

CONSIDERAÇÕES SOBRE SELEÇÃO DE ÁREAS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS. ESTUDO DE CASO NA MÉDIA BACIA DO RIO PIRACICABA E NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ (SP)

Maria José Brollo*

RESUMO

Após ser dado um panorama da situação dos resíduos sólidos no mundo, no que diz respeito a sua classificação, geração, formas de disposição final, aborda-se o tema de metodologias de seleção de áreas para disposição de resíduos. Tendo como premissa que se deve evitar a contaminação do solo, da água subterrânea e do meio ambiente como um todo são mostrados os resultados de dois estudos efetuados pelo Instituto Geológico (SMA/SP) que tiveram como objetivo a aplicação de metodologias para seleção de áreas para disposição de resíduos.

1. INTRODUÇÃO

Constitui problemática atual e é objeto de nossos estudos a adequação do local onde os resíduos sólidos devem ser dispostos, bem como qual a melhor maneira de fazê-lo sob o ponto de vista ambiental.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define **resíduos sólidos** (NBR 10004) como "Sólidos e semi-sólidos resultantes das atividades da comunidade industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, e de serviços de varrição. Também são incluídos os lodos provenientes do sistema de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em

face à melhor tecnologia disponível". Esta mesma norma classifica os resíduos sólidos quanto a sua periculosidade como:

a) Classe I (perigosos):

- apresentam risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças;

- apresentam risco ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada;

- possuem uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

(*) Seção de Geologia Aplicada e Ambiental - Instituto Geológico - SMA/SP.

b) Classe II (não-inertes):

- podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém não se enquadram como resíduo I ou III.

c) Classe III (inertes):

- não têm nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de águas.

Hassuda (1997) apresenta um panorama geral dos resíduos sólidos no mundo, abordando o

volume produzido, a composição e a destinação (Quadros 1, 2 e 3). No Brasil, embora a produção per capita de resíduos sólidos seja de apenas 0,6 kg/pessoa/dia (Quadro 1), já sentimos uma situação caótica, com depósitos de resíduos ultrapassando sua capacidade, com ausência de novas áreas corretamente destinadas para este fim, com visões distorcidas sobre formas de destinação dos resíduos, bem como com atritos entre municípios vizinhos, população e proprietários de terra sobre os novos locais escolhidos para a disposição dos resíduos.

Quadro 1 - Panorama dos resíduos sólidos em alguns países do mundo

País	Densidade Demográfica (pessoa/km ²)	Ocupação Urbana (%)	Produção total de resíduos (106 t/ano)	Geração "per capita" de resíduos (kg/pessoa/dia)
Austria	94,2	55	1,7	0,6
Canadá	2,2	76	25,0	2,7
Dinamarca	118,6	83	1,3-3,4	0,7-1,8
Finlândia	14,5	60	2,0-3,0	0,5-1,6
França	98,7	75	17,8-49,8	0,9-2,5
Alemanha	235,0	-	24,0	1,1
Itália	186,5	-	17,3	0,8
Japão	1452,0	76	41,0	0,9-1,1
Holanda	349,6	88	8,5	1,6
Polônia	118,0	57	-	0,6-1,3
África do sul	28,6	48	12,0	1,0
Suécia	18,7	83	2,5	0,8
Suíça	157,4	51	6,3	2,6
Grã-Bretanha	232,2	70	18,0	0,9
USA	25,3	79	72,0	1,6
Brasil	17,3	75	32,9	0,6

Fonte: IBGE (1992), Carra, et al (1990) e IPT (1994), apud Hassuda (1997)

Observa-se, ainda (Quadro 2), que grande parte do material considerado como resíduo consiste em material reaproveitável (papel, plástico, vidro, etc.), que vem acrescentar volume ao de-

pósito final de resíduos, havendo uma tendência a piorar esta situação, já que o processo industrial atual incentiva o uso de materiais descartáveis.

Quadro 2 - Composição de resíduo doméstico no mundo (%)

País	Papel Orgânica	Matéria	Vidro	Plástico	Metal	Têxtil	Material Construção	Outros
Áustria	22,4	27,8	5,3	10,3	4,2	2,2	4,6	23,2
Canadá	38,9	33,9	6,5	4,9	6,2	3,6	1,8	4,4
Dinamarca	29,0	28,0	4,0	5,0	13,0	-	-	21,0
Finlândia	51,0	29,0	6,0	5,0	2,0	2,0	-	5,0
França	30,0	25,0	12,0	6,0	5,0	4,0	-	18,0
Alemanha	20,8	28,3	10,4	7,7	3,9	-	2,8	26,1
Itália	22,3	42,1	7,1	7,2	3,0	-	-	18,3
Japão	31-37	10-16	14-16	14-16	5,5-6,4	3,8	-	-
Holanda	24,2	52,4	7,2	7,1	3,2	2,9	-	3,0
África do Sul	33,0	31,0	12,0	7,0	7,0	-	0,0	9,0
Suécia	35-45	25-35	6-8	8-10	2-4	2-4	-	6-9
Suíça	20,8	33,0	8,7	13,4	5,9	-	-	9,6
Grã-Bretanha	33,9	23,4	14,4	4,2	7,1	4,1	-	12,9
USA	35,6	29,0	8,4	7,3	8,9	2,0	-	8,7
Brasil*	14,4	64,4	1,1	12,0	3,2	-	-	4,5

(*) Valores do Est. São Paulo

Fonte: Carra, et al (1990) e IPT(1994), apud Hassuda (1997)

Talvez pior do que todas essas considerações seja o fato de que, no Brasil, 76% dos locais de disposição de resíduos sólidos não apresentam serviço de qualquer espécie (Quadro 3), ou

seja, são dispostos aleatoriamente, sem critérios técnicos ou fiscalização, constituindo fontes concretas de contaminação do solo e recursos hídricos.

