

Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares

Application of the AHP method to the hierarchy determination of municipal solid waste treatment alternatives

Ana Lúcia Marchezetti
Eloy Kaviski
Maria Cristina Borga Braga

Resumo

A realidade atual da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) em relação à gestão de resíduos sólidos domiciliares foi a motivação inicial desta pesquisa. Seu objetivo principal consiste em identificar e hierarquizar as alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento desses resíduos. Os resultados obtidos derivaram do conhecimento da quantidade de resíduos gerados na RMC e da revisão da literatura, que serviu de suporte para a identificação de alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domiciliares. Para a determinação da hierarquia entre as alternativas de tratamento foi adotado o método AHP – *Analytic Hierarchy Process*. A aplicação deste método permitiu hierarquizar as tecnologias, sendo a reciclagem identificada como a mais adequada, com somatória dos pesos igual a 3,488, e a incineração, como a menos adequada, com somatória igual a 1,005. Como resultado principal produziu-se uma ferramenta que permitiu simular cenários em função da alteração dos valores dos critérios adotados. Cada novo cenário possibilita a utilização da mesma metodologia aplicada à RMC como apoio à tomada de decisão em outras circunstâncias, específicas para cada município ou consórcio de municípios.

Palavras-chave: Resíduos sólidos domiciliares. Tecnologias para o tratamento de resíduos. Análise multicritério. Método AHP.

Abstract

The current situation of the Metropolitan Region of Curitiba (RMC) in terms of the management of domestic solid waste was the initial motivation for this study. It aims to identify and evaluate alternative technologies for municipal solid waste treatment in order to minimize the quantity of solid waste disposed in landfills. The results resulted from the analysis of the amount of domestic solid waste produced in RMC, and also on a literature review, which was used to identify some technologies used to treat municipal solid waste. The AHP - Analytic Hierarchy Process was used to establish a coherent hierarchical arrangement of the alternative treatments. The application of this method placed recycling at the top of the hierarchy, with a value for the sum of weights of 3,488, whereas the value for incineration was 1,005. Those results show that it is possible to determine, in a decreasing order, the position of each technology to be used for the treatment of municipal solid waste in addition to sanitary landfills. The main result of the study was the production of tool that allowed the simulation of sceneries based on the alteration of the values of the criteria adopted. Each scenario allowed the utilization of the same method applied to RMC to support decision making in other circumstances, which can be specific for each municipality or a consortium of municipalities.

Keywords: Solid waste. Domestic solid waste treatment. Multicriteria analysis. AHP method.

Ana Lúcia Marchezetti

Coordenação da Região
Metropolitana de Curitiba
Rua Máximo João Koop, 274
Bloco 3, Santa Cândida
Curitiba - PR - Brasil
CEP 82630-900
Tel.: (041) 351-6501 Ramal 6574
E-mail:
analuciamarchezetti@terra.com.
br

Eloy Kaviski

Departamento de Hidráulica e
Saneamento, Centro Politécnico
Universidade Federal do Paraná
Caixa-Postal: 19011
Jardim das Américas
Curitiba - PR - Brasil
CEP 81531-990
Tel.: (41) 3361-3145 Ramal 3145
E-mail: eloy.dhs@ufpr.br

Maria Cristina Borba Braga

Departamento de Hidráulica e
Saneamento, Centro Politécnico
Universidade Federal do Paraná
Tel.: (41) 3361-3605
E-mail: crisbraga@ufpr.br

Recebido em 09/07/10
Aceito em 15/05/11

Introdução

A partir da década de 1980, especialmente após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – ECO92, a busca por soluções alternativas para a minimização, tratamento e disposição final dos resíduos domiciliares passou a ser um novo paradigma, visando ao desenvolvimento sustentável relacionado à gestão dos resíduos e à redução da contaminação do solo, do ar e da água.

No Brasil, a responsabilidade pela proteção do meio ambiente, combate à poluição e oferta de saneamento básico é garantida pelo artigo 225 do Capítulo VI da Constituição Federal (BRASIL, 1988), cujo texto dita que

[...] todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações [...].

Nesse contexto, e particularizando a preservação do meio ambiente para a gestão dos resíduos sólidos, pode ser citada a Lei Federal nº 12.305, publicada em 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Para que a gestão dos resíduos sólidos urbanos, no âmbito estadual ou no municipal, possa apresentar avanço em relação à questão socioambiental, é necessário que a carência de recursos para empreendimentos do porte da gestão dos resíduos sólidos urbanos seja minimizada. Portanto, com o objetivo de melhorar o suporte financeiro para tais investimentos, recentes inovações legislativas trazidas pela instituição das parcerias público-privadas e dos consórcios públicos estão sendo aplicadas mediante a Lei Federal nº 11.107/05 (BRASIL, 2005), que disciplina os consórcios, instrumento que pode ser utilizado por estados e municípios visando à solução de problemas em relação a empreendimentos de infraestrutura.

A gestão de resíduos sólidos domiciliares é representada por um conjunto de atitudes – comportamentos, procedimentos e propósitos – que apresentam como objetivo principal a redução dos impactos ambientais negativos, associados à produção e à destinação dos resíduos. Segundo Milanez e Teixeira (2001), não há uma definição precisa para o termo “gestão de resíduos sólidos urbanos”. Existem autores que utilizam “gerenciamento” ou “manejo” como sinônimos de “gestão”, enquanto outros consideram esses termos com significados distintos. Segundo a Lei Federal

nº 11.445/07 (BRASIL, 2007), que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, a gestão dos resíduos sólidos urbanos responde pela limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, que é o conjunto de atividades, infraestrutura e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final dos resíduos domiciliares e daqueles originários da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas.

