe das quadras. A proposta final de desenho urbano pode ser encontrada de forma mais detalhada no ANEXO A, no desenho Planta de quadras.

Na Figura 49 encontra-se a configuração final do projeto urbanístico, sobre o qual será desenhada a implantação da rede a vácuo. Para melhor identificar a identidade urbana, foi proposta uma praça de alimentação entre as duas quadras tipo 11, a qual pode ser visualizada, sob perspectiva da avenida Nicolas Boer, na Figura 50. A Figura 51 mostra a perspectiva na direção norte, a partir da esquina da quadra 13, do parque linear que separa as zonas residenciais e mistas.



Figura 49. Projeto Urbanístico do Empreendimento³⁵

³⁵ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012



Figura 50. Praça de Alimentação³⁶



Figura 51. Perspectiva do parque linear/ Avenida oeste³⁷

Também a partir de MARINS (2010) foram extraídos os valores relativos ao uso e ocupação do solo do empreendimento, que podem ser encontrados abaixo. É interessante considerar o adensamento

³⁶ Fonte: Desenhado pelo autor, 2012

³⁷ Fonte: Desenhado pelo autor, 2012

populacional urbano desta área para fins de estudo da viabilidade de implantação da tecnologia desafiante.

Tabela 19. Parâmetros de uso e ocupação do solo³⁸

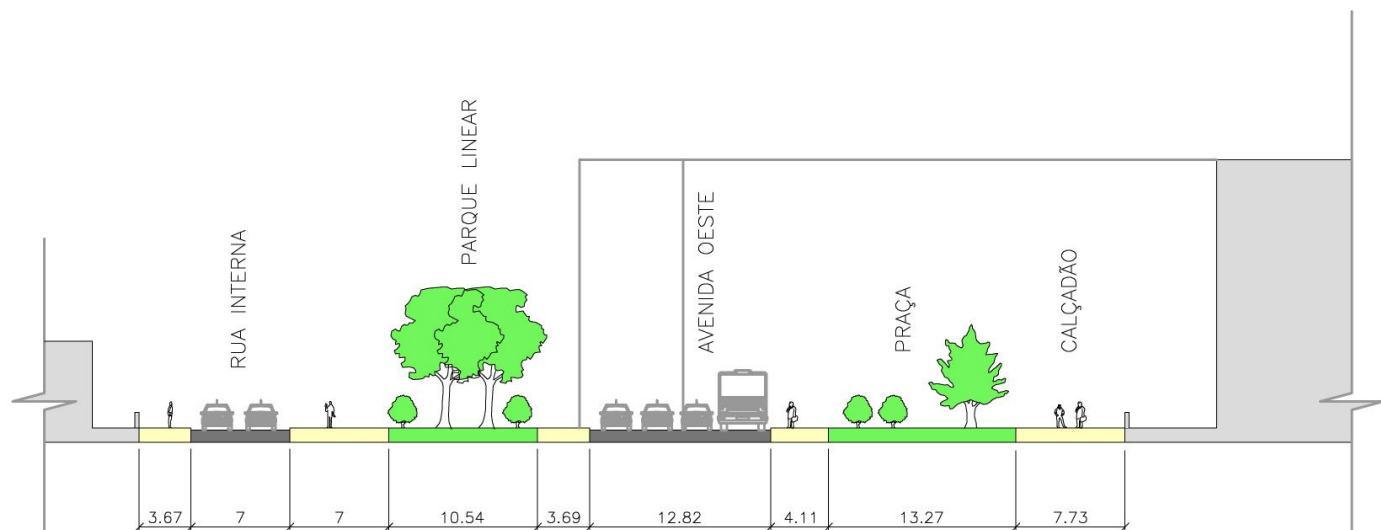
PARAMETROS DE USO E OCUPAÇÃO	Alta Densidade	Média Densidade	Baixa Densidade
Taxa de ocupação Edificada (TOE)	20%	30%	50%
Coeficiente de Aproveitamento (CA)	4	3	1

Para atender aos lotes que tem apenas contato adjacente ao calçadão, foram criadas ruas internas com finalidade exclusiva viabilizar o acesso de serviços a tais lotes, como coleta de lixo e reabastecimento de mercadorias. A largura da faixa de circulação de veículos mínima considerada foi de 3,20 metros, e máxima de 3,50 metros. Também foi pré-estabelecida uma calçada mínima de 3,20 metros. Esse valor foi calculado considerando-se uma faixa de 0,80 metros de impedância adjacente ao lote, 1,20 metros para o passeio de pedestres, e uma faixa para instalação de equipamentos urbanos, postes, sinalização e arborização de 1,20 m adjacente à rua.³⁹

Foram desenhados 3 cortes que caracterizam diferentes áreas do empreendimento (ANEXO A). O corte AA mostra a transição entre as zonas residencial e mista. O corte BB mostra o calçadão entre as zonas mista e comercial. O corte CC mostra uma rua típica interna local na zona residencial.

³⁸ Fonte: MARINS, 2010;

³⁹ WATCH et al. 2000; NBR 9050; CET 1978



CORTE AA

SEM ESCALA

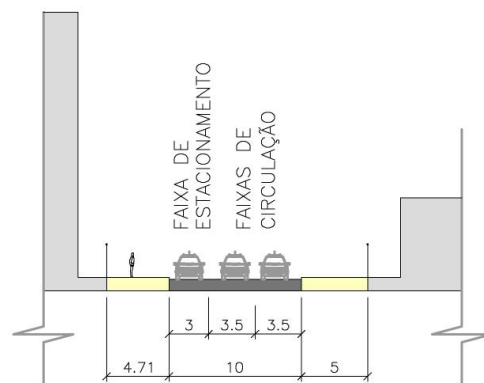
Figura 52. Corte AA⁴⁰



CORTE BB

SEM ESCALA

Figura 53. Corte BB⁴¹



CORTE CC

SEM ESCALA

Figura 54. Corte CC⁴²

⁴⁰ Fonte: Desenhado pelo autor, 2012

⁴¹ Idem.

⁴² Idem

5.2.4 Estudo de Volumes

Com os parâmetros anteriormente mencionados, foi possível fazer um estudo de volumes e de sombras provocados pelas diferentes densidades características dos lotes do empreendimento. Visando melhores condições de conforto, os lotes de baixa e média densidade foram posicionados voltados para o norte, direção da qual se obtém maior quantidade de insolação.

Ao mesmo procurou-se intercalar os lotes de alta densidade entre as quadras para que não formassem paredões de sombreamento ou canyons urbanos. As vistas dos estudos volumétricos nas direções NE e SW podem ser vistas na Figura 55 e na Figura 56.

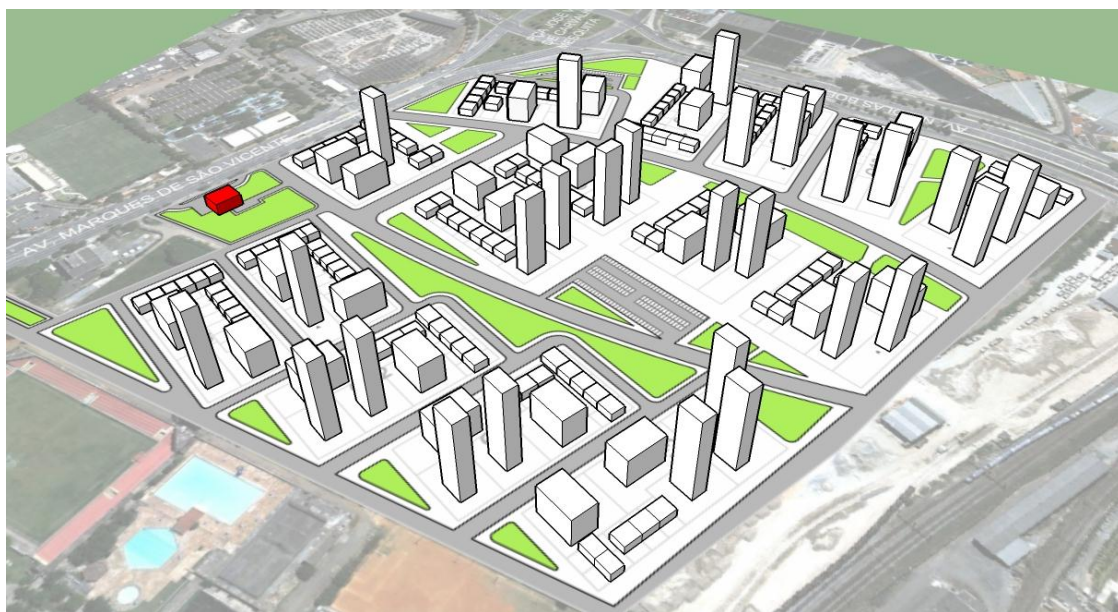


Figura 55. Estudo de Volumes: Vista NE⁴³

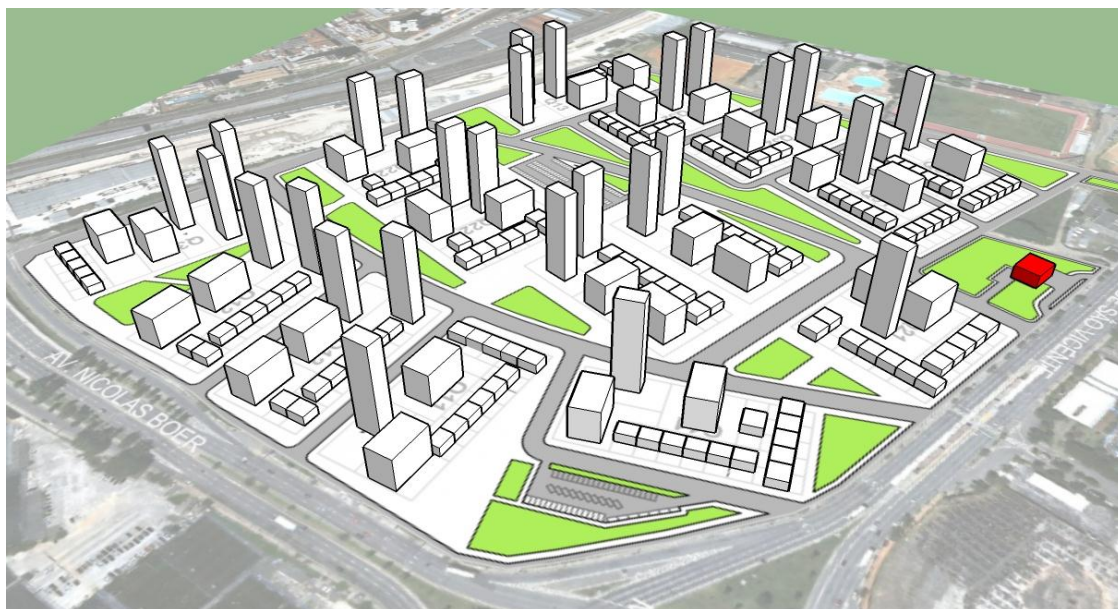


Figura 56. Estudo de volumes: Vista SW⁴⁴

⁴³ Fonte: Elaborado pelo autor

⁴⁴ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

Com a maquete eletrônica, foi possível fazer um estudo do percurso das sombras do empreendimento, que é mostrado nas figuras Figura 57, Figura 58 e Figura 59. Foi feito estudo de sombras apenas para o solstício de inverno (dia 22 de Junho para latitude 24 graus SUL), que é a situação mais crítica em termos de insolação para a cidade de São Paulo.

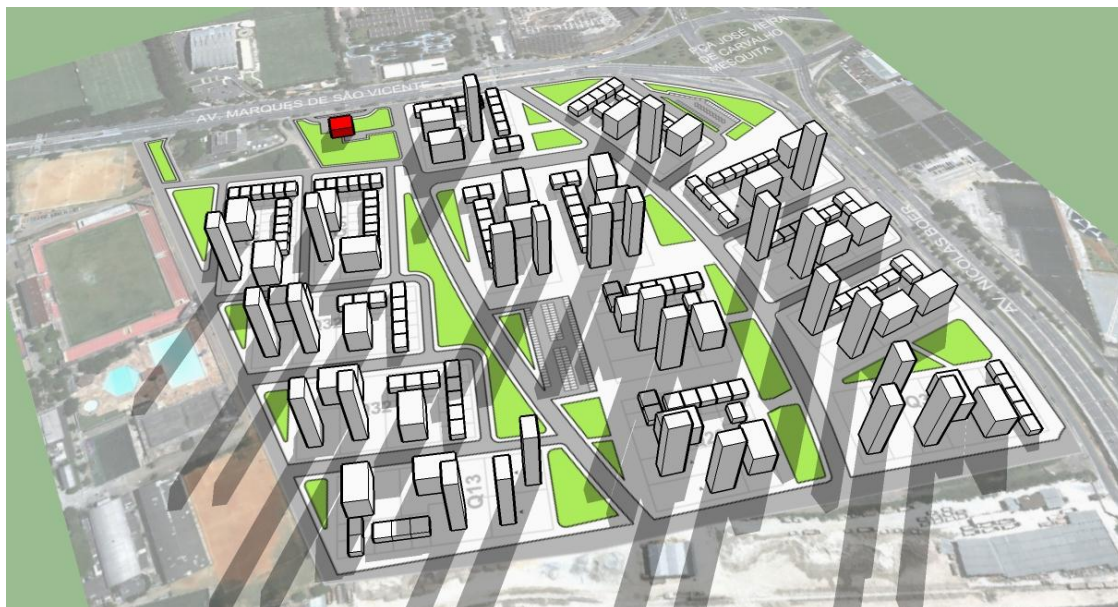


Figura 57. Sombra para o solstício de inverno, 8:00 hs.⁴⁵



Figura 58. Sombra para o solstício de inverno, 12:00 hs.⁴⁶

⁴⁵ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

⁴⁶ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012



Figura 59. Sombra para o solstício de inverno, 15:00 hs.⁴⁷

⁴⁷ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

6. Projeto da Rede de Escoamento a Vácuo

6.1 Premissas

A empresa detentora da tecnologia de escoamento a vácuo chama-se ENVAC e é de origem sueca. Há uma filial no Brasil, escritório fonte das informações técnicas relativas ao desenvolvimento do presente trabalho.