Quadro 3 - Destino final de resíduo doméstico no mundo (%)

País	Aterro Sanitário	Incineração	Reciclagem	Compostagem	Sem serviço
Áustria	64	20	-	16	-
Canadá	95	4	1	-	-
Dinamarca	31	50	18	1	-
Finlândia	95	2	3	-	-
França	47,9	41,9	0,6	8,7	-
Alemanha	74	24	-	2	-
Itália	83,2	13,9	0,6	2,3	-
Japão	29,6	67,6	-	2,8	-
Holanda	51	34	15	-	-
Polônia	99,9	-	-	0,1	-
África do sul (1)	69,2	20,8	3,1	3,8	3,9
Suécia	35	60	5	-	-
Suíça	20	80	-	-	-

Grã-Bretanha	88	11	1	-	-
USA	83	6	11	-	-
Brasil	23(2)	0,1	-	0,9	76

(1) 225 aterros de um total de 564 áreas não possuem controle

(2) 10% aterro sanitário + 13% aterro controlado

Fonte: Carra, et al (1990) e IPT(1994), apud Hassuda (1997)

Nos programas que pretendem preservar e proteger a integridade ambiental do meio físico, há duas linhas de atuação básicas: ação corretiva e ação preventiva.

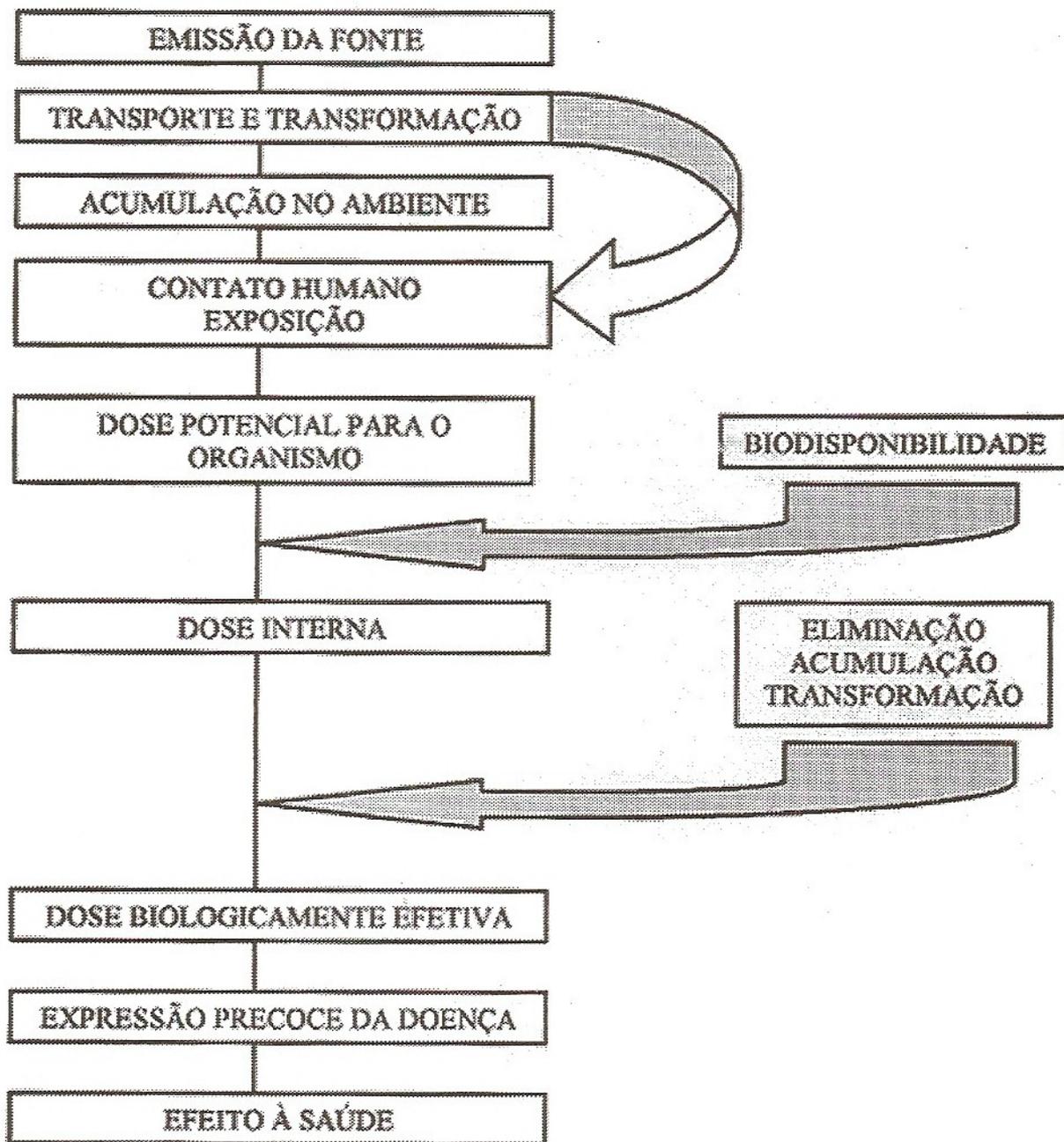
A **ação corretiva** compreende a recuperação de locais contaminados ou degradados, como é o caso dos locais de disposição de resíduos sólidos, domésticos ou industriais. As áreas de disposição de resíduos, desativadas ou não, muitas vezes foram mal construídas ou mal operadas, havendo carência de propostas sobre a destinação a ser dada a elas (recuperação e/ou remediação) quando do encerramento de suas atividades. Há, ainda, muitos locais desativados ou não, onde resíduos industriais e domésticos encontram-se misturados. Portanto, a **contaminação dos recursos hídricos**, superficiais e subterrâneos, torna-se patente, bem como o **risco à saúde** da população que faz uso dos recursos ambientais da região.

A **ação preventiva** é voltada a uma região de interesse, onde são estabelecidas restrições ao

uso do solo frente às diversas atividades contaminantes, ou potencialmente contaminantes. Inclui-se nessa linha de atuação a seleção de novas áreas para disposição de resíduos, com base em critérios técnicos e científicos, de modo a evitar possíveis degradações ao meio ambiente e à vida humana.

Como qualquer efeito adverso sobre os recursos ambientais e sobre a saúde pública provém de uma cadeia de eventos que se inicia na fonte de contaminação e termina no receptor (Figura 1), justificam-se as ações tanto corretivas quanto preventivas. Sabendo-se que as substâncias nocivas ao meio ambiente e saúde podem apresentar seus efeitos prejudiciais somente quando entram em contato com os recursos ambientais, tem havido um destaque crescente aos estudos de transporte de contaminantes nos solos. Assim, é importante ressaltar que, os solos são formados apenas em longos períodos de tempo e, quando contaminados, dificilmente são regenerados.

