



DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) EM ATERROS SANITÁRIOS COM CAMADAS IMPERMEABILIZANTES DE SOLO-BENTONITA

Juliana Azoia Lukiantchuki¹

Edmundo Rogério Esquivel²

RESUMO

O crescimento populacional, associado ao acelerado processo de industrialização e às mudanças nos padrões mundiais de consumo, tem colaborado nas últimas décadas para o crescente aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). No Brasil, este contexto torna-se ainda mais problemático devido à predominância de modalidades inadequadas para a disposição final dos RSU, sejam estas os lançamentos a céu aberto e os aterros controlados. Apesar de existirem diversas técnicas de tratamento e disposição de resíduos que visam uma destinação final segura, o aterro sanitário é considerado um método de disposição adequado tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. O desempenho adequado dos aterros sanitários depende diretamente da eficiência das barreiras impermeabilizantes. Estas barreiras podem ser constituídas de uma mistura de solo natural com bentonita devidamente compactada, visando principalmente à retenção de poluentes provenientes dos RSU. Este trabalho apresenta como tipo de solução para a construção de barreiras impermeabilizantes o emprego de misturas de solo natural com bentonita. São apresentados os principais ensaios de laboratório utilizados para determinar as características do solo, da bentonita assim como de misturas solo-bentonita. Os parâmetros obtidos em laboratório são utilizados para a construção da camada em campo tomando-se os devidos cuidados com o preparo da mistura. A utilização deste tipo de barreira torna-se interessante principalmente em países que possuem ampla disposição de solos lateríticos como e o caso do Brasil.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos. Disposição final. Aterros sanitários. Barreiras impermeabilizantes. Solo-bentonita.

¹ Aluna de Doutorado, Msc., Escola de Engenharia de São Carlos-EESC/USP, Departamento de Geotecnia, jazoia@yahoo.com.br

² Prof. Dr., Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, Departamento de Geotecnia, esquivel@sc.usp.br



1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos grandes problemas associado ao crescimento populacional, à expansão urbana e ao desenvolvimento industrial consiste na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e industriais (RSI) de diversos tipos. Esses resíduos, provenientes de diversos tipos de atividades, vêm se transformando em um grande problema para a sociedade e para os gestores públicos. Este fato ocorre porque a decomposição desses resíduos origina gases e líquidos, que possuem em sua constituição substâncias capazes de contaminar o solo, as águas de superfície e subterrâneas e a atmosfera, causando sérios danos ao meio ambiente.

Por esses motivos, a disposição inadequada de resíduos sólidos afeta diretamente o meio físico, ocasionando a sua degradação. A grande preocupação com esse tipo de problema, principalmente nas últimas décadas, vem impulsionando estudos mais aprofundados quanto à disposição segura e adequada dos resíduos sólidos urbanos e industriais. Neste contexto, existem diversas soluções que buscam minimizar os efeitos da geração e do descarte dos resíduos sólidos urbanos. Dentre essas diversas soluções destaca-se a reutilização, a reciclagem, a compostagem e a incineração, sendo que estes dois últimos são pouco utilizados devido aos custos envolvidos na operação dos sistemas.

No entanto, apesar de existirem diversas técnicas de tratamento e disposição de resíduos que visam uma destinação final segura, o aterro sanitário ainda é considerado um método adequado, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, principalmente para países menos desenvolvidos. Os aterros sanitários são obras de engenharia que visam o armazenamento dos resíduos sólidos urbanos de maneira segura garantindo a proteção das águas superficiais e subterrâneas, do solo, do ar e do próprio homem. Soares *et al* (2002) destacam que a escolha do local onde será implantado um aterro sanitário tem influência direta sobre possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes desta implantação.

Os aterros sanitários devem apresentar sistemas que permitam o tratamento dos líquidos e gases gerados pela decomposição dos resíduos. O desempenho adequado dos aterros sanitários se deve em grande parte a eficiência das barreiras impermeabilizantes. As barreiras impermeabilizantes, também denominadas *liners*, são camadas constituídas de um determinado material, cuja finalidade é minimizar o fluxo de percolados para o ambiente hidrogeológico subjacente. Também têm a finalidade de minimizar a infiltração de água superficial para dentro do aterro, reduzindo com isto a geração de percolados. Dessa maneira consegue-se proteger o ambiente circundante ao aterro contra a poluição, garantindo a não contaminação das águas subterrâneas.

