



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

III-082 - ANÁLISE DO CICLO DE VIDA COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO DE ATERROS PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Leica Kotsuko Kajino (1)

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia da UNESP - Campus de Bauru da UNESP, mestranda desde 2002 no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, da Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus de Bauru.

Jorge Hamada(2)

Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru - UNESP. Engenheiro civil, mestrado e doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP, consultor na área ambiental especialmente para manejo de resíduos sólidos. Coordenador do Grupo de Estudos de Resíduos Sólidos da Unesp - Bauru.

Endereço⁽¹⁾: Rua Ignácio Alexandre Nasralla n.º 1-81 Apto. 91, Vila Riachuelo – Bauru/SP, CEP 17017-260,



E-mail lkajino@terra.com.br

RESUMO

A aplicação dos conceitos de análise do ciclo de vida aplicada aos sistemas de manejo de resíduos sólidos urbanos tem crescido nos últimos anos. Contudo, esta análise pode ser trabalhosa e pouco versátil, pois os dados quando disponíveis são dispersos e pouco confiáveis, dificultando a implementação deste conceito ao sistema. Contudo, esta aplicação pode ser direcionada e limitada a um sistema onde geralmente existe ou pode ser exercido um bom controle sobre as entradas e saídas. Com base nessa premissa, este trabalho visa fornecer subsídios para desenvolvimento e aplicação do conceito de análise do ciclo de vida, considerando o aterro sanitário como elemento central do problema. Para tanto, efetuou-se a estruturação do modelo, através da identificação e quantificação dos elementos existentes no fluxo de resíduos, incluindo-se: quantidade e composição dos resíduos, balanço energético e econômico e identificação de impactos relacionados aos efluentes líquidos e gasosos. A aplicação do conceito de análise do ciclo de vida, embora restrito neste caso ao aterro sanitário, mostra-se como uma alternativa interessante para o gerenciamento do sistema de disposição final e permite identificar e correlacionar os principais impactos ambientais ao longo da vida útil. Do ponto de vista dos impactos ambientais, o aterro sanitário constitui o foco principal dos problemas, pelo fato de produzir diferentes tipos de efluentes e é neste fator que reside a importância de sua análise, pois o mesmo torna-se o elemento mais representativo de avaliação do estágio de sustentabilidade em que vive uma sociedade.

PALAVRAS-CHAVE: Análise do ciclo de vida, aterros sanitários, inventário do ciclo de vida

INTRODUÇÃO

Apesar da evolução dos programas de reciclagem, redução e processos para tratamento de resíduos sólidos, a quantidade destinada aos aterros é expressiva e crescente, denotando que muito ainda precisa ser feito em relação à preservação de recursos naturais e meio ambiente. Os sistemas integrados de manejo de resíduos sólidos constituem a chave para o entendimento da geração e do fluxo de resíduos no sistema, a partir do qual seria possível atuar sobre pontos críticos de forma a aumentar a eficiência de processos e reduzir impactos ambientais e custos econômicos (White et al, 1995). Uma das ferramentas que pode ser aplicada é a Análise do Ciclo de Vida (AVC), que pode ser considerada para produtos ou serviços envolvidos no manejo de resíduos sólidos (US-EPA, 2001).

A análise do ciclo de vida para um sistema de manejo de resíduos sólidos urbanos pode ser trabalhosa e pouco versátil para o dia a dia, pois depende do conhecimento relativamente profundo dos elementos pertinentes e aqueles relevantes, com identificação de fluxo. Contudo, pode ser moldada para determinados objetivos, não necessariamente avaliando todos os impactos ambientais. Caberá ao responsável pela análise, a definição do conjunto de critérios (e parâmetros) mais pertinentes às suas necessidades. Entenda-se por "necessidade" não o direcionamento dos resultados, mas o atendimento de uma precisão suficientemente elevada para justificar a tomada de decisão.

