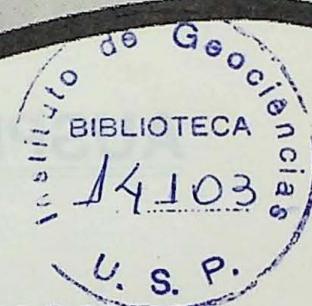


# 4º CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA

DEDALUS - Acervo - IGC



30900001332



Montevideo - Uruguay  
16 al 20 de noviembre de 1998

## CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR RESÍDUOS SÓLIDOS – ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Seiju Hassuda (1), Aldo da Cunha Rebouças (2), Rodrigo César de Araújo Cunha (3)  
e Andreas Marker (4)

(1) Waterloo Hydrogeologic do Brasil; (2) Instituto de Geociências/USP; (3)  
Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (4) Gesellschaft Für  
Technische Zusammenarbeit

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal estabelecer critérios para a gestão de áreas de disposição de resíduos sólidos. Ele visou também fornecer à comunidade técnico-científica um método de estudo e pesquisa dirigida à questão de áreas suspeitas e contaminadas por resíduos sólidos.

O trabalho encontra-se dividido em duas partes, na primeira apresenta-se o modelo e a metodologia tanto para a avaliação de áreas contaminadas como para os locais de disposição de resíduos sólidos. Na segunda parte, as metodologias estão aplicadas para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Com os estudos realizados definiram-se basicamente duas linhas de ação, a primeira, visando a preservação da saúde e vida da população que residem no local e nas adjacências dos locais de disposição e, a segunda, objetivando a proteção dos recursos naturais da RMSP.

### ABSTRACT

The main objective of this paper is to establish criteria for management of solid waste disposal areas. It also aimed to provide the technical-scientific community with a method of study and research directed to the issue of suspect and contaminated areas by solid waste.

The text is divided in two parts: in the first, the model and methodology to evaluate not only contaminated areas but also sites of solid waste disposal are presented. In the second part, the methodologies are applied at a regional level to the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP).

With the studies, basically two lines of action were defined; the first, aiming the preservation of the health and life of the population living in the disposal areas or nearby, and second, the protection of natural resources in the RMSP.

## INTRODUÇÃO

A vida humana encontra-se presente sobre a face da Terra há milhões de anos numa complexa relação entre meio físico e biótico. No último século com o advento da revolução industrial, o ser humano tem manipulado milhares de substâncias, naturais ou sintéticas, muitas vezes de forma inadequada, trazendo danos significativos ao meio ambiente e à própria qualidade de vida.

Nos países desenvolvidos, as ações preventivas e corretivas vem sendo tomadas isoladamente há mais de 30 anos em relação à degradação do meio ambiente. Por outro lado, nos países em desenvolvimento em função da falta de recursos financeiros pouco tem sido feito para conservar e preservar o meio ambiente.

Na "Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento-ECO 92", realizada no Rio de Janeiro, em 1992, foi traçada uma estratégia internacional conjunta, onde a tese básica definida foi a de que os recursos naturais devem ser a base do desenvolvimento econômico e que, portanto, a proteção ambiental e o desenvolvimento econômico devem ser considerados em conjunto (ANDRADE, 1996). Por outro lado, no evento realizado em março de 1997, na cidade de Rio de Janeiro (Brasil), denominado Rio+5, chegou-se à conclusão de que os países que participaram na ECO-92 não conseguiram cumprir grande parte das metas previstas no acordo traçado há seis anos atrás.

Levando em consideração o contexto acima mencionado, o intuito deste trabalho é apresentar critérios para a gestão de áreas de disposição de resíduos sólidos. Vale ressaltar que as informações apresentadas neste trabalho encontram-se discutidas de uma forma mais extensa e detalhada em HASSUDA (1997). Todos os dados do trabalho tiveram origem no projeto denominado "Recuperação do solo e das águas subterrâneas em áreas de disposição de resíduos industriais", patrocinado pela Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ) da Alemanha e executado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) com colaboração do Instituto Geológico.

## PROBLEMÁTICA MUNDIAL SOBRE DESTINO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A geração de resíduos sólidos domésticos tem crescido numa relação diretamente proporcional ao crescimento da população mundial. Associado a isso, a mudança dos hábitos de consumo da sociedade atual tem conduzido à geração de produtos descartáveis e de bens com curto tempo de vida útil, como decorrência, a natureza e a quantidade de resíduo doméstico tem mudado drásticamente nas últimas décadas.

Até o início da década de 70, um cidadão comum preocupava-se com o lixo até o momento em que o caminhão de coleta o removia de sua residência. Em vários países esta visão tem se modificado. Muitas pessoas tem questionado o destino e os efeitos que o lixo pode causar ao meio ambiente.

Na década de 80, muitas entidades de pesquisa e controle ambiental produziram relatórios e publicações sobre efeitos a curto e a longo prazo, causados pela prática de disposição de resíduos no solo efetuada no passado (BROWNELL et al, 1982; BULL et al, 1983; CUMINS, 1981; GRAHAM, 1981; POHLAND, 1980). Atualmente, o assunto "disposição de resíduos sólidos" tem despertado interesse político em todas as esferas do poder quais sejam, municipal, estadual, internacional, além de interesse científico e da preocupação social.

Nos últimos 10 a 15 anos em muitos países desenvolvidos, uma legislação referente à disposição de resíduos sólidos tem se desenvolvido e profissionais da área ambiental têm contribuído com a elaboração de padrões e normas (CETESB, 1998). Em alguns países, a legislação tem requerido um planejamento do gerenciamento da disposição dos resíduos sólidos.

Na Tabela 1 encontra-se apresentada a geração per capita de resíduo doméstico em 11 países da Europa, 2 países da América do Norte e da América do Sul, da Ásia e da África (1 país de cada continente). De uma forma genérica, observa-se que, quanto mais desenvolvido economicamente o país, maior é a geração per capita. O valor médio obtido situa-se em torno de 1 kg/pessoa/dia e a população do Brasil apresenta uma valor menor que 0,6 kg/pessoa/dia. Na mesma tabela, observa-se que as categorias de papel e de matéria orgânica somam a maior parte da composição do resíduo doméstico na maioria dos países. A média da somatória é de 63,77%, portanto juntas representam mais da metade da composição total do resíduo. Além destes, materiais como vidros, plásticos e metais possuem uma importância secundária na composição do resíduo. No caso específico da composição do resíduo doméstico do Brasil a matéria orgânica possui sozinha valor de 64,4%, enquanto que a média é de 33,2%, portanto um valor bastante superior ao dos outros países.