Neste trabalho é apresentado um panorama da situação brasileira de disposição de RSU. Posteriormente é discutida como solução técnica viável a construção de camadas impermeabilizantes construídas com misturas solo-bentonita compactadas. São apresentados os ensaios de laboratório fundamentais que devem ser realizados para o conhecimento adequado das propriedades do solo natural e da bentonita assim como os parâmetros necessários para a execução da camada de solo-bentonita compactada em campo.

2. DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

2.1. Panorama da situação brasileira

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE, 2007), em 2007, foram gerados no Brasil cerca de 61,5 milhões de toneladas de RSU, sendo que desta quantidade, 51,4 milhões de toneladas foram coletados. Esses dados mostram que aproximadamente 16 % dos RSU gerados no Brasil não são coletados, sendo que sua disposição é incerta e certamente insegura, do ponto de vista ambiental. Por dia, cada habitante gera em média cerca de 1,106 kg de RSU, sendo que deste total 0,18 kg possuem destino desconhecido.



Outra questão importante relacionada à geração de RSU é a sua destinação final. Somente a coleta dos RSU não é suficiente, pois neste processo é de grande importância a maneira como os RSU serão dispostos no meio físico. Estima-se que apenas 39 % dos municípios brasileiros fornecem destino e tratamento adequado aos RSU. Este problema torna-se mais acentuado quando é analisada a grande quantidade de municípios situados nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste que destinam os resíduos de maneira inadequada. Nas demais regiões, embora ainda exista uma quantidade expressiva de municípios onde a destinação final de RSU é inadequada, a maioria desses municípios já possui aterros controlados, o que indiretamente representa uma melhor conscientização do problema (ABRELPE, 2007). A Tabela 1 apresenta a destinação final dos RSU coletados para cada região do Brasil.

Tabela 1 – Dados da disposição final dos RSU coletados no Brasil.

Região	Municípios com destinação adequada	Municípios sem destinação adequada	Destinação adequada (%)
Norte	67	382	14,8
Nordeste	448	1345	25,0
Centro-Oeste	163	303	35,0
Sudeste	789	879	47,3
Sul	691	497	58,1
Brasil	2158	3406	38,6

Fonte: ABRELPE-2007.

Dados levantados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002) mostram que a disposição na forma de lançamento a céu aberto representa a modalidade mais utilizada na maioria dos municípios com população inferior a 10 mil habitantes, ou seja, cerca de 50 % dos municípios brasileiros.

Na Figura 1 são apresentados os valores percentuais de RSU com destinação adequada e inadequada correspondentes a cada uma das macro-regiões brasileiras: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste, Sul. Também apresenta a porcentagem do Brasil como um todo. Verifica-se através desses dados que as regiões Norte e Nordeste são aquelas que apresentam as piores situações de disposição inadequada, seguidas pelas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Os dados levantados mostram que nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste este problema é ainda mais acentuado que nas demais regiões do Brasil.

A distribuição percentual da disposição final dos RSU, de acordo com cada modalidade, é apresentada na Figura 2. Esses dados foram obtidos através da análise de informações coletadas em 220 municípios, que representam todas as macro-regiões do Brasil (ABRELPE, 2007). Na Figura 2 observa-se que 38 % das modalidades de disposição de RSU ocorrem de maneira adequada enquanto que 62 % dessas modalidades são de maneira inadequada.

2.2. Aterros sanitários

2.2.1. Histórico

Segundo Lima (2004), a prática de aterrar os resíduos sólidos urbanos como forma de destino final ocorre desde a antiguidade. O autor relata que na Mesopotâmia, por volta de 2500 AC, os povos nabateus enterravam seus resíduos domésticos e agrícolas em trincheiras escavadas no solo. Em Roma, por volta do ano 150 DC, a população que residia na zona urbana abria valas e aterravam os resíduos, devido à grande quantidade de roedores e insetos que apareciam em torno dos locais onde tais resíduos eram dispostos.