Essencialmente, a rede é composta por um terminal, pela tubulação de escoamento, por pontos de coleta, válvulas de admissão de ar e poços de visita. É possível executar junções em y a 15 graus, e fazer curvaturas com a tubulação com raio mínimo é de 2000 milímetros. Feita uma curvatura, recomenda-se não ter interferências (junções ou outras curvaturas) a pelo menos 5 metros dos pontos de início e término da mesma. A extensão da tubulação que conecta o ponto de coleta mais distante do terminal tem o limite de 2 quilômetros.



Figura 60. Coleta por shafts distribuídos pelos pavimentos⁴⁸



Figura 61. Coleta central instalada no térreo⁴⁹

Cada ponto de coleta é composto pelo totem (lixeira) que fica exposto na superfície, ou nos lotes de média e alta densidade integrado a instalações prediais para lançamento de lixo pelos condôminos, e por válvulas (tanques de armazenamento) que ficam conectadas aos totens. As válvulas ficam enterradas, em uma câmara de dimensões mínimas de 2 x 2 metros para que possa ser feita manutenção nas mesmas. Nessa mesma câmara, há uma válvula de admissão de ar. Os detalhes técnicos da rede podem ser encontrados no ANEXO B, no desenho Detalhes. A distância máxima entre dois poços de visita é de 70 metros.

Para os lotes de média e alta densidade, foi previsto um ponto de coleta dentro de cada lote. Os lotes de baixa densidade possuem pontos de coleta comum, locados no passeio público, aos quais o

⁴⁸ Fonte: ENVAC, 2012

⁴⁹ Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ENVAC, 2012

residente deverá se dirigir quando desejar depositar seu lixo. A distância máxima estabelecida para caminhada dos residentes dos lotes de baixa densidade até o ponto de coleta comum é de 30 metros. Na praça de alimentação, na quadra 11 do sul, foram propostos pontos internos aos lotes de baixa densidade, posto que estão previstos no projeto urbano restaurantes e estabelecimentos alimentícios nesses lotes, que geram grande quantidade de resíduos por si.

Foi considerada a implantação de duas frações de coleta, que deverão separar os resíduos em secos (recicláveis) e molhados (em sua maioria orgânicos).

Nos lotes de média e baixa densidade, quanto à gestão interna da coleta de resíduos, há duas modalidades principais: a instalação de uma central no térreo (Figura 61), à qual todos os residentes deverão se destinar quando desejarem despejar seus resíduos, ou através da instalação de shafts de despejo (Figura 60), que podem ter acesso a cada andar ou residência, de acordo com a necessidade do estabelecimento.

Foram verificados os logradouros tangentes ao empreendimento junto a prefeitura (item 2.2.3) quanto à participação no programa de coleta seletiva, e levantou-se que as duas principais avenidas que limitam a área de estudo (Av. Mq. De São Vicente e Av. Nicolau Boer) são contempladas com o programa. O terminal foi locado em área adjacente à Av. Marques de São Vicente, em função da maior facilidade de percurso dos caminhões coletores para retornar à via expressa da marginal para se dirigir ao aterro, ou seguir pela mesma avenida em direção a cooperativas de reciclagem.

A configuração final da rede de escoamento a vácuo pode ser encontrada com mais detalhes no ANEXO B, no desenho Planta da Rede a Vácuo.

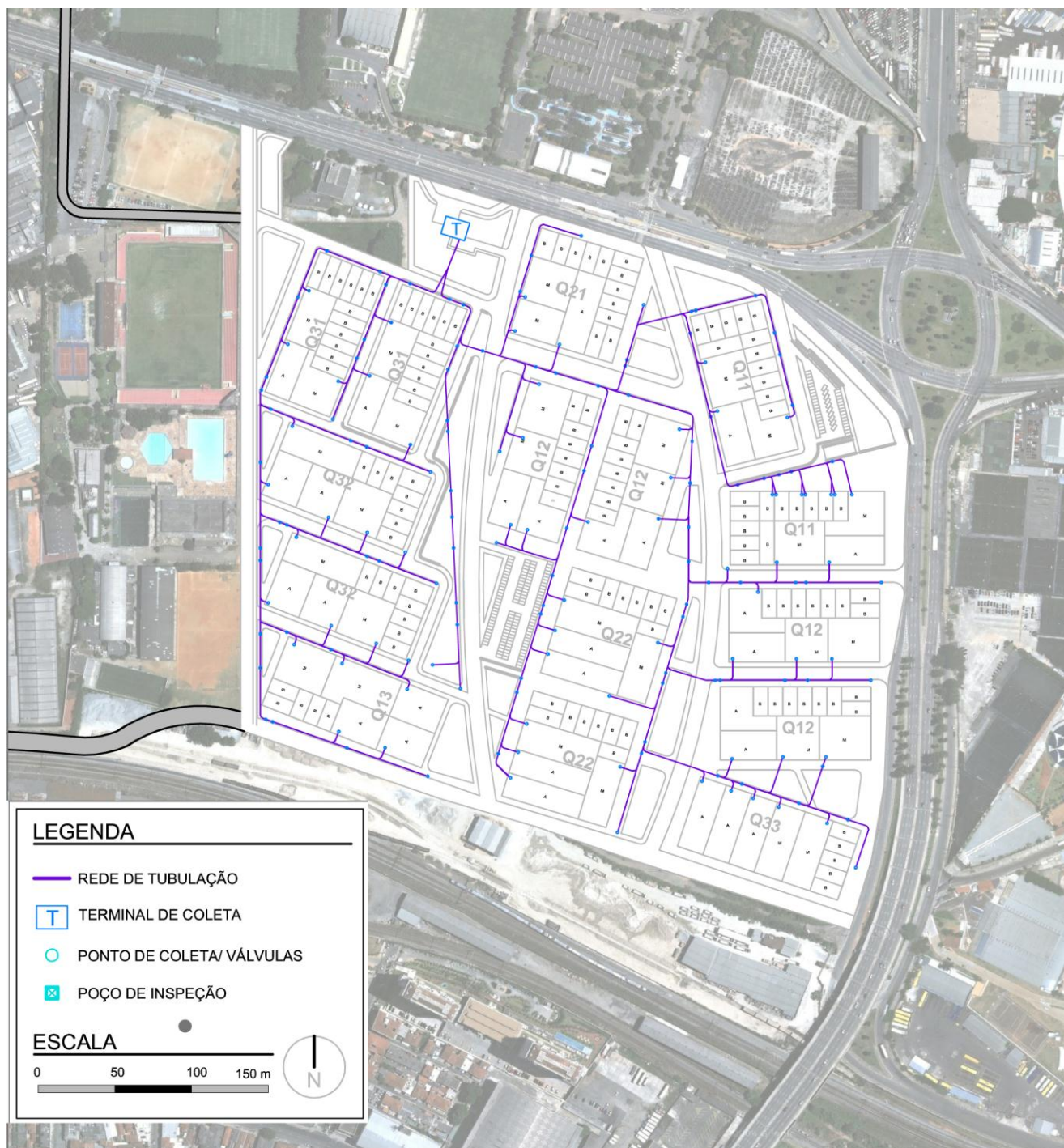


Figura 62. Traçado proposto da rede de escoamento a vácuo (ver ANEXO B)⁵⁰

⁵⁰ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

6.2 Dimensionamento

6.2.1 Quantidade de resíduos gerada

Definido o projeto urbano e o traçado da rede, foi possível determinar as quantidades de resíduos geradas pelos lotes e estimar os custos de implantação e operação do sistema de coleta e escoamento a vácuo, assim como compará-lo às outras alternativas já colocadas em questão.

Para determinação da quantidade de resíduo gerada, foi necessário quantificar a população presente no empreendimento. A partir das quadras propostas por Marins (ANEXO A), foi levantada a área média dos lotes para cada densidade urbana e estabelecidos os parâmetros de ocupação urbana com objetivo de calcular a metragem quadrada de área construída, também obtidos a partir de Marins (2010). A Tabela 20 apresenta esses parâmetros.

Tabela 20. Parâmetros de ocupação urbana e uso do solo

PARAMETROS DE OCUPAÇÃO URBANA	Alta Densidade	Média Densidade	Baixa Densidade
Taxa de ocupação Edificada (TOE)	20%	30%	50%
Coeficiente de Aproveitamento (CA)	4	3	1
Coeficiente de uso misto Ed Comerciais	20%	50%	40%
Coeficiente de uso misto Ed Residenciais	80%	50%	60%

A Tabela 21 mostra a quantidade de lotes de baixa, média e alta densidade em cada quadra tipo. Com esses dados, foi possível calcular a área construída para cada tipo de quadra. A abreviatura CA, na coluna à direita, se refere ao coeficiente de aproveitamento, definido anteriormente na Tabela 20.

Tabela 21. Quantificação de área construída por tipo de quadra e por lote⁵¹

Quadra Tipo	Contagem de Lotes (A)			Área Média do Lote (B)			Área Construída = A x B x CA			
	Alta Densidade	Média Densidade	Baixa Densidade	Alta Densidade	Média Densidade	Baixa Densidade	Alta Densidade (AA)	Média Densidade (M)	Baixa Densidade (BB)	TOTAL (AA+M+BB)
11	1	2	12	1176	1476	288	4704	8856	3456	17016
12	2	2	8	1242	1385	288	9936	8310	2304	20550
13	3	2	5	1200	1680	288	14400	10080	1440	25920
21	1	2	12	1560	1400	288	6240	8400	3456	18096
22	2	2	8	1300	1296	288	10400	7776	2304	20480
23	3	2	5	1200	1450	288	14400	8700	1440	24540
31	1	2	12	1176	1410	300	4704	8460	3600	16764
32	2	2	8	1248	1540	288	9984	9240	2304	21528
33	3	2	5	1320	1440	288	15840	8640	1440	25920

⁵¹ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

Tabela 22. Quantificação de área construída e residências equivalentes por uso⁵²

Quadra Tipo	Contagem de Quadras			Área Construída		
	RESIDENCIAL	MISTO	COMERCIAL	RESIDENCIAL	MISTO	COMERCIAL
11			2	0	0	34032
12		2	2	0	41100	41100
13	1			25920	0	0
21		1		0	18096	0
22		2		0	40960	0
23				0	0	0
31	2			33528	0	0
32	2			43056	0	0
33			1	0	0	25920
TOTAL ÁREA CONSTRUÍDA (TAA)				102504	100156	101052
RESIDÊNCIAS EQUIVALENTES = TAA/100				1025,04	1001,56	1010,52
TOTAL DE RESIDÊNCIAS EQUIVALENTES					3037,12	

Posteriormente, foi calculado o total de área construída para cada uso do solo. Esse valores, divididos por 100 metros quadrados, resultam no número de residências equivalentes. A área média de 100 metros quadrados é um parâmetro fornecido pela empresa ENVAC. Tal empresa também estabelece uma taxa de geração de resíduo de 2 kg por residência equivalente. Estes parâmetros são questionáveis, considerados parâmetros encontrados em MARINS (2010) e outros órgãos confiáveis (IBGE (2008)- Tabela 23 e Tabela 1). Percebeu-se que os valores adotados pela empresa supramencionada estão subdimensionados. Portanto, para melhor coerência no estudo de viabilidade econômico-financeira da implantação da rede, os cálculos foram feitos a partir de duas modalidades de geração de resíduos: A (correspondente aos parâmetros estabelecidos pela ENVAC) e B (correspondente aos parâmetros encontrados na literatura).