Figura 1. Trajeto de um contaminante desde a sua emissão até seu efeito à saúde (Andrade, 1995)



Após esta introdução a aspectos diversos sobre resíduos sólidos serão tratados a seguir, com base em Langer (1995), alguns pontos relativos a seleção, investigação e avaliação de locais para a disposição de resíduos, incluindo critérios de locação, métodos de investigação e mapeamento para fins especiais. Em seguida será apresentada uma síntese de dois estudos realizados no Instituto Geológico com a finalidade de selecionar áreas para disposição de resíduos sólidos domésticos.

2. A GEOLOGIA E O CONFINAMENTO DE RESÍDUOS

A crescente atenção global na conservação e preservação do meio ambiente tem se voltado para o grande problema da disposição de resíduos (como, quando, onde e o que dispor), e a tendência atual é que todas as substâncias nocivas à biosfera devem ser neutralizadas, tornando-se inofensivas e seu volume deve ser minimizado.

Face ao desafio em preservar a herança ecológica, as indústrias devem assumir a responsabilidade e superar os riscos da poluição e degradação ambientais inerentes aos resíduos tóxicos que gera. Por outro lado, é necessário que o poder público esteja imbuído em dar soluções aos problemas já conhecidos e aos potenciais, estabelecendo políticas públicas claras sobre geração, coleta, tratamento, disposição final de resíduos, bem como sobre sanções para os casos de desrespeito à legislação. Deve se equipar e estabelecer mecanismos de forma a proceder uma fiscalização ativa.

Embora qualquer desenvolvimento possa se dar com tecnologias limpas, com produtos "amigos" da natureza e com o beneficiamento de resíduos industriais, o ambiente geológico per-

manecerá por um longo tempo como o depósito de muitos resíduos sólidos.

Minerais com alto potencial tóxico e resíduos organo-metálicos (poeira, cinzas, escória e lama desidratada) estão sendo gerados em quantidade cada vez maior como produtos da descontaminação ou limpeza de efluentes líquidos e gasosos. Para estes resíduos de produto final, assim como para despejos de resíduos perigosos - sítios industriais abandonados, por exemplo - a opção geológica de disposição em superfície ou subterrânea requer restrição efetiva e estável dentro de barreiras geológicas naturais ou barreiras geoambientais artificiais, que forneçam isolamento das fontes de poluição potencial.

Durante os últimos anos houve uma substancial melhoria dos aspectos técnicos, bem como do conhecimento sobre a redução da nocividade de resíduos (por exemplo, via resíduos estabilizados). Por essa razão, importantes legislações internacionais têm incluído em seu conteúdo mais e mais especificações técnicas. Tais especificações variam de país para país e, muitas vezes, tratam de características específicas de barreiras simples e não prescrevem como alvo valores específicos para a eficiência de todo o sistema de confinamento.

Também merece destaque, firmemente conectada com os aspectos legislativos, a questão da comunicação e da aceitação pública nesta matéria, tratado atualmente como "comunicação de riscos".

Para Côme (1994), as legislações internacionais e a experiência prática convergem para os seguintes princípios básicos para disposição e operação de locais de disposição de resíduos:

- o aterro de resíduos deve estar localizado preferencialmente sobre uma camada geológica constituída por argila;

- deve haver a proteção ou o melhoramento das características desta camada geológica argilosa;

- deve-se minimizar a infiltração de águas de chuva;

- deve haver a coleta e processamento de possíveis lixiviados e de biogás (gerados por resíduos orgânicos domésticos).

Uma vez identificados os locais potenciais para a disposição de resíduos, as legislações requerem a sua validação e certificação, principalmente através de análises de campo e de laboratório.

Uma tendência crescente considera as camadas de argila natural como barreiras passivas (normalmente não afetadas por lixiviados infiltrados a partir do aterro), enquanto diversas camadas adicionais cobrindo a argila natural são prescritas como barreiras ativas, com a função de drenagem e impermeabilidade à água. A combinação de elementos inclui um sistema de drenagem na base de aterros de resíduos, sob o qual diversas camadas de geomaterial de baixa permeabilidade agem como uma proteção adicional à camada de argila natural.

Uma vez planejada a quantidade de resíduos a ser disposta, o aterro deve receber uma camada de cobertura (tanto temporária como permanente), cujas principais funções seriam:

- minimizar a água de infiltração;
- maximizar o "run-off" da água de chuva;
- minimizar o escape de possível biogás, ou maximizar sua coleta;
- agir como uma barreira entre os resíduos dispostos e os agentes de distúrbio naturais, como raízes de árvores e/ou animais.

Quanto à seleção de áreas para disposição de resíduos, somente o exame da geologia local

não é suficiente, sendo necessária uma avaliação multicriteriosa. Para este propósito, ferramentas como SIGs (Sistemas Geográficos de Informações) vêm aumentar a demanda pela qualidade na entrada de dados.

A modelagem matemática pode ser usada para a seleção de novos locais para disposição de resíduos, assim como para a definição de trabalhos de remediação em áreas degradadas. O estudo detalhado dos processos de liberação e transporte de poluentes vem sendo desenvolvido, levando a uma compreensão mais refinada dos mecanismos intervenientes, e acrescentando mais subsídios para bases de dados. A validade de previsões numéricas é estabelecida por medidas "in situ" e monitoramento dos principais parâmetros, como pH, concentrações de poluentes em lixiviados, etc.

3. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE ÁREAS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

Para a disposição de resíduos em superfície, devem ser cumpridos os requisitos listados abaixo, de forma a criar várias barreiras independentes, capazes de prevenir permanentemente a liberação e propagação de substâncias nocivas:

- Escolha do local adequado;
- Aplicação de técnicas adequadas para impermeabilização e coleta de chorume;
- Aplicação de técnicas adequadas de pré-tratamento e disposição dos resíduos;
- Limitação na concentração de substâncias nocivas.