Lima (2004) relata ainda que na Idade Média o aparecimento da peste bubônica obrigou as pessoas a aterrar seus dejetos. A partir deste momento, os administradores públicos e os



interessados em saúde pública passaram a defender a necessidade do desenvolvimento de técnicas mais adequadas e confiáveis para a disposição dos resíduos sólidos. Através do aprimoramento contínuo da prática de aterrar os resíduos, surgiu o que hoje é denominado de aterro sanitário.

Atualmente, existem diversas técnicas de disposição final de resíduos sólidos que objetivam principalmente a redução de volume e a destinação final de maneira segura. Entre as técnicas adequadas de disposição final de resíduos pode-se destacar a incineração, compostagem, reciclagem, trituração, compactação e enfardamento. No entanto, apesar dos avanços das técnicas para a destinação final dos resíduos sólidos, os aterros sanitários são considerados o melhor método de disposição final de resíduos sólidos dos pontos de vista de execução, econômico e ambiental.

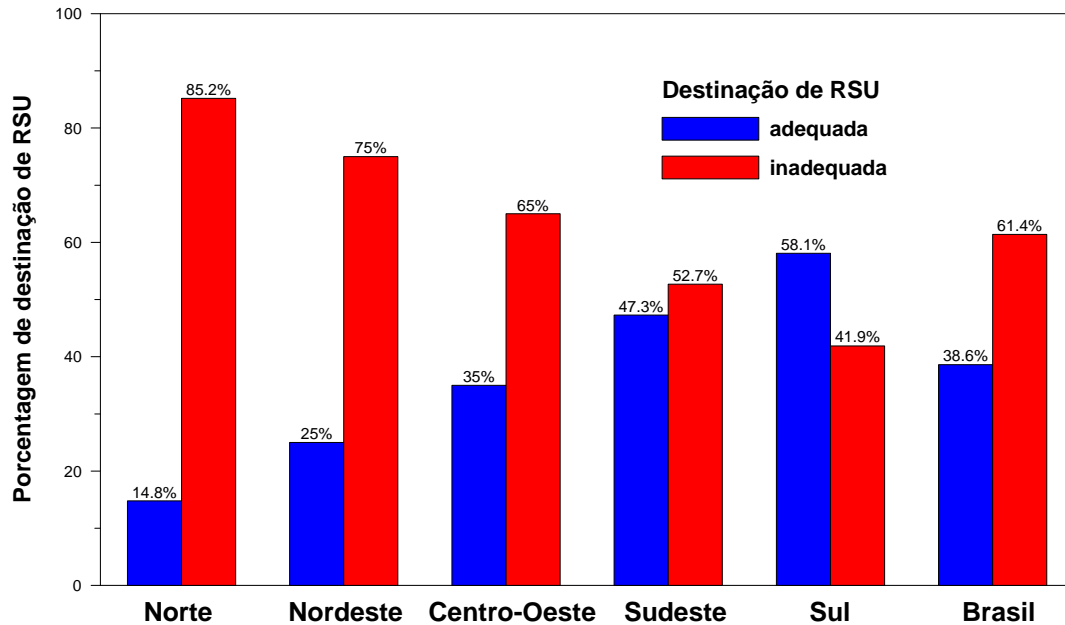


Figura 1 – Panorama da destinação dos RSU por regiões brasileiras.

Fonte: ABRELPE-2007.

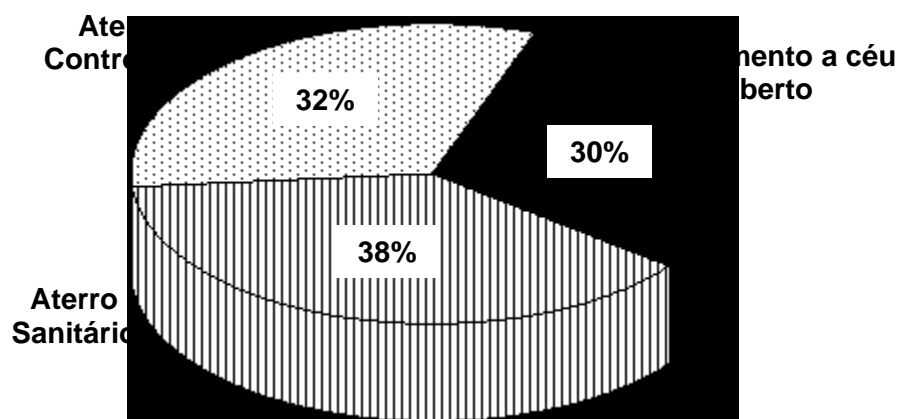


Figura 2 - Destinação dos RSU de acordo com diferentes modalidades.