Ainda, na Tabela 1 está apresentada o resumo do destino final de resíduo doméstico em vários países. A disposição em aterros sanitários é pouco utilizada no Japão e Suiça, e muito utilizada na Finlândia, Canadá e Polônia (acima de 95%). O Japão lidera, com valor de 68%, no uso da tecnologia de incineração de resíduos como resultado da baixa disponibilidade de uso do solo para os fins em discussão. Neste contexto, observa-se uma diferença clara acerca do destino final dos resíduos no Brasil em relação aos países desenvolvidos. Enquanto países desenvolvidos, como exemplificado acima, estão investindo na recuperação e incineração, o Brasil possui um quadro alarmante onde 99% do resíduo gerado é disposto sobre o solo. Deste montante, cerca de 76% é disposto a céu aberto e 13% em aterro controlado (IPT, 1994).

No Brasil, a questão dos resíduos sólidos domésticos tem despertado muita discussão e polêmica tanto no meio técnico-científico, nas universidades e instituições de pesquisa, quanto nos órgãos públicos responsáveis pela regulamentação e controle, não havendo consenso entre as partes envolvidas e/ou interessadas. Os esforços têm sido concentrados na situação atual cuja problemática reside na adequação do local onde os resíduos devem ser dispostos e qual a melhor maneira de fazê-lo do ponto de vista ambiental. Todavia a questão das áreas já existentes, desativadas ou não, que muitas vezes foram mal construídas ou operadas, tem sido pouco abordada havendo uma carência de propostas sobre a destinação a ser dada para tais áreas.

Além disso, vale ressaltar que existem muitos locais desativados, onde existiram antigos lixões. Nestes, o controle de recebimento de resíduo foi menor e geralmente os resíduos industriais e domésticos encontram-se misturados. Portanto, a contaminação dos recursos hídricos torna-se patente, e ainda, o risco à saúde da população que reside nas circunvizinhanças destas áreas é bastante preocupante. Neste cenário, a Região Metropolitana de São Paulo possui 116 lixões e aterros sanitários, onde o diagnóstico sobre o efeito que estas áreas de disposição de resíduos tem sobre os recursos hídricos e a saúde pública é extremamente modesto. Na realidade existem vários trabalhos desenvolvidos pelas universidades, órgãos do governo e empresas privadas.

Contudo, esses trabalhos normalmente possuem caráter específico, tanto em área física como também no aspecto da abordagem técnico-científica, dificultando uma visão global do problema. Consequentemente, através dos estudos existentes não é possível realizar um gerenciamento global adequado das áreas de disposição.

Neste contexto, alguns dos países citados acima possuem um programa de gestão de áreas contaminadas, onde a questão das áreas de disposição de resíduos sólidos encontram-se inclusas. Por exemplo, o Estado de Baden-Württemberg, na Alemanha, através da sua agência de meio ambiente, possue um programa onde foram levantados sistematicamente 6.500 locais, dos quais 1.200 localizam-se em áreas de mananciais de abastecimento público ou em zonas que futuramente serão aproveitadas como mananciais de abastecimento público (MUBW, 1988).

No Canadá, em função do aumento do grau de consciência e de preocupação da população em relação ao risco à saúde e ao meio ambiente causado por áreas contaminadas, o Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente (Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME) iniciou o Programa Nacional de Remediação de Áreas Contaminadas (National Contaminated Sites Remediation Program – NCSR) para a avaliação e a remediação das áreas contaminadas de alto risco existentes naquele país. Com o intuito de elaborar uma avaliação consistente das áreas contaminadas, o CCME requisitou à comunidade técnico-científica daquele país o desenvolvimento do Sistema Nacional de Classificação de Áreas Contaminadas (National Classification System for Contaminated Sites).

Nos EUA, a Agência de Proteção Ambiental Americana (U.S. Environmental Protection Agency-USEPA), criou em 1992, o sistema de classificação denominado The Hazard Ranking System (HRS), que permitiu a elaboração da lista nacional de áreas prioritárias (National Priorities List-NPL). O HRS é uma ferramenta que permite a filtragem e a priorização na avaliação das várias áreas com potencial de liberação de substâncias nocivas que causam danos à saúde humana e ao meio ambiente. O HRS permite uma medida de risco relativo, ao contrário de outras formas de avaliação, nas quais o risco absoluto é obtido. A medida do risco relativo pode ser consistentemente aplicada para uma grande variedade de áreas contaminadas, inclusive lixões e aterros sanitários.

No Brasil, ainda não existe um sistema municipal, estadual ou federal de classificação de áreas contaminadas de forma a priorizar as áreas críticas como existe na América do Norte ou na Europa. O trabalho aqui apresentado procura preencher esta lacuna existente no país.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O Sistema de Gerenciamento de Áreas Contaminadas apresentado neste trabalho baseia-se no sistema adotado pelo Estado de Nordheim-Westphalen (Alemanha) mas, caracteriza-se por permitir considerar um universo maior de atividades. Enquanto o sistema alemão considera apenas locais de disposição de resíduos e indústrias desativadas, o sistema apresentado neste trabalho amplia os tipos de atividades consideradas, permitindo também avaliar áreas industriais ativas, áreas comerciais, postos de serviços e outros (acidentes e áreas agrícolas).

O fato que diferencia a Alemanha do Brasil, ou ainda do nosso continente, é o período de existência do país. Assim, na Alemanha, as antigas áreas de disposição de resíduos e indústrias são, em número, muito maiores e complexas em relação ao nosso continente. Além disso, as informações sobre a atividade de interesse como projeto, controle, matéria prima, resíduo e/ou registros históricos não encontram-se

sistematizados e disponíveis como na Alemanha. Na prática, as áreas potenciais, suspeitas e contaminadas são problemas ambientais complexos que precisam ser estudados, de uma forma rápida e criteriosa, devido ao seu significado intrínseco para a proteção dos recursos naturais e da saúde pública no país. Apesar de cada caso apresentar particularidades e complexidades próprios, o sistema de gerenciamento a ser aplicado nestas áreas requer um procedimento uniforme, mesmo quando se considera um pequeno volume de informações disponíveis. Assim, o intuito básico do sistema de gerenciamento é permitir uma apreciação ampla e uniforme do potencial de risco de contaminação dos recursos naturais e saúde pública nas áreas em questão, e ainda, possibilitar o ordenamento e priorização de ações e/ou medidas de prevenção, controle e remediação.