Então, sua aplicação pode ser direcionada aos elementos componentes nos resíduos sólidos urbanos, ou para um determinado serviço, tal como pode ser encarado o aterro sanitário. No delineamento do problema em torno do aterro sanitário, obtém-se algumas vantagens relacionadas à falta de confiabilidade dos dados existentes no fluxo de resíduos antes da disposição final, uma vez que a quantidade total normalmente é medida através da pesagem e a caracterização pode ser efetuada no local. Ao contrário do que ocorre desde a geração até a coleta pelos veículos coletores, em função da atuação desordenada de catadores de rua e de muitos programas de reciclagem. Estes são parâmetros difíceis de serem quantificados e equacionados. Deve ser lembrado que um aterro para resíduos, na maioria das vezes, é considerado o ponto final na análise do ciclo de vida de um produto, na forma que com frequência se apresenta (nascimento ao túmulo).

O objetivo principal trabalho é fornecer subsídios para desenvolvimento e aplicação do conceito de análise do ciclo de vida, considerando o aterro sanitário como elemento central do problema, não necessariamente o mais relevante, e que este elemento representa uma unidade a ser preservada e muito bem gerenciada.

MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta deste trabalho abrange uma fase inicial do projeto global, alcançada através da estruturação de um modelo tecnológico flexível para resíduos sólidos urbanos, baseada no conceito de Análise do Ciclo de Vida, cujo elemento central é o aterro sanitário.

A construção de modelo digital do sistema foi feito com uma planilha eletrônica, através da identificação e quantificação dos elementos existentes no fluxo de resíduos, incluindo-se: quantidade e composição dos resíduos, balanço energético e econômico e identificação de impactos relacionados aos efluentes líquidos e gasosos. Este estágio inicial define e descreve as opções que serão implementadas, comparadas e avaliadas, delimitando o sistema, analisando funções, atividades e resultados esperados.

Um aspecto importante a ser discutido, no caso de aterros sanitários é sua dinâmica ao longo do tempo, uma vez que o sistema apresenta, do ponto de vista operacional, uma vida útil pré-determinada, contudo, do ponto de vista ambiental é um sistema ativo que se estende por um período, em princípio, indeterminado. Neste caso é importante a definição dos objetivos da análise. Do ponto de vista ambiental, existe um momento crítico em que um aterro pode apresentar um maior potencial de impacto, através de suas emissões atmosféricas (último ano de disposição) ou líquidas (maior carga orgânica). Do ponto de vista global, importaria o somatório dos efeitos ao longo do tempo; porém qual seria esse tempo, uma vez que a degradação de alguns componentes pode ser requerer séculos. Neste caso, Bjarnadóttir, et al (2002), sugerem um limite de 100 anos para análise.

A metodologia da técnica de ACV inclui, de acordo com a ISO 14040, quatro fases principais, que se inter-relacionam:

- a. Definição do objetivo e do âmbito da análise.
- b. Inventário dos processos envolvidos, com enumeração das entradas e saídas do sistema.
- c. Avaliação dos impactos ambientais associados às entradas e saídas do sistema.
- d. Interpretação dos resultados das fases de inventário e avaliação, tendo em consideração os objetivos do estudo.

Muito freqüentemente, a ACV realiza-se apenas nas duas primeiras fases, dando-se ênfase ao inventário, como descrito por White, et al (1994). Neste caso, deve designar-se por ICV, Inventário do Ciclo de Vida (LCI, Life Cycle Inventory, na literatura inglesa). A principal diferença entre essas duas técnicas consiste na classificação dos impactos ambientais dos produtos ou serviços e na otimização e inovação do ciclo existente.

RESULTADOS

O objetivo da ACV para um aterro sanitário é delimitar e demonstrar que um elemento considerado como ponto final

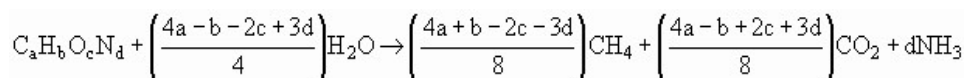
da análise, na realidade se apresenta como um universo altamente relevante, que pode ser gerenciado dentro dos conceitos de ACV, que permita demonstrar os reflexos de seus inputs sobre a qualidade ambiental, através do seu inventário.