Fonte: ABRELPE-2007.

2.2.2. Definição

Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1993) o aterro sanitário é definido como um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo,



fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção ao meio ambiente.

Os aterros sanitários apresentam diversas vantagens, destacando-se:

- a) auto-suficiência como destinação final: ao contrário dos demais métodos utilizados, tais como a incineração e a reciclagem, o aterro sanitário não apresenta resíduos no final do seu processo;
- b) baixo custo: apesar de apresentar inicialmente um custo elevado, o aterro sanitário permite o controle operacional que evita gastos posteriores com a proteção do meio ambiente;
- c) controle: todas as etapas são acompanhadas por técnicos capacitados.

Lima (2004) destaca que os principais fatores limitantes deste método são basicamente a disponibilidade de grandes áreas próximas aos centros urbanos que não comprometam a segurança e o conforto da população, a disponibilidade de material para a cobertura diária, condições climáticas de operação durante todo o ano e a escassez de recursos humanos habilitados em gerenciamento de aterros. Leite (1995) e Assis (1999) apontam que o custo cada vez mais elevado de implantação dos aterros sanitários é devido aos altos preços da terra, caracterizando-se como um fator restritivo ao emprego desta técnica. Além disso, os autores destacam ainda as inúmeras exigências impostas pelos órgãos ambientais como outro importante fator limitante. No entanto, esses mesmos autores salientam que o aterro sanitário quando comparado com outras técnicas de disposição final representam uma boa alternativa para países em desenvolvimento que possuem grande disponibilidade de terra.

A Figura 3 apresenta esquematicamente a estrutura de um aterro sanitário e os elementos que o constituem. Pode-se destacar como elementos fundamentais de um aterro sanitário:

- a) conjunto de células de resíduos recobertas, diariamente, por uma camada de solo evitando assim a proliferação de vetores;
- b) sistema de drenagem de gás e de líquido percolado;
- c) sistema de tratamento do líquido percolado;
- d) sistema de revestimento de fundo impermeável, evitando a infiltração de chorume no solo, preservando a qualidade do solo e das águas subterrâneas;
- e) sistema de cobertura do aterro, para minimizar a infiltração de água para dentro dos resíduos, diminuindo o volume do percolado.

Neste contexto destaca-se que o desempenho adequado dos aterros sanitários se deve em grande parte à eficiência das barreiras impermeabilizantes. As barreiras impermeabilizantes, também denominadas *liners*, são camadas constituídas de um material apropriado, cuja finalidade é minimizar o fluxo de percolados para o ambiente hidrogeológico subjacente (*liners* de fundo). Os *liners* também têm a finalidade de minimizar a infiltração de água superficial nos resíduos, reduzindo com isto a geração de percolados (*liners* de cobertura). Dessa maneira consegue-se proteger o ambiente circundante ao aterro contra a poluição, garantindo a não contaminação das águas subterrâneas.

As características fundamentais para o bom funcionamento de uma barreira impermeabilizante são: estanqueidade (baixa condutividade hidráulica), durabilidade, resistência mecânica, resistência a intempéries e compatibilidade com os resíduos a serem dispostos.

Os baixos valores de condutividade hidráulica estão associados à impermeabilidade das camadas e conseqüentemente à proteção do meio físico circundante ao aterro. Desta maneira apesar de existir uma série de características necessárias para a execução de barreiras argilosas (limites de consistência, porcentagem da fração de finos, dentre outras) a condutividade hidráulica destaca-se como uma das características mais importantes. A construção de uma barreira argilosa com valores aceitáveis de condutividade hidráulica garante as demais características necessárias ao bom funcionamento desta.