Tabela 23. Parâmetros adotados para calcular geração de resíduos⁵³

Parâmetros adotados	Valor	Unidade
Baixa densidade (Comercial)	0,07	funcionários/m ²
Média densidade (Comercial)	0,1	funcionários/m ²
Alta Densidade (Comercial)	0,13	funcionários/m ²
Família Média Paulistana	2,9	peessoas
Residencia Média Equivalente	100	m ²
Lixo produzido por residência Equivalente (dado pela ENVAC)	2	Kg/dia
Lixo produzido por pessoa	1,5	kg/dia

A Tabela 24 mostra a quantidade de resíduos gerada para as duas modalidades, podendo-se ressaltar a grande diferença entre ambas, posto que na modalidade B seu valor é quatro vezes superior

⁵² Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

⁵³ Fonte: ENVAC (2012), IBGE (2011), MARINS(2010), LIMPURB (2012)

ao estimado pela modalidade A. Para determinação dos coeficientes de densidade populacional, foi estimada a taxa de 0,03 para o uso residencial da seguinte forma:

$$Densidade\ Residencial = \frac{Tamanho\ da\ Família\ Média\ Paulistana\ (IBGE)}{Área\ de\ uma\ residência\ equivalente}$$

$$Densidade\ Residencial = \frac{2,9}{100\ m^2}$$

A densidade comercial foi extraída da Tabela 23, considerando a área de baixa densidade comercial. A densidade de uso misto foi uma média ponderada entre as densidades comercial e residencial, considerando os valores estabelecidos pela operação urbana expostos na Tabela 18. A quantidade de habitantes do empreendimento foi determinada pela equação:

$$No.Total\ de\ Habitantes\ para\ Uso\ i = \frac{Total\ de\ área\ construída\ do\ Uso\ i}{Densidade\ relativa\ ao\ Uso\ i}$$

Na modalidade A, a quantidade de resíduos gerada foi determinada multiplicando-se a taxa de geração de resíduos de cada residência equivalente pelo número de residências equivalentes. Na modalidade B, foi estimada a população conforme explicado acima e aplicada a taxa de geração de resíduos de 1,5 quilogramas por dia sobre a mesma. (Tabela 23 e 24)

Observa-se também na Tabela 24 que as densidades urbanas alcançadas nas modalidades elencadas são diferentes. Ambas estão muito superiores ao proposto no plano urbanístico (20 mil habitantes por quilômetro quadrado), o que faz parte do partido de projeto (é interessante a implantação da tecnologia a vácuo em áreas de alta densidade urbana).

Tabela 24. Estimativa da quantidade de resíduos gerada para as modalidades A e B⁵⁴

Quantitativo de Geração de resíduos (Modalidade A)			
Total residências equivalentes	3037		
Taxa de Geração de resíduos por Residência Eq. (kg/dia)	2		
Total (POP)	8807		
Área do Empreendimento (km²)	0,24		
Densidade Urbana (hab/km²)	36.399		
Total de resíduos gerado (kg/dia)	6074		
Quantitativo de Geração de resíduos (Modalidade B)	RESIDENCIAL	MISTO	COMERCIAL
Total de área construída			

⁵⁴ Elaborado pelo autor a partir de IBGE, 2011

(m²)	102.504,00	100.156,00	101.052,00
Densidade Populacional (hab/m² construído)	0,03	0,05	0,07
Quantidade populacional por uso (hab.)	2972	4933	7073
População Total do Empreendimento (hab.)		14980	
Área do Empreendimento (km²)		0,24	
Densidade Urbana (hab./km²)		61909	
Total de Resíduos gerado (kg/dia)		22470	

Ressalta-se neste momento que o projeto de qualquer rede de infra-estrutura para uma área urbana delimitada leva em consideração a evolução dos usos do solo e de zoneamento da área, de forma que se possa estimar a população futura usuária do local. A rede é projetada para atender o a condição de máxima demanda pelo serviço, sob perspectiva de saturação da densidade urbana populacional da área em que é implantada.

6.2.2 Critérios cronológicos para dimensionamento da rede

No caso da rede de escoamento de lixo a vácuo, o traçado da rede e o dimensionamento do terminal não são influenciados por tais parâmetros, pois o diâmetro das tubulações é fixo e a capacidade das turbinas que geram a pressão de escoamento dependem do tamanho da rede e da extensão da tubulação. A diferença na operação para altas e baixas demandas se dá no número de descargas diárias, posto que as mesmas são acionadas pelo esgotamento do volume das válvulas.

Para realizar o estudo de viabilidade econômico-financeira, foi considerada a taxa máxima de geração de resíduos para a área de estudo de 30 mil toneladas por dia, levando em conta um cenário de longo prazo (20 anos) no qual a população residente e circulante na área atingiria a saturação de uso para o empreendimento. Para ponderação da velocidade de ocupação da área de estudo, estimou-se que no ano inicial de operação da rede 70% da população calculada já seria usuária do local, aumentado a uma taxa de 10% a cada ano a partir do primeiro, atingindo a configuração de densidade urbana saturada no quarto ano. A partir de então, a população não aumenta, mas a taxa de geração de resíduos sim, estimada linearmente em 0,6% ao ano. Tal taxa foi obtida da Tabela 1 através de interpolação linear como mostrado abaixo:

$$T = \frac{\Delta Taxai}{\Delta Anoi} = \frac{T_{2008} - T_{2000}}{2008 - 2000} \cong 0,6\% a. a.$$

7. Estudo de viabilidade financeira

7.1 Introdução

Considerados os aspectos da situação atual de gestão de RSU e as características operacionais da tecnologia a vácuo, é necessário estabelecer os principais pontos comparativos entre ambos.

A tecnologia a vácuo evita o trânsito de veículos pesados dentro do bairro residencial e conta com sistema de coleta seletiva intrínseco à sua natureza. O sistema convencional de coleta é caracterizado pela coleta porta a porta realizada pelos caminhões e garis. A maior parte do RSU coletado é destinado ao aterro sanitário, e caso a região seja contemplada com o programa de coleta seletiva, os resíduos recicláveis são levados à cooperativa de catadores.

O meio de disposição final dos resíduos sólidos mais usado no Brasil é o aterro sanitário, sendo necessário maior fomento às formas alternativa de tratamento dos RSU. A tecnologia estudada pode contribuir para a cadeia de gerenciamento dos mesmos paralelamente à coleta seletiva, que é o método operacional com o qual compete diretamente.

Paralelamente, tanto a coleta seletiva como a tecnologia a vácuo podem atuar de forma complementar ao aterro sanitário, visto que nos cenários analisados ambas fazem uso do mesmo para destinação dos resíduos orgânicos em função da ausência de usina de compostagem. Entretanto, a política brasileira não incentiva inovações tecnológicas, e dispõe uma enorme quantidade de resíduos nos aterros sanitários que poderia ser reciclada, reaproveitada e até mesmo incinerada. Há grande potencial para reaproveitamento, geração de empregos, potencial de renda, incentivo à pesquisa nas universidades, do qual a sociedade não usufrui em razão do tratamento inadequado dado aos resíduos sólidos.

Paradoxalmente, o sistema proposto por si só não resolve a questão do reaproveitamento dos RSU, que dependem de política urbana mais ampla, em escala macro, com altos níveis de investimento. Porém, cria as condições tecnológicas para que ela seja feita, a partir do momento em que o resíduo é coletado em contêineres já separado em frações. Não aproveitá-lo como matéria prima é o mesmo que desperdiçar seu potencial como insumo e o lucro associado ao mesmo, seja para geração de energia, calefação, fertilizantes ou combustíveis.

7.1.1 Considerações sobre o sistema ENVAC

São muitas as vantagens da tecnologia de estudo, conforme citado anteriormente. Em contrapartida, o sistema é de cara implantação operação. Ao comparar os custos relacionados ao mesmo é preciso quantificar os benefícios ambientais na análise de viabilidade financeira. Procurou-se, quando possível, mensurar tais benefícios de forma a obter um resultado competitivo para a tecnologia desafiante. Ainda assim, muitos foram os pontos positivos não considerados nesse estudo, pois são de difícil mensuração. Por exemplo, a tranquilidade de não se ter veículos barulhentos circulando em áreas residenciais, poder contar com um sistema de coleta em período integral e não ter de se preocupar com o

horário de recolhimento do lixo, o status que é atribuído ao empreendimento por contar com tal tecnologia, dentre outros.

Para tanto, no estudo de viabilidade financeira apresentado no item 7 deste trabalho, foram considerados os seguintes benefícios indiretos:

Economia em Créditos Carbono

Conforme estabelecido pelo Tratado de Kyoto, toda Redução de Emissão Certificada pode ser negociada em mercado internacional e vendida para países que precisem comprar cotas de emissão para cumprir as metas estabelecidas no tratado.

No quesito do presente projeto, todo o percurso que os caminhões de coleta deixarem de percorrer em função da implantação da rede a vácuo provocam economia na emissão de gases estufa. Tal quantia foi mensurada para que se pudesse estimar a economia com créditos carbono.

Economia com custos relacionados à Poluição

Como já exposto no item 2.2.7, os custos relativos às internações por doenças respiratórias e dias não trabalhados também serão considerados nesta análise.

Dada a praticidade do sistema em sua operação de coleta seletiva, é coerente destinar o resíduo reciclável a uma cooperativa de catadores. Com isso, os custos com aterro sanitário também se reduziriam, pois uma quantidade menor de resíduos seria destinada ao mesmo, e simultaneamente, os custos de transportes, pois a distância até a cooperativa de catadores é bem menor do que a distância até um aterro sanitário. (Figura 63)

Uma estimativa dos ganhos com crédito de carbono podem ser vistos na Tabela 25, considerando-se que um caminhão de coleta tenha de se deslocar 40 quilômetros até o aterro sanitário mais a distância percorrida dentro do bairro. Caso os resíduos pudessem ser dispostos em cooperativa de reciclagem ou usinas de compostagem próximas a área em que são gerados, em 1 ano, a economia seria de cerca de 113.588,00 dólares em Reduções de Emissões Certificadas.

Tal economia poderia ser alcançada não somente com a implantação do sistema a vácuo, mas também com uma operação de coleta seletiva convencional, sistema com o qual a tecnologia a vácuo será comparada na análise financeira por ser o que mais se aproxima do que a tecnologia a vácuo pode oferecer.

Tabela 25. Economia em créditos carbono média para 1 caminhão⁵⁵

ECONOMIA EM CRÉDITOS CARBONO		
Fator de emissão de CO2 para pesados a diesel:	3140	g/kg diesel
Densidade do diesel	0,85	kg/l
Consumo médio de um caminhão	3,5	km/l

⁵⁵ Fonte: elaborada pelo autor a partir de LIMPURB(2012), CETESB, AMBIENTE BRASIL 2012

Fator de emissão de CO2 para veículos pesados a diesel:	1240	g/km
Frota de caminhões	1	
Frequência de coleta	1	diária
Dias de coleta por mês (inclui sábados)	26	
Média de km rodados por dia	40	km
Kilômetros rodados por ano	12.480,00	km/ano
kg emitidos de CO2	15.475	kg CO2
Preço médio do crédito carbono ⁵⁶	7,34	U\$
U\$ Credito carbono	113.588,00	U\$

7.1.2 Critérios de Comparação de custos entre as tecnologias

Para que os custos entre tecnologias pudessem ser comparados, buscou-se encontrar um valor de custo em reais por tonelada. Para tanto, foram estabelecidos cenários e desenhados fluxos de caixa a partir de parâmetros de implantação e operação de cada tecnologia. Esse fluxo de caixa foi trazido a valor presente líquido (VPL), do qual se estabelece uma razão com a quantidade total de resíduo operada, chegando-se ao custo desejado.

7.1.3 Observações Preliminares

Um fator que pesa na balança comparativa financeira é o custo da população. Enquanto na Europa o custo da mão de obra é alto, em função de uma melhor condição social geral da população, no Brasil o baixo custo dos serviços básicos como varrimento e limpeza inviabilizam projetos até mais básicos que o sistema de coleta a vácuo proposto, como uso de maquinário para varrimento e limpeza dos logradouros públicos. Essas máquinas tem produtividade muito maior do que a mão de obra humana, além de melhor qualidade do serviço. Porém, além da mão de obra barata, enfrentam outros problemas técnicos, como a falta de manutenção dos pavimentos urbanos, que contribui para um grande custo de manutenção dessas máquinas (SENGES, 1969).

7.2 Definição da operação de coleta

A mensuração dos custos de qualquer sistema está associado à sua implantação e operação. Logicamente, as variáveis pertencentes a ambas as etapas definem a viabilidade do sistema, segundo em uma perspectiva de longo prazo. O caso da tecnologia abordada no trabalho é uma questão delicada, pois tais variáveis podem assumir valores muito diferentes de acordo com os critérios adotados.

Por exemplo, pode-se considerar a implantação do sistema a vácuo, e a destinação de todo o resíduo coletado a um aterro sanitário. Neste caso, a pouca economia que se ganharia com o sistema se daria na frota de veículos e em todos os custos associados à operação de coleta porta a porta feita dentro

⁵⁶ Disponível em <<http://revistaescola.abril.com.br/ciencias/fundamentos/como-funcionam-creditos-carbono-471948.shtml>>. Acesso em 20.04.2012

do empreendimento, não aproveitando a cara infra-estrutura da tecnologia desafiante e o potencial que a mesma poderia oferecer.

Um outro cenário seria a destinação dos resíduos recicláveis a uma cooperativa. Neste caso, as distâncias que os caminhões teriam de percorrer seriam menores, e haveria ganhos diretos tanto com a operação da frota de caminhões como indiretos, com a geração de empregos para catadores nessas cooperativas por exemplo. Tal serviço poderia ser fornecido também por uma operação de coleta seletiva convencional.