O substrato geológico deve não apenas constituir uma fundação estável para o aterro, como ter uma função impermeabilizadora. No caso de ruptura das barreiras técnicas, cumpriria

uma função retentora para os percolados e suas substâncias nocivas. A qualidade da barreira geológica é expressa em termos de:

- baixo fluxo de água subterrânea nos arredores da área de disposição;
- baixa permeabilidade do substrato;
- grande espessura e homogeneidade do material geológico;
- grande extensão do corpo geológico;
- alta capacidade de retenção (absorção) de compostos;
- baixa solubilidade química;
- baixa erodibilidade do substrato.

A barreira geológica deve promover a proteção da água subterrânea contra a contaminação pelos percolados. Portanto, a qualidade do substrato geológico é absolutamente prioritária na seleção de áreas e na avaliação de alternativas de áreas para a disposição de resíduos.

Mesmo que a formação geológica onde venha a se instalar o aterro de resíduos tenha parâmetros litológicos e geométricos favoráveis, deve-se evitar:

- áreas de proteção de águas subterrâneas, áreas de drenagem de reservatórios de água e áreas de proteção de água mineral;
- áreas com mineração ativa ou abandonada e uma "zona de segurança" ao seu redor;
- áreas com potencialidade em recursos minerais;
- áreas de recarga de aquíferos.

Também devem ser evitadas, por razões não geológicas:

- áreas densamente povoadas e áreas reservadas a loteamentos;

- estradas de rodagem e estradas de ferro;
- áreas com intensiva pecuária de gado leiteiro;
- aeroportos e uma zona de segurança ao seu redor;
- reservas naturais.

4. ESTUDO DE CASO NA MÉDIA BACIA DO RIO PIRACICABA E NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ (SP)

Trazendo para o Brasil as experiências internacionais na seleção de áreas para disposição de resíduos, o Instituto Geológico (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo) desenvolveu recentemente dois estudos na porção média da Bacia do Rio Piracicaba (Brollo, 1995 e Iritani et alii, 1995), em diferentes escalas e com diferentes metodologias. Estes são a seguir sumarizados.

4.1 Seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos domésticos na média bacia do rio Piracicaba

Em Brollo (1995) o enfoque adotado foi regional (escala 1:50.000) e abordou estudos em oito municípios da Região Metropolitana de Campinas - Hortolândia, Sumaré, Nova Odessa, Americana, osmópolis, Paulínia, Jaguariúna, Holambra (Figura 2). Este estudo teve como objetivos principais subsidiar os poderes públicos municipais e estadual na organização dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo, na mitigação de impactos e conflitos, bem como na orientação para planejamento territorial. Foram elaborados cadastros e estudos para levantar e produzir informações relativas ao meio físico. Um dos temas abor-

dados foi a indicação de áreas potenciais para a disposição de resíduos sólidos domésticos, através do Mapa para Disposição de Resíduos (Figura 3). Neste mapa são apresentadas as limitações do meio físico de maneira a identificar as

zonas mais favoráveis e as inadequadas a instalação de aterros sanitários. Busca-se, assim, orientar os possíveis usuários sobre as variações do meio físico e sua interferência na instalação de aterros sanitários.

Figura 2. Localização dos oito municípios estudados na Região Metropolitana de Campinas (SP)