Os termos mais importantes dentro da concepção do gerenciamento de áreas contaminadas neste trabalho são: área potencial, área suspeita e área contaminada.

A área potencial pode ser definida como uma atividade ou local que pode vir a alterar a qualidade dos recursos ambientais, acima dos padrões definidos em lei. Dessa forma, conceitualmente, ela não significa obrigatoriamente que esteja causando dano ao recurso ambiental no momento. Quando a atividade ou o local for considerado como área potencial significa que, em função do manuseio de produtos perigosos e/ou geração de efluentes/resíduos tóxicos podem ocorrer acidentes, vazamentos, ou outras formas de transferências de substâncias nocivas aos recursos naturais.

A área suspeita é uma atividade ou local que previamente foi considerada como área potencial. A diferença entre uma área potencial e suspeita está na forma de avaliação do risco potencial de contaminação. Na área potencial, o risco é inerente apenas ao tipo de atividade, considerando-se as substâncias nocivas associadas. Para a classificação das áreas suspeitas, além dos riscos associados à atividade, é avaliado o risco associado aos bens a proteger, considerando desde sua existência e vulnerabilidade à contaminação através dos meios de propagação ar, solo água superficial e água subterrânea.

A área contaminada é uma atividade ou local que previamente foi considerada como área suspeita e potencial. O mesmo procedimento adotado nas duas áreas anteriores também é empregado neste caso, ocorrendo uma classificação e priorização para reduzir o universo numérico de uma área para a outra. O instrumento utilizado para a priorização é uma investigação rápida no campo que permite comprovar cientificamente a contaminação do recurso ambiental. Neste caso, a classificação das áreas suspeitas, em termos de maior ou menor perigo aos bens a proteger, vem nortear os estudos para comprovação da existência ou não de contaminação. No caso dos recursos hídricos subterrâneos, o instrumento pode ser, por exemplo, uma investigação geofísica em terrenos onde a contaminação é por compostos inorgânicos, ou ainda, a utilização de "soil gas survey" para compostos orgânicos voláteis, ou também, para casos extremos, uma coleta simples de amostra de solo ou água subterrânea seguida de análise química.

Assim, no gerenciamento de áreas contaminadas, a estratégia básica é reduzir, através da utilização de metodologia racional e científica, o grande universo de áreas/atividades para um número restrito de áreas que realmente têm possibilidade de estar contaminada, otimizando investimentos financeiros e de tempo durante o processo, facilitando também o manuseio de informações necessárias para cada etapa. Neste contexto, a classificação em três categorias de áreas como conceituadas acima faz-se necessária.

Uma vez definida a região de interesse e identificados os bens a proteger, a ferramenta primordial do gerenciamento é o cadastro das áreas contaminadas. É necessário identificar, no universo de atividades existentes, aquelas que vêm causando impactos que afetam nocivamente os bens a proteger. O cadastro deve identificar as áreas que apresentem risco de contaminação inerente à sua própria atividade, que são denominadas de áreas potenciais (APs). Após uma avaliação prévia das APs, elas devem passar à categoria de áreas suspeitas (ASs), as quais são classificadas de forma a priorizar as ações de confirmação da contaminação. Caso seja comprovada, elas são transferidas para a categoria de áreas contaminadas (ACs), devendo então passar por um processo de caracterização da contaminação e de recuperação do local, caso seja necessário.

### Avaliação por Atividades

A identificação de APs pressupõe a avaliação por atividades. Esta identificação permite o delineamento inicial do universo a ser abrangido no cadastro. As atividades potencialmente contaminadoras são aquelas onde ocorre o manejo de substâncias e/ou resíduos, cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem implicar em riscos à qualidade do solo, água, ar e à saúde da população, etc., ou seja, implicam em riscos aos bens a proteger.

As APs, em áreas urbanas com saneamento básico, podem ser divididas em cinco categorias principais: disposição de resíduos, área industrial, área comercial, postos de serviços e acidentes. Estas fontes podem ser existentes ou herdadas. Quando existentes, o procedimento legal e de custeio, desde a caracterização até a remediação, torna-se muito mais fácil. Por outro lado, quando a fonte é herdada, na maioria dos casos o proprietário não existe mais e a responsabilidade acaba recaendo sobre o poder público.

Conforme apresentado anteriormente, no país apenas 1% dos resíduos sólidos não são dispostos sobre o solo na forma de lixões e aterros. Dessa forma, as áreas de disposição de resíduos, na maioria dos casos, não possuem obras de engenharia envolvendo impermeabilização superior e inferior, e a instalação de drenos de líquidos e de gases, o que torna a contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas inevitável nestes locais. Tendo em vista o contexto e as circunstâncias mencionadas anteriormente, na RMSP, todas as áreas de disposição de resíduos sólidos são consideradas automaticamente áreas potenciais por dois motivos: primeiro, as áreas de lixões e aterros controlados transferem diretamente lixiviados e gases para a zona não-saturada e saturada, uma vez que não possuem sistemas de impermeabilização e drenos; segundo, nos aterros sanitários, há sempre o risco de rompimento da camada impermeabilizante e/ou drenos e transferência de substâncias nocivas como no primeiro caso.

### Avaliação Preliminar

Todas as áreas de disposição de resíduos consideradas Áreas Potenciais (APs) devem passar por uma avaliação preliminar, seguida de visita ao campo com o preenchimento da Ficha Cadastral e o posterior uso da Ficha de Pontuação para a classificação dessas áreas. O escopo das duas fichas estão descritos nos ítems que seguem.

## Ficha Cadastral e de Pontuação de Áreas Contaminadas

O Sistema de Cadastramento e Pontuação para Classificação das Áreas Potenciais (APs) apresentado neste trabalho, para locais de disposição de resíduos sólidos, foi concebido considerando-se o baixo volume de informações e de conhecimentos disponíveis existentes no Brasil. Assim, para a classificação das APs elaborou-se um procedimento que permite uma apreciação com pouca informação, mas com resultado uniforme, conclusivo e amplo.