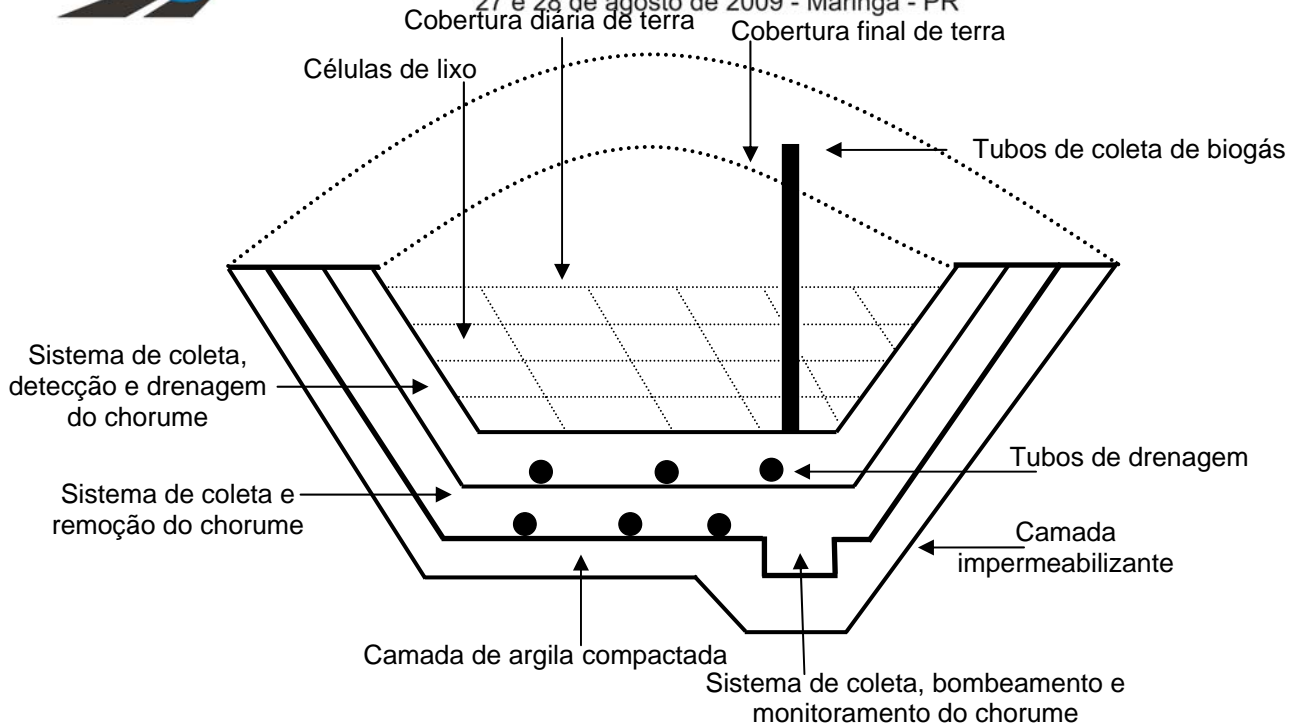


Figura 3 – Estrutura esquemática de um aterro sanitário.

Fonte: SWITZENBAUM -1992.

2.2.3. Barreiras argilosas compactadas

As barreiras argilosas compactadas são constituídas por materiais argilosos, naturais ou reconstituídos, onde é empregado o processo de compactação como forma de garantir que a barreira impermeável tenha uma faixa baixa e uniforme de condutividade hidráulica. A condutividade hidráulica dessas barreiras depende da estrutura do material inconsolidado, ou seja, distribuição granulométrica, tamanho dos poros, orientação das partículas, agentes cimentantes dentre outras características.

Atualmente as barreiras impermeabilizantes vêm sendo desenvolvidas, visando fundamentalmente à segurança. Desta maneira procura-se garantir a funcionalidade destas barreiras durante um determinado período de tempo, assim como assegurar a durabilidade dos materiais empregados na obra sob condições adversas. Tais barreiras, denominadas *barreiras ativas*, são constituídas de camadas tratadas com bentonitas especialmente desenvolvidas para a impermeabilização de solos, garantindo proteção constante mesmo em condições adversas. As bentonitas mais apropriadas são as do tipo sódica, devido ao fato de apresentarem propriedades expansivas e de cicatrização superior a dos outros tipos de bentonita (GOUVEIA, 2005).