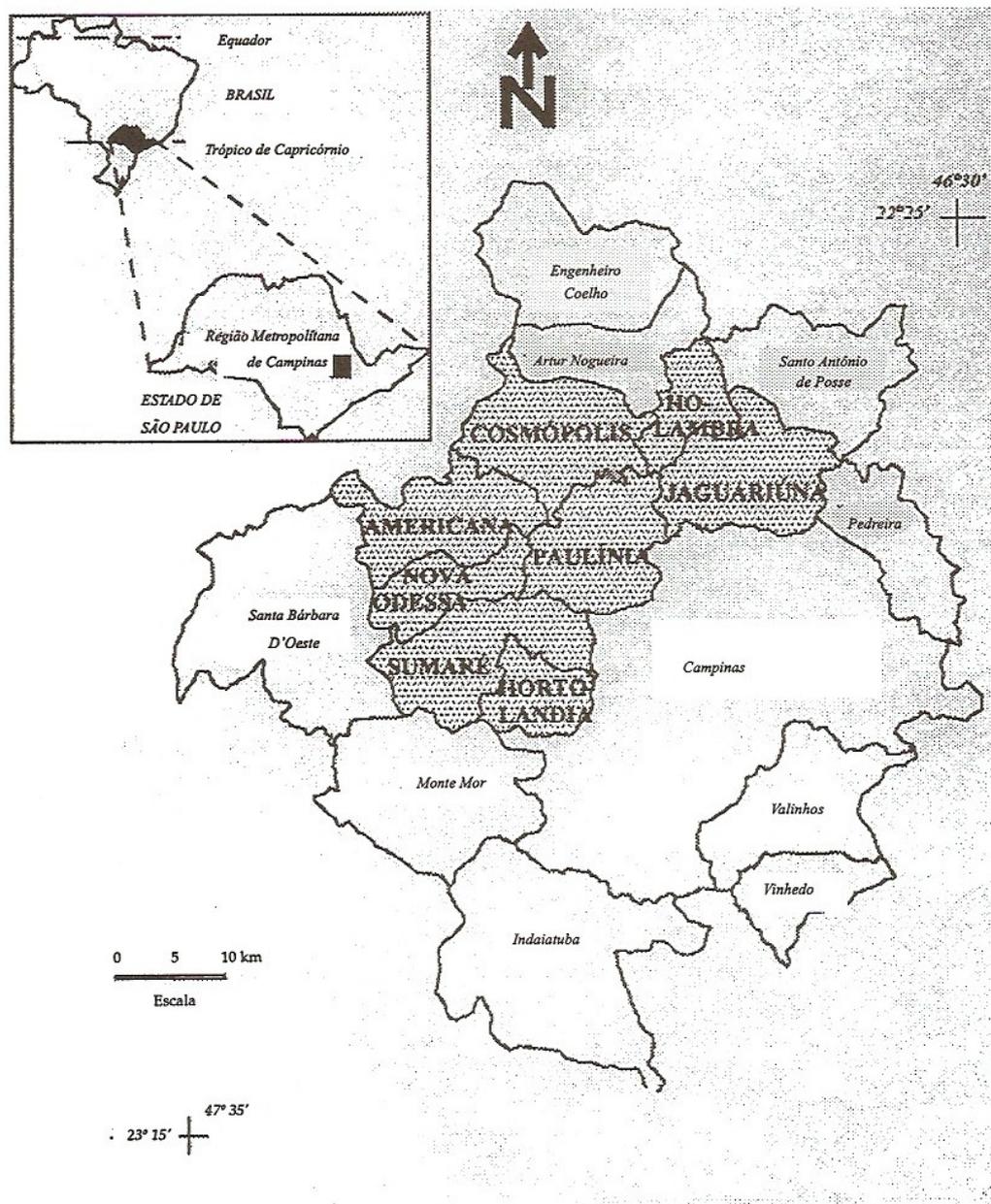
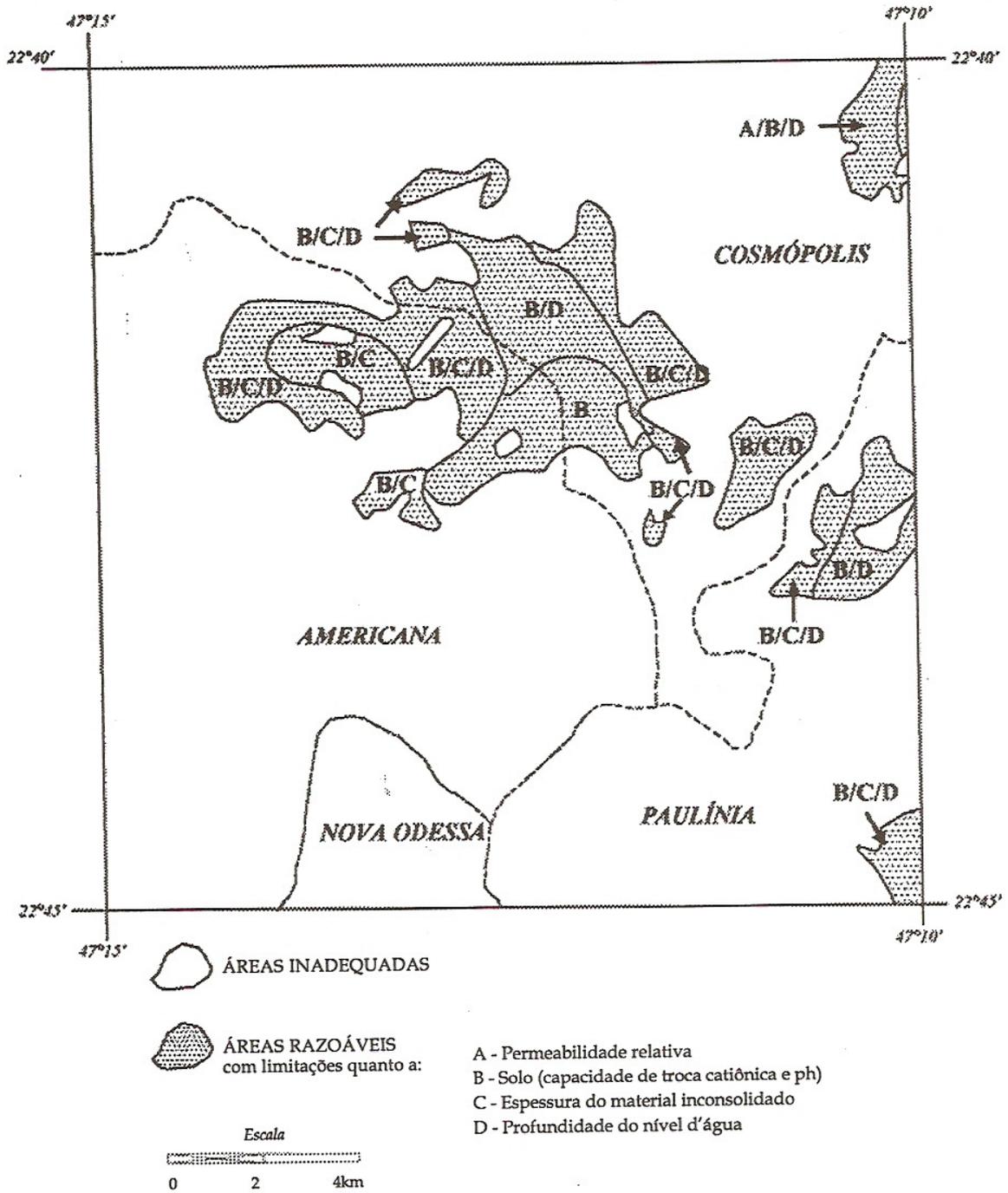


Figura 3. Mapa para disposição de resíduos sólidos domésticos. Exemplo de representação cartográfica em um trecho dos oito municípios estudados na média bacia do rio Piracicaba (SP)



A metodologia utilizada para a elaboração deste mapa foi baseada em Brollo (1991) e em trabalhos desenvolvidos no Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos. Foram duas as etapas de execução:

a) **Análise dos atributos fundamentais**, atribuindo-lhes adequabilidade relativa, com base na bibliografia consultada. Foi obtido um zoneamento preliminar, diferenciando-se áreas inadequadas, áreas razoáveis e áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, bastando que apenas um atributo seja inadequado para que toda a zona se torne inadequada. São tratados como atributos fundamentais:

- **Permeabilidade relativa do material inconsolidado.** A permeabilidade reflete a velocidade com que os líquidos fluem através dos terrenos e foi obtida através de estimativas. Enquanto os materiais com baixa permeabilidade (impermeáveis) asseguram confinamento conveniente, aqueles com média permeabilidade (semi-permeáveis) asseguram uma migração lenta do lixiviado através de uma zona não saturada de espessura suficiente. Os materiais com alta permeabilidade, permitem, por sua vez, a migração rápida do lixiviado, que pode atingir o lençol freático em curto espaço de tempo, não devendo receber se não rejeitos inertes.