A concepção do Sistema de Cadastramento e Pontuação para a Classificação das APs apresentado no presente trabalho tem como base o sistema utilizado em Nordeheim-Westphalen (Alemanha), denominado ISAL. A escolha deste sistema é devida à eficiência comprovada naquele país, também ao fato da metodologia não exigir parâmetros técnicos detalhados como o sistema dos E.U.A. Estes aspectos foram decisivos para a seleção de um sistema realístico e aplicável na RMSP.

Operacionalmente, o sistema constitui-se basicamente da Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas cujas informações são utilizadas para a classificação das APs através da Ficha de Pontuação de Áreas Contaminadas.

### Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas

Para a elaboração da Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas foi efetuada preliminarmente uma minuciosa pesquisa das fichas utilizadas no Canadá, E.U.A. e Alemanha, em seus respectivos Programas de Áreas Contaminadas. Posteriormente, estas informações foram comparadas ao levantamento das informações necessárias para este projeto, elaborando-se uma primeira versão tentativa da Ficha Cadastral.

Esta primeira versão tentativa foi testada várias vezes nas áreas de interesse, e no escritório para verificar a validade e a representatividade das informações nela contidas, até chegar-se à versão final.

Posteriormente, as informações das fichas foram compatibilizadas com aquelas necessárias para o preenchimento da Ficha de Pontuação de Áreas Contaminadas (HASSUDA, 1997). Vale ressaltar que as fichas foram elaboradas de forma a considerar que, durante o preenchimento ocorra um mínimo de subjetividade. Este fato é importante, na medida que permite garantir a confiabilidade e representatividade das informações, mesmo sendo preenchida por pessoas diferentes. Individualmente, a Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas pode servir como instrumento de registro e consulta de informação da área de interesse. A Ficha Cadastral é um instrumento que permite registrar, através da observação em campo, de forma descritiva, rápida e genérica, o retrato atual das APs, permitindo uma posterior avaliação uniforme, rápida e de baixa custo, através da utilização da Ficha de Pontuação de Áreas Contaminadas.

Para o preenchimento da Ficha Cadastral não é necessário executar nenhum trabalho "in situ" (perfuração, levantamento geofísico, etc.), portanto, o procedimento de preenchimento da ficha caracteriza-se como uma avaliação expedita no local de interesse, determinando-se os parâmetros que permitem a descrição da área apenas por visualização e por sistematização das informações existentes.

A Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas, no que concerne às áreas de disposição de resíduos sólidos, é composta basicamente de 5 tópicos de coleta de informação: Identificação da Área, Forma de Disposição de Resíduos, Descrição da Área e suas Adjacências, Eventos Importantes e Atividades Desenvolvidas na Área.

## Ficha de Pontuação de Áreas Contaminadas

A base técnica da metodologia encontra-se no fato de que qualquer efeito adverso sobre o meio ambiente e saúde humana provém de uma cadeia de eventos iniciando-se na fonte de contaminação e terminando no receptor.

Dessa forma, a concepção básica do sistema elaborado é de que a área de disposição de resíduos, em princípio, pode conter substâncias nocivas que põem em risco a qualidade dos recursos ambientais e a saúde pública. Estas substâncias podem apresentar seus efeitos prejudiciais somente quando entram em contato com o recurso. Assim, na averiguação do risco para os recursos ambientais e saúde pública são consideradas três etapas.

- (1) Origem e volume de resíduos, e tipos de grupos de substâncias possíveis de serem encontradas no local da disposição;
- (2) Propagação das substâncias nocivas através dos meios ar, solo, água superficial e água subterrânea;
- (3) Existência de bens a proteger na área de disposição e/ou nas adjacências.

Na primeira etapa é realizada a caracterização da massa de lixo quanto a sua origem, o volume e o tipo de grupo de substâncias, onde cada uma delas é classificada respectivamente em três categorias de acordo com a sua periculosidade, tamanho e toxicidade.

Na segunda etapa são avaliados os prováveis caminhos que a substância originária da massa de lixo pode tomar através do meio ar, solo, água superficial e subterrânea. No meio ar, inicialmente são considerados apenas os componentes gasosos que estão presentes na zona não-saturada e que podem receber uma contribuição (principalmente do gás metano originário da decomposição de matéria orgânica). Os componentes gasosos ao difundirem em subsuperfície podem atingir os bens a proteger e causar danos materiais e à vida, através de acidentes e/ou intoxicação.

Na terceira etapa é feita a análise dos efeitos que as substâncias causam aos bens a proteger, que basicamente são os recursos naturais e a saúde pública.

O sistema de pontuação apresentado neste trabalho caracteriza-se por ser um método numérico, ponderado e cumulativo. Dessa forma, a avaliação de um local suspeito ou contaminado é feita em vários módulos seguindo sucessivamente as três etapas apresentadas no ítem anterior.

As informações sobre a fonte de contaminação, origem e volume de resíduos, e tipos de grupo de substâncias possíveis de serem encontrados no local da disposição, são avaliadas partindo-se do pressuposto da existência de periculosidade no local. Em seguida são avaliados os vários caminhos que a substância nociva e/ou seus derivados podem seguir através do ar, solo, água superficial e água subterrânea. Por fim efetua-se a análise da existência de bens a proteger na área de disposição e/ou nas suas adjacências, que podem ser prejudicados ou danificados pelos efeitos das substâncias originárias do local de disposição.

Dessa forma partindo-se de existência da periculosidade de uma substância que resulta do estabelecimento de uma situação padronizada de uma atividade ou local, elas podem ser avaliadas em três etapas distintas, a periculosidade do local de disposição (a), a propagação (b) e os efeitos sobre os bens a proteger (c).

Na prática, cada um dos componentes de risco é composto por um parâmetro que representa uma ação ou fato ( $R_n$ ), que por sua vez, é multiplicado por um fator

de minimização ou de agravamento do risco, expresso através de multiplicadores (Mn). Os parâmetros Rn e Mn são classificados em três categorias que são: alto (3), médio (2) e baixo (1). Assim a avaliação do risco do local de interesse é calculada segundo a fórmula abaixo.

$$R = (M1.R1) \times (M2.R2) \times (M3.R3)$$

### Avaliação Confirmatória

A avaliação confirmatória em áreas de disposição de resíduos sólidos deve considerar os quatro meios de propagação incluídos na avaliação preliminar: solo, ar, água superficial e subterrânea.