É prioridade deste trabalho analisar de forma realista as diferenças econômicas, sociais e técnicas entre a tecnologia convencional e desafiante. Estabelecido o projeto urbanístico para a área, e conhecidos os fatores estruturais da mesma, é possível dimensionar com maior precisão como seria a operação tanto da tecnologia desafiante como da tecnologia convencional que veicularia no empreendimento.

Portanto, foram estabelecidos três cenários hipotéticos de análise para a gestão de RSU do empreendimento, que resumem como seria a operação de coleta, destinação e disposição dos resíduos sólidos urbanos gerados no empreendimento. O cenário ENVAC e o cenário Coleta Seletiva Convencional.

Torna-se de suma importância, neste momento, caracterizar a tecnologia desafiada do sistema a vácuo. Posto que o mesmo facilita a operação de coleta pelos dutos, e conta com separação do lixo em frações, identifica-se como tecnologia desafiada a gestão da coleta seletiva convencional que seria aplicada ao empreendimento caso o mesmo existisse. Cabe ao presente estudo identificar aquela que for mais barata, e ponderar os critérios de análise.

A coleta seletiva convencional, como já mencionado no item 2.2.3 tem 3 modalidades: porta a porta, PEV e por trabalhadores autônomos. Posto que a tecnologia a vácuo oferece a praticidade de coleta em cada domicílio ou ponto próximo ao mesmo, considerou-se em termos operacionais, que a modalidade da tecnologia desafiada que mais se identifica com a mesma foi a coleta seletiva de porta a porta.

Foi feito levantamento no sítio da prefeitura para verificar se a área é contemplada com o programa de coleta seletiva, conforme explicado no item 2.2.3. Felizmente, no viário lindeiro ao empreendimento, tanto a Av. Marques de São Vicente como a Av. Nicolai Boer participam do mencionado programa.

Considerou-se também a participação das cooperativas de reciclagem em todos os cenários, posto que tanto a tecnologia desafiante quanto convencional seriam servidas da operação de coleta seletiva. Portanto, foram mapeadas as cooperativas mais próximas ao empreendimento.

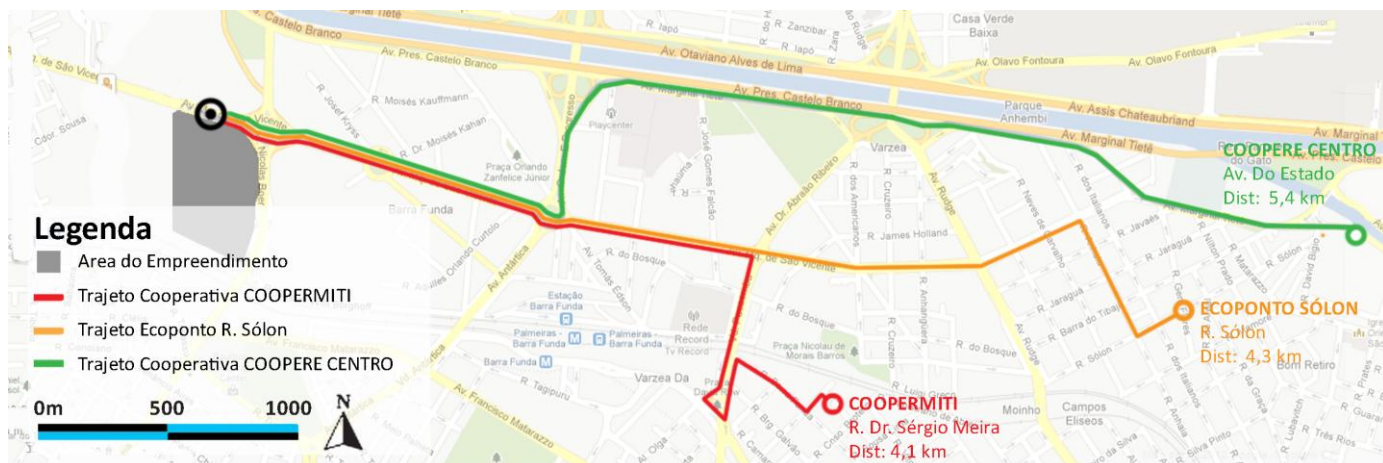


Figura 63. Trajetos até cooperativas e Eco ponto mais próximos⁵⁷

Descreve-se a seguir os dois cenários de gestão dos RSUs da área de estudo:

ENVAC

Neste cenário, a coleta dos resíduos do empreendimento é feita pela rede a vácuo. A fração orgânica é destinada ao aterro sanitário, e a fração reciclável às cooperativas de reciclagem. Idealmente, os resíduos orgânicos deveriam ser destinados à usina de compostagem, porém tal fato não foi considerado possível posto que as duas usinas de compostagem de São Paulo (São Matheus e Vila Leopoldina) encontram-se inoperantes.

Coleta Seletiva Convencional

Cenário caracterizado pela operação de coleta seletiva porta a porta realizada por caminhões-caçamba porta a porta e destinação dos resíduos recicláveis a cooperativa de reciclagem. Os resíduos orgânicos serão destinados ao aterro sanitário, pelas mesmas razões supracitadas.

A diferença essencial entre ambas operações está no custo relativo à quilometragem percorrida internamente ao bairro pela frota de caminhões coletores no cenário Coleta Seletiva Convencional em contrapartida ao custo da drenagem a vácuo no cenário ENVAC. Do ponto de saída do empreendimento, coletados os resíduos internos, a distância percorrida pelos caminhões até o aterro sanitário ou à cooperativa de reciclagem que servem ambas operações é a mesma, e portanto não será levada em conta na análise financeira, dado que os custos relativos aos quilômetros rodados seriam equivalentes.

7.2.1 Considerações sobre a possibilidade de implantação de uma cooperativa de reciclagem anexa ao terminal

Foi considerada a possibilidade de implantação de uma cooperativa de reciclagem anexa ao terminal (na mesma praça onde o mesmo está locado). São Paulo possui 21 cooperativas de reciclagem

⁵⁷ Elaborado pelo autor a partir de LIMPURB,2012;

oficializadas, e destina diariamente 214 toneladas de resíduos recicláveis às mesmas.⁵⁸ Isso implica em uma média de aproximadamente 20 toneladas por cooperativa.

Considerando os parâmetros de geração de resíduos adotados para a área de estudo (item 0), a modalidade A gera cerca de 6000 quilogramas de resíduos por dia, enquanto a modalidade B, 22 mil. Conforme explicado no item 6.2.2, que ambas modalidades possam chegar até a cota máxima de geração de 30 mil quilogramas por dia, demanda que justificaria a implantação de uma cooperativa no local.

A implantação ou não da mesma não influencia na análise **comparativa** financeira entre ambas tecnologias diretamente, pois caso implantada poderia servir a qualquer um dos dois cenários. Em ambos, é necessário deslocamento do resíduo reciclável coletado até uma determinada cooperativa.

7.3 Orçamento de obras

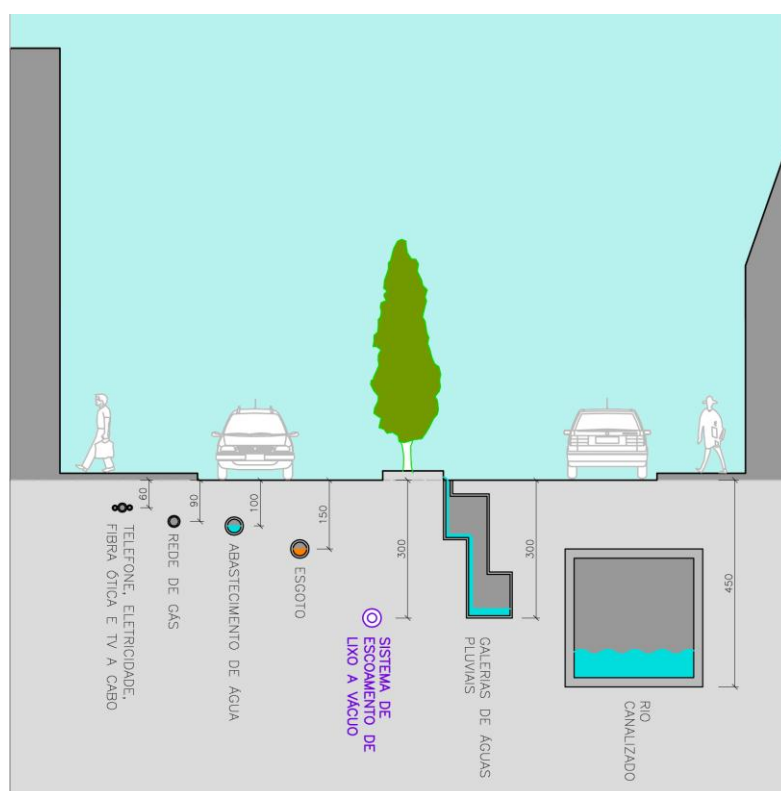


Figura 64. Profundidade média das redes de infra-estrutura urbana⁵⁹

O primeiro passo na determinação do custo de implantação do sistema a vácuo é o levantamento quantitativo de material e mão de obra. O custo em equipamentos fornecido pela ENVAC é de 6500 reais por residência equivalente. Para que a tubulação pudesse ser executada, foi dimensionada uma vala de largura de 1,00m (50 centímetros para passagem da tubulação mais 50 centímetros de lado para execução), e de profundidade de 3,0 metros, estabelecida em função das interferências com a infra-

⁵⁸ Disponível em <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2012/03/falta-de-coleta-seletiva-em-sao-paulo-desestimula-quem-separa-o-lixo.html>, Acesso em 01.12.2012

⁵⁹ Fonte: O Estado de São Paulo, 2011; disponível em

estrutura urbana (considerou-se que, das redes de infra-estrutura que correm sobre o viário, apenas as galerias pluviais e tubulações de esgoto poderiam chegar a tal profundidade, ver Figura 64).

Tabela 26. Levantamentos de quantitativos de obras e execução para geração do orçamento⁶⁰

Características da Rede		
Item	Valor	Unidade
Extensão total da rede (L)	4.739	m
Residências Equivalentes	3.037	un
Custo equipamentos (terminal incluso)	6.500,00	BRL/ Res. Eq
Diâmetro da Tubulação (D)	0,50	m
Custos de Construção		
Detalhes Execução		
Largura da vala (b)	1,50	m
Profundidade média da vala (h)	3,00	m
Volume a ser escavado (VE = $b \cdot h \cdot L$)	23.462,61	m ³
Volume ocupado pela tubulação (VT = $\pi \cdot D^2 \cdot L$)	3.722,72	m ³
Volume a ser reaterado (VE - VT)	19.739,88	m ³
Volume a ser despejado = VT	3.722	m ³
Fator de empolamento (fe)	1,30	
Distância do Botafora (dt)	40,00	km
Custo Construção do Terminal		
Área	300,00	m ²
CUB	2.500,00	BRL/m ²

Alguns órgãos públicos, como a FDE (Fundação para o Desenvolvimento da Educação), a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e a PMSP (Prefeitura Municipal de São Paulo) divulgam em suas páginas na internet tabelas com composições de custos e produtividade de materiais e mão de obra. A Tabela 27 foi extraída da página da PMSP, e contém os itens principais que compõem as obras de execução da rede e do sistema a vácuo. Por falta de dados mais específicos (por exemplo, custo de assentamento da tubulação de ferro de diâmetro 50 cm), foram utilizados itens cujas dimensões e sequências executivas fossem semelhantes.

Para exemplificar, o assentamento de tubos de ferro de diâmetro 50 cm foi estimado através do serviço “assentamento de tubos de ferro diâmetro nominal 80 cm”, os poços de inspeção foram representados pelo item “poços de visita tipo 1”; as câmaras de válvulas pelos “poços de visita tipo 3”. Já a escavação, o

⁶⁰ Fonte: Elaborado pelo Autor, 2012; ENVAC (2012)

escoramento, a remoção de terra e o reaterro são custos que podem ser considerados originais em função de sua natureza executiva.

O custo de construção do edifício do terminal foi estimado pela relação linear do CUB, fornecido também pela empresa ENVAC. Para um terminal de 2 frações, exige-se área de 300 metros quadrados. O custo com equipamentos (inclui maquinário de operação no terminal) foi determinado da mesma forma, considerando-se o valor de 6500 reais por residência equivalente.

O detalhamento de cada item dos custos de construção pode ser encontrado no anexo C.