Segundo relatos de Rowe (2000), o sucesso da construção de camadas de solo-bentonita com baixa condutividade hidráulica depende de vários fatores, sendo estes:

- obtenção e manutenção de uma mistura solo-bentonita homogênea, evitando a segregação durante a mistura;
- controle de compactação e teor de umidade;
- espessura da camada de compactação.

A utilização de misturas solo-bentonita em barreiras impermeabilizantes torna necessária a realização de ensaios de laboratório específicos. Tais ensaios são realizados com o objetivo de estabelecer um teor ótimo de bentonita e teor de umidade para cada caso de solo estudado. Estes procedimentos garantem a obtenção de valores de condutividade hidráulica adequados, além de proporcionar uma melhor homogeneização, trabalhabilidade e aplicação econômica do material.



2.3. Ensaios de laboratório

Os ensaios de laboratório são divididos basicamente em dois grupos: ensaios de caracterização dos materiais e ensaios de condutividade hidráulica. Esses ensaios são realizados com misturas de solo com diferentes teores de bentonita e de umidade, avaliando-se em laboratório os valores de condutividade hidráulica obtidos. A seguir serão apresentados os procedimentos realizados de acordo com pesquisas desenvolvidas por Lukiantchuki (2007) na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

2.3.1. Preparo das misturas

Inicialmente são estabelecidos os teores de bentonita que serão utilizados para as misturas. Na literatura não são recomendados valores acima de 10 % (Rowe, 2000), devido à dificuldade do manuseio em campo. As proporções solo-bentonita são calculadas em termos de massa seca de materiais. O preparo das misturas deve ser realizado da seguinte forma:

- 1) homogeneização do solo puro com auxílio da peneira de malha 2 mm;
- 2) adição de bentonita no teor desejado, seguido pela homogeneização manual da mistura;
- 3) adição de água na quantidade necessária, seguida pela completa mistura dos materiais.

Após o preparo, a mistura deve ser devidamente acondicionada em sacos plásticos, devidamente protegida e deixada em repouso por um período de 2 a 3 dias, a fim de se obter a completa homogeneização do material.

2.3.2. Ensaios de caracterização

A caracterização geotécnica do solo natural e das misturas solo-bentonita é realizada utilizando-se as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): granulometria conjunta (ABNT, 1984a), massa específica dos sólidos (ABNT 1984b), limites de liquidez (ABNT 1984c) limites de plasticidade (ABNT 1984d) e ensaio de compactação Proctor Normal (ABNT 1986). Em relação aos ensaios de caracterização da bentonita, a inexistência de norma específica para este material faz com que sejam utilizadas as mesmas normas citadas anteriormente. No entanto, torna-se necessária a diminuição da quantidade de material utilizado para o ensaio e o aumento do tempo de repouso da amostra em solução de água.

A bentonita quando utilizada em grandes quantidades dificulta a realização do ensaio devido a sua alta capacidade de expansão. Além disso, quando diluído em água, o material necessita de um longo tempo para que ocorra a sua hidratação completa.

2.3.3. Mineralogia

A constituição mineralógica, tanto do solo como da bentonita utilizada na mistura, é uma informação fundamental para o entendimento do comportamento das misturas. Por exemplo, no caso das bentonitas, existe diferença de propriedades devido à constituição mineralógica do material. A bentonita sódica é mais comumente utilizada em obras de selagem e impermeabilização devido ao fato de apresentar um poder muito maior de expansão do que a bentonita cálcica. Entretanto a bentonita cálcica é quimicamente mais estável quando exposta a alguns compostos químicos.

A difração de Raios-X (DRX) é a técnica mais eficiente para a detecção de argilo-minerais. Através desta técnica é possível obter informações qualitativas e quantitativas dos minerais presentes em uma determinada argila. Os ensaios DRX devem ser realizados com lâminas preparadas com o material a ser analisado. Posteriormente são realizadas as leituras da distância interplanar basal em equipamento específico.