No Brasil ainda não existem critérios que permitam a classificação de áreas contaminadas. A inexistência desses critérios fez com que fossem avaliadas as metodologias empregadas por outros países no processo de classificação de áreas contaminadas de modo a auxiliarem no processo da avaliação confirmatória. Desta forma, em função de sua ampla utilização na Europa, decidiu-se pela adoção dos valores referenciais empregados pela Holanda (VROM, 1994), onde são estabelecidos três níveis de referência, tanto para o solo como para a água subterrânea:

Nível S – indica o nível de qualidade ambiental, sem quaisquer restrições de uso para o meio investigado.

Nível T – valor intermediário, utilizado como um indicador de um certo declínio nas propriedades do meio investigado. Investigações adicionais são requeridas se este valor for ultrapassado.

Nível I – valor de intervenção. Indica os níveis de qualidade acima dos quais existe um risco para o homem e o ecossistema.

### Caracterização da Área

A caracterização da área é uma etapa na qual procura-se definir a extensão dos efeitos dos gases e lixiviados sobre os 4 meios (solo, ar, água superficial e subterrânea) existentes no local ou nas adjacências do local de deposição. Além disso, nesta etapa ainda podem ser geradas informações necessárias e pertinentes para a remediação.

Inicialmente, a caracterização inclui a compilação de todas as informações históricas da área, tais como: arquivo fotográfico, entrevista aos operadores, análise do projeto do local, consulta aos arquivos da empresa operadora e levantamento de dados geológicos, hidrogeológicos e hidrológicos.

Em seguida, realiza-se uma investigação detalhada no local, que inclui poços de monitoramento, amostragens de ar, água e solo, execução de métodos geofísicos, análise integrada dos dados, e avaliação da tecnologia de remediação factível.

Informações mais detalhadas sobre a caracterização de áreas encontram-se descrita em CONSONI (1981), USEPA (1989), USEPA (1991) e GUIQUER (1987).

### Recuperação da Área

A recuperação de uma área contaminada pressupõe a seleção e implementação de tecnologia adequada. A tecnologia selecionada para atingir o objetivo da remediação deve:

- Proteger a saúde humana e o meio ambiente
- Atingir padrões de qualidade de ar, água (superficial e subterrânea) e solo;
- Controlar ao máximo, reduzir ou eliminar, a fonte de liberação de contaminantes;
- Obedecer as normas, guias e diretrizes do órgão ambiental.

Na seleção da tecnologia de remediação devem ser considerados os seguintes fatores:

- A eficiência a curto e longo prazo, da técnica de remediação;
- A efetividade da técnica de remediação no controle de redução de futuras liberações de contaminantes;
- A facilidade ou dificuldade da implementação da técnica de remediação;
- Capacitação técnica e financeira;
- A aceitabilidade pela comunidade em relação à tecnica selecionada.

## ESTUDOS DE CASOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Apesar do modelo ser aplicável para vários tipos de fontes de contaminação (indústria, comércio, postos de serviços, acidentes, etc.), os dados apresentados nos ítems subsequentes referem-se especificamente às áreas de disposição de resíduos sólidos.

Como descrito anteriormente, o Sistema de Classificação elaborado permite realizar a avaliação do risco de contaminação em três etapas. Inicialmente a avaliação é feita a partir da fonte de contaminação, seguida dos vários caminhos que a substância nociva e/ou seus derivados podem tomar para se propagar através dos meios ar, solo, água superficial e água subterrânea. Por final efetua-se a análise da existência de bens a proteger, na área de disposição e/ou seus derivados podem tomar para se propagar através dos meios ar, solo, água superficial e água subterrânea. Por final efetua-se a análise da existência de bens a proteger, na área de disposição e/ou nas suas adjacências, que podem ser prejudicados ou danificados pelos efeitos das substâncias originárias do local de disposição. Assim, nos ítems que sucedem encontram-se apresentados os exemplos de aplicação da metodologia ao nível regional na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) nas áreas de disposição de resíduos sólidos.

### AVALIAÇÃO REGIONAL: Região Metropolitana de São Paulo

A RMSP com uma população de 15.902.412 habitantes gera cerca de 12.826 toneladas de resíduos domésticos/dia, considerando-se uma produção média de 850 g de lixo/pessoa/dia.

Em função da grande massa de resíduos gerada diariamente, os vários municípios que constituem a RMSP têm enfrentado muitos problemas ambientais, administrativos e de saúde pública. Entre esses problemas, podem ser citados: a dificuldade de selecionar locais apropriados para disposição de resíduos; conflitos de uso do solo com a população estabelecida ao redor das instalações de tratamento e destino final do lixo; exportação de lixo para municípios vizinhos, gerando resistências da população; e contaminação dos escassos recursos hídricos.

Atualmente existem na RMSP 116 áreas cadastradas de disposição de resíduos sólidos, ativas e encerradas, sem considerar as áreas de "bota-foras".

Deste total apenas 20 áreas são consideradas aterros sanitários ou aterro controlados. O restante, 96 áreas, são lixões onde não foram consideradas a avaliação dos impactos ambientais, aspectos construtivos ou a questão da saúde pública.

Nelas observam-se que a maior parte dos locais de disposição concentram-se nas porções limítrofes entre São Paulo e municípios vizinhos, nas porções norte, leste e oeste. A porção sul, possue poucas áreas em função da existência da Área de Proteção Ambiental (Serra do Mar).

Estas 116 áreas de disposição somadas ocupam uma superfície em torno de 20 km<sup>2</sup>, e um volume estimado correspondente a aproximadamente 100 milhões de m<sup>3</sup>.

A forma de disposição dos resíduos nas diferentes áreas ocorre em diferentes condições de morfologia do terreno. A morfologia predominante nestas áreas são encostas e vales que somam 59,3% do total (69 áreas). Uma situação particular são as cavas de mineração que são preenchidas com resíduos e que representam 14,7% do total de áreas (17 áreas). Nestas áreas, a maior preocupação, sem dúvida, é o contato direto das águas subterrâneas com as substâncias originárias do resíduo e/ou o próprio resíduo.