Tabela 27. Custos de obras de implantação da rede a vácuo⁶¹

Custos de Implantação				
Terminal e Equipamentos	Custo (BRL)	Unidade	Quantidade	Subtotal
Construção do Terminal	2.500	BRL/m ²	300	750.000
Custo equipamentos	6.500	BRL	3.037	19.741.280
Subtotal Terminal e Equipamentos				20.491.280
Construção da Rede	Custo (BRL)	Unidade	Quantidade	Subtotal
ESCAVAÇÃO MECÂNICA PARA FUNDAÇÕES E VALAS COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL À 4,0M	6,80	m ³	23.463	159.546
REMOÇÃO DE TERRA ALÉM DO PRIMEIRO KM Volume do Bota-Fora = VT * fe	1,00	BRL/m ³	193.582	193.582
ESCORAMENTO COM ESTACAS PRANCHAS METÁLICAS - PROFUNDIDADE ATÉ 4,00 m (A)	119,85	m ²	31.283	3.749.325
ASSENTAMENTO DE TUBOS DE FERRO DIÂMETRO NOMINAL 80 CM	14,62	m	4.740	69.298
POÇO DE VISITA TIPO 1 - 1,40 X 1,40 X 1,40M	2.404,21	un	43	103.381
POÇO DE VISITA TIPO 3 - 2,20 X 2,20 X 2,20M	4.862,85	un	120	583.542
REATERRO	4,57	m ³	19.740	90.211
Subtotal Obras da Rede				4.948.884
Custo total de implantação				25.440.164

Os custos de implantação somaram no total 22 milhões de reais, sendo que 90% destes custos são representados pela aquisição de equipamentos, parcela mais significativa neste montante.

7.4 Parâmetros do Estudo de Viabilidade

Para dimensionamento dos custos de operação da rede foram adotados os seguintes parâmetros, apresentados na Tabela 28.

Tabela 28. Parâmetros adotados para determinação de custos de operação da rede⁶²

Características da Operação		
Gerais		
Taxa de Juros	6,00%	
Taxa de aumento de lixo anual	0,60%	
ENVAC	Valor	Unidade
Custo da Operação do terminal e rede por tonelada (Cotrv)	50	BRL/ton.
Durabilidade	30	anos

⁶¹ Elaborado pelo autor a partir de PMSP, 2012; http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/tabelas_de_custos/index.php?p=42861, acesso em 03/11/2012, SABESP, 2011

⁶² Elaborado pelo autor a partir de ENVAC, 2012; LIMPURB, 2012; FIPAI, 2008;

Coleta Seletiva Convencional	Valor	Unidade
Capacidade do Caminhão de Coleta de Resíduos Recicláveis	25	m ³
Capacidade do Caminhão de Coleta de Resíduos Orgânicos (caçamba compactadora)	18	m ³
Percurso do caminhão no empreendimento	5,62	km
Custo Parcial do Caminhão por km rodado	2,96	BRL/km
Custo Total do Caminhão por km rodado (transporte + Garis)	6,38	BRL/km
Custo De aquisição de um veículo novo	120.000	BRL
Vida útil do Caminhão	5	anos
Valor Residual	50%	un
Ano operacional	313	dias

Totais anuais gerados	MODALIDADE A	MODALIDADE B
Toneladas/dia geradas	6,07	22,47
Toneladas/ano	2.217	8.202
Condição de Saturação (30 ton/dia)	10.950	10.950

O custo de 50 reais para coleta por tonelada foi fornecido pela empresa ENVAC. Esse custo compreende o escoamento dos resíduos até o terminal.

O custo de oportunidade foi arbitrado em 6% ao ano.

A distância percorrida pelos caminhões de coleta dentro do empreendimento foi obtida através de um estudo de rota respeitando o sentido das ruas e percorrendo um caminho que passasse próximo ou quase tangente a todos os lotes (ver Figura 65 e Figura 66).

A capacidade do caminhão de coleta dos resíduos recicláveis foi obtida de Bringheti (2004) e a capacidade do caminhão de resíduos orgânicos foi arbitrada em 18 m³, considerando-se um caminhão de capacidade de 12 m³ e potencial de compactação de 6 m³.

O custo parcial por quilômetro rodado do caminhão foi extraídos do estudo de um veículo modelo MB-1620 (dados detalhados no Anexo C)⁶³. Esse custo inclui o motorista do caminhão, mas não inclui o salário dos garis que auxiliam na operação.

Tabela 29. Estimativa do aditivo do valor do salário do Gari ao km rodado do caminhão⁶⁴

Estimativa do aditivo do valor do salário do Gari ao km rodado do caminhão		
Item	Valor	Unidade
Salário Médio de um Gari	1398	BRL/mes
Velocidade média do caminhão	10	km/h
Horas de rodagem por dia	8	horas
Distância rodada por mês (26 dias de trabalho)	2080	km
Custo do Gari por quilômetro rodado	0,672	BRL/km
Número de Garis por caminhão	3,00	un

⁶³ BARBIERI CUNHA (2010)

⁶⁴ Elaborado pelo autor a partir de SIMAECO, 2012

Considerando que os diferentes cenários englobavam custos de transporte que teriam ou não a participação dos garis, foi necessário estimar a participação do salário dos mesmos no custo por quilômetro rodado. Essa estimativa pode ser encontrada na Tabela 29.

O salário médio de um gari foi obtido no sítio virtual do SIMAECO (Sindicato dos Trabalhadores em Empresas Prestadoras de Serviços de Asseio e Conservação de Limpeza Urbana de São Paulo). A velocidade média do caminhão foi arbitrada em 10 km/h (durante operação de coleta), que associada à jornada diária de 8 horas de trabalho, resultou em cerca de 2080 quilômetros rodados por mês. Dividindo-se o salário médio do Gari pela quantidade de quilômetros rodados chegou-se ao custo de 0,672 reais por quilômetro. Arbitrou-se necessidade de 3 garis por veículo coletor.



Figura 65. Sentido das vias no empreendimento⁶⁵

Para cálculo dos volumes de resíduos de cada tipo que seriam coletados, foi necessário conhecer as densidades de cada tipo de resíduo. Foi adotada uma densidade de 1,2 (Silva,2010) quilogramas por litro para o resíduo do tipo orgânico e de 0,057 (Bringhenti,2004) para o tipo reciclável (Tabela 30). Aos resíduos do tipo inservível (como móveis, eletro-eletrônicos, geladeiras etc), cuja destinação é de responsabilidade do gerador e usuário, não foi atribuída uma densidade média relativa, pois não será levado em consideração nesta análise.

Tabela 30. Composição do resíduo domiciliar paulistano e densidade média dos tipos de resíduos⁶⁶

Classificação dos resíduos	ORGÂNICO	RECLÁVEL	INSERVÍVEL
Porcentagem	0,63	0,28	0,092
Densidade do resíduo (kg/l)	1,2	0,057	-

⁶⁵ Elaborado pelo autor, 2012

⁶⁶ Fonte: ENVAC, 2012

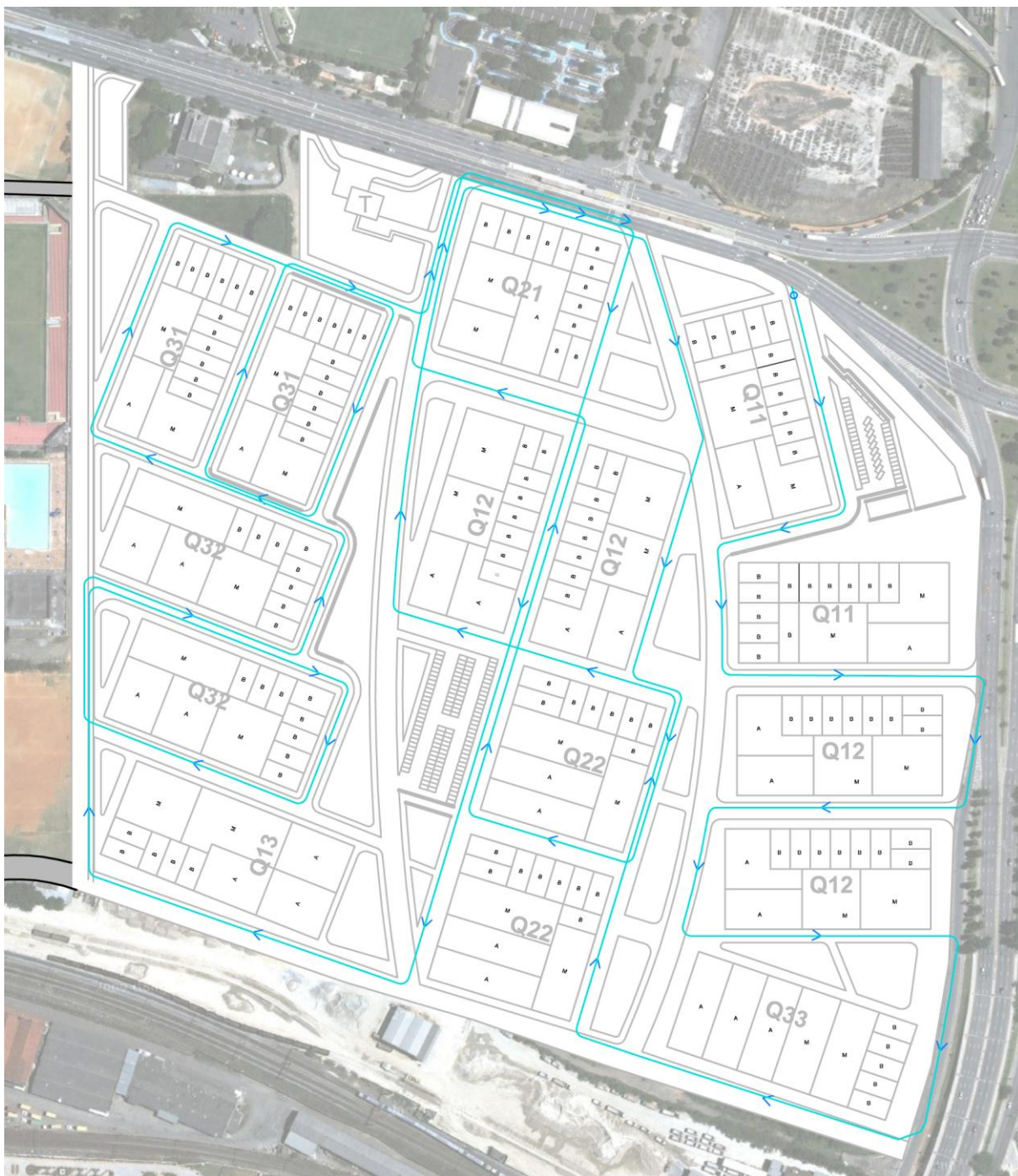


Figura 66. Rota do caminhão de coleta dentro do empreendimento⁶⁷

⁶⁷ Elaborado pelo autor, 2012

7.4.1 Cenário base de Geração de Resíduos

Inicialmente, foram calculadas as quantidades de resíduos geradas para as modalidades A e B. A quantidade de resíduo a ser gerida define o ponto de partida para o cálculo dos custos variáveis relacionados aos cenários apresentados anteriormente.

A partir dos números apresentados no item 7.4 foram calculados, para cada cenário anteriormente descrito, os fluxos de caixa referentes à implantação da infraestrutura e operação de coleta e destinação dos resíduos gerados pela área de estudo. A Tabela 31 contém os valores de geração obtidos do uso dos parâmetros estabelecidos pela modalidade A, enquanto a Tabela 32 contém os mesmo valores sob premissas da modalidade B.

Para modelagem do estudo de viabilidade econômica, foram consideradas as seguintes variáveis:

Massa Total

Ver Tabela 24. Estimativa da quantidade de resíduos gerada para as modalidades A e B.

A massa de resíduos gerada inicia-se com 70% do total previsto (considerando que o empreendimento não estará totalmente ocupado em seu ano inicial), e aumenta 10% a cada ano até o ano 4, no qual o empreendimento recebe toda a população que poderia morar no mesmo.

Foi considerada a taxa de 0,6% de aumento de geração de resíduos anual, de forma linear, obtida da interpolação entre os dados dos anos 2000 e 2008 da PNSB do IBGE (Tabela 1).

O valor da massa total de resíduos gerada para o ano i é obtida pela seguinte expressão:

$$MT = Quantidade\ diária * 365 * Ki * [(Ano\ i - Ano\ inicial) * t + 1];$$

Onde Ki é a evolução da ocupação do empreendimento.

Massa relativa ao tipo de Resíduo

Obtida através da relação direta com a proporção do tipo de resíduo gerado:

$$Massa\ do\ tipo\ de\ resíduo = Massa\ Total * Percentagem\ de\ participação\ do\ resíduo$$

Ver Tabela 30. Composição do resíduo domiciliar paulistano e densidade média dos tipos de resíduos.

Volume relativo ao tipo de Resíduo

Obtida através da relação direta com a densidade do tipo de resíduo gerado:

$$Volume\ do\ tipo\ de\ resíduo = \frac{Massa\ do\ tipo\ de\ resíduo}{Densidade\ média\ do\ tipo\ de\ resíduo}$$

Ver Tabela 30. Composição do resíduo domiciliar paulistano e densidade média dos tipos de resíduos.

Volume Total

$$\text{Volume Total} = \sum \text{Volumes de tipos de resíduos}$$

A seguir são apresentadas as tabelas calculadas em função das variáveis supramencionadas para as modalidades A e B.