2.3.4. Ensaios de condutividade hidráulica



Quando os ensaios de condutividade hidráulica com misturas solo-bentonita são realizados em permeâmetros do tipo parede flexível, o processo de saturação dos corpos de prova é mais rápido e mais eficaz. Este método de ensaio adota um sistema de controle hidráulico de volume constante (sistema fechado). O permeâmetro encontra-se ligado a três fontes de pressão, que são responsáveis pelo confinamento do corpo de prova, saturação por contra pressão e imposição de um gradiente hidráulico.

O sistema fechado é constituído por um reservatório de interface água-mercúrio ligado a um tubo capilar sobre uma escala milimétrica. O sistema possui acessos ao corpo de prova, sendo dois pela base e dois pelo topo. O esquema mostrado na Figura 4 representa o sistema hidráulico de volume constante (sistema fechado) interligado ao permeâmetro de parede flexível.

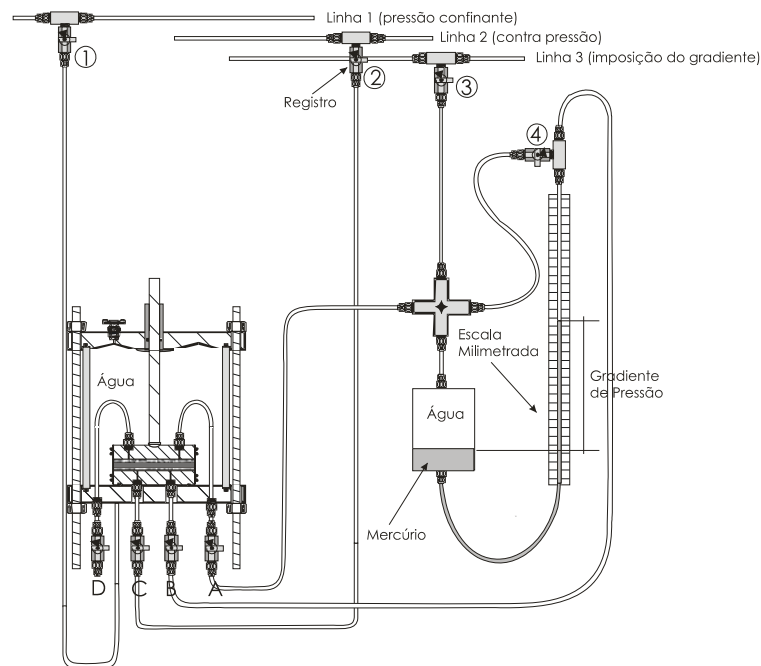


Figura 4 – Esquema do sistema de controle hidráulico fechado

Fonte: DOURADO -2003.

Os ensaios de condutividade hidráulica são realizados com o objetivo de determinar o teor de bentonita que possibilita a obtenção de valores inferiores a 10^{-7} cm/s. Isto porque, a maioria das legislações vigentes para a construção de aterros sanitários especifica como valores máximos de condutividade hidráulica para solos compactados 10^{-7} cm/s.

2.4. Execução da barreira impermeabilizante em Campo

Os procedimentos de execução de camadas impermeabilizantes de solo-bentonita em campo que serão descritos a seguir são referentes a trabalhos de pesquisa de Gouveia 2005. Estas informações serviram de base para o desenvolvimento da pesquisa realizada por Lukiantchuki 2007.

O teor de bentonita é definido inicialmente em laboratório a fim de garantir as recomendações das normas. Após o estudo em laboratório, o projeto executivo da camada impermeabilizante será determinado a partir dos parâmetros de compactação (teor de umidade ótimo e energia de compactação), espessura da camada e o tempo de vida útil do sistema. Em campo, o solo local deve ser inicialmente destorroado e limpo. Em seguida a mistura do solo com a bentonita é realizada através do espalhamento manual dos materiais e posteriormente com o auxílio de grades e/ou lâminas de motoniveladora. A Figura 5 ilustra o início da mistura dos materiais.



Figura 5 - Mistura manual do solo e da bentonita – Obra: Serquip.
Fonte: GOUVEIA – 2005.