No inventário do ciclo de vida, compõe-se o sistema através do aterro sanitário, com identificação das etapas que constituem, simplificada, os processos básicos relacionados à vida útil do sistema, desde sua implantação. Deve ser ressaltado que a vida útil, no conceito apresentado, não limita ao período em que ocorreu a disposição de resíduos no aterro. A concepção do modelo é apresentada na Figura 1. Como entrada, foram considerados os elementos que seguem.

Resíduos sólidos

Suas características são identificadas primariamente pela composição gravimétrica tradicional e pela massa total. Contudo, as propriedades físicas associadas aos elementos da classificação também são admitidas no modelo. Este pode ser considerado como o elemento mais importante, pois é consequência de atividades precedentes e responde pela qualidade dos efluentes. Neste caso é possível avaliar os impactos provocados pelas alterações de sua qualidade sobre os níveis de impacto ambiental.

Os componentes biodegradáveis, respondem pelas maiores alterações de massa e estrutura de um aterro sanitário. A velocidade com que esses componentes se degradam dependem de sua natureza. Em linha gerais, como descrito por Tchobanoglous, et al (1993), o processo de degradação da fração orgânica biodegradável pode ser representada pelos elementos predominantes, na formulação estequiométrica que segue:



Em um aterro sanitário a maior parte da massa se perde na forma dos gases CH_4 e CO_2 . Conhecendo-se a composição dos componentes biodegradáveis e estimando-se como ocorre sua degradação ao longo do tempo para uma determinada massa de resíduos, é possível estabelecer um somatório de efeitos ao longo do tempo para se estimar a quantidade de gases gerados durante a vida útil do aterro e além, como mostrado na Figura 2 (Hamada, 2003).

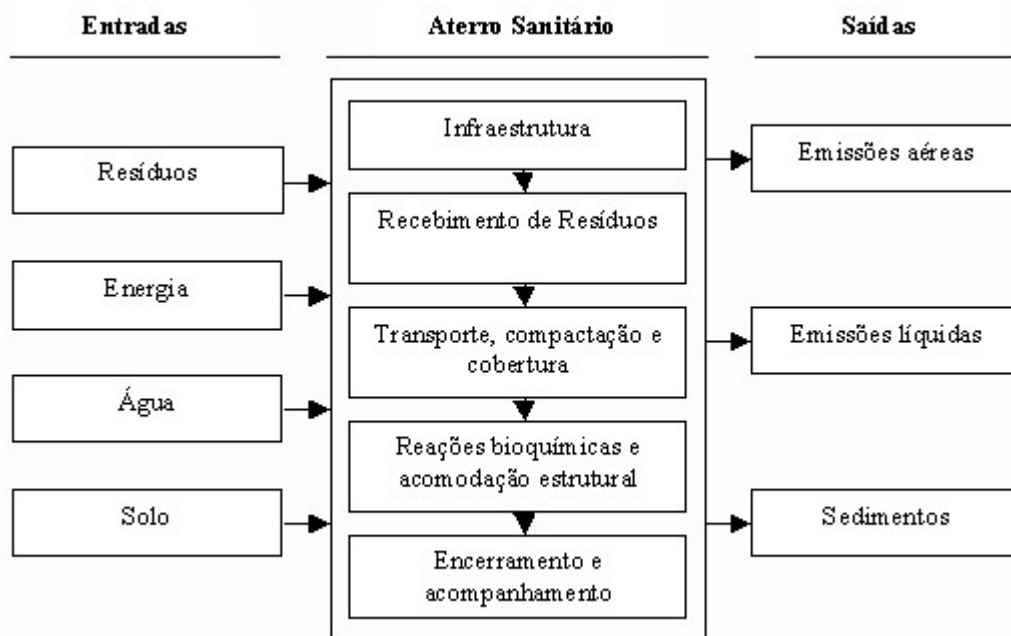


Figura 1: Concepção do modelo, com identificação dos elementos constituintes e o respectivo contorno do sistema.

Energia

Basicamente relacionada às atividades operacionais do aterro, é representada principalmente pelo consumo (queima)

de combustíveis fósseis. Soluções alternativas podem ser adotadas para reduzir impactos, tais como o emprego de biogás do aterro. A quantidade deste gás, por sua vez pode ser estimada como descrito anteriormente, permitindo a elaboração do inventário, a partir dos componentes de entrada, representado pela massa biodegradável.