Partindo da premissa de que a gestão dos resíduos sólidos é um processo dinâmico, em que soluções ou alternativas deverão acompanhar as mudanças de atitudes e de hábitos, com a introdução de novos padrões de consumo e de produção, o sucesso de um programa de gestão está diretamente associado à integração do poder público e à participação da sociedade, em seus vários segmentos. Essas mudanças podem ocorrer de forma impositiva, com a adoção de instrumentos de comando e controle, como aplicação da lei, por exemplo, e/ou econômicos, pela aplicação de taxas, impostos e forças de mercado, por exemplo, ou, ainda, por meio de instrumentos de persuasão, como a educação ambiental e a mobilização popular (MACHADO; MORAES, 2004).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (IBGE, 2004) revelou que, do percentual do orçamento municipal destinado à limpeza urbana, na grande maioria dos municípios com população abaixo de 50.000 habitantes, 5% no máximo eram destinados à gestão de resíduos sólidos. Em relação às unidades de disposição final de resíduos utilizados pelos municípios, os resultados dessa pesquisa mostraram, em proporções aproximadas, a predominância da prática de disposição a céu aberto (lixões), com 51% do total, seguida do aterramento controlado, com 21%, e do aterramento convencional, com apenas 28%, o que equivale a 2.794 municípios, 1.241 municípios e 1.530 municípios respectivamente (IBGE, 2008).

A grave situação quanto ao tratamento dos resíduos sólidos no Brasil é resultado, por um lado, da falta de recursos destinados ao setor e, por outro, do despreparo e desinteresse das administrações municipais, e, também, da falta de cobrança da sociedade.

Particularizando para a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), que no período do desenvolvimento desta pesquisa (fevereiro de 2008 a agosto de 2009) dispunha de apenas um aterro sanitário, o Aterro Sanitário de Curitiba, cuja operação iniciou-se em novembro 1989 e foi

encerrada em outubro de 2010, existia a necessidade de um estudo sobre soluções técnicas alternativas para a adequação do sistema de gestão de resíduos sólidos domiciliares da RMC como um todo, de uma avaliação técnico-operacional e da definição de outros critérios necessários para a implantação de alternativas tecnológicas para o tratamento dos resíduos gerados.

Por um período de vinte e um anos, o Aterro Sanitário de Curitiba foi autorizado a receber resíduos de 19 municípios, incluindo a sede metropolitana, Curitiba, condição que resultou na quantidade média diária disposta de 2.500 toneladas de resíduos sólidos domiciliares (SMMA, contato pessoal, 2009), gerados por uma população aproximada de três milhões de habitantes (IBGE, 2010). Do total de 19 municípios que dispunham resíduos sólidos domiciliares nesse aterro, deve ser salientado que apenas Curitiba tem implantado – e operando desde 1989 – um programa municipal de pré-reciclagem doméstica.

Em função do exposto, este trabalho teve como objetivo principal avaliar sete alternativas tecnológicas utilizadas para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares e hierarquizar, em ordem decrescente, as tecnologias adotadas, em função dos critérios propostos para cada uma delas. Para que esse objetivo fosse cumprido, adotou-se o método de análise hierárquica AHP – *Analytic Hierarchy Process*, que é baseado na decomposição e síntese das relações entre os critérios, até que se obtenha a priorização de seus indicadores, aproximando os resultados da melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1991). A ideia central do método da análise hierárquica é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. Com a finalidade de minimizar falhas, a utilidade desse método está associada ao processo de tomada de decisões.

O modelo adotado neste trabalho compara o resultado do cálculo dos pesos determinados para cada alternativa tecnológica de tratamento, definidos a partir de critérios adotados, econômicos e ambientais, e hierarquiza as tecnologias para a tomada de decisões. Assim, a prática da tomada de decisão está ligada à avaliação das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares, todas satisfazendo um conjunto de critérios propostos. Portanto, o problema está em determinar a alternativa que melhor satisfaça o conjunto total de critérios.

Assim, para a definição do cenário para a RMC foram considerados módulos de tratamento de

resíduos sólidos domiciliares com capacidade de 250 t RSD/dia. Essa escolha foi adotada levando-se em consideração custos de implantação de módulos maiores, necessidade de manutenção periódica e necessidade de logística para implantação dos módulos em diferentes localidades da região metropolitana, visando ao não comprometimento da circulação viária.

Método de pesquisa

Para o desenvolvimento desta pesquisa, que visou avaliar as alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares gerados pelos municípios que fazem parte do Consórcio do Lixo da RMC, a metodologia de trabalho foi concebida em quatro etapas, a saber:

- (a) 1ª Etapa: identificar as alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares;
- (b) 2ª Etapa: propor critérios gerais para a seleção hierárquica das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares;
- (c) 3ª Etapa: auferir pesos aos critérios propostos para cada alternativa tecnológica disponível para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares; e
- (d) 4ª Etapa: definir uma escala hierárquica das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares.

Neste trabalho, o procedimento de tomada de decisão foi relacionado à avaliação das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares, todas satisfazendo um conjunto de critérios de avaliação. A abordagem adotada foi determinar pesos numéricos para alternativas tecnológicas de tratamento dos resíduos sólidos domiciliares em relação aos critérios. Assim, o meio para estruturar logicamente as tecnologias na tomada de decisão foi a hierarquização dessas tecnologias.

Na Figura 1 é apresentado o resumo da metodologia, com os critérios econômicos e ambientais adotados neste trabalho para a hierarquização das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento do RSD.

Primeira etapa

Nesta etapa, foi realizada a revisão da literatura, o que possibilitou a caracterização das tecnologias atualmente disponíveis para tratamento dos resíduos sólidos domiciliares. Para todas elas, foram levantadas as informações a seguir, cujos detalhes são apresentados no Quadro 1.

Tecnologia	Gaseificação	Pirólise	Incineração	Plasma	Compostagem	Reciclagem	Digestão Anaeróbica
Insumo	250 t/dia de resíduo	250 t/dia de resíduo	250 t/dia de resíduo	250 t/dia de resíduo	250 t/dia de resíduo	250 t/dia de resíduo	250 t/dia de resíduo
Produto primário	Syngás (gás de síntese); biomassa com umidade máxima de 15%	Gases combustíveis, syngás	Syngás e calor	Escória inerente (vitreo), syngás	Composto (possui de 1 a 3% de NPK)	Reciclados	Biogás (CH ₄ e CO ₂)
Produto secundário	Combustíveis, produtos químicos e eletricidade	Bióleo, carvão vegetal	eletricidade, gás combustível	Materiais inorgânicos (silicatos vítreos)	Materiais inorgânicos (metal, vidro, biomassa não degradável)	Materiais recicláveis sem possibilidade de reciclagem, pequena quantidade de matéria orgânica	Metais, vidros, biomassa não degradável, efluente líquido
Resíduos para aterro	cinzas, metais e escórias	Char, cinzas, metais e escórias	Cinzas, metais e escórias	Materiais inorgânicos (silicatos vítreos)	Materiais inorgânicos (metal, vidro, biomassa não degradável)	Materiais recicláveis sem possibilidade de reciclagem, pequena quantidade de matéria orgânica	Metais, vidros, biomassa não degradável, efluente líquido
Redução de volume	Em até 90 do volume inicial	Em até 90% do volume inicial	Até 99% do volume inicial	99% do volume inicial	a matéria orgânica diminui cerca de 20% a 30% do peso inicial e 40% do volume inicial	Em até 20% do volume de rejeitos a serem destinados aos aterros sanitários	a matéria orgânica diminui em até 60% do volume inicial e peso de 50% a 60%
Temperatura	Temperatura máx. de 1200°C; temperatura de saída dos gases em torno de 500°C	300°C a 1600°C	Mínima de 750°C e máxima de 1200°C	3.000°C a 15.000°C	35°C a 70°C		55°C a 60°C
Emissões atmosféricas	CO ₂ , CO, H ₂ , CH ₄ , N ₂ , Vapor de água, escória (sílico – monolítico – metálico)	Cinzas e escórias	CO ₂ , SO _x , N ₂ , dioxinas, cizaas voláteis e resíduos sólidos que não se quimam (com equipamentos adequados para minimização das emissões, estes poluentes estarão com índice menor do que aquele determinado pelo órgão de controle ambiental), CH ₄ , H ₂ S e outros gases	Metano, monóxido e dióxido de carbono, hidrogênio e vapor de água	Compostagem aeróbica produz CO ₂ e vapor de água		Produz CH ₄ e H ₂ S e outros gases
Prazo de instalação	1 ano	1 ano	1 ano	1 ano	1 ano	1 ano	1 ano
Custo (R\$)	20.000.000,00		35.000.000,00	300.000.000,00	10.000.000,00	8.000.000,00	25.000.000,00

Quadro 1 - Critérios adotados para a hierarquização das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares

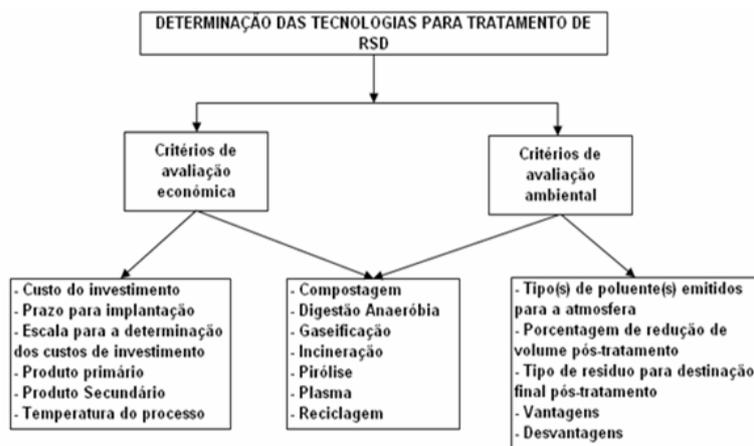


Figura 1 - Representação esquemática para a definição de critérios e tecnologias para a determinação da hierarquia entre as alternativas para tratamento de RSD

- (a) o prazo médio para a implantação de cada tecnologia para o tratamento de 250 t RSD/dia;
- (b) o custo do investimento;
- (c) os poluentes emitidos para a atmosfera;
- (d) os produtos primários e secundários gerados;
- (e) as vantagens e desvantagens de cada tecnologia;
- (f) as porcentagens de redução de volume pós-tratamento;
- (g) o tipo de resíduo pós-tratamento a ser destinado ao aterro; e
- (h) as temperaturas necessárias para a operacionalização de cada alternativa tecnológica.

Segunda etapa

Esta etapa consistiu da proposição de critérios gerais para a seleção hierárquica das alternativas tecnológicas disponíveis.

Para a proposição dos critérios gerais para a seleção hierárquica das alternativas para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares, foram considerados fatores ambientais, em relação à minimização dos possíveis riscos e impactos ao ambiente natural, econômicos e a relação custo/benefício, relativos a cada alternativa e à realidade econômico-financeira atual.

Em relação aos fatores econômicos, para a atribuição dos pesos associados ao critério custo dos investimentos, foram consideradas as seguintes informações em relação a cada alternativa de tratamento de RSD:

(a) gaseificação: segundo Campos (2009), a partir de experimentos de gaseificação de resíduos em uma planta piloto, foi possível estimar os custos de

investimento em reatores de gaseificação, com valores da ordem de R\$ 80.000,00 para tratamento de 1 t/dia. Portanto, em escala linear, para um reator para o tratamento de 250 t RSD/dia, o investimento seria da ordem de 20 milhões de reais. A estimativa de potência elétrica instalada é da ordem de 6,5 MW;

(b) pirólise: a pirólise produz gases, óleos e resíduo sólido (metais, óxidos e material inerte). Entretanto, para encontrar um mercado para tais produtos, um alto nível de qualidade é necessário, para que possam ser efetivamente utilizados nos sistemas atuais de combustão. A viabilidade econômica de uma planta industrial de pirólise é função de fatores como tipo de resíduo, tipo de combustível produzido, equipamentos que compõem uma planta de pirólise e análise de investimento. Estima-se que os custos de investimento em reatores de pirólise sejam da ordem de R\$ 60.000,00 por tonelada de resíduo processado, portanto, em escala linear, tem-se como custo do investimento para um reator de pirólise para tratamento de 250 t RSD/dia um custo da ordem de 15 milhões de reais (MUNIZ, 2004);

(c) incineração: os custos de investimento para um incinerador que trate 250 t RSD/dia de resíduos e que apresente a possibilidade de reciclar a energia contida no resíduo são da ordem de 35 milhões de reais (US\$ 1,876 em 03/09/2009) (LUFTECH Soluções Ambientais, contato pessoal, 2008);

(d) plasma: os custos de investimento para um reator a plasma para tratamento de 1 t RSD/dia de resíduos domiciliares é da ordem de 1,2 milhão de reais. Portanto, para o tratamento de 250 t RSD/dia, seriam necessários 300 milhões de reais

(US\$ 1,876 em 03/09/2009) (INACCESS, contato pessoal, 2008);

(e) compostagem em leira e em reatores: a pesquisa realizada por Renkow e Rubin (1998) sobre a viabilidade econômica da adoção da compostagem como alternativa de tratamento dos resíduos sólidos urbanos nos EUA indicou que, do ponto de vista econômico, a compostagem não poderia ser justificada na maior parte dos EUA, devido ao alto custo de processamento, U\$ 50,00/t (R\$ 93,80/t para US\$ 1,876 em 03/09/2009). Entretanto, poderia ser competitivo em locais em que o aterro sanitário ou alternativas de tratamento dos resíduos sólidos domiciliares apresentassem um custo mais elevado. Segundo D’Almeida e Vilhena (1995), os custos de uma unidade de compostagem são bastante imprecisos e variáveis, qualquer que seja o processo considerado. Um modelo conceitual para 95 t RSD/dia supõe cerca de US\$ 20,00 (R\$ 37,50) por tonelada processada e, para 250 t RSD/dia, a tonelada processada tem um custo de U\$ 60,00 (R\$ 112,60). Segundo a mesma pesquisa, os custos de investimento para a implantação de uma unidade de compostagem, estimada por tonelada de resíduo processado, são da ordem de R\$ 40.000,00. Portanto, em escala linear, tem-se um custo de investimento para tratamento de 250 t RSD/dia da ordem de 10 milhões de reais (US\$ 1,876 em 03/09/2009);

(f) reciclagem: estima-se que o custo do investimento para o tratamento de 1 t RSD/dia no processo de reciclagem seja da ordem de R\$ 32.000,00. Portanto, o custo do investimento para o tratamento de 250 t RSD/dia seria da ordem de 8 milhões de reais (CEMPRE; SEBRAE, 2006) (US\$ 1,876 em 03/09/2009); e

(g) digestão anaeróbia: além dos custos de implantação, os principais fatores que influem na viabilidade econômica da digestão anaeróbia de RSD são os custos de disposição final em aterros sanitários, o valor da energia renovável e, no caso do Brasil ou de países em desenvolvimento, a possibilidade de comercialização de créditos de carbono (MATA-ALVAREZ *et al.*, 1992). Segundo Reichert (2005), somente para o reator anaeróbio para a digestão 250 t RSD/dia de fração

orgânica biodegradável, é possível estimar os custos de investimento com valores da ordem de 25 milhões de reais (US\$ 1,876 em 03/09/2009).

Deve ser salientado que, para a implantação das alternativas tecnológicas disponíveis, além dos critérios adotados para a avaliação de cada tecnologia, também devem ser conhecidos a quantidade e a composição dos resíduos gerados, a legislação em vigor, a aceitação da comunidade e o nível de comercialização para os resíduos dos processos.

Terceira etapa

Nesta etapa, para cada alternativa tecnológica considerada, foram auferidos pesos aos critérios adotados. Essa condição visou à proposição de uma forma de avaliação hierárquica das tecnologias disponíveis em função de sua relevância e do eventual sucesso da implantação do processo. Para tanto, aplicou-se o método de análise multicritério AHP (Processo Analítico Hierárquico), conforme definido por Saaty (1991).

Generalidades sobre o método AHP

Esse método aborda a tomada de decisão arranjando os componentes importantes de um problema em uma estrutura hierárquica similar a uma árvore genealógica. Na Figura 2 é apresentado um esquema geral para a abordagem do método AHP.

Uma vez definida a hierarquia, passa-se para o estágio de comparação aos pares. A descrição desse processo, apresentada a seguir, foi baseada em Lai *et al.* (1999). Os julgamentos dos tomadores de decisão, com respeito à importância de um atributo em relação a outro, podem ser realizados de forma subjetiva e convertidos para um valor numérico usando-se uma escala de 1 a 9 (Quadro 2), sendo que o valor 1 denota igual importância e 9 denota alto grau de favoritismo.

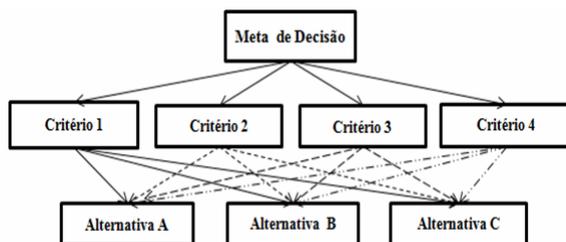


Figura 2 - Estrutura hierárquica geral do método AHP
Fonte: Gartner (2001).

JULGAMENTO	VALORES
X é igualmente preferível a Y	1
X é igual a moderadamente preferível sobre Y	2
X é moderadamente preferível sobre Y	3
X é moderada a fortemente preferível sobre Y	4
X é fortemente preferível sobre Y	5
X é fortemente a muito fortemente preferível sobre Y	6
X é muito fortemente preferível sobre Y	7
X é muito forte a extremamente preferível sobre Y	8
X é extremamente preferível sobre Y	9

Quadro 2 - Comparação aos pares para o julgamento dos elementos X e Y

Fonte: Saaty (1991).

Utilizando notação matemática, a matriz de comparação A para comparar n elementos é apresentada na Equação 1.

$$A = [a_{ij}] \quad \text{Eq. 1}$$

em que:

$$a_{ji} = 1/a_{ij};$$

$$a_{ii} = 1;$$

$$1 < i < n; e$$

$$1 \leq j \leq n.$$

A diagonal principal é sempre 1. Deve-se notar a reciprocidade através da diagonal, ou seja, se o elemento $a_{1,3} = 5$, então $a_{3,1} = 1/5$. A seguir, calcula-se o peso relativo das alternativas com respeito aos critérios. Os pesos relativos são obtidos por meio da aplicação de um processo de duas etapas. Primeiramente, soma-se cada coluna e, então, divide-se cada coluna de entrada pela soma respectiva de cada coluna. A matriz que resulta do processo é denominada matriz normalizada, representada pela Equação 2.

$$A = [a_{ij}] \quad \text{Eq. 2}$$

em que:

$$a'_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{ik}$$

Para $1 \leq i \leq n$; e $1 \leq j \leq n$.

A seguir, calcula-se o valor médio de cada linha da matriz normalizada para obter o peso relativo ou *eigenvalor*, de acordo com a Equação 3.

$$W = W_k \quad \text{Eq. 3}$$

em que:

$$W_k = \sum_{i=1}^n a'_{ij} / n \text{ para } 1 \leq j \leq n; \text{ e } 1 \leq k \leq n.$$

Repete-se o processo para cada matriz A , que é formada pelos critérios propostos versus tecnologias para o tratamento dos RSD. Uma vez que todos os pesos relativos de cada critério para todas as tecnologias tenham sido calculados, somam-se os pesos relativos, o que resulta no peso

final, que hierarquiza as tecnologias, por ordem decrescente.

A taxa de consistência (CR) é um indicador matemático aproximado, ou guia, da consistência das comparações aos pares. Essa taxa é função do que se denomina *maximum eigenvalue* e do tamanho da matriz, e é denominada “índice de consistência”, que é comparado, então, com valores semelhantes; se as comparações, aos pares, tiverem sido simplesmente randômicas, denomina-se “índice randômico”. Se a relação do índice de consistência para o índice randômico, denominada “relação de consistência”, não for maior do que 0,1, Saaty (1991) sugere, genericamente, que essa relação de consistência é bastante aceitável.

O método AHP avalia a importância relativa dos critérios, compara as alternativas para cada critério, que, nesse caso, são as alternativas tecnológicas de tratamento de RSD, além de determinar uma escala em ordem decrescente para as alternativas consideradas.

Os modelos baseados em decisão multicritério são indicados para a solução de problemas que necessitem de vários critérios de avaliação (BETENCOURT, 2000). Para a avaliação das tecnologias de tratamento de RSD, os critérios analisados podem ser conflitantes, pois uma central de tratamento de RSD pode ser economicamente viável, entretanto não existe garantia que seja ambientalmente recomendável. Dessa forma, foram definidos pesos para os critérios, que variaram de 1 a 9, sendo os valores mais elevados relacionados à alternativa mais adequada, o que determina a hierarquia de forma decrescente.

Os pesos foram auferidos a uma sequência de comparação por pares de tecnologia, ou seja, uma tecnologia em relação a outra, para os 11 critérios adotados (custo do investimento, prazo para implantação, escala para a determinação dos custos de investimento, produto primário, produto secundário, temperatura do processo, tipo(s) de

poluente(s) emitidos para a atmosfera, porcentagem de redução de volume pós-tratamento, tipo de resíduo para a destinação final pós-tratamento, vantagens e desvantagens). De acordo com Lai *et al.* (1999), os julgamentos dos tomadores de decisão, em relação à importância de um atributo em relação a outro, podem ser realizados de forma subjetiva, sendo que o valor 1 denota igual importância, enquanto o valor 9 denota alto grau de favoritismo daquele critério em relação à comparação entre duas tecnologias de tratamento de RSD.

Quarta etapa

Visando à tomada de decisão, esta etapa consolidou a importância deste trabalho. Nesse ponto definiu-se uma escala hierárquica das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares, da mais adequada para a menos adequada, a partir da somatória dos pesos auferidos a cada critério de seleção para cada alternativa.

Enquanto a revisão da literatura permitiu a seleção das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares e, portanto, a adoção de critérios a serem avaliados e hierarquizados, a aplicação do método AHP possibilitou calcular os pesos para cada alternativa tecnológica de tratamento de RSD em relação aos critérios propostos. O resultado da somatória dos pesos calculados, a partir dos critérios adotados para cada alternativa tecnológica de tratamento de RSD, possibilitou a hierarquização das alternativas tecnológicas em ordem decrescente, orientando, assim, a prioridade na escolha da tecnologia de tratamento a ser implantada.

Na Figura 3 é apresentado um esquema dos critérios e das alternativas tecnológicas adotadas para o tratamento do RSD.

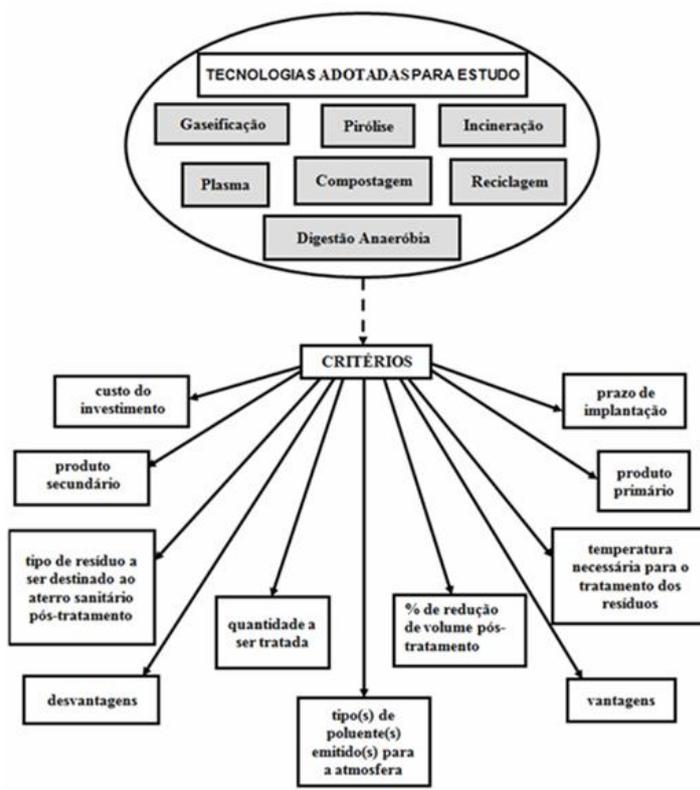


Figura 3 - Critérios adotados para a hierarquização das tecnologias de tratamento de RSD

Menezes *et al.* (2000) afirmam que

[...] a experiência atual indica que a geração de energia torna-se rentável em instalações com capacidades de processamento acima de 250 t RSD/dia. Abaixo dessa capacidade a energia é normalmente aproveitada apenas para uso da própria planta [...]

O que tornaria o custo operacional inviável financeiramente, pois uma das principais condições para a sustentabilidade de uma central de tratamento é a geração de energia para venda. Por outro lado, uma capacidade de tratamento de resíduos de até 500 t RSD/dia pode tornar-se inconveniente em função do custo do investimento, do controle da operação e do número de caminhões por dia em direção à central, o que dificulta a mobilidade dos veículos.

Portanto, com base nas considerações acima, para o desenvolvimento deste trabalho foi adotada como critério para a definição do cenário para a RMC a condição básica de 250 t RSD/dia.

No Quadro 2 é apresentada uma comparação entre os critérios adotados para a hierarquização das alternativas para tratamento de resíduos sólidos domiciliares.

Resultados

Grandzol (2005) afirma que, por reconhecer que participantes podem estar incertos ou fazer julgamentos inadequados em algumas comparações, o método AHP envolve comparações redundantes para melhorar sua validade. O autor adverte que a tolerância de inconsistências não é uma limitação, mas um retrato da realidade.

O método racional adotado para lidar com os julgamentos, por meio das comparações por pares, isto é, as prioridades calculadas pelo método AHP, capturou medidas subjetivas e objetivas e demonstrou o domínio de uma alternativa tecnológica sobre a outra para o tratamento de RSD. Para que os resultados entre os critérios adotados e as tecnologias pudessem ser avaliados de forma criteriosa, foi necessário especificar um mínimo de casas decimais em cada etapa de cálculo.

A aplicação do método AHP permitiu a hierarquização das tecnologias disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares em função da relevância das tecnologias. A validação do método proposto foi realizada por meio de estudo de caso na RMC.

No Quadro 3 é apresentado um resumo das vantagens e desvantagens de cada alternativa tecnológica abordada neste estudo.

Nas Tabelas 1 a 3 são apresentados exemplos de cálculo da matriz A; da matriz A', derivada da matriz A; e da matriz peso (W), resultados da aplicação do método AHP para as condições identificadas para a RMC.

Cálculos realizados para determinar a matriz peso W em função do critério "custo do investimento"

Primeiramente, foi montada a Matriz A (Tabela 1), com base na comparação entre cada tecnologia e na atribuição de valores aos pesos. A de menor custo de investimento recebeu pontuação maior em relação à de maior custo do investimento.

Desta forma, foram definidos pesos para os critérios, que variaram de 1 a 9, sendo que os valores mais elevados estão relacionados à alternativa mais adequada, o que determina a hierarquia de forma decrescente. Os pesos foram auferidos a uma sequência de comparação por pares de tecnologia, ou seja, uma tecnologia em relação à outra, para os 11 critérios adotados (custo do investimento, prazo para implantação, escala para a determinação dos custos de investimento, produto primário, produto secundário, temperatura do processo, tipo(s) de poluente(s) emitido(s) para a atmosfera, porcentagem de redução de volume pós-tratamento, tipo de resíduo para a destinação final pós-tratamento, vantagens e desvantagens).

O resultado da soma de cada coluna foi dividido pela sua linha correspondente, obtendo-se a matriz A', derivada da matriz A (Tabela 2).

O resultado da soma de cada linha da Matriz A' foi dividido pelo número de alternativas, no caso 7 tecnologias, o que resultou na matriz peso (W) (Tabela 3).

TECNOLOGIA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Gaseificação	O gás gerado pode ser convertido em energia; pode diminuir a dependência de combustíveis fósseis; eliminação de patógenos; emite baixa concentração de particulados; o combustível resultante é limpo; aumenta a produção de hidrogênio e de monóxido de carbono; e diminui a produção de dióxido de carbono	Tecnologia pouco difundida; baixo rendimento de energia se houver muita umidade no resíduo domiciliar; de operação mais difícil do que a queima direta; deve ser tomado cuidado com o vazamento de gases tóxicos
Pirólise	Obtenção de energia de fácil transporte e armazenamento em relação à incineração; baixa emissão de particulados; não produz dioxinas e furanos; eliminação de patógenos	Não há um desenvolvimento industrial significativo, pois os resíduos acabam sendo incinerados indiretamente
Incineração	Produção de gás de síntese; redução drástica do volume e da massa do resíduo a ser descartado; redução do impacto ambiental; recuperação e geração de energia; eliminação de patógenos; cinzas podem ser reclassificadas como não perigosas; as usinas termelétricas híbridas (UTH) minimizam a emissão dos gases de efeito estufa; os incineradores atuais estão inseridos no conceito de recuperação de recursos	Elevado custo de investimento, de manutenção, de operação e monitoramento; requer mão de obra especializada; pode necessitar de combustível auxiliar; o sistema pode gerar produtos tão ou mais perigosos quanto o próprio resíduo quando mal operado
Plasma	Não geração de dioxinas e furanos; produção de gás de síntese, mais uniforme do que o gás gerado pela incineração; redução do volume de resíduos em proporção superior a 99%; eliminação de patógenos	Alto investimento na implantação, operação e manutenção; gases gerados após a combustão são tão poluentes quanto os gerados na incineração; sistema de lavagem de gases sofisticado; não há nenhuma garantia da não emissão de dioxinas e furanos, apesar da alta temperatura de operação do sistema
Compostagem	Valorização dos resíduos; meio econômico para recuperar recursos; quando aplicado no solo, o composto pode melhorar sua estrutura; em função da temperatura de operação, pode eliminar patógenos; permite a reciclagem da matéria orgânica	Necessita grandes áreas para a implantação em grande escala; pode liberar odores se as condições aeróbias não forem mantidas; qualidade do composto varia em função do tipo de resíduo; comercialização limitada; tamanho das partículas pode diminuir a eficiência do processo e a qualidade de composto, mistura inadequada pode afetar a eficiência do processo; dependência da reciclagem para melhorar a qualidade do composto produzido
Reciclagem	Valorização dos resíduos; minimização da utilização de fontes naturais, utilização mais racional dos recursos naturais; geração de emprego e renda; componente importante do processo de logística reversa	A coleta seletiva pode ser pouco eficiente; os materiais recicláveis podem ser contaminados, diminuindo seu valor comercial de venda; baixa demanda para compra de recicláveis; ausência de infraestrutura e incentivos públicos
Digestão Anaeróbia	Valorização dos resíduos; possibilidade de produção de elevadas quantidades de energia; permite a reciclagem da matéria orgânica e o aproveitamento energético; pode eliminar patógenos	Variação na composição gravimétrica dos resíduos acarretará ineficiência do processo; em sistemas contínuos pode ocorrer obstruções da canalização por pedaços maiores de resíduos; mistura inadequada dos resíduos e do lodo de esgoto, utilizado como inóculo, pode afetar a eficiência do processo; está associada à geração de maus odores; pode gerar resíduos líquidos que necessitarão de tratamento

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens das tecnologias consideradas para tratamento de resíduos sólidos domiciliares

Tabela 1 - Matriz A - critério: custo do investimento

Tecnologia	Pesos						
Reciclagem	1,00	1,70	3,70	4,70	5,70	6,70	7,70
Compostagem	0,59	1,00	3,50	4,50	5,50	6,50	7,50
Pirólise	0,27	0,29	1,00	1,60	2,60	5,60	7,20
Gaseificação	0,21	0,22	0,63	1,00	2,20	5,40	6,90
Digestão aeróbia	0,18	0,18	0,38	0,45	1,00	5,20	6,70
Incineração	0,15	0,15	0,18	0,19	0,19	1,00	6,60
Plasma	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	1,00
SOMA	2,53	3,68	9,53	12,58	17,34	30,55	43,60

Tabela 2 - Matriz A' derivada da Matriz A - critério: custo do investimento

Tecnologia	Matriz A'							Soma
Reciclagem	0,396	0,462	0,388	0,373	0,329	0,219	0,177	2,345
Compostagem	0,233	0,272	0,367	0,358	0,317	0,213	0,172	1,932
Pirólise	0,107	0,078	0,105	0,127	0,150	0,183	0,165	0,915
Gaseificação	0,084	0,060	0,066	0,079	0,127	0,177	0,158	0,752
Digestão anaeróbia	0,069	0,049	0,040	0,036	0,058	0,170	0,154	0,577
Incineração	0,059	0,042	0,019	0,015	0,011	0,033	0,151	0,330
Plasma	0,051	0,036	0,015	0,012	0,009	0,005	0,023	0,150

Tabela 3 - Tecnologias e Matriz Peso (W)

Tecnologia	Peso
Reciclagem	0,335
Compostagem	0,276
Pirólise	0,131
Gaseificação	0,107
Digestão anaeróbia	0,082
Incineração	0,047
Plasma	0,021

Teste da taxa de consistência - CR dos pesos calculados para o critério "custo do investimento"

A matriz das comparações aos pares, denominada Matriz [A], foi multiplicada pelo vetor principal ou pesos das prioridades, vetor que contém a média normalizada das somas das linhas da matriz de comparações aos pares [W], para gerar um vetor novo [C], conforme segue a Figura 4.

Cada elemento do vetor [C] foi dividido por seu elemento correspondente no vetor [W] para determinar um vetor [D]. O resultado desse vetor foi utilizado para calcular o máximo autovalor da Matriz A.

$$[D] = 2,743 / 0,335 + 2,334 / 0,276 + 1,104 / 0,131 + 0,905 / 0,107 + 0,679 / 0,082 + 0,340 / 0,047 + 0,155 / 0,021 = 8,189 + 8,458 + 8,448 + 8,432 + 8,240 + 7,228 + 7,216 = \mathbf{56,211}$$

Após este procedimento foi calculada a média dos números do vetor [D]. Essa é uma aproximação do que é denominado máximo autovalor da matriz A (*maximum eigenvalue*), denotado por λ_{Max} (Equação 4).

$$\lambda_{Max} = \frac{56,211}{7} = 8,030 \quad \text{Eq. 4}$$

O índice de consistência (IC) para uma matriz de tamanho N é determinado pela Equação (5).

$$IC = \lambda_{Max} - \frac{N}{N-1} \quad \text{Eq. 5}$$

Para a continuidade dos cálculos, tomando-se como base as determinações empíricas de Saaty (1991), foi necessário determinar os índices randômicos (IR), para que fosse possível seu relacionamento com os índices de consistência (IC). Após um grande número de simulações os resultados produzidos foram os apresentados no Quadro 4.

Para o exemplo acima, o valor de IR é 1,32, pois são sete tecnologias. Assim, a CR (taxa de consistência) pode ser calculada usando-se a seguinte relação (Equação 7):

$$CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,172}{1,32} = 0,1 \quad \text{Eq. 7}$$

Com base na sugestão empírica de Saaty (1991), de que um valor para CR igual a 0,1 é aceitável, considerou-se que as comparações aos pares, realizadas para a obtenção dos pesos do critério "custo do investimento" para cada uma das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento do RSD apresentam boa consistência. O valor numérico da taxa de consistência determina se os resultados dos pesos calculados para cada tecnologia, a partir dos critérios adotados, é aceitável ou não. Portanto, se CR for igual a ou menor do que 0,1, significa que o peso calculado para cada tecnologia em relação a determinado critério são aceitável ou não.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0,000	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Quadro 4 - Índices randômicos resultantes da simulação

Tabela 4 - Resultado final da Matriz Peso (W) - Hierarquização das alternativas tecnológicas consideradas para o tratamento de RSD

Critérios & Tecnologias	Reciclagem	Compostagem	Pirólise	Plasma	Gaseificação	Digestão Anaeróbica	Incineração
Prazo de Implantação	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
250 t/d Tratado	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
Custo do Investimento	0,335	0,276	0,131	0,021	0,107	0,082	0,047
Emissão de Poluentes	0,478	0,187	0,087	0,040	0,087	0,081	0,040
Produto Primário	0,345	0,069	0,130	0,142	0,095	0,076	0,040
Produto Secundário	0,438	0,134	0,092	0,074	0,092	0,097	0,074
Vantagens	0,423	0,165	0,122	0,051	0,097	0,078	0,063
Desvantagens	0,410	0,210	0,091	0,050	0,072	0,056	0,111
Redução de Volume	0,021	0,053	0,130	0,431	0,130	0,102	0,132
Resíduos para Aterro	0,356	0,221	0,103	0,066	0,095	0,110	0,051
Temperatura	0,396	0,258	0,072	0,018	0,074	0,122	0,060
Resultado Final	3,488	1,860	1,243	1,178	1,135	1,091	1,005

Os resultados deste estudo permitiram concluir que o custo do investimento não é o fator determinante para que uma tecnologia obtenha uma colocação inferior na hierarquia de classificação, pois os custos de investimento poderão ser reduzidos com a recuperação e a venda da energia e dos subprodutos gerados no processo. Como resultado principal produziu-se uma ferramenta que permitiu simular cenários em função da alteração dos valores dos critérios adotados. Cada novo cenário possibilita a utilização da mesma metodologia aplicada à RMC como apoio à tomada de decisão em outras circunstâncias, específicas para cada município ou consórcio de municípios. Por exemplo, pode-se avaliar que, em determinado município ou consórcio de municípios, o critério custo do investimento não seja um critério limitante. Portanto, cada cenário criado poderá possibilitar a utilização da metodologia aplicada

neste trabalho como apoio à tomada de decisão em outras circunstâncias. Assim, os critérios adotados podem ser os mesmos adotados neste trabalho, porém os pesos auferidos serão diferentes para cada município ou região, o que resultará em uma hierarquia distinta. Os pesos diferenciados estão diretamente relacionados à realidade local, devendo ser considerados, fundamentalmente, os investimentos potencialmente necessários; o relevo; a legislação em vigor, incluindo aspectos legais municipais, como, por exemplo, o Código de Posturas do Município e o Plano de Uso e Ocupação do Solo.

Portanto, a cada novo cenário haverá a necessidade de se compararem as tecnologias em função de cada nova condição adotada, calculando-se novamente os pesos, a taxa de consistência, que deverá ser menor ou igual a 0,1, e, posteriormente,

hierarquizar as tecnologias, produzindo um novo resultado.

A aplicação do método AHP permitiu a hierarquização das tecnologias disponíveis para o tratamento dos RSD em função de sua relevância, e, como resultado final, a reciclagem apresentou-se como a tecnologia mais adequada, e a incineração, como a menos adequada.

Deve ser salientado que, apesar da determinação de uma escala hierárquica entre as alternativas existentes, nada impede a adoção de mais de uma tecnologia para o tratamento RSD em substituição à implantação de aterros sanitários ou em complementação à disposição final por aterramento dos resíduos.

Referências

- BETENCOURT, P. R. B. **Desenvolvimento de Um Modelo de Análise Multicriterial para Justificativa de Investimentos em Tecnologia da Informação**. 163 f. 2000. Porto Alegre Dissertação (Mestrado em Administração) – Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Texto promulgado em 05 de outubro de 1988. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. 2005. Lei Federal nº 11.107, de 6 de abril de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 abr.2005.
- BRASIL. Lei Ordinária nº 11445, de 05 de janeiro de 2007. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 jan. 2005. v. 11445.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. v. 123085.
- CAMPOS, M. C. **Custo do Investimento em um Gaseificador**. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná. Notas de Aula. 2009.
- COMPROMISSO Empresarial para Reciclagem; SERVIÇO Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Custo para Implantação de Usina de Reciclagem**. São Paulo: Sebrae, 2006.
- D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.). **Lixo Municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRES, 1995. cap. 1.
- GARTNER, I. R. **Avaliação Ambiental de Projetos em Bancos de Desenvolvimento Nacionais e Multilaterais**: evidências e propostas. Brasília: Universa, 2001.
- GRANDZOL, J. R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: a case for the analytic hierarchy process. **IR Applications**, v. 6, 13 p., 2005. Disponível em: <<http://airweb.org/images/IR%20App6.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de Saneamento**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 151 f. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_saneamento.shtm>. Acesso em: 2 jul. 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PNSB 2008**: abastecimento de água chega a 99,4% dos municípios, coleta de lixo a 100%, e rede de esgoto a 55,2%. 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1>. Acesso em: 20 jan. 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Dados do Censo 2010 publicados no Diário Oficial da União do dia 04/11/2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php>. Acesso em: 3 mar. 2011.
- LAI, V. S.; TRUEBLOOD, R. P.; WONG, B. K. Software Selection: a case study of the application of the analytical hierarchical process to the selection of a multimedia authoring system, **Information and Management**, v. 36, n. 4, p. 221-232, 1999.
- MACHADO, N. L.; MORAES, L. R. S. RSSS: revisitando as soluções adotadas no Brasil para tratamento e destino final. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 55-64, 2004.
- MATA-ALVAREZ, J. *et al.* Anaerobic Digestion of the Barcelona Central Food Market Organic Wastes, Plans, Design and Feasibility Study. **Bioresource Technology**, v. 42, n. 2, p. 33-42, 1992.
- MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A. **Estágio atual da Incineração no Brasil**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LIMPEZA PÚBLICA, 7., 2000, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABLP, 2000.

MILANEZ, B.; TEIXEIRA, B. A. N.

Contextualização de Princípios de Sustentabilidade para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., João Pessoa, 2001. **Anais...** João Pessoa, 2001. 1 CD-ROM.

MUNIZ, L. A. R. **Controle Preditivo Adaptativo Aplicado a Um Reator de Pirólise Operando em Regime Semi-Batelada**. 183 f. 2004.

Florianópolis. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

REICHERT, G. A. Aplicação da Digestão

Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: uma revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** ABES: Campo Grande, 2005. 1 CD-ROM.

RENKOW, M.; RUBIN A. R. Does Municipal Solid Waste Composting Make WEconomic Sense? **Journal of Environmental Management**, v. 53, n. 11, p. 339-347, 1998.

SAATY, T. L. Some Mathematical Concepts of the Analytic Hierarchy Process. **Behaviormetrika**, v. 29, p. 1-9, 1991.

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br