A RMSP encontra-se densamente ocupada, este fato tem causado o avanço da ocupação humana nas regiões periféricas dos municípios, onde normalmente encontram-se instaladas as áreas de disposição de resíduos. Neste contexto, em 50% dos casos (50 áreas), a ocupação encontra-se a uma distância menor que 50 metros dos locais de disposição, 10% (12 áreas) entre 50 e 100 metros, 38% (38 áreas) entre 100 e 500 metros e 2% (1 área) a uma distância maior que 500 metros. Assim, a proximidade da ocupação humana em relação aos locais de disposição tem causado sérios conflitos tanto no aspecto da saúde pública quanto da contaminação dos recursos hídricos, trazendo risco de explosão, ou ainda, problemas com menor risco, como odor e proliferação de insetos e roedores.

Na questão da ocupação humana, os problemas sociais que envolvem os locais de disposição não se restringem às áreas adjacentes mas também às pessoas que sobrevivem do lixo selecionando materiais recicláveis e comercializáveis. Em muitas áreas, estas pessoas denominadas de "catadores", chegam a construir casas provisórias (barracos) e moram no próprio local de disposição de resíduos.

Na análise do número de catadores, observa-se que em 59% (69) das áreas não foi observada a presença deles, 13% (15) das áreas restringem-se a poucos catadores (de 5 a 10 pessoas), em 16% (19) das áreas verificam-se de 10 a 50 catadores e em 4% (5) das áreas com mais de 50 catadores. Assim, observa-se que, em pelo menos 39 áreas existem catadores que sobrevivem do material retirado do local de disposição.

As 116 áreas de disposição de resíduos sólidos da RMSP encontram-se inseridas dentro do contexto hidrogeológico em que observa-se principalmente dois tipos de aquíferos: o sedimentar e o cristalino. O aquífero sedimentar é constituído principalmente pelos sedimentos de idade terciária e quaternária e o aquífero cristalino pelas rochas ígneas e metamórficas de idade pré-Cambriana.

Do total, apenas 101 áreas possuem informação sobre o contexto hidrogeológico possíveis de serem encontradas na RMSP. Notadamente, existe uma associação entre tipos litológicos e o tipo de circulação das águas subterrâneas.

Nas 101 áreas que possuem informações sobre a litologia, apenas 24 locais estão sobre aquífero sedimentar e os 77 locais restantes sobre o aquífero cristalino. Entre os locais situados sobre o aquífero sedimentar 22 estão sobre o quaternário e 2 sobre o terciário em área de recarga.

No restante das áreas que estão sobre o aquífero cristalino, 37 locais estão sobre rochas cristalinas com manto argiloso em área de recarga, 9 sobre cristalino com manto argiloso em área de descarga, 13 sobre cristalino com manto arenoso em área de recarga e 18 sobre cristalino com manto arenoso em área de descarga.

Da observação desses números, pode-se concluir que a maioria dos locais de disposição de resíduos estão em área de recarga, somando um total de 52 locais de disposição. Por outro lado, estas áreas situam-se em regiões periféricas das principais zonas urbanas da RMSP, que são coincidentes com as áreas de ocorrência das rochas cristalinas.

### Aspectos Construtivos dos Locais de Disposição

A forma de disposição do resíduo, seja em lixões ou em aterros, tem sido realizada de duas formas básicas: acima ou abaixo da superfície do terreno. Do total de 116 áreas cadastradas, em 86% (100) das áreas os resíduos estão depositados acima da superfície do terreno e em 14% (16) abaixo da superfície do terreno.

Normalmente para as condições ideais para a construção de aterro são contemplados três zonas: setor em preparação, setor em execução e setor concluído.

No setor em preparação, normalmente, três condições básicas são observadas. A primeira diz respeito à profundidade do nível d'água subterrânea, que deve estar a pelo menos 2 metros de profundidade a partir da superfície inferior do aterro que deve ser impermeabilizada, conforme o manual elaborado pela CETESB (1987). A segunda refere-se à camada inferior do aterro que deve ser impermeabilizada, conforme a mesma norma. Os materiais que podem ser utilizados podem ser tanto sintéticos como de argila natural. A terceira condição refere-se à drenagem de coleta de chorume, que deve ser instalada sobre a camada impermeabilizante.

No levantamento das 116 áreas de disposição observou-se que o nível d'água varia até a máxima profundidade de 50 metros.

Na RMSP observa-se que, pelo menos em 31% (36) das áreas a situação é crítica, apresentando o nível d'água muito próximo da superfície, entre 0 e 5 metros, 46% (53) das áreas apresentam-se em situação razoável, com profundidade do nível d'água entre 5 e 20 metros. O restante das áreas estão com a profundidade do nível d'água maior que 20 metros. Na realidade, a profundidade do nível d'água torna-se um fator crítico para a contaminação da água subterrânea em áreas de disposição de resíduos, pelo simples motivo de que as substâncias nocivas originárias do chorume têm menor distância a percorrer até atingir a zona saturada.

Ainda, observa-se que das 116 áreas de disposição de resíduos, apenas 7 locais possuem algum tipo de impermeabilização inferior. Na prática, mesmo a maioria dessas 7 áreas possue apenas solo compactado como camada inferior impermeabilizante, diminuindo a condutividade hidráulica do terreno, porém, longe das condições técnicas ideais. Tal situação pode ser traduzida da seguinte forma: mesmo estas áreas não possuem uma verdadeira camada inferior impermeabilizante, mas sim uma obra minimizadora em relação a possível infiltração do chorume no solo.

Além da camada impermeabilizante, as drenagens de líquidos para a coleta de chorume é um outro tipo de obra que permite minimizar o efeito da infiltração do chorume no solo, e consequentemente, na água subterrânea. No universo de 116 áreas, apenas 13 locais possuem drenagens de líquidos percolados.

Considerando-se que a maioria dos locais de disposição de resíduos da RMSP não possue nem a camada inferior impermeabilizante e tampouco drenagens de líquidos, o destino final do chorume acaba sendo o solo, a água subterrânea e a água superficial, comprometendo a qualidade destes meios.

Durante a disposição dos resíduos sólidos, normalmente é realizada a cobertura operacional dos resíduos, criando-se células de lixo para evitar a proliferação de vetores e mau cheiro. Além disso são instalados drenos para gases no local de disposição, a fim de evitar possíveis explosões ou escape de gases para edificações ou áreas adjacentes. Na RMSP apenas 23 locais de disposição possuem algum tipo de impermeabilização ou cobertura operacional, e 14 locais apresentam drenos de gases instalados. Na maioria das áreas os cuidados operacionais não existem e o risco de acidentes é considerado alto.