Água

É responsável pelos efluentes líquidos e também pelas emissões aéreas, uma vez que a quantidade de água dos resíduos disposta altera a bioquímica do aterro. Portanto, do ponto de vista ambiental, é o elemento que tem influência direta sobre o meio ambiente, quer seja através da percolação no solo, resultante de falhas nos *liners*, ou pela ausência ou falta de tratamento, antes do lançamento do chorume no ambiente. São computados neste elemento os efluentes advindos do escoamento superficial sobre o aterro, assim como também pode ser inserido juntamente com o solo úmido de cobertura.

O inventário de águas do aterro é baseado na entrada desse elemento como umidade dos resíduos e solo de cobertura. Contudo, nos países tropicais a entrada principal se dá através do percolado resultante do balanço hídrico na cobertura do aterro. Esse balanço pode ser efetuado por diferentes técnicas. Uma das ferramentas mais empregadas nos países desenvolvidos é o HELP, citado por Qasin e Chian (1994). Esse balanço também pode ser efetuado com ferramentas da hidrologia, muito empregadas na agricultura, para estimativa da quantidade de água armazenada no solo.

Além da quantidade de água, sua qualidade como efluente do sistema, tem influência direta sobre os impactos no solo e nas águas subterrâneas e superficiais. Algumas proposições podem ser interessantes nesta análise, principalmente quando se deseja determinar o período mais crítico em termos de carga orgânica do chorume gerado em um aterro, como mostrado na Figura 3 (Hamada, 2003). A Figura 3 resulta da multiplicação da concentração média anual esperada para o chorume pelo volume anual estimado no balanço hídrico em um aterro cuja vida útil é de 10 anos.

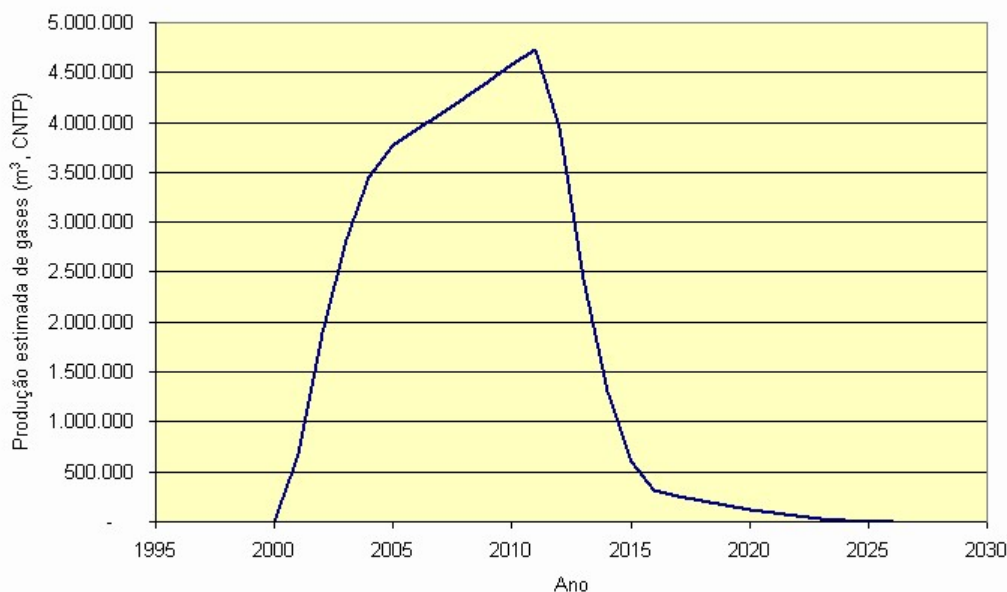


Figura 2: Exemplo de produção de gases em um aterro sanitário. O pico de produção corresponde ao último ano de operação do aterro (Hamada, 2003)