Após o processo de mistura do solo com a bentonita, deve-se adicionar água na quantidade necessária para se obter o teor de umidade estabelecido em projeto e determinado em laboratório através do ensaio de compactação (Figura 6).



Figura 6 – Adição de água na mistura solo-bentonita – Obra: Galvani.
Fonte: GOUVEIA – 2005.

A compactação deve ser realizada seguindo as recomendações de projeto em relação à energia de compactação (Figura 7). A Figura 8 apresenta o aspecto final de uma camada impermeabilizante de solo-bentonita.



Figura 7 – Compactação da camada de solo-bentonita – Obra: Camargo Solvay.
Fonte: GOUVEIA – 2005.



Figura 8 – Camada impermeabilizante de solo-bentonita finalizada – Obra: Camargo Solvay.
Fonte: GOUVEIA – 2005.

3. CONCLUSÃO

No Brasil a disposição de resíduos sólidos de maneira inadequada ocorre predominantemente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, existindo nestes locais a ampla necessidade de soluções emergenciais. A disposição final dos RSU na forma de aterros sanitários apresenta-se como uma solução adequada, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. No entanto, a eficiência desses elementos construtivos esta diretamente relacionada com a adequada funcionalidade das camadas impermeabilizantes.

Neste sentido, solos típicos brasileiros (solos lateríticos), quando misturados com bentonita, podem ser potencialmente aproveitados para a construção de barreiras impermeabilizantes, apresentando-se como uma solução adequada. Para esta finalidade é necessário um estudo detalhado em laboratório visando à determinação do teor de bentonita adequado para cada tipo de solo. A mistura com o teor de bentonita adequado deve atender aos valores mínimos de condutividade hidráulica estabelecidos pelas normas vigentes, a fim de garantir a proteção do meio ambiente.

O estudo detalhado das misturas solo-bentonita em laboratório pode viabilizar economicamente o emprego deste tipo de barreira impermeabilizante, principalmente em regiões onde o solo local apresenta-se com uma fração não muito baixa de argila na sua constituição.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 7181 (MB 33)**: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro. 13 p. 1984a.
- ABNT. **NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira 4,8 mm – determinação da massa específica. Rio de Janeiro. 8p. 1984b.
- ABNT. **NBR 6459 (MB 30)**: Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. 6p. 1984c.
- ABNT. **NBR 7180 (MB 31)**: Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. 3p. 1984d.
- ABNT. **NBR 7182 (MB 33)**: Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro. 10p. 1986.



ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** 2007.

ASSIS, J.F. **Avaliação do uso de aterros como alternativa para disposição de resíduos domiciliares e industriais.** 1999. 126p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

CETESB – Companhia de Tecnologia e de Saneamento Ambiental de São Paulo. **Resíduos sólidos industriais.** São Paulo, 1993.

DOURADO, K.A. Condutividade hidráulica de materiais de baixa permeabilidade: desenvolvimento, construção e teste de um sistema de medida. 2003. 89p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GOUVEIA FILHO, P.P.F. Camadas ativas de impermeabilização de solos. **Comunicação pessoal.** 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico.** 2002. Rio de Janeiro.

LEITE, J.C. **Metodologia para elaboração da carta de susceptibilidade à contaminação e poluição das águas subsuperficiais.** 1995. 219p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

LIMA, L.M.Q. **Lixo tratamento e biorremediação.** Brasil: Hemus editora, 2004.

LUKIANCHUKI, J.A. Influência do teor de bentonita na condutividade hidráulica e na resistência ao cisalhamento de um solo arenoso utilizado como barreira impermeabilizante. 2007. 124p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ROWE, R.K. **Barrier systems. In: Geotechnical and geoenvironmental engineering handbook.** Ontario, Kluwer academic publishers, 2000, chapter 25.

SOARES, S.R.; LUPATINI, G.; JÚNIOR, A.B.C. **Sistemas de apoio à decisão (SAD) em seleção de áreas de aterros sanitários para pequenas comunidades.** Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades (coletânea de trabalhos técnicos). Florianópolis – SC. 2002.

SWITZENBAUM M.S. **Solid and hazardous waste treatment.** Couses notes, spring, Department of Civil Engineering, University of Massachusetts. 1992.