Dois tipos de obras de engenharia são considerados como básicos para a conclusão ou encerramento de uma área de disposição: a impermeabilização superior e instalação de drenos para água de escoamento superficial das chuvas. Ambas têm a função de impedir a infiltração da água pluviométrica para o interior da massa de lixo, e consequentemente reduzir a geração de chorume.

No contexto da RMSP apenas 31 locais possuem impermeabilização superior e 14 áreas tem drenagem de água superficial. Dessa forma, a maioria dos locais de disposição da RMSP sofrem a influência da pluviosidade, gerando grandes volumes de chorume.

#### Sistema de Classificação dos Locais de Disposição

Para as 116 áreas de disposição de resíduos domésticos apresentadas no ítem anterior, foi realizado o preenchimento da Ficha de Pontuação, tendo as Fichas Cadastrais como fontes de informações.

Vale relembrar que, o conceito de liberação, transporte e entrada de substâncias nocivas nos bens ou recursos ambientais no início deste trabalho, está implícito na pontuação de cada bem a proteger.

O conceito de bens a proteger apresentado, refere-se especificamente aos bens ou recursos naturais que devem ser protegidos no local de disposição e/ou suas adjacências. Assim, os bens a proteger mais relevantes considerados neste trabalho são os listados abaixo:

- BP1 – Saúde e vida da população
- BP2 – Abastecimento público (água potável)
- BP3 – Uso do solo (residências)
- BP4 – Proteção das águas subterrâneas e superficiais
- BP5 – Uso agrícola e pecuária
- BP6 – Outros bens a proteger

O maior enfoque dado à pontuação dos bens a proteger foi para os recursos hídricos e a saúde pública. Os bens a proteger BP1, BP3 e BP5 estão relacionados com a saúde pública. O BP1 trata das consequências diretas que as substâncias nocivas podem causar na população. O BP3 considera o risco da população residente no entorno entrar em contato direto e/ou indireto com a substância nociva. O BP5 pondera a possibilidade da substância nociva entrar na cadeia alimentar e atingir o ser humano. Os bens a proteger BP2 e BP4 são relativos aos recursos hídricos. Por final, o BP6 contempla outros bens de interesse público, como parques, APMs, APAs e matas naturais.

Os dados de pontuação obtidos foram organizados em intervalos de valores, para cada bem a proteger, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Número de áreas de disposição por intervalo para os bens a proteger (BP1 a BP6)

BENS A PROTEGER	BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6
0-50	21	72	79	68	88	12
51-100	27	12	18	13	9	20
101-200	34	17	8	20	7	39
201-300	19	5	3	4	3	16
301-400	6	2	1	3	2	13
401-500	1	0	0	0	0	6
501-600	1	1	0	0	0	1
600-700	1	0	0	1	0	1

BP1 – Saúde e vida da população; BP2 – Abastecimento público (água potável); BP3 – Uso do solo (residências); BP4 – Proteção das águas subterrâneas e superficiais; BP5 – Uso agrícola e pecuária; BP6 – Outros bens a proteger

Da tabela acima observa-se que o bem a proteger BP1, saúde e vida da população, apresentou cerca de 44% dos casos entre os intervalos de 0 a 100 pontos, 49% entre 101 e 300 pontos e 7% acima de 301 pontos. Portanto, mais da metade dos locais de disposição apresenta valores médios a altos.

No caso do BP2, abastecimento público, aproximadamente 78% dos locais apresentam pontuação abaixo de 100 pontos. Entre os locais restantes, 20% apresentaram valores entre 101 e 300 e 2% situaram-se acima de 301 pontos. Assim apenas 22% dos locais de disposição apresentarão valores médios a altos.

Para o BP3, uso do solo, aproximadamente 89% dos casos apresentaram pontuação abaixo de 100 pontos. Os 11% restantes, estão distribuídos respectivamente, 10% entre o intervalo de 101 a 300 pontos e 2% acima de 301 pontos. Dessa forma, somente 11% das áreas possuem valores médios a altos.

Para o BP4, proteção das águas subterrâneas e superficiais, cerca de 75% dos locais estão com valores abaixo de 100 pontos. Do restante, 22% e 3%, estão respectivamente distribuídos nos intervalos de 101 a 300 pontos e acima de 301 pontos. Portanto 25% dos casos possuem valores médios a altos.

O bem a proteger BP5, uso agrícola e pecuária, possui cerca de 89% dos casos com pontuação abaixo de 100. Os 11% restantes estão distribuídos entre os valores de 101 a 400 pontos. Portanto, neste caso, os locais com valores médios a altos somam apenas 11%.

No caso do BP6, outros bens a proteger, aproximadamente 30% dos casos encontram-se entre os valores de 0 a 100 pontos, 51% entre o intervalo de 101 a 300 pontos e 19% acima de 300 pontos. Dessa forma, um total de 70% das áreas apresentaram valores médios a altos.

No presente trabalho, para a priorização de áreas críticas, foi considerado o valor de pontuação acima de 300. Este valor limite foi definido associando-se os valores numéricos à situação real observada no campo. Na tabela 3 estão listadas 15 áreas que apresentaram pontuação acima de 300. Dentre elas o Lixão de Alvarenga destaca-se com pontuação acima de 600, para BP1 a BP4.

Tabela 3 – Áreas críticas de disposição de resíduos para BP1 a BP6 (com pontuação acima de 300).

Município	Denominação	BP1	BP2	BP3	BP4	BP5
Arujá	Ant. Lixão Municipal			392		
Bir Mirim	Ant. Lix da Estr Sta Catarina	304				
Cajamar	Lix Mun de Cajamar		301		301	
Diadema	Lix do Alvarenga	684	637	704	637	
E. Guaçu	Lix. Destat B do Paca					334
E. Guaçu	Lix. Beira da Estrada					334
F. Morato	Ant. Lixão Franc Morato	508				
Guarulhos	Lixão Edson Batista	303				
Guarulhos	Parque Ec do Tietê	413				
Itap. Serra	Ant. Lixão de Itapec 2	342				
Itapevi	Lixão Desativado		360		301	
Mauá	Lara/Sertãozinho	307				
S.B.Campo	Lix Tiro de Guerra	375				
São Paulo	Lix Sapopemba VII				312	
V.Gr. Paulista	Lix da Rua Palestina	307				

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme proposto como objetivo deste trabalho os critérios para a gestão de áreas suspeitas ou contaminadas por resíduos sólidos foram claramente estabelecidos neste trabalho tanto pela elaboração da metodologia como pela sua aplicação. Além disso a metodologia elaborada demonstra-se como uma importante ferramenta disponível para a comunidade técnico-científica para ser aplicada na questão das áreas contaminadas.