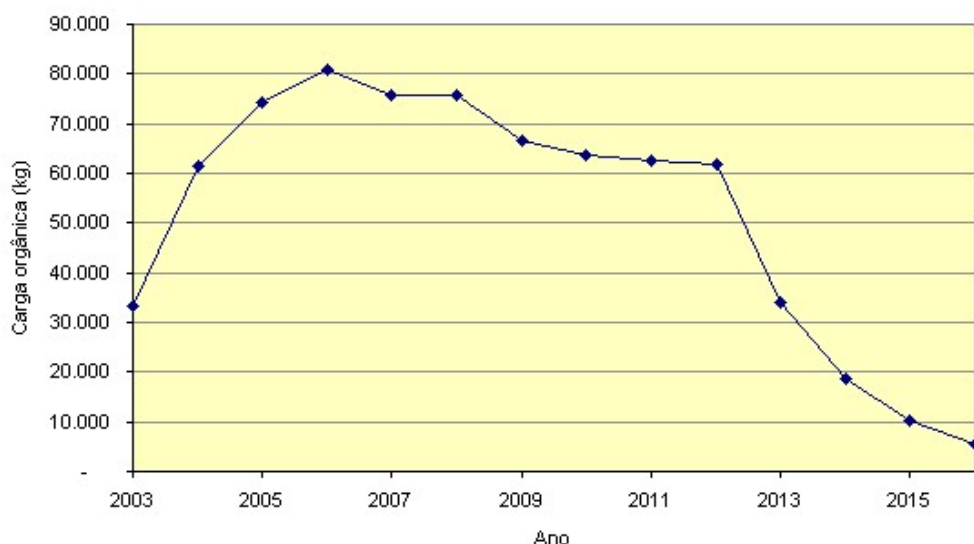


Figura 3: Estimativa para a variação da carga orgânica (em kg de DBO por ano) do chorume de um aterro sanitário ao longo do tempo, segundo Hamada (2003).

Solo

Pode representar volumes significativos no aterro, dependendo da forma de operação, principalmente considerando-se a necessidade de cobertura diária. O modelo digital, montado em planilha eletrônica, permite a alimentação de dados com valores de caracterização física dos componentes do resíduo domiciliar, dados referentes a quantidades médias de volumes e/ou peso coletados, ou na falta destes, utilizando dados bibliográficos. A partir destes e dos demais elementos descritos previamente, permite simular a operação do aterro, e assim obter a melhor relação custo-benefício a ser explorada.

Modelo Digital

O exemplo de aplicação do modelo digital com dados obtidos no aterro para resíduos sólidos urbanos do município de Bauru, é mostrado nas Tabelas 1 e 2. Essas tabelas demonstram somente as entradas e saídas do modelo, no qual se inserem outras planilhas tais como as que operam o balanço hídrico e realizam estimativas de geração de gases, além daquelas contendo uma base de dados com parâmetros físicos, químicos e outros relacionados ao sistema.

CONCLUSÕES

A aplicação do conceito de análise do ciclo de vida, embora restrito neste caso ao aterro sanitário, mostra-se como uma alternativa interessante para o gerenciamento do sistema de disposição final e permite identificar e correlacionar os principais impactos ambientais ao longo da vida útil.

A proposta constitui também uma ferramenta auxiliar do projetista, permitindo estimar os custos de implantação e operação do sistema, assim como possibilita analisar atividades precedentes, que têm influência sobre a qualidade dos resíduos a serem dispostos no aterro, tais como diferentes atividades de processamento e redução.

A vantagem do conceito apresentado é a disponibilidade mais consistente de dados que viabilizem sua aplicação, pois a quantidade de resíduos é efetivamente medida e a sua caracterização pode ser feita periodicamente no local. Outros parâmetros operacionais do aterro também podem ser obtidos facilmente. Por outro lado, quando se considera todo o fluxo de resíduos desde a geração, como na proposição de White et al. (1995), existe muita interferência até que o resíduo chegue ao aterro, tais como atividades de catadores de rua ou a disposição em locais impróprios. Isto pode resultar na obtenção de informações pouco confiáveis.