- **Capacidade de troca catiônica (CTC) do material inconsolidado.** Esta propriedade reflete as características da porção argilosa e da matéria orgânica que compõem o material, sendo primordial na retenção de poluentes orgânicos, íons pouco móveis, bactérias, vírus e microrganismos. O valor da CTC é diretamente proporcional à percentagem de argila.

- **pH do material inconsolidado.** O pH indica a acidez do material, sendo responsável pela precipitação de componentes insolúveis e pela retenção e deposição de diversos poluentes. O

valor do pH é inversamente proporcional à adsorção de vírus.

- **Espessura do material inconsolidado.** Quanto mais espesso o material inconsolidado mais favorável se torna para a instalação de aterro sanitário, constituindo uma espécie de filtro ao líquido percolado. Também deve ser considerada a disponibilidade do material de cobertura das células de lixo em áreas próximas à área potencial para a instalação do aterro sanitário.

- **Profundidade do nível d'água.** É importante que a base do aterro esteja a uma distância adequada do nível d'água para que se evite a contaminação do lençol d'água.

b) **Análise dos atributos específicos** nas áreas previamente delimitadas como razoáveis a adequadas. Destas áreas, algumas podem se tornar inadequadas. Obtém-se, assim, o zoneamento final. São atributos específicos:

- **Declividade.** Das zonas previamente delimitadas como adequadas a razoáveis são descartadas aquelas onde a declividade é inferior a 2% e as que têm declividade superior a 10%. Nas declividades baixas (menores que 2%) há a possibilidade de acúmulo de águas pluviais, além de não facilitar a percolação de poluentes, com a produção de uma mancha ao redor da fonte. Já nas declividades mais elevadas (maiores que 10%) pode ocorrer erosão ou movimento de massa, com aumento da dificuldade na execução de obras, ou mesmo vazamentos de águas contaminadas nas encostas do aterro.

- **Perímetro urbano.** Tem caráter fundamentalmente proibitivo (basta que ocorra para que a área se torne inadequada), constituindo também um refinamento das áreas previamente escolhidas na análise dos atributos fundamentais.

- **Áreas de recarga de aquíferos.** Também tem caráter fundamentalmente proibitivo, igualmente constituindo refinamento das áreas

previamente escolhidas na análise dos atributos fundamentais.

- **Áreas de proteção ambiental.** Tendo caráter fundamentalmente proibitivo, constitui igualmente um refinamento das áreas previamente escolhidas na análise dos atributos fundamentais.

As zonas classificadas como adequadas a razoáveis reúnem condições satisfatórias para a disposição de resíduos. Quando o atributo considerado for razoável, devem ser adotadas medidas preventivas para minimizar as situações des-

favoráveis. Já as zonas classificadas como inadequadas apresentam atributos com potencial risco de poluição e contaminação do solo e da água, desaconselhando-se a instalação de aterros sanitários.

A análise de todos estes atributos se realizou com base em uma tabela de valores para os mesmos, elaborada segundo bibliografia já consagrada sobre o tema. Nesta tabela os atributos são classificados segundo os valores em adequado, razoável e inadequado (Quadro 4).

Quadro 4 - Classes de adequabilidade para a elaboração do Mapa para Disposição de Resíduos da média bacia do rio Piracicaba

ATRIBUTOS FUNDAMENTAIS	CLASSES DE ADEQUABILIDADE		
	ADEQUADO	RAZOÁVEL	INADEQUADO
Permeabilidade relativa	BAIXA (< 10-4 cm/s)	MÉDIA (10-2 a 10-4 cm/s)	ALTA (> 10-2 cm/s)
Capacidade de troca catiônica	ALTA (> 15 emg/ 100 g de solo)	MÉDIA (5 a 15 emg/ 100 g de solo)	BAIXA (< 5 emg/ 100 g de solo)
pH	Intermediário (6 a 8).		Ácido ou básico (< 6 e > 8)
Espessura do material inconsolidado	Superior a 10 m	Entre 5 e 10 m	Inferior a 5 m
Profundidade do Nível D'Água	Superior a 10 m.	Entre 5 e 10 m	Inferior a 5 m
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	ADEQUADO	RAZOÁVEL	INADEQUADO
Declividade	2 - 5%	5 - 10%	< 2% e > 10%
Perímetro urbano	distante		próximo
Áreas de recarga de aquíferos	distante	próximo, somente se houver proteção	próximo
Áreas de proteção ambiental	distante	próximo, somente se houver proteção	próximo

Fonte: Brollo (1995)

A representação cartográfica das classes de adequabilidade é feita através de uma legenda que associa os atributos fundamentais que tornam a zona razoável, e que consideram:

- A (permeabilidade relativa);
- B (solo: capacidade de troca catiônica e pH);
- C (espessura do material inconsolidado);
- D (profundidade do nível d'água).

Assim, a(s) letra(s) no interior das zonas delimitadas como razoáveis indicam o(s) atributo(s) que a(s) torna(m) razoáveis. Esta identificação possibilita uma intervenção direta no potencial problema que possa ocorrer na área selecionada.

Como resultado da análise na área de estudo foram delimitados 54 aglomerados de áreas classificadas como razoáveis, distribuídas pelos oito municípios, onde devem ser adotadas medidas preventivas para minimizar as situações desfavoráveis. Destaca-se que a indicação dessas áreas para este uso específico é apenas orientativa e compatível com a escala do mapa (1:50.000), devendo a escolha final dos locais para disposição de resíduos passar por criterioso estudo específico, realizado em escala maior (1:25.000 a 1:10.000). As áreas inadequadas apresentam, por sua vez, atributos com potencial risco de poluição e contaminação do solo e da água, desaconselhando-se a instalação de depósitos de resíduos. Comparando-se os locais de depósitos de lixo já instalados na área (aterros sanitários, valas e lixões), com os resultados deste estudo, verificou-se que a sua totalidade encontra-se em áreas inadequadas.

4.2 Seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos domésticos no município de Sumaré (SP)

Como decorrência do estudo regional relatado anteriormente, foi realizado no município de Sumaré (SP) um estudo de detalhe (Iritani et alii, 1995), em escala 1:25.000. Neste caso, partiu-se de uma situação específica: o município tinha uma produção diária de lixo doméstico de cerca de 80 toneladas, dispunha este resíduo no aterro sanitário do município vizinho, então no limite de sua capacidade, e necessitava implantar um

aterro na área de seu município. Levando-se em conta uma vida útil de no mínimo 10 anos para o volume produzido seria necessária uma área superior a 3 alqueires para a implantação do novo aterro sanitário.