Tabela 31. Cenário Base de Geração de Resíduos- Modalidade A⁶⁸

CENÁRIO BASE DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS							MODALIDADE A
Ano	Evolução da Ocupação do empreendimento	Massa Total (ton.) = M	Massa de Resíduos Orgânicos (ton.) = Mo	Massa de Resíduos Recicláveis (ton.) = Mr	Volume de Resíduos Orgânicos (m³) = Vo	Volume de Resíduos Recicláveis (m³) = Vr	Volume Total (m³) = Vt
2009	70%	1.552	976	433	813	7.596	8.410
2010	80%	1.784	1.122	498	935	8.734	9.669
2011	90%	2.019	1.270	563	1.058	9.884	10.943
2012	100%	2.257	1.420	630	1.183	11.047	12.230
2013	100%	2.270	1.428	633	1.190	11.113	12.303
2014	100%	2.284	1.436	637	1.197	11.178	12.375
2015	100%	2.297	1.445	641	1.204	11.243	12.447
2016	100%	2.310	1.453	645	1.211	11.308	12.519
2017	100%	2.324	1.461	648	1.218	11.373	12.591
2018	100%	2.337	1.470	652	1.225	11.438	12.663
2019	100%	2.350	1.478	656	1.232	11.503	12.735
2020	100%	2.363	1.487	659	1.239	11.568	12.807
2021	100%	2.377	1.495	663	1.246	11.633	12.879
2022	100%	2.390	1.503	667	1.253	11.699	12.951
2023	100%	2.403	1.512	671	1.260	11.764	13.023
2024	100%	2.417	1.520	674	1.267	11.829	13.096
2025	100%	2.430	1.528	678	1.274	11.894	13.168
2026	100%	2.443	1.537	682	1.281	11.959	13.240
2027	100%	2.457	1.545	685	1.288	12.024	13.312
2028	100%	2.470	1.554	689	1.295	12.089	13.384
2029	100%	2.483	1.562	693	1.302	12.154	13.456
2030	100%	2.496	1.570	697	1.309	12.219	13.528
2031	100%	2.510	1.579	700	1.316	12.285	13.600
2032	100%	2.523	1.587	704	1.323	12.350	13.672
2033	100%	2.536	1.595	708	1.329	12.415	13.744
2034	100%	2.550	1.604	711	1.336	12.480	13.816
2035	100%	2.563	1.612	715	1.343	12.545	13.888
2036	100%	2.576	1.620	719	1.350	12.610	13.961
2037	100%	2.590	1.629	722	1.357	12.675	14.033
2038	100%	2.603	1.637	726	1.364	12.740	14.105
2039	100%	2.616	1.646	730	1.371	12.805	14.177
TOTAL		73.580	46.282	20.529	38.568	360.155	398.724

Tabela 32. Cenário Base de Geração de Resíduos- Modalidade B⁶⁹

CENÁRIO BASE DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS							MODALIDADE B
-------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--------------

⁶⁸ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

⁶⁹ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

Ano	Evolução da Ocupação do empreendimento	Massa Total (ton.) = M	Massa de Resíduos Orgânicos (ton.) = Mo	Massa de Resíduos Recicláveis (ton.) = Mr	Volume de Resíduos Orgânicos (m³) = Vo	Volume de Resíduos Recicláveis (m³) = Vr	Volume Total (m³) = Vt
2009	70%	5.741	3.611	1.602	3.009	28.101	31.111
2010	80%	6.601	4.152	1.842	3.460	32.309	35.769
2011	90%	7.470	4.699	2.084	3.916	36.564	40.480
2012	100%	8.349	5.252	2.329	4.376	40.868	45.244
2013	100%	8.398	5.283	2.343	4.402	41.108	45.511
2014	100%	8.448	5.314	2.357	4.428	41.349	45.777
2015	100%	8.497	5.345	2.371	4.454	41.590	46.044
2016	100%	8.546	5.376	2.384	4.480	41.831	46.311
2017	100%	8.595	5.406	2.398	4.505	42.072	46.577
2018	100%	8.645	5.437	2.412	4.531	42.313	46.844
2019	100%	8.694	5.468	2.426	4.557	42.554	47.111
2020	100%	8.743	5.499	2.439	4.583	42.795	47.377
2021	100%	8.792	5.530	2.453	4.609	43.035	47.644
2022	100%	8.841	5.561	2.467	4.634	43.276	47.911
2023	100%	8.891	5.592	2.480	4.660	43.517	48.177
2024	100%	8.940	5.623	2.494	4.686	43.758	48.444
2025	100%	8.989	5.654	2.508	4.712	43.999	48.711
2026	100%	9.038	5.685	2.522	4.738	44.240	48.977
2027	100%	9.087	5.716	2.535	4.763	44.481	49.244
2028	100%	9.137	5.747	2.549	4.789	44.721	49.511
2029	100%	9.186	5.778	2.563	4.815	44.962	49.777
2030	100%	9.235	5.809	2.577	4.841	45.203	50.044
2031	100%	9.284	5.840	2.590	4.867	45.444	50.311
2032	100%	9.333	5.871	2.604	4.892	45.685	50.577
2033	100%	9.383	5.902	2.618	4.918	45.926	50.844
2034	100%	9.432	5.933	2.632	4.944	46.167	51.111
2035	100%	9.481	5.964	2.645	4.970	46.408	51.377
2036	100%	9.530	5.995	2.659	4.995	46.648	51.644
2037	100%	9.580	6.026	2.673	5.021	46.889	51.911
2038	100%	9.629	6.056	2.686	5.047	47.130	52.177
2039	100%	9.678	6.087	2.700	5.073	47.371	52.444
TOTAL		272.193	171.210	75.942	142.675	1.332.314	1.474.989

7.4.2 Cenário ENVAC

As tabelas Tabela 34 e Tabela 35 representam o fluxo de caixa no cenário ENVAC. Os valores apresentados foram calculados conforme exposto abaixo:

Total de Viagens necessárias para recolher RSU

$$TV = \frac{\text{Volume de Recicláveis}}{\text{Capacidade do caminhão de Recicl.}} + \frac{\text{Volume de Orgânicos}}{\text{Capacidade do caminhão de Orgânicos.}}$$

Ver Tabela 24. Estimativa da quantidade de resíduos gerada para as modalidades A e B.

Economia em Créditos Carbono

A economia é dada pela distância comprovada que deixa de ser percorrida em comparação com a operação Coleta Seletiva Convencional (na qual não há instalação da tecnologia a vácuo), e a quantidade em quilogramas de carbono não emitida pelos caminhões relativa à tal distância (Tabela 33).

Tabela 33. Parâmetros de Estimativa da Economia Credito Carbono⁷⁰

Parâmetros de Estimativa da Economia Credito Carbono	
Gerais	
Fator de emissão de CO2 para veículos pesados a diesel:	1240 g/km
Preço médio do crédito carbono	7,34 U\$
Cambio	1,8 BRL/USD
Percurso economizado = Percurso do caminhão no empreendimento	5,62 km

Dos valores da Tabela 33:

$$\text{Economia em Créditos Carbono} = \text{Percurso Economizado} * \frac{FE}{1000} * PMcc * TV$$

Economia de custos relacionados à poluição

Considera as variáveis propostas por Macnikght e Young, explicadas no item 2.2.8:

$$\text{Quantidade de litros de diesel economizada (QLDE)} = \frac{\text{Percurso economizado} \times \text{No. de Viagens}}{\text{Rendimento do caminhão} \left(\frac{\text{km}}{\text{l}}\right)};$$

$$\Delta C = QLDE \times \frac{CPEO}{CDOU_{sp}};$$

A economia de custos com internações e dias perdidos pode ser calculada conforme explicado no item 2.2.8. Observa-se que a ordem de grandeza da economia com tais itens é pouco significativa se comparada a economia em créditos carbonos (menor que 1%).

Fluxo de Caixa

Soma de todos os custos apresentados acima para o corrente cenário.

Tabela 34. Fluxo de Caixa do Cenário ENVAC, Modalidade A⁷¹

CENÁRIO ENVAC (custos em BRL)							MODALIDADE A
Ano	Total de Viagens Necessárias para Recolher RSU (Orgânico + Recicláveis)	ΔC	Custo de Operação da rede a vácuo	Economia em créditos carbono (Km não percorridos)	Economia de custo com internações causadas pela poluição	Economia de custos com dias perdidos em função da poluição	Fluxo de Caixa (Valores na Base 0)
2009	350	2,39E-06	77.598	-32.225	0	-199	45.175
2010	402	2,74E-06	89.216	-37.013	0	-228	51.975
2011	455	3,10E-06	100.967	-41.893	0	-258	58.816
2012	508	3,47E-06	112.850	-46.772	0	-288	65.789
2013	511	3,49E-06	113.515	-47.049	0	-290	66.176
2014	514	3,51E-06	114.181	-47.325	0	-292	66.564

⁷⁰ Baseado nos resultado apresentados na Tabela 25

⁷¹ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

2015	517	3,53E-06	114.846	-47.601	0	-293	66.951
2016	520	3,55E-06	115.511	-47.877	0	-295	67.338
2017	523	3,57E-06	116.176	-48.154	0	-297	67.725
2018	526	3,59E-06	116.841	-48.430	0	-298	68.113
2019	529	3,61E-06	117.506	-48.706	0	-300	68.500
2020	532	3,63E-06	118.171	-48.982	0	-302	68.887
2021	535	3,65E-06	118.836	-49.258	0	-303	69.274
2022	538	3,67E-06	119.502	-49.535	0	-305	69.661
2023	541	3,69E-06	120.167	-49.811	0	-307	70.049
2024	544	3,71E-06	120.832	-50.087	0	-309	70.436
2025	547	3,73E-06	121.497	-50.363	0	-310	70.823
2026	550	3,75E-06	122.162	-50.639	0	-312	71.210
2027	553	3,77E-06	122.827	-50.916	0	-314	71.597
2028	556	3,79E-06	123.492	-51.192	0	-315	71.985
2029	559	3,81E-06	124.157	-51.468	0	-317	72.372
2030	562	3,83E-06	124.823	-51.744	0	-319	72.759
2031	565	3,85E-06	125.488	-52.021	0	-320	73.146
2032	568	3,88E-06	126.153	-52.297	0	-322	73.533
2033	571	3,90E-06	126.818	-52.573	0	-324	73.921
2034	574	3,92E-06	127.483	-52.849	0	-326	74.308
2035	577	3,94E-06	128.148	-53.125	0	-327	74.695
2036	580	3,96E-06	128.813	-53.402	0	-329	75.082
2037	583	3,98E-06	129.478	-53.678	0	-331	75.470
2038	586	4,00E-06	130.144	-53.954	0	-332	75.857
2039	589	4,02E-06	130.809	-54.230	0	-334	76.244

Tabela 35. Fluxo de Caixa do Cenário ENVAC, Modalidade B⁷²

CENÁRIO ENVAC (custos em BRL)							MODALIDADE B
Ano	Total de Viagens Necessárias para Recolher RSU (Orgânico + Recicláveis)	ΔC	Custo de Operação da rede a vácuo	Economia em créditos carbono (Km não percorridos)	Economia de custo com internações causadas pela poluição	Economia de custos com dias perdidos em função da poluição	Fluxo de Caixa (Valores na Base 0)
2009	1.292	9,E-06	287.058	-118.957	-1	-733	167.367
2010	1.485	1,E-05	330.035	-136.727	-1	-842	192.465
2011	1.681	1,E-05	373.503	-154.773	-1	-953	217.776
2012	1.878	1,E-05	417.464	-172.911	-2	-1.065	243.487
2013	1.889	1,E-05	419.925	-173.924	-2	-1.071	244.928
2014	1.900	1,E-05	422.385	-174.936	-2	-1.078	246.370
2015	1.912	1,E-05	424.846	-176.041	-2	-1.084	247.719
2016	1.923	1,E-05	427.306	-177.054	-2	-1.091	249.160
2017	1.934	1,E-05	429.767	-178.067	-2	-1.097	250.601
2018	1.945	1,E-05	432.227	-179.080	-2	-1.103	252.043
2019	1.956	1,E-05	434.688	-180.092	-2	-1.109	253.484
2020	1.967	1,E-05	437.148	-181.105	-2	-1.116	254.926
2021	1.978	1,E-05	439.609	-182.118	-2	-1.122	256.367
2022	1.989	1,E-05	442.069	-183.131	-2	-1.128	257.809
2023	2.000	1,E-05	444.530	-184.144	-2	-1.134	259.250
2024	2.011	1,E-05	446.990	-185.156	-2	-1.141	260.692
2025	2.022	1,E-05	449.451	-186.169	-2	-1.147	262.133
2026	2.033	1,E-05	451.911	-187.182	-2	-1.153	263.575
2027	2.044	1,E-05	454.372	-188.195	-2	-1.159	265.016
2028	2.055	1,E-05	456.832	-189.208	-2	-1.165	266.457
2029	2.066	1,E-05	459.293	-190.220	-2	-1.172	267.899
2030	2.078	1,E-05	461.753	-191.325	-2	-1.179	269.248
2031	2.089	1,E-05	464.214	-192.338	-2	-1.185	270.689

⁷² Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

2032	2.100	1,E-05	466.674	-193.351	-2	-1.191	272.131
2033	2.111	1,E-05	469.135	-194.364	-2	-1.197	273.572
2034	2.122	1,E-05	471.595	-195.376	-2	-1.203	275.014
2035	2.133	1,E-05	474.056	-196.389	-2	-1.210	276.455
2036	2.144	1,E-05	476.516	-197.402	-2	-1.216	277.897
2037	2.155	1,E-05	478.977	-198.415	-2	-1.222	279.338
2038	2.166	1,E-05	481.437	-199.427	-2	-1.228	280.779
2039	2.177	1,E-05	483.898	-200.440	-2	-1.235	282.221

7.4.3 Cenário Coleta Seletiva Convencional

Considerou-se as seguintes variáveis:

Tamanho da Frota

Determinado pela equação:

$$\text{Tamanho da Frota} = \frac{\text{Volume de lixo reciclável gerado por dia}}{\text{Capacidade do Caminhão Reciclável}} + \frac{\text{Volume de lixo Orgânico gerado por dia}}{\text{Capacidade do Caminhão Orgânico}};$$

Tal que ambos fatores devem ser arredondados para cima para o inteiro mais próximo.