Para as áreas de disposição de resíduos sólidos foram estabelecidos critérios desde a classificação e priorização destas áreas como também para a avaliação confirmatória. A validade destes critérios foram testados e comprovados através da aplicação na Região Metropolitana de São Paulo.

Os locais de disposição de resíduos sólidos merecem dois níveis de intervenção por parte dos órgãos de governo. O primeiro, de caráter imediato e emergencial, relaciona-se com a saúde e vida da população. Nas áreas de disposição devem ser tomadas medidas imediatas visando a retirada da população que vive e trabalha como catadores. Da mesma forma, as residências que se localizam no local ou imediatamente adjacente ao depósito de lixo devem ser removidas, como já foi mencionado há risco de doenças e de explosões que podem ocorrer em função dos gases que migram e se acumulam na área de deposição e adjacências. A utilização da água superficial e/ou subterrânea contaminada é outro grande problema que deve ser solucionado imediatamente com o fornecimento de água dentro dos padrões de qualidade estabelecidos.

O segundo nível de intervenção diz respeito à proteção dos recursos ambientais. As áreas priorizadas devem ser caracterizadas nos meios ar, solo, água superficial e subterrânea para definir ações necessárias para recuperá-las.

Os resultados apresentados neste trabalho restringe-se tão somente às áreas de disposição de resíduos. Para concretizar a implementação do programa de gestão de áreas contaminadas é necessário ampliar a avaliação para um elenco maior de

fontes de contaminação taix como postos de serviços, áreas industriais, áreas comerciais, áreas agrícolas e outras atividades.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, A.C. 1996. Sistemas de Avaliação de Prioridades para Recuperação de Áreas Contaminadas por Resíduos Perigosos. São Paulo. 98p. Dissertação de Mestrado. Faculdade da Saúde Pública. USP.
- BROWNELL, R.P. & STUBING, H.D. 1982. Comprehensive approach to landfill leachate treatment. In: Proceedings of the National Conference on Environmental Engineering. Minneapolis, Minnesota. U.S.A
- BULL, P.S.; EVANS, R.M.; WESCHSLER, R.M.; CLELAND, K.J. 1983. Biological Technology of the Treatment of leachates from sanitary landfills. Water Research. 17(11):1473.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). 1992. National classification system for contaminated sites. Ottawa, Ontario, Canada. 54p.
- CONSONI, A.J. 1993. Seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos urbanos e proposta de aterro sanitário no município de Iguape, SP. São Paulo. IPT.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). 1998. Manual de Áreas Contaminadas. 1v. CETESB/GTZ/IG.
- CUMMINS, M.D. 1981. Effect of sanitary landfill leachate on the activated sludge process. In: Proceedings of the seventh Annual Research Symposium, Land Disposal: Municipal Solid Waste. Philadelphia. Pennsylvania.
- GRAHAM, D.W. 1981. Biological-chemical treatment of landfill leachate. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada.
- GUIGUER, N. 1987. Poluição das águas subterrâneas causada por um aterro sanitário: uma abordagem matemática-experimental. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica. USP.
- HASSUDA, S. 1997. Critérios para a Gestão de Áreas Suspeitas ou Contaminadas por Resíduos Sólidos – Estudo de Caso na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo. 142p. Tese de Doutoramento. Instituto de Geociências. USP.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (MUBW). 1989. Altlasten-Handbuch. Teil I. Altlasten-Bewertung. Baden Württemberg. 129p.
- POHLAND, F.G. 1980. Leachate recycle as a management option. In: Proceedings of Leachate Management Seminar. University of Toronto. Toronto. Ontario.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 1989. Requirements for Hazardous Waste Landfill Design, Construction, and Closure. Seminar Publication. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Technology Transfer, Cincinnati, OH.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 1991. Site Characterization for Subsurface Remediation. Seminar Publication. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati, OH.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 1992. The Hazard Ranking System. U. S. Environmental Protection Agency. 201p.

Tabela 1. Informações referentes a geração, composição e destino final de resíduos sólidos em vários países

País	Geração Per Capita (kg/pessoa/di- a)	Composição do Resíduo					Destino Final do Resíduo Incineração+Reciclag- em+Compostagem (%)	Sem Serviço (%)
		Papel (%)	Materia Orgânica (%)	Plástico+ Têxteis (%)	Metais+Mat. Constr. (%)	Outros (%)	Aterro Sanitário (%)	
Austria	0,6	22,4	27,8	12,5	8,8	27,8	64,0	36,0
Canadá	2,7	38,9	33,9	8,5	8,0	6,2	95,0	5,0
Dinam.	0,7-1,8	29,0	28,0	5,0	13,0	21,0	31,0	69,0
Finland.	0,5-1,6	51,0	29,0	7,0	2,0	5,0	95,0	5,0
França	0,9-2,5	30,0	25,0	10,0	5,0	18,0	47,9	51,2
Alema.	1,1	20,8	28,3	7,7	6,7	28,9	74,0	26,0
Itália	0,8	22,3	42,1	7,2	3,0	18,3	83,2	16,8
Japão	0,9-1,1	31-37	10-16	17,8-19,8	5,5-6,4	-	29,6	70,4
Holanda	1,6	24,2	52,4	10,0	3,2	3,0	51,0	49,0
Polônia	0,6-1,3	-	-	-	-	-	99,9	0,1
África do Sul	1,0	33,0	31,0	7,0	0,0	9,0	69,2	27,7
Suécia	0,8	35-45	25-35	10-14	2-4	6-9	35,0	65,0
Suiça	2,6	20,8	33,0	5,9	5,9	9,6	20,0	80,0
Grã-Bret.	0,9	33,9	23,4	8,3	7,1	12,9	88,0	12,0
USA	1,6	35,6	29,0	9,3	8,9	8,7	83,0	17,0
Brasil	0,6	14,4	64,4	12,0	3,2	4,5	23,0	1,0
								76,0

Fonte: Modificado de Hassuda (1997)