Assim, o estudo teve como objetivo avaliar o meio físico do município de Sumaré visando a instalação de um aterro sanitário e realizando uma análise crítica das características das áreas selecionadas, de forma a identificar as mais favoráveis. Foram, então, consideradas como favoráveis as seguintes características:

- a) Litologias com baixa permeabilidade, grande espessura e sem estruturas rúpteis;
- b) Nível da água subterrânea profundo;
- c) Aquíferos com baixa produtividade e áreas com pouca exploração de água por poços tubulares profundos;
- d) Terrenos com solo espesso e baixa declividade;
- e) Áreas com baixa susceptibilidade à erosão;
- f) Áreas não ocupadas e que não comprometam a qualidade dos corpos de água.

Para a determinação das áreas que mais se aproximavam dessas características foram eliminadas as áreas impróprias, identificando-se aquelas mais favoráveis para as quais, após uma fase de campo, foram analisadas criticamente as características de cada área selecionada.

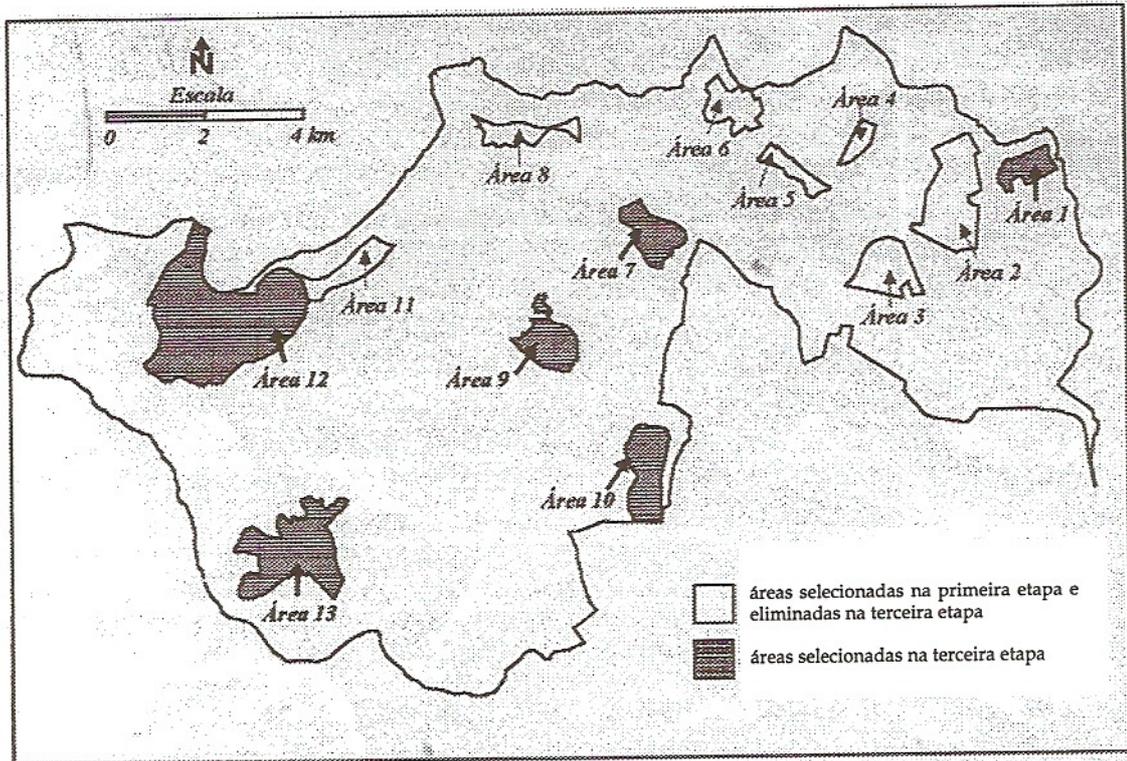
De maneira sucinta, o trabalho dividiu-se em três etapas:

- a) **Eliminação de áreas impróprias.** Foram determinados os critérios eliminatórios da seleção relativos ao uso e ocupação do solo, características do meio físico, tamanho e geometria da área, delimitando-se 13 áreas potenciais (Figura 4).

b) **Trabalhos de campo.** Foram visitadas as 13 áreas potenciais delimitadas na primeira etapa, para checagem dos dados prévios, principalmente com relação ao uso e ocupação atual do

solo e características geológicas locais. Após a análise foram descartadas 7 áreas, restando 6 áreas selecionadas (Figura 4).

Figura 4. Áreas selecionadas para disposição de resíduos sólidos domésticos no município de Sumaré (SP)



c) **Análise crítica das áreas selecionadas.** Para as 6 áreas indicativas foram avaliados os aspectos favoráveis e desfavoráveis, bem como elaboradas recomendações para a verificação de algumas características em subsuperfície. Houve uma hierarquização das áreas com priorização de 2 delas para a efetivação de estudos de detalhe e medidas "in situ" que venham corroborar as informações levantadas (Quadro 5).