Do ponto de vista dos impactos ambientais, o aterro sanitário constitui o foco principal dos problemas, pelo fato de produzir diferentes tipos de efluentes e é neste fator que reside a importância de sua análise, pois o mesmo torna-se o elemento mais representativos de avaliação do estágio de sustentabilidade em que vive a sociedade.

Tabela 1: Parâmetros de entrada do modelo digital

ENTRADAS

Identificação	
Ano	2.003
População (hab)	335.000
Área ocupada pelo aterro (m ²)	42.000
Percolado (mm)	252

Quantidade de resíduos			
Categoria	Massa (t)	Densidade (t/m ³)	Volume no aterro (m ³)
Resíduos domiciliares	55.500	0,60	92.500
Resíduos industriais não perigosos	9.000	0,40	22.500
Resíduos comerciais especiais	5.400	0,80	6.750
Resíduos de serviços de saúde (RSS)	720	0,40	1.800
Total	70.620	0,59	120.150

Solo			
Finalidade	Volume (m ³)	Densidade (t/m ³)	Massa de solo (t)
Cobertura diária e intermediária	30.037	1,50	45.056
Cobertura final	-	1,60	-

Classificação e composição percentual dos resíduos							
Origem	Papel	Vidro	Metal	Plástico	Têxteis	Orgânico	Outros
Domiciliar	15,0%	8,0%	5,0%	10,0%	2,0%	55,0%	5,0%
Industrial							
Comercial							
Saúde							
Total	15,0%	8,0%	5,0%	10,0%	2,0%	55,0%	5,0%

Gerenciamento do aterro	
Consumo de energia	
Elétrica (kWh)	37.500
Diesel (l)	7.500
Gás gerado pelo aterro	
% coletada	-
% recuperado	-
Chorume	
Volume gerado (m ³)	10.584
% coletada	10%
% tratada	0%
Eficiência do tratamento (%)	0%
Custo (R\$)	
Implantação	180.000
Operação	1.059.300
Monitoramento	16.000

Tabela 1: Parâmetros de saída do modelo digital.

SAÍDAS

Custos		
Total (R\$)		1.255.300
Unitário (R\$/t)		17,78
Per Capita (R\$/hab)		3,75
Impactos ambientais		
Resíduos dispostos		
Não perigosos (t)		69.900
RSS (t)		720
Total (t)		70.620
Volume ocupado total (m ³)		165.206
Energia consumida		
Elétrica (kWh)		37.500
Combustível (l)		7.500
Total (GJ)		466
Energia recuperada		
Com aproveitamento de Biogás (GJ)		-
Na Incineração (GJ)		-
Total (GJ)		-
Emissões atmosféricas (kg)		
CH ₄		1.806.530
CO ₂		4.115.350
Amônia		0,02
H ₂ S		-
Dioxinas e furanos		-
Hidrocarbonetos		161
CO		212
SO _x		170
NO _x		301
Emissões líquidas (kg)		
DBO		26.460
DQO		61.387
Sólidos		45.220
Nitrogênio total		28
Nitrogênio amoniacal		1.588
Nitrato		95
Nitrato		0
Sulfetos		-
Ferro		159
Chumbo		1
Níquel		-
Cromo		-
Merúrio		-
Cobre		-
Zinco		-

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bjarnadóttir H.J., Friðriksson G.B., Johnsen T., Sletsen H., Guidelines for the use of LCA in the waste management sector. Nordtest Report, TR 517. Finlândia. 2002.
2. Hamada, J. Concepção de Aterros Sanitários: Análise Crítica e Contribuições para seu Aprimoramento no Brasil. Texto de Livre docência. Faculdade de Engenharia, Câmpus UNESP, Bauru, 254 p. 2003.
3. Qasim, S.R., Chiang, W., Sanitary Landfill Leachate: Generation, Control and Treatment. Technomic Publishing Co. Pennsylvania. 323 p. 1994.
4. Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S. Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hill, Inc., New York, 949 p. 1993.
5. US-EPA – Environmental Protection Agency of USA and Science Applications International Corporation. LCAccess - LCA 101. Disponível em: www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm, 41 p., 2001.
6. White, P.R., Frankie, M., Hindle, P., Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory. Blackie Academic & Professional. ISBN 0751400467. 362p., 1995.