Veículos Novos

Estabelece a quantidade de caminhões coletores novos que devem ser adquiridos para continuar a operação de coleta seletiva com desempenho desejável. No Anexo C podem ser encontrados mais detalhes sobre os estudos de custos relacionados ao caminhão tipo escolhido.

$$VN = \text{Frota}_{\text{ano } i} - \text{Frota}_{\text{ano } i-1} ; \text{ para anos 1 a 5 operacional}$$

$VN = \text{Frota}_{\text{ano } i} - \text{Frota}_{\text{ano } i-1} + \text{Frota}_{\text{ano } i-5}$; a partir do ano 6 operacional. Essa equação considera a renovação da frota a cada 5 anos.

Número de veículos vendidos após vida útil

A vida útil dos caminhões de coleta foi considerada em 5 anos (ver Anexo C). Logo, os veículos adquiridos no início do ano (i) serão vendidos no início do ano (i + 6) com valor residual de 50%.

$$VV. = 0; \text{ para os anos 1 a 5 operacional}$$

$$VV. = VN_{i-6} ; \text{ a partir do ano 6 operacional}$$

Custo da Frota (Aquisição de veículos novos - Venda dos usados)

Calcula o custo de aquisição de veículos novos e da renovação da frota a cada 5 anos:

$$C. \text{ Frota} = VN * \text{Custo de um caminhão novo} - VV.* \text{Valor Residual do Caminhão (50\%)}$$

Custo de Coleta (Viagens dentro do empreendimento)

Define, a partir da quilometragem rodada pelos caminhões dentro do empreendimento, os custos dos veículos e pessoal empregado na coleta seletiva.

$$CC = TV * \text{Percurso dentro do Empreendimento} * \text{Custo total por km rodado};$$

Fluxo de Caixa

Soma de todos os custos apresentados acima para o corrente cenário.

Tabela 36. Fluxo de Caixa do Cenário Coleta Seletiva Convencional, Modalidade A⁷³

CENÁRIO COLETA SELETIVA CONVENCIONAL(custos em BRL)						MODALIDADE A
Ano	Tamanho da Frota	Veículos Novos	Venda dos veículos após vida útil	Custo da Frota (Aquisição de veículos novos - Venda dos usados)	Custo de Coleta (Viagens dentro do empreendimento)	Fluxo de Caixa Operacional (Valores na Base 0)
2009	3	3		360.000	12.556	372.556
2010	3	0		0	14.421	14.421
2011	3	0		0	16.323	16.323
2012	3	0		0	18.224	18.224
2013	3	0		0	18.331	18.331
2014	3	3	3	180.000	18.439	198.439
2015	3	0	0	0	18.547	18.547
2016	3	0	0	0	18.654	18.654
2017	3	0	0	0	18.762	18.762
2018	3	0	0	0	18.870	18.870
2019	3	3	3	180.000	18.977	198.977
2020	3	0	0	0	19.085	19.085
2021	3	0	0	0	19.192	19.192
2022	3	0	0	0	19.300	19.300
2023	3	0	0	0	19.408	19.408
2024	3	3	3	180.000	19.515	199.515
2025	3	0	0	0	19.623	19.623
2026	3	0	0	0	19.731	19.731
2027	3	0	0	0	19.838	19.838
2028	3	0	0	0	19.946	19.946
2029	3	3	3	180.000	20.053	200.053
2030	3	0	0	0	20.161	20.161
2031	3	0	0	0	20.269	20.269
2032	3	0	0	0	20.376	20.376
2033	3	0	0	0	20.484	20.484
2034	3	3	3	180.000	20.592	200.592
2035	3	0	0	0	20.699	20.699
2036	3	0	0	0	20.807	20.807
2037	3	0	0	0	20.914	20.914
2038	3	0	0	0	21.022	21.022
2039	3	3	3	180.000	21.130	201.130

⁷³ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

Tabela 37. Fluxo de Caixa do Cenário Contêiner, Modalidade B⁷⁴

CENÁRIO COLETA SELETIVA CONVENCIONAL(custos em BRL)						MODALIDADE B
Ano	Tamanho da Frota	Veículos Novos	Venda dos veículos após vida útil	Custo da Frota (Aquisição de veículos novos - Venda dos usados)	Custo de Coleta	Fluxo de Caixa (Valores na Base 0)
2009	6	6		720.000	46.349	766.349
2010	6	0		0	53.273	53.273
2011	7	1		120.000	60.304	180.304
2012	8	1		120.000	67.371	187.371
2013	8	0		0	67.766	67.766
2014	8	6	6	360.000	68.160	428.160
2015	8	0	0	0	68.591	68.591
2016	8	1	1	60.000	68.985	128.985
2017	8	1	1	60.000	69.380	129.380
2018	8	0	0	0	69.774	69.774
2019	8	6	6	360.000	70.169	430.169
2020	8	0	0	0	70.564	70.564
2021	8	1	1	60.000	70.958	130.958
2022	8	1	1	60.000	71.353	131.353
2023	8	0	0	0	71.748	71.748
2024	8	6	6	360.000	72.142	432.142
2025	9	1	1	60.000	72.537	132.537
2026	9	1	1	60.000	72.931	132.931
2027	9	1	1	60.000	73.326	133.326
2028	9	0	0	0	73.721	73.721
2029	9	6	6	360.000	74.115	434.115
2030	9	1	1	60.000	74.546	134.546
2031	9	1	1	60.000	74.940	134.940
2032	10	2	2	120.000	75.335	195.335
2033	10	0	0	0	75.730	75.730
2034	10	6	6	360.000	76.124	436.124
2035	10	1	1	60.000	76.519	136.519
2036	10	1	1	60.000	76.913	136.913
2037	10	2	2	120.000	77.308	197.308
2038	10	0	0	0	77.703	77.703
2039	10	6	6	360.000	78.097	438.097

⁷⁴ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

8. Conclusão

Ressalta-se que na modalidade A adotou-se um padrão de geração de resíduos estabelecido em função do número de residências equivalentes, à taxa de 2 quilogramas de lixo por dia para cada residência equivalente. Na modalidade B, foi estimada a população conforme explicado no item 0 e aplicada a taxa de geração de resíduos de 1,5 quilogramas por dia por habitante sobre a mesma. (Tabelas 23 e 24)

Conhecidos os fluxos de caixa para cada modalidade e cenário apresentado, foi calculado o Valor Present Líquido (VPL) da implantação de operação de cada alternativa. Esse valor foi dividido pelo número total de toneladas geridas ao longo dos 30 anos de operação da rede com objetivo de obter um valor de custo em BRL por tonelada. Os resultados estão expostos na

OPÇÃO		IMPLANTAÇÃO	OPERACIONAL	
Modalidade	Item	ENVAC	ENVAC	Coleta Seletiva Convencional
A	VPL	25.440.163,9	921.747,1	1.009.727,7
A	BRL/ton.	345,7	12,5	13,7
B	VPL	25.440.163,9	3.411.633,4	2.947.919,4
B	BRL/ton.	345,7	12,5	10,8

38.

Tabela 38. Comparativo entre dos VPLs dos cenários e modalidades apresentadas, e valores de custo em BRL/ton.⁷⁵

OPÇÃO		IMPLANTAÇÃO	OPERACIONAL	
Modalidade	Item	ENVAC	ENVAC	Coleta Seletiva Convencional
A	VPL	25.440.163,9	921.747,1	1.009.727,7
A	BRL/ton.	345,7	12,5	13,7
B	VPL	25.440.163,9	3.411.633,4	2.947.919,4
B	BRL/ton.	345,7	12,5	10,8

Para melhor análise comparativa entre tecnologias desafiante e desafiada, foram separados os custos operacionais e de implantação da tecnologia a vácuo. Os custos de implantação da coleta seletiva são muito difíceis de se mensurar (como horas de funcionalismo público gastas com aprovações burocrática e elaboração de projetos), e portanto não foram levantados.

⁷⁵ Fonte: Elaborado pelo autor, 2012

Operacionalmente, como se pode observar na Tabela 38

OPÇÃO		IMPLANTAÇÃO	OPERACIONAL	
Modalidade	Item	ENVAC	ENVAC	Coleta Seletiva Convencional
A	VPL	25.440.163,9	921.747,1	1.009.727,7
A	BRL/ton.	345,7	12,5	13,7
B	VPL	25.440.163,9	3.411.633,4	2.947.919,4
B	BRL/ton.	345,7	12,5	10,8

, na modalidade A o custo unitário por tonelada de resíduo manejado para o sistema a vácuo é levemente inferior ao da Coleta Seletiva Convencional. Na modalidade B, ocorre o inverso. Operacionalmente, ambas tecnologias são portanto comparáveis.

Vale observar que na modelagem financeira do cenário ENVAC foi considerada a economia com créditos carbono. Como se pode observar nas Tabela 34 e Tabela 35, uma parcela significativa do fluxo de caixa é abatido dessa economia, o que diminui significativamente o valor presente do fluxo e consequentemente, do custo em reais por tonelada.

Porém, se somados os custos unitários por tonelada de operação e implantação da rede a vácuo, alcança-se o valor de R\$ 358,20 por tonelada. Neste ponto, torna-se difícil a comparação do custo unitário por tonelada da rede a vácuo com os custos da coleta seletiva convencional.

Tem-se o custo de 367,2⁷⁶ reais por tonelada (conforme apresentado no item 2.2.3) relativo à operação de coleta seletiva para fins de comparação da ordem de grandeza. Contudo, o valor de R\$ 367,2 por tonelada é uma média obtida por dados fornecidos por diferentes cidades brasileiras (as 443 cidades mencionadas no item 2.2.3) que se utilizaram de critérios diferentes para elaborar suas planilhas de composição de custos.

Podem fazer parte da composição desses valores processos relacionados à gestão de resíduos sólidos como por exemplo:

- > Custo médio de Triagem
- > Custo com reparos da rede (em função de vandalismo)
- > Preço médio de comercialização do material reciclável
- > Campanha educativa
- > Marketing
- > Custo da coleta e transporte

⁷⁶ CICLOSOFT, CEMPRES (Compromisso Empresarial para Reciclagem) 2010

Em função dos aspectos anteriormente apresentados, é difícil estabelecer a relação direta desse valor com o custo obtido para tecnologia desafiante, o sistema a vácuo. Há processos que são comuns aos dois cenários (ENVAC e Coleta Seletiva Convencional), como por exemplo a destinação dos resíduos às cooperativas de reciclagem, a estruturação das cooperativas e aquisição de equipamentos para as mesmas, os gastos com marketing e educação da população, dentre outros. Neste valor de 367,2 reais por tonelada, podem ser que os custos de tais processamentos estejam incorporados, e seria necessário desmembrá-los para poder analisar com maior propriedade os valores relacionados a cada tecnologia. Como não foi encontrada a composição de tais custos no endereço eletrônico do CEMPRE, tal análise não foi feita.

Desse processos, o único ponto divergente quanto à operação pela tecnologia a vácuo é o custo de coleta e transporte. Os demais processos necessitariam de implementação tanto no cenário da tecnologia desafiante como desafiada, e portanto custariam igualmente a ambos. Isso implica que, além do valor de R\$ 358,20 por tonelada obtidos pela tecnologia desafiante, que são relativos singularmente à implantação e operação da rede que cumpre o processo de coleta e transporte, haveria adição de custos relacionados aos demais processos de toda a gestão operacional do sistema de coleta seletiva, fazendo com que a mesma provavelmente custe mais caro que o sistema convencional de coleta seletiva.

Por outro lado, o valor de R\$ 367,20 corresponde a uma média nacional. E tal valor pode sofrer bruscas variações de acordo com o local em que é implantado. Em São Bernardo do Campo, no ABC paulista por exemplo, foi mensurado o valor de USD 574,6 por tonelada manejada para a operação de coleta seletiva, o que corresponde à 1036,08 reais por tonelada. Neste caso, há maior margem de participação para a competitividade do sistema de coleta a vácuo, posto que a realidade de São Paulo é próxima a de São Bernardo do Campo.

Conclui-se, portanto, que é necessário estudo mais aprofundado, considerados valores locais relativos à cidade de São Paulo para averiguar a viabilidade econômico-financeira de implantação da tecnologia a vácuo, e que essa é diretamente influenciada pela localidade de implantação.