Quadro 5 - Avaliação dos aspectos favoráveis e desfavoráveis das áreas selecionadas no município de Sumaré (Iritani et alii, 1995)

ÁREA	ASPECTOS FAVORÁVEIS	ASPECTOS DESFAVORÁVEIS	RECOMENDAÇÕES
1	Nível d'água = 10 m (julho de 95); baixa declividade; litologia (Lamitos e Arenitos Pelíticos do Cenozóico).	Desabamento das paredes de fossas e cacimbas; provável pequena espessura da litologia Lamitos Arenosos do Cenozóico; arenitos Médios a Grossos do Itararé em subsuperfície, pouco coeso próximo à área; zona de boa produtividade de água subterrânea; área circundada por zona residencial.	Executar sondagens para verificação: da espessura dos Lamitos Arenosos do Cenozóico; da permeabilidade das litologias de superfície e subsuperfície; do fluxo da água subterrânea.
7	Nível d'água até 10 m; baixa declividade; localização na área rural, porém próxima à área urbana; baixa produtividade de água subterrânea; baixa vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas.	Litologia de Arenitos Muito Finos do Itararé que, em relação aos Lamitos Arenosos do Cenozóico, é mais permeável; pode apresentar processos erosivos, dado o material superficial com textura areno-siltosa.	Executar sondagens para verificação: da espessura de material inconsolidado; da geometria das litologias; da profundidade e fluxo das águas subterrâneas.
9	Litologia (Lamitos e Arenitos Pelíticos do Cenozóico); espessura de material inconsolidado entre 5 e 10 m; nível d'água entre 10 e 15 m; baixa declividade; baixa produtividade de água subterrânea; erodibilidade menor em relação às outras áreas.	Parte da área se encontra dentro da zona de proteção dos mananciais e da área de recarga do manancial de água atualmente em uso; Proximidade a edificações; Proximidade ao reservatório de água da cidade; Tamanho da área (pequena).	Deve ser descartada por se encontrar na área de proteção aos mananciais.
10	Litologia (Lamitos e Arenitos Pelíticos do Cenozóico); espessura de material inconsolidado entre 5 e 10 m; nível d'água entre 5 e 20 m; baixa declividade; baixa produtivi-	Área de recarga do manancial de água atualmente em uso.	Deve ser descartada por se encontrar na área de proteção aos mananciais.

	dade de água subterrânea; tamanho da área (grande); área rural; distante de edificações.		
12	Litologia (Lamitos e Arenitos Pelíticos do Cenozóico); espessura de material inconsolidado até 10 m; nível d'água entre 5 e 20 m; baixa declividade; tamanho da área (grande); área rural; distante de edificações.	Proximidade de áreas com alta erodibilidade; litologia Arenitos Muito Finos do Itararé em subsuperfície; zona de média produtividade de água subterrânea.	Executar sondagens para verificação: da espessura de material inconsolidado e da unidade de Lamitos; da geometria das litologias; da profundidade e fluxo das águas subterrâneas.
13	Litologia (Lamitos e Arenitos Pelíticos do Cenozóico); baixa vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas; baixa declividade; área rural.	Proximidade de áreas com alta erodibilidade; litologia Arenitos Muito Finos do Itararé em subsuperfície; zona de média produtividade de água subterrânea; pequena espessura de material inconsolidado (2 a 5 m); grande parte da área é constituída por Arenitos Muito Finos do Itararé, mais permeáveis que os Lamitos Arenosos do Cenozóico.	Executar sondagens para verificação: da espessura de material inconsolidado e da unidade de Lamitos; da geometria das litologias; da profundidade e fluxo das águas subterrâneas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o que foi exposto sobre seleção, investigação e avaliação de locais para a disposição de resíduos, discutiu-se um pouco sobre ações de prevenção e ações de correção, com respeito à disposição de resíduos sólidos.

É importante destacar nesse contexto a importância em se prevenir a degradação ambiental por meio de ações preventivas, tendo-se em conta que isto não seja corrente em nosso país. Trata-se de uma questão essencialmente ética, que requer reflexões sobre que meio ambiente desejamos e deixaremos às populações futuras.

Para os poderes públicos costuma prevalecer a reflexão sobre orçamentos e os curtos períodos de suas gestões, implicando em ações de curto prazo, que lhes deem prestígio político. Exce-

ções mostram que um adequado planejamento e investimento em pesquisas e tecnologias trazem um ganho muito maior num médio prazo e produzem resultados mais adequados à boa qualidade de vida e à saúde pública. Assim mostra-se a importância em se tratar e dispor adequadamente os resíduos das atividades humanas e industriais.

A contribuição dada pelas geociências (em especial hidrogeologia, geologia estrutural e geotecnia), no desenvolvimento de normas para a seleção de áreas para disposição de resíduos, nas diversas escalas de abordagem (seja regional, seja local), consiste em determinar parâmetros de análise relevantes e, tanto quanto possível, quantificar o comportamento do transporte de contaminantes no solo de forma a fazer previsões mais acuradas.

Os estudos desenvolvidos pelo Instituto Geológico mostram experiências bastante relevantes e simples que podem ser reproduzidas

para outras áreas geográficas no Estado de São Paulo, com um ganho ambiental bastante significativo.

6. BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, A. C. *Sistemas de avaliação de prioridades para recuperação de áreas contaminadas por resíduos perigosos*. São Paulo, FSP-USP (Dissertação de Mestrado), 1996. 126p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Resíduos sólidos – classificação*. São Paulo (ABNT – NBR 10004), 1987.
- BROLLO, M. J. *Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Araras – SP. Escala 1:50.000*. São Carlos, EESC-USP (Dissertação de Mestrado), 1991. 2 v.
- _____. (Coord.) *Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da bacia do rio Piracicaba*. São Paulo, Instituto Geológico, Relatório Técnico, 1995, 4 volumes, 25 anexos.
- CÔME, B. Contributions of Engineering Geology to the safe storage of toxic domestic and industrial wastes: present situation and perspectives. Lissabon. *Theme 3, Proc. 7^o Int. IAEG Congr.*, 1994.
- HASSUDA, S. *Modelo de Gestão de Áreas Contaminadas Elaborada para a Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo, IG-USP (Tese de Doutorado), 1997.
- IRITANI, M. A.; BROLLO, M. J.; NAKANDAKARE, K. C. *Seleção de Áreas para Implantação de Aterro Sanitário no Município de Sumaré*. São Paulo, Instituto Geológico, Relatório Técnico, 1995, 1 anexo.
- LANGER, M. Engineering Geology and Waste Disposal: Scientific report and recommendations of the IAEG Commission n. 14. Paris. IAEG, *Bulletin n. 51*, 1995, p. 5-30.

ABSTRACT

After a panorama of the situation of the solid wastes around the world, in respect to its classification, generation and final disposition forms, the theme of methodologies for area selection is approached for wastes disposition. Had as premise that it should avoid the soil, the underground water and the environment contamination it is shown the results of two studies made by the Instituto Geológico (SMA/SP) that had as objective the application of methodologies for area selection for disposition of residues.