Economicamente, o sistema a vácuo pode ser viável. A diferença entre os termos se dá no fato que, em uma análise econômica, são considerados benefícios indiretos à população de forma mais abrangente (como melhoria da qualidade do ar e da qualidade de vida da população residente), enquanto em uma análise financeira considera-se apenas os custos diretos relacionados à implantação e operação do sistema.

Coloca-se portanto, que é essencial a consideração dos benefícios urbanos indiretos quando estudada a tecnologia proposta, assim como a compreensão em escala macro de seu potencial. Portanto, para usufruir de tal tecnologia, o Brasil precisa investir no aprimoramento de seu sistema de gerenciamento de resíduos sólidos como um todo, do uso de produtos à sua destinação final, com separação e tratamento adequado aos mais diferentes tipos.

Há fatores que, se considerados em um estudo de viabilidade econômico-financeira, beneficiariam tanto a tecnologia a vácuo como a de coleta seletiva, e portanto não fariam diferença no estudo. Por exemplo, caso fosse possível contar com outras formas de destinação alternativa aos resíduos, como incineração, maior incentivo às usinas de compostagem e cooperativas de reciclagem, além da implantação de programas de logística reversa associada ao setor industrial, bem como a maior participação do poder público no fomento a tais alternativas.

Porém, se levados em conta benefícios como a redução de ruído dos caminhões, o tráfego menos intenso dos mesmos em áreas residenciais (o que preserva o pavimento e elimina custos de manutenção da estrutura viária), a qualidade de um espaço urbano mais agradável (cujas lixeiras não transbordem e os sacos de lixo não fiquem expostos por longos períodos às intempéries), a implantação do sistema a vácuo pode ser pensada sob uma perspectiva mais ambiental, e os benefícios que a mesma traria teriam proporções maiores. Além disso, há fatores como os subsídios hoje adicionados aos derivados de petróleo (diesel) e a não taxaço pela poluição gerada, que não são levados em conta na modelagem financeira dos sistemas tradicionais de coleta, mas que se custeados, poderiam tornara viável alternativas como o sistema de escoamento a vácuo.

9. Referências bibliográficas

9.1 Livros, monografias e teses:

BRINGHENTI, JR. **Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos: Aspectos Operacionais e da Participação da População**. São Paulo, 2004

CETESB, **Metodologia Simplificada De Cálculo Das Emissões De Gases Do Efeito Estufa De Frotas De Veículos No Brasil**, São Paulo

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado**. CEMPRE, São Paulo: 1ª. Edição, 1995.

INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT. **What a Waste: Solid waste management in Asia**. Washington DC. 1999

JACOBI, P. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo : desafios da sustentabilidade**. Estudos avançados, São Paulo, SP, v. 25, n. 71, jan./abr. 2011. p. 135-158. São Paulo, SP, 2011.

MAC KNIGHT, V. e YOUNG, C. E. F. **Custo da poluição gerada pelos ônibus na RMSP**, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro 2006.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. IBGE, Rio de Janeiro: 2002.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. IBGE, Rio de Janeiro: 2010.

MARINS, K. R. C. C. **Proposta metodológica para planejamento energético no desenvolvimento de áreas urbanas : o potencial da integração de estratégias e soluções em morfologia e mobilidade urbanas, edifícios, energia e meio ambiente : o caso da operação urbana Água Branca, no município de São Paulo**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Tese (Doutorado) São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, L. B. **Potencial De Aproveitamento Energético De Lixo E De Biodiesel De Insumos Residuais No Brasil**, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro 2004.

RUBERG, C. **A destinação dos resíduos sólidos domiciliares em megacidades: o caso de São Paulo**, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo: 2005.

SALDIVA, P. H. N. **A ciência contra os dramas da cidade : soluções para problemas como poluição ambiental, produção de lixo e habitação - questões que afetam os grandes centros urbanos no Brasil hoje - são sugeridas por pesquisas da Faculdade de Medicina e da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo** [Depoimento a Leila Kiyomura]. São Paulo, 2005.

SALDIVA, P. H. N. **Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in Sao Paulo, Brazil**. Washington, 1995.

SENGES, G. H. **Limpeza Urbana, Métodos e Sistemas**. INAM - Instituto Nacional de Assessoria aos Municípios: 1969, 1ª Edição.

SÃO PAULO (Governo do Estado), Secretaria do Meio Ambiente. **Resíduos Sólidos e Meio Ambiente**. São Paulo, 1993.

SÃO CARLOS (Prefeitura Municipal), FIPAI (Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial). **Projeto Básico do Aterro Sanitário e Estimativas de Custos para sua implantação**. São Carlos, 2008.

RUBERG, C. **Gerenciamento dos resíduos sólidos de São Paulo : em busca da sustentabilidade urbana**. São Paulo : NUTAU, 2004. Em CD ROM.

9.2 Eventos

II ENCONTRO INTERNACIONAL EM RESÍDUOS SÓLIDOS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS: EXPERIÊNCIAS EUROPEIAS NA GESTÃO DE RESÍDUOS, 2012, São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo- Universidade de São Paulo. Apresentação: Waste Reduction, Jessica Algehed, SP Technical Research Institute, Suécia

II ENCONTRO INTERNACIONAL EM RESÍDUOS SÓLIDOS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS: EXPERIÊNCIAS EUROPEIAS NA GESTÃO DE RESÍDUOS, 2012, São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo- Universidade de São Paulo. Debate: Ed Brown, Sustainability Research School da Loughborough University, Inglaterra

“ECONOMIA E PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES, 2010, São Paulo: Escola Politécnica. Disciplina de Graduação, ministrada por Prof. Dr. Cláudio Barbieri Cunha

MERCEDES, S. S. P., **Perfil De Geração De Resíduos Sólidos Domiciliares No Município De Belo Horizonte No Ano De 1995**, 19 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São

9.3 Filmes

ILHA DAS FLORES. Produção de Jorge Furtado, Documentário, Curta Metragem.1989. Disponível em <<http://www.youtube.com/watch?v=6Dp4ZAJRvCU>> Acessado em 09 abr 2012.

9.4 Sítios na Internet

ANFAVEA, **Proconve 7**. Disponível em: www.transportemundial.com.br

CARTA CAPITAL, **Gastos em SP com segurança caíram 27,6%**. disponível em <<http://www.cartacapital.com.br/sociedade/gastos-em-sp-com-seguranca-cairam-276/>>. Acesso em 28.06.2012

CEMPRE, Compromisso empresarial para reciclagem. <http://www.cempre.org.br/manuais.php>

CETESB. Ar: Emissão Veicular. acessado em 11/08/2005 disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/emissoes/introducao2.asp> (2005)

CICLOSOFT 2004, CEMPRE, http://www.cempre.org.br/ciclossoft_2010.php

COLOMBO, O. F. As possibilidades da evolução do uso do gás natural como combustível veicular no Brasil. ABGNV 2002. Acessado em 10/01/2006. Disponível em <www.gasenergia.com.br/portage/port/te/download/possibilidades_p1.pdf>

ENVAC, **FAQ Stationery Vacuum Systems**. Disponível em: <http://www.envacgroup.com/products_and_services/our_technology/faq_Estacionário_vacuum_systems> Acessado em 06 abr 2012.

EUROPEAN COMISSION, EUROSTAT. **Main Tables**. Disponível em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/national_accounts/data/main_tables>. Acesso em 28.06.2012

GLOBO, **São Paulo gera um terço dos resíduos do Brasil**. Disponível em <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-paulo-mais-limpa/noticia/2012/04/sp-gera-um-terco-dos-residuos-de-todo-o-brasil.html>> . Acesso em 28.06.2012

IBGE, **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/>> Acesso em 06 abr 2012.

IBGE, **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf> Acesso em 06 abr 2012.

IBGE, **Banco de Dados Agregados**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default.asp>> Acessado em 06 abr 2012.

LVOVSKY, Kseniya et. Al. (2000). Environmental Costs of Fossil Fuels. Paper nº 78 da Pollution Management Series. Banco Mundial. Acessado em 07/07/2005. Disponível em <http://lnweb18.worldbank.org/SAR/sa.nsf/Countries/India/729C363672AE053E85256C23007ACF62?OpenDocument>

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Sistema Único de Saúde. Morbidade Hospitalar do SUS - por local de internação - São Paulo. Acessado em 22/11/2005. Disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/misp.def>

MINISTÉRIO DO TRABALHO, **População economicamente ativa**, Disponível em <http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BA5F4B7012BA6A023CC4CD8/rmsp_negros_2009_anexo.pdf>. Acesso em 28.06.2012

NATIONMASTER, **Average Size of Households**. Disponível em <http://www.nationmaster.com/graph/peo_ave_siz_of_hou-people-average-size-of-households>. Acesso em 28.06.2012

REYNOL, F. **Lixo- consumo, descarte e riqueza**, CMQV, 2008. Disponível em <<http://www.cmqv.org/website/artigo.asp?cod=1461&idi=1&id=6824>> Acessado em 27 jun 2012.

SABESP, **Banco De Preços De Obras E Serviços De Engenharia**, Disponível em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/tabelas_de_custos/index.php?p=42861, acesso em 03/11/2012

SALDIVA, P. H. **Paulo Saldiva, médico especialista em poluição atmosférica**. Entrevistador: Augusto Nunes. São Paulo: VEJA-SP, 2012. Arquivo digital em meio eletrônico. Disponível em <<http://veja.abril.com.br/blog/augusto-nunes/videos-veja-entrevista/paulo-saldiva-medico-especialista-em-poluicao-atmosferica/>>. Acesso em 28.06.2012

SÃO PAULO (Prefeitura), **LIMPURB, Aterros e Transbordos** Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/limpurb/>>Acessado em 06 abr 2012.

UNECE DATABASE, **Economic Commission for Europe Statistical Division, Trends in Europe and North America**, Disponível em <<http://w3.unece.org/pxweb/>>2001 (UN Economic Commission for Europe, NY, 2001)

VOGABRASIL, **ABC produz 2,3 mil toneladas de resíduos por dia, mas só recicla 1%**. Disponível em <<http://www.vogabrasil.com.br/noticias.php?c=18>> . Acesso em 28.06.2012

9.5 Periódicos, Revistas e Artigos

SIEMACO, “**Conquistamos aumento salarial acima da inflação**”, São Paulo, Abril de 2010

IBGE- PNAD 2011, “**Pesquisa Nacional de Amostragem Domiciliar**”, Rio de Janeiro, 2011

SILVA, M. C. et al. “**Densidade Aparente De Resíduos Sólidos Recém Coletados**”, Fortaleza, 2010

9.2 Bibliografia Complementar

9.2.1 Livros, monografias e teses:

ANAIS DO I SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS; ASPECTOS INSTITUCIONAIS E DE PLANEJAMENTO. Brasília, SEMA/CNDU/OPS, 1982.

BARCIOTTE, M L. **Coleta Seletiva e minimização de resíduos sólidos urbanos: uma abordagem integradora**. São Paulo, 1994. Tese(Doutorado) – orientada por ROCHA, Aristides Almeida, FSP/USP.

GODOI, M O. **Origem e destino dos resíduos sólidos domiciliares em São Paulo**. São Carlos, 1997. Dissertação (Mestrado) – orientada por POVINELLI, J, EESC/USP.

JENKINS, R. R. **The Economics of Solid Waste Reduction: The impact of user fees**. Aldershot, Hants, England, Brookfield, Vt, USA: E. Elgar, 1993.

PHILIPPI JUNIOR, A. **Sistema de resíduos sólidos: coleta e transporte no meio urbano**. São Paulo, 1979. Dissertação (Mestrado) – orientada por OLIVEIRA, W E. FSP/USP.

PRADO, F. R. L., Aguiar, Edson Martins de. **Estudo de localização e número de aterros sanitários para uma determinada região, visando à utilização por meio de consórcio intermunicipal**. In: congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 9, São Carlos, 1990. Anais. São Carlos: EESC-USP.

SANTOS, J M R. **Coleta seletiva de lixo: uma alternativa ecológica no manejo integrado dos resíduos sólidos urbanos**. São Paulo, 1995. Dissertação (Mestrado) – orientada por Martins, Maria Therezinha, EP/USP.

SCHALCH, Valris, ALMEIDA LEITE, W. C., FANTINI JUNIOR, W, AGUIAR, Edson Martins de., FERNANDES JUNIOR, José Leomar. **Aterro sanitário: considerações sobre escolha do sítio, projeto, implantação, operação e monitoramento**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 7, Belo Horizonte, 1992. Anais. Belo horizonte: ABAS, 1992. EESC/USP.

VILAR, O M, MARQUES, A C M, FOLLONI, R. Geotechnical investigations in sanitary landfill. In: **International Conference on Solid Waste Technology and Management**, 12, Philadelphia, 1996. Proceedings. Chester: University of Pennsylvania, 1996. Session 4a. EESC/USP.

10. ANEXO A: PROJETO URBANO

11. ANEXO B: PROJETO DA REDE A VÁCUO

12. ANEXO C: ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA