



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP)
II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)
ISSN:2317-8302

ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA SISTEMA DE TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO (RSU)

ANDERSON GIOVANE SONTAG

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
andersonsontag@hotmail.com

IGOR KENJI HILAHATA CRUZ

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
igor_kc88@hotmail.com

FERNANDA PAOLA BUTARELLI

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
ferpaola_4@hotmail.com

GEYSLER ROGIS FLOR BERTOLINI

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
geysler.bertolini@unioeste.br



ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA SISTEMA DE TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO (RSU)

Resumo

A disposição de resíduos sólidos tem sido um fator crítico na gestão urbana. Novas técnicas de tratamento têm sido desenvolvidas, respaldadas pela alta tecnologia, porém o investimento financeiro tem sido uma forte restrição nessa decisão. Os sistemas de tratamento de lixo urbano por aterros sanitários predominam, mas entre as novas alternativas disponíveis tem-se o equipamento Vorax® que utiliza a tecnologia *DuoTherm* para tratamento de resíduos sólidos. Deste modo, é economicamente viável a implantação do equipamento em substituição ao atual tratamento dos resíduos sólidos urbanos em Marechal Cândido Rondon – PR? Logo, o objetivo da pesquisa é levantar os custos com o sistema de tratamento por aterro sanitário, mensurar o investimento para implantação de um novo sistema e fazer a análise de viabilidade econômica de substituição. A metodologia é uma pesquisa aplicada, exploratória, caracterizada como um estudo de caso na cidade de Marechal Cândido Rondon, no oeste do Paraná. Os resultados demonstram que a substituição não é economicamente viável, recomendando a permanência do aterro sanitário. Em contrapartida, diversos fatores ambientais e sociais apontam a alternativa como um grande potencial, essencialmente nas cidades onde o espaço físico é bastante restrito ou de alto custo.

Palavras-chave: Tratamento de resíduos sólidos, aterro sanitário, viabilidade econômica.

Abstract

The disposal of solid residues has been a critical factor in urban management. New treatment techniques have been developed, supported by high technology, but the financial investment has been a strong restriction in that decision. The systems of treating urban waste per landfills predominate, but among the new alternatives available there is the equipment Vorax® that uses *DuoTherm* technology for treating solid wastes. In that case, is it economically viable the implementation of the equipment to replace the current urban solid waste treatment of Marechal Cândido Rondon - PR? Therefore, the aim of the research is raising the cost of the treatment system for sanitary landfill, measure the investment to implement a new treatment system and do the analysis of the economic viability of replacing. The methodology is an applied research, exploratory, featured as a case study in the city of Marechal Cândido Rondon in western Paraná. The results demonstrate that the replacement is not economically feasible, recommending the maintenance of the sanitary landfill. However many environmental and social factors point to the alternative as a great potential, essentially in cities where physical space is very limited or costly.

Keywords: Waste treatment, landfill, economic viability.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

1 Introdução

O aumento populacional nas cidades e o crescente processo de industrialização têm contribuído para uma maior geração de lixo urbano. O consumo de bens materiais tem aumentado significativamente nas últimas décadas e como consequência mais resíduos têm sido produzidos (Paro, Costa & Coelho, 2008).

Conforme dados do IBGE (2010) a população urbana teve um alto índice de crescimento nas últimas décadas, passando de um total de 45,1% no censo de 1960 para 84,4% no censo de 2010. Esse fator influencia diretamente no volume de lixo urbano gerado, que aumentou proporcionalmente com a população. Além da migração para a cidade uma importante mudança cultural contribuiu para o aumento do volume de resíduos: nas últimas décadas tem ocorrido uma crescente industrialização, de forma que o consumo de produtos industrializados, água e outros bens de consumo tiveram um aumento significativo, e consequentemente o volume de lixo urbano também.

A partir dessa necessidade iminente, técnicas de tratamento passaram a ser desenvolvidas, porém com restrição de tecnologias e recursos. Segundo Eigenheer (2009), ao longo do século XX novas técnicas de tratamento de lixo no Brasil começaram a ser utilizadas, iniciando com a incineração e em seguida as usinas de triagem e compostagem. Porém essas técnicas geralmente não são autossuficientes, necessitando de um tratamento adicional, tradicionalmente o aterro sanitário (Soares, Lupatini & Castilhos, 2002; Eigenheer, 2009).

Atualmente os aterros sanitários são considerados a técnica de tratamento mais aceitável, considerando fatores ambientais, sociais e econômicos (Demajorovic, 1995; Paro *et al*, 2008). Todavia, para Demajorovic (1995), mesmo sendo a técnica de tratamento mais utilizada mundialmente, ainda apresenta alguns problemas críticos, como a grande necessidade de espaço físico para construção dos aterros, e problemas relacionados à poluição ambiental, como a poluição dos lençóis de água subterrâneos.

Com uma importância cada vez maior na gestão pública e seguindo as tendências mundiais, em 2010 o Brasil decretou sua Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), baseado na experiência vivida por outros países e desenvolveu uma política de qualidade. Dados do IBGE (2008) mostram que 42,02% dos municípios brasileiros têm destinação inadequada dos resíduos sólidos, sendo utilizados vazadouros a céu aberto ou aterros que não possuem um conjunto de sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública, portanto a questão da destinação final continua precária em boa parte do país. Um importante fator é o gasto público destinado à coleta, destinação e tratamento dos resíduos sólidos urbanos. Segundo dados da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, em 2012 as despesas relacionadas ao manejo de resíduos sólidos urbanos corresponderam à 4,6% em relação às despesas correntes das prefeituras.

Observando esse contexto de novas exigências ambientais, um projeto financiado pela empresa Solum Ambiental resultou em um sistema de tratamento inovador, o equipamento Vorax®, que propõe a utilização de um reator que trabalha com temperaturas elevadas para tratar o resíduo, porém sem geração de gases ou subprodutos tóxicos. Nesse sentido, em que o manejo de resíduos sólidos urbanos torna-se essencial e com o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento, a pesquisa é justificada pela possibilidade de explorar esse potencial contexto na gestão pública, avaliando uma nova alternativa para tratamento do resíduo sólido urbano, aplicando um estudo de caso na cidade de Marechal Cândido Rondon, no oeste do Paraná. Dessa forma fica a pergunta da pesquisa: **É economicamente viável a implantação do equipamento Vorax® em substituição ao atual tratamento dos resíduos**



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

sólidos urbanos na cidade de Marechal Cândido Rondon? Logo, o objetivo da pesquisa é levantar os custos com o sistema de tratamento por aterro sanitário, mensurar o investimento para implantação de um novo sistema de tratamento e fazer a análise de viabilidade econômica de substituição do atual pelo sistema de compactação térmica.

Sendo assim, o trabalho está estruturado em quatro fases principais: uma primeira parte conceitual, iniciando com o histórico, o contexto atual e exibindo as assimetrias entre a legislação e a realidade social. Numa segunda parte promove-se um estudo aplicado com informações atuais do manejo de resíduo sólido na cidade pesquisada, expondo o tipo de tratamento, restrições e gastos financeiros. Em seguida será apresentada a proposta de um novo sistema de tratamento com o equipamento Vorax®, os respectivos gastos com implantação e manutenção do sistema e a viabilidade de substituição do sistema atual. Por último as considerações finais, seguidas das referências que sustentaram a justificativa e argumentação do trabalho.

2 Referencial Teórico

Com o aumento no volume e também com novos tipos de lixos gerados, a situação passou a ser digna de atenção, pois se tornou um problema na gestão urbana. Segundo Renou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan e Moulin (2008) a gestão do Resíduo Sólido Urbano (RSU) constitui hoje um dos principais problemas ambiental, econômico e social, a nível mundial, e acrescentam que o volume de resíduos está crescendo em proporções maiores que o crescimento populacional.

2.1 Características e dados do RSU no Brasil

A característica e o volume dos resíduos gerados podem variar conforme diversos fatores, sejam esses geográficos, sociais ou econômicos. No âmbito nacional, ao relacionar o volume total de lixo coletado em relação à população, o índice obtido foi de 348,5 Kg/hab./ano (Abrelpe & IBGE, 2012). A pesquisa realizada pelo IBGE em 2008 apontou que 50,8% das cidades brasileiras despejavam os resíduos sólidos domésticos em lixões ou a céu aberto, 22,5%, possuíam aterros controlados e 27,7 % têm disposição adequada na forma de aterro sanitário. Os aterros controlados não se diferenciam muito dos vazadouros a céu aberto, pois não tem um sistema de tratamento adequado para o meio ambiente e saúde pública.

A coleta, descarte e tratamento de lixo geram custo ao governo público. O gasto com coleta e tratamento do RSU representa 4,6% do total das despesas de uma prefeitura, com variação conforme a região do país. Na Tabela 1 os valores referentes ao ano de 2012.

Tabela 1

Recursos Aplicados na Coleta de RSU e Serviços de Limpeza Urbana em 2012

Regiões	População Urbana (hab.)	Recursos Aplicados na Coleta RSU (R\$ milhões/ano)	Demais Serviços de Limpeza Urbana (R\$ milhões/ano)	Recursos Totais (R\$ milhões/ano)	Valor Equivalente por Habitante (R\$/mês)
Norte	12.010.233	608	976	1.584	10,98
Nordeste	39.477.754	1.708	3.483	5.191	10,95
Centro-Oeste	12.829.644	511	579	1.090	7,07
Sudeste	75.812.738	4.245	7.336	11.581	12,72
Sul	23.583.048	1.095	1.349	2.444	8,62
BRASIL	163.713.417	8.167	13.723	21.890	11,13

Fonte: Adaptado da Pesquisa Abrelpe (2012) & IBGE (2012).



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

2.2 Exigências regulamentadoras

Um dos maiores problemas na gestão pública, a destinação de RSU passou a sofrer cada vez mais exigências ambientais. Renou *et al* (2008) afirma que exigências ambientais rigorosas são continuamente impostas sobre o tratamento de RSU a nível mundial. No Brasil não é diferente, seguindo tendências mundiais e com vários problemas sociais e ambientais envolvendo o manejo de RSU, foi sancionada em 2010 a Lei 12.305/2010 que trata do manejo de resíduos sólidos urbanos. Entre as principais exigências destacam-se:

- Proibição de lixões a céu aberto e aterros controlados. Todas as administrações públicas municipais devem construir aterros sanitários e encerrarem as atividades dos lixões e aterros controlados, no prazo máximo de 4 (quatro) anos, onde só poderão ser depositados resíduos sem qualquer possibilidade de reciclagem e reaproveitamento, obrigando também a compostagem dos resíduos orgânicos;
- As administrações municipais, no prazo máximo de 2 (dois) anos, devem desenvolver um Plano de Gestão Integrada de Resíduos;
- Os municípios terão de implantar um sistema de coleta seletiva;
- A responsabilidade pelo lixo passa a ser compartilhada, com obrigações que envolvem os cidadãos, as empresas, as prefeituras e os governos estaduais e federal;
- Fabricantes, distribuidores e comerciantes, organizados em acordos setoriais, ficam obrigados a recolher e destinar para a reciclagem as embalagens de plástico, papel, papelão, de vidro e as metálicas usadas;
- Incentivo ao desenvolvimento científico para pesquisas direcionadas ao RSU.

2.3 Técnicas de tratamento de RSU

O CONAMA, na resolução nº 5 de 05 de agosto de 1993 define sistema de tratamento de resíduos sólidos como “um conjunto de unidades, processos e procedimentos que alteram as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos e conduzem à minimização do risco à saúde pública e à qualidade do meio ambiente.” Diversas tecnologias de tratamento estão disponíveis, dentre esses, destaca-se os sistemas de tratamento por aterro sanitário, incineração e compostagem.

2.3.1 Aterros sanitários

Em relação às técnicas de tratamento, o método mais utilizado são os aterros sanitários, sendo reconhecida mundialmente como a mais viável para a gestão pública dos RSU, de acordo com Renou *et al* (2007), estudos comparativos de diversas fontes têm demonstrado que entre os meios possíveis de eliminação dos resíduos sólidos urbanos (aterro, incineração, compostagem, etc.) a deposição em aterro sanitário tem sido a mais viável em termos de exploração e custos de capital.

Tigini, Prigione e Varese (2014) mencionam alguns fatores negativos, do qual a poluição causada por lixiviados de aterros sanitários é um dos principais problemas das áreas urbanizadas devido à sua composição química; a necessidade de uma extensa área física e a inutilização dessa área mesmo anos após o fechamento do aterro e a necessidade de instalação distante da cidade, devido ao mau cheiro e mau aspecto visual.

Chandramowli, Transue e Felder (2011) esclarecem que os aterros nas nações em desenvolvimento são dotados de recursos de resíduos que poderiam ser utilizados como um



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

fluxo de receita potencial para a comunidade que habitam tais locais. Uma alternativa é a cogeração de energia a partir do chorume gerado no tratamento. Silva, Rabelo, Ramazzotte, Rossi e Bollmann (2009) comentam que mesmo sendo pouco representativa na matriz energética mundial e brasileira a energia gerada a partir de RSU é uma opção estratégica que precisa ser analisada.

2.3.2 Incineração

Hjelmar (1996) comenta que outra técnica muito importante de tratamento de resíduos é a incineração, não muito utilizada no Brasil, mas com maior disseminação em países europeus. Essa técnica tem como característica principal a redução do resíduo em até 90% do volume inicial e tem a característica de recuperar grande parte da energia presa ao lixo. O autor comenta ainda que a incineração é muitas vezes a opção preferencial em países com disponibilidade ou acessibilidade do espaço limitado para deposição em aterro. Sendo a Suíça, Japão, França, Alemanha, Suécia e Dinamarca exemplos de países em que 50% ou mais dos resíduos não reciclados são incinerados. Van Dijen (2003) menciona que eficiências energéticas mais elevadas para os resíduos de incineração são obtidos por meio de cogeração.

No Brasil, Leão e Tan (1998) expõem que os resíduos de incineração representam uma alternativa promissora para geração de energia em São Paulo e, embora seja mais cara do que a energia hidrelétrica outros aspectos poderiam viabilizar a incineração em conjunto com a produção de energia. Todavia essa técnica também apresenta fatores negativos, sendo um grande inconveniente o fato da técnica não representar a fase final de tratamento do lixo, necessitando de um tratamento adjacente para as cinzas, geralmente depositadas em aterros. Emissões de incineradores podem proporcionar compostos orgânicos e inorgânicos potencialmente tóxicos para a população exposta (Ferreira *et al*, 2000). Outro fator citado por Monteiro *et al* (2001) é que sua instalação e funcionamento são geralmente dispendiosos quando comparados a outras técnicas de tratamento, devendo-se principalmente aos implementos tecnológicos necessários para diminuir ou eliminar a poluição do ar provocada por gases produzidos durante a queima do lixo.

As cinzas geralmente são constituídas de componentes tóxicos e o seu descarte torna-se outro problema ambiental a ser tratado. Na América do Norte a maior parte das cinzas geradas são depositadas em aterros, porém em alguns países europeus (por exemplo, Dinamarca, França, Alemanha e Holanda) quantidades significativas (40-60%) das cinzas são utilizadas para a construção de estradas e outros fins semelhantes (Hjelmar, 1996).

2.3.3 Compostagem

Para Dmitrijevas (2010), esse método consiste na decomposição de material orgânico existente no lixo, a fim de se obter um composto orgânico para utilização na agricultura. Para processar esse tipo de material é necessária uma separação prévia dos demais materiais, causando uma grande redução no RSU destinados aos aterros sanitários, segundo Barreira, Philippi e Rodrigues (2006) os resíduos orgânicos urbanos representam 50 % do peso dos RSU no Brasil.

Essa técnica de tratamento é essencialmente importante para o Brasil, por sua economia agrícola, mas conforme Barreira *et al* (2006), a utilização do processo de compostagem por meio das usinas de tratamento ainda é nova no Brasil. Ainda, Monteiro *et al* (2001) acrescentam que a economia da energia que seria gasta no tratamento de resíduos orgânicos em aterros sanitários e a transformação do material orgânico do lixo em composto orgânico adequado para nutrir o solo destinado à agricultura representam vantagens



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

ambientais e econômicas importantes proporcionadas pelas usinas de reciclagem e compostagem.

3 Metodologia

Marconi e Lakatos (2010) consideram a pesquisa como um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para se conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais, isso significa muito mais do que apenas procurar a verdade, mas é encontrar respostas para questões propostas, utilizando métodos científicos.

Conforme Gil (2010), a tipologia quanto à natureza foi conceituado como uma pesquisa aplicada, por objetivar a geração de conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais. Na abordagem do problema, a pesquisa pode ser classificada como qualitativa, na análise e desenvolvimento da pesquisa, e quantitativa, com a utilização de planilhas eletrônicas nos cálculos de custos. Em relação aos objetivos da pesquisa, ela é exploratória, visando proporcionar uma maior familiaridade com o problema com vistas a torna-lo explícito.

Quanto aos procedimentos técnicos, este foi qualificado como estudo de caso, que, para Yin (2001, p. 32), “é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real”. Utilizou-se ainda o método dedutivo, partindo da literatura global para específica.

A pesquisa é realizada no município de Marechal Cândido Rondon – PR, onde a coleta dos dados é documental e com base nas informações repassadas na aplicação de entrevistas não estruturadas na empresa fornecedora do equipamento e aos responsáveis do setor no município, sendo estas as fontes primárias de dados utilizados na pesquisa. Os dados secundários foram coletados em artigos, livros e revistas relacionados ao assunto.

4 Análise dos resultados

O estudo é realizado no município de Marechal Cândido Rondon, estado do Paraná, que produz aproximadamente 25 toneladas de lixo orgânico que são destinados diariamente ao aterro sanitário, estando adequado à Lei 12.305/10, com prazo de duração estimado, nas condições atuais, em 7 anos. A composição do sistema de recolhimento dos resíduos domésticos e de tratamento está organizado da seguinte forma: a logística do recolhimento dos resíduos das residências é realizada por uma autarquia, a recolha dos resíduos sólidos recicláveis é feita por uma cooperativa e o tratamento no aterro é de competência do município.

Nessa etapa da pesquisa acontece um comparativo entre os custos de instalação de um aterro sanitário e a alternativa de compactação proposta, buscando assim atender o princípio da economicidade na administração pública, buscando sempre a melhor alternativa para o município. O método de custeio utilizado é o custeio por absorção que para Martins e Rocha (2010, p. 85), o custo deve absorver, além dos custos variáveis, também os custos fixos, por isso, todos os métodos que atribuem custos fixos aos produtos pertencem a este gênero.

4.1 Custos de instalação e manutenção do aterro sanitário

Para Furlan (2007), as soluções de aterro vêm sendo otimizadas com a possibilidade de se promover o processamento mecânico do resíduo e algum tipo de compostagem, o que



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

permite a redução do volume e como consequência redução da área ou o prolongamento da vida útil dos aterros.

Houve certa dificuldade de obter informações dos custos de maneira organizada para a presente pesquisa, pois estes estão diluídos nas diversas secretarias, não atendendo a critérios gerenciais ou de controladoria, mas aos critérios diversos da administração pública. O aterro municipal atual conta com uma área de 129.683,60 m², adquirido em 2002 por R\$ 100.000,00, considerando que a estrutura tem um prazo de vida útil limitado, sendo necessária a aquisição de uma nova área no futuro. Para análise de viabilidade buscou-se o valor real do imóvel, que atualmente está, para aquisições de áreas similares, em R\$ 150.000,00 o alqueire (24.200 m²). Além disso, faz-se necessário a estrutura de edificação, cercado e instalações, estimada em R\$ 300.000,00.

4.1.1 Custos diretos de operação do aterro.

Furlan (2007) comenta que os aterros sanitários pedem um investimento inicial mais baixo para o município que tenha áreas disponíveis, ou que consiga desapropriá-las a um custo mais baixo, no entanto, os custos de operação da solução do aterro tendem a subir com o tempo, em função do passivo que se acumula. Conforme Martins e Rocha (2010), todos os custos utilizados exclusivamente para conceber, projetar, desenvolver e produzir um único produto são custos diretos dele, uma vez que a associação é direta, sendo que podem ser quantificados com acurácia, precisão e objetividade. Na Tabela 2, tem-se os custos diretos de manutenção do aterro sanitário, associados diretamente aos metros quadrados. Considera-se um aproveitamento de 90% da área adquirida para utilização no aterramento dos resíduos, sendo os custos da área e de implantação ajustados.

Tabela 2

Custos diretos de operação do aterro

Materiais/Serviços	Custo R\$ / M ²	Custo Total R\$
Escavação Mecânica do solo	4,61	538.057,26
Manta Geomembrana PEAD 1mm	14,00	1.634.013,36
Implantação da Manta	5,72	667.611,17
Escavação Mecânica	5,28	616.256,47
Proteção Mecânica	1,05	122.551,00
Apropriação do Custo da Área	6,89	803.823,97
Apropriação do Custo de Implantação	2,57	300.000,00
Sub-Total	40,12	4.682.313,23

Fonte: dados da pesquisa.

4.1.2 Custos indiretos de operação do aterro

Para Martins (2010, p. 49), os custos indiretos não oferecem condição de medida objetiva e qualquer tentativa de alocação tem de ser feita de maneira estimada e muitas vezes arbitrária (como aluguel, a supervisão, as chefias etc.), sendo indiretos em relação à aplicação no aterro. Na Tabela 3 os custos indiretos são apropriados pelo critério de rateio por metro quadrado, onde as informações foram extraídas dos processos de licitação.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

Tabela 3

Custos indiretos de operação do aterro

Materiais/Serviços	Custo R\$ / M ²	Custo Total R\$
Pedra Brita N. 3	1,18	137.851,31
Escavação Mecânica da Vala	0,23	26.792,34
Geotextil não tecido 200 g/ M ²	1,09	127.723,61
Tela Galvanizada	1,00	116.715,24
Forma de Madeira	0,04	4.903,81
Base Dreno	0,02	2.673,84
Tudo de Concreto	0,11	12.378,89
Sub-Total	3,68	429.039,03

Fonte: dados da pesquisa.

4.1.3 Custos fixos de operação do aterro

Segundo Martins e Rocha (2010, p. 21), custos fixos são aqueles que não são afetados pelo volume, dentro de um determinado intervalo do nível de atividade. Eles geralmente se alteram quando há mudança de capacidade produtiva, para mais ou menos, quando seu valor pode mudar de patamar, mas ele continua sendo fixo no novo patamar.

A Tabela 4 mostra os custos mensais de operação do aterro sanitário, considerando 3 funcionários com salário médio de R\$ 3.000,00, os respectivos reflexos na contribuição previdenciária sobre a folha com uma alíquota de 27,5% (incluindo o valor de terceiros), 13° salário e férias. As horas máquinas mensais correspondem aos serviços terceirizados de máquinas para escavações e aterramentos necessários e os combustíveis e despesas de veículos correspondem ao transporte dos funcionários até o empreendimento.

Tabela 4

Custo fixo de operação do aterro sanitário

Custos de Operação	Mensal R\$/mês	Anual R\$/ano	Total Projeto R\$
Salários Operacional (03 funcionários)	9.000,00	108.000,00	756.000,00
Contribuição Previdenciária (27,5%)	2.475,00	29.700,00	207.900,00
13 Salário	750,00	9.000,00	63.000,00
Férias	1.000,00	12.000,00	84.000,00
Horas Máquinas Mensais	18.150,00	217.800,00	1.524.600,00
Combustível / Despesas Veículos	400,00	4.800,00	33.600,00
Sub-Total	31.775,00	381.300,00	2.669.100,00

Fonte: dados da pesquisa.

4.1.4 Custos geral do projeto do aterro sanitário

Considerando que a produção atual do município é de 25 toneladas de lixo que são destinadas ao aterro municipal, o custo por tonelada é de R\$ 123,50, que representa mensalmente em torno de R\$ 92 mil reais (Tabela 5).



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

Tabela 5

Resumo do custo do projeto do aterro sanitário

	Custos Totais	RSU (ton)
Diário	3.087,48	25
Mensal	92.624,43	750
Ano	1.111.493,18	9.000
Projeto (7 anos)	7.780.452,26	63.000

Fonte: dados da pesquisa.

4.2 Sistema de tratamento de RSU pelo equipamento Vorax®

As poluições causadas por tratamentos de resíduos sólidos, com altas doses de metais pesados, organoclorados, benzenos, dioxinas, furanos, entre outros, têm conduzido a pesquisas de desenvolvimento de tratamentos alternativos que não sejam nocivos ao meio ambiente e à saúde do ser humano. A partir de uma dessas pesquisas foi desenvolvida a “Unidade de Tratamento de Resíduos - UTR *DuoTherm*” (com solicitação de pedido de patente internacional), conhecida como Vorax®, que é comercializada e fabricada pela Solum Ambiental, localizada em São José dos Campos/SP.

4.2.1 Especificação do processo *DuoTherm*

A tecnologia *DuoTherm* trata-se de uma inovação tecnológica em que um reator contendo duas fontes térmicas gera um gradiente de calor, de altas temperaturas entre essas fontes, este reator não possui refratário como nos modelos convencionais (exceto em seu núcleo), podendo ser usado em locais com reduzido espaço físico. O processo não necessita de combustão ou de um equipamento auxiliar. No interior do reator, há duas fontes térmicas, a primeira a 900° C e a segunda a 1.600° C, formando um gradiente térmico e liquefazendo por completo até mesmo materiais como os férreos ou inertes (areia). O resíduo não é misturado ao ar atmosférico e sofre uma destilação seca, ou seja, é desintegrado e liquefeito na ausência de ar, o que reduz consideravelmente a formação de poluentes danosos (como as dioxinas e furanos) ao meio ambiente e à saúde, inclusive cancerígenos. O processo de fabricação está atualmente licenciado pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) do estado de São Paulo (Solum Ambiental, 2014).

Devido aos altos níveis de temperatura nos quais o processo trabalha, não há formação de cinzas ou subproduto tóxico, como ocorre na incineração, mas sim a transformação de resíduos particulados em matrizes férreas e cerâmicas, não havendo necessidade de tratamentos auxiliares. A massa do lixo orgânico é reduzida para cerca 10% da massa inicial e o volume sofre uma redução para aproximadamente 1% do volume inicial, dependendo do resíduo processado. Este produto final pode resultar em três frações de diferentes estados físicos: a) sólido: material vítreo ou férreo dependendo da composição do lixo; b) líquido: água e óleos; e c) gasoso: gás combustível: CH₄, H₂, CO, entre outros. Os gases, formados no interior do reator, são absorvidos e resfriados abruptamente e então tratados e neutralizados em um tanque de imersão alcalino e filtros à base de carvão ativado.

Ainda, de acordo com a fabricante, não há necessidade de triagem dos resíduos, podendo processar diferentes tipos de resíduos simultaneamente e o material resultante, caso seja uma matriz férrea poderá ser comercializado para indústrias do metal e caso seja uma matriz cerâmica, com as mesmas propriedades da brita, poderá ser comercializada para empresas de construção civil.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

Os gases a serem tratados sofrem um choque térmico, impedindo que moléculas nocivas voltem a existir no meio ambiente. Além disso, O Vorax® - UTR *DuoTherm* consegue dar destinação final aos resíduos de praticamente qualquer origem, incluindo os hospitalares, pois o processo faz com que todos os tipos de materiais sigam praticamente o mesmo fluxo, sendo desintegrados, transformados em líquidos e solidificados em um material completamente inerte e atóxico. O Vorax® é apto ao tratamento de todos os tipos de resíduos com exceção de resíduos 100% líquidos, materiais explosivos, areia pura e metais com ponto de fusão acima de 1.600° C.

4.2.2 Dados de instalação

A Solum Ambiental (2014) menciona que é de responsabilidade do cliente o transporte inicial do equipamento e a preparação das partes civis e elétricas para sua instalação. Para a aquisição do equipamento são negociadas duas modalidades: (1) Operador, em que o adquirente do equipamento não é o consumidor final, terceirizando sua utilização; e (2) cliente final, em que o adquirente é quem fará a utilização do equipamento. Os custos para utilização do equipamento são divididos em implantação e operação, sendo a implantação um valor cobrado uma única vez para a instalação e treinamento do equipamento e a operação um custo mensal, que é cobrado enquanto o cliente fizer uso do equipamento. O pagamento desses valores não transfere a posse do equipamento para o cliente, mas apenas o direito de utilizá-lo. Os valores para cada modalidade e modelo de equipamento estão identificados na Tabela 6.

Tabela 6

Modalidades e valores de negociação dos equipamentos

Modalidade	Capacidade/dia	Capacidade/hora	Implantação	Operação
Operador	2 toneladas	100 kg	R\$ 1.066.240,00	R\$ 31.500,00
	4 toneladas	200 kg	R\$ 2.007.520,00	R\$ 63.000,00
	10 toneladas	500 kg	R\$ 5.017.600,00	R\$ 157.500,00
Cliente Final	2 toneladas	100 kg	R\$ 1.066.240,00	R\$ 63.000,00
	4 toneladas	200 kg	R\$ 2.007.520,00	R\$ 126.000,00
	10 toneladas	500 kg	R\$ 5.017.000,00	R\$ 315.000,00

Fonte: Adaptado da Solum Ambiental (2014).

O equipamento possui um período de garantia de um ano, durante o qual as manutenções de qualquer tipo, sejam preventivas ou corretivas, assim como troca de peças serão de responsabilidade da fabricante. Após o período de garantia, toda manutenção do equipamento ficará a cargo, exclusivamente, pela empresa fabricante e no local de instalação, sendo as peças necessárias para reposição orçadas à parte e trocadas mediante aprovação do cliente.

4.2.3 Custos do projeto

Para os cálculos utilizados nos custos de processamento de resíduos com o equipamento, foram utilizados os custos de instalação e operação do modelo Vorax® – UTR *DuoTherm* 10000, com capacidade de 10/toneladas por dia, na modalidade cliente final. Conforme dados do fabricante foi considerada uma vida útil do equipamento de 20 anos e consumo de energia elétrica para este modelo de 5.280 kW/dia.

Para efeitos de comparação e cálculos de viabilidade econômica entre os tratamentos de resíduos sólidos do aterro sanitário da cidade estudada e o processo do equipamento, os



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

cálculos foram feitos para se chegar a um custo médio de processamento de resíduos em R\$/tonelada. Foram considerados 2 operadores (1 para cada turno de trabalho) e os custos de combustível e despesas de veículos, foram considerados os mesmos do tratamento com aterro sanitário, uma vez que a diferença de valores não foi considerada significativa para efeito de cálculos da viabilidade. Os custos de energia elétrica foram calculados conforme o custo atual do kW/h de R\$ 0,43.

Na Tabela 7 é apresentada a lista de todos os custos mensais de tratamento intrínsecos ao processo com seus valores por mês, ano e o total do projeto, avaliado em 20 anos. Os custos de tratamento mensais calculados foram de R\$ 76.593,94, lembrando-se que não foram considerados os custos de manutenção corretiva e troca de peças após o período de garantia do equipamento (primeiro ano), uma vez que a fabricante não forneceu uma estimativa para esses valores.

Tabela 7

Custo fixo operação do equipamento Vorax®

Custos de Tratamento	Mensal (R\$)	Ano (R\$)	Total Projeto (R\$)
Salários Operacional (02 funcionários)	5.500,00	66.000,00	1.320.000,00
Contribuição Previdenciária (27,5%)	1.512,50	18.150,00	363.000,00
13 Salário	458,33	5.500,00	110.000,00
Férias	611,11	7.333,33	146.666,67
Combustível / Despesas Veículos	400,00	4.800,00	96.000,00
Energia Elétrica	68.112,00	817.344,00	16.346.880,00
Sub-Total	76.593,94	919.127,33	18.382.546,67

Fonte: dados da pesquisa.

Os custos para construção do barracão e adequações das partes civis e elétricas para a instalação foram orçados em torno de R\$ 300.000,00. Os valores considerados para avaliar os custos por mês, ano e total do projeto, ao final foram somados aos custos de tratamento mensais listados anteriormente, gerando um custo total do projeto ao final dos 20 anos de R\$ 98.999.546,67 (Tabela 8).

Tabela 8

Amortização do custo de operação do equipamento Vorax®

	Mensal (R\$)	Ano (R\$)	Total Projeto (R\$)
Construção do Barracão	1.250,00	15.000,00	300.000,00
Amortização do Contrato	20.904,17	250.850,00	5.017.000,00
Aluguel Mensal	315.000,00	3.780.000,00	75.600.000,00
Sub-Total	335.904,17	4.030.850,00	80.617.000,00
Total Projeto	412.498,11	4.949.977,33	98.999.546,67

Fonte: dados da pesquisa.

Com os valores dos custos totais por mês de R\$ 412.428,11 e a produção mensal de resíduos para o modelo de equipamento com capacidade de 10 ton/dia obteve-se um custo de tratamento por tonelada de resíduo de R\$ 1.374,99 por tonelada.

Para os cálculos de viabilidade econômica do tratamento de resíduos pelo equipamento não puderam ser considerados os custos com manutenção do equipamento após o primeiro ano de utilização, a cogeração de energia e comercialização do material inerte gerado como produto final do processo. Em relação ao material gerado, há interessados em sua compra, porém ainda não foram acordados valores de comercialização. Quanto à cogeração, esta possibilidade ainda está sendo estudada pela fabricante para agregar valor ao processo de tratamento de resíduos de seu equipamento (Solum Ambiental, 2014).



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

5 Considerações Finais

Conclui-se que o tratamento alternativo através do processo *DuoTherm* do equipamento Vorax® apresenta um custo mais elevado do que o tratamento por aterro sanitário utilizado atualmente pela prefeitura de Marechal Cândido Rondon – PR, com custo de R\$ 123,50/tonelada de resíduo sólido tratado e o alternativo um custo de R\$ 1.374,99/tonelada, ou seja, 1.113,35% mais elevado.

O tratamento de resíduos sólidos por aterro sanitário possui alguns fatores negativos quando visualizadas as questões ambientais ecológicas. Além da necessidade de uma extensa área física, Tigini *et al* (2014) acrescentam que a poluição causada por lixiviados de aterros sanitários é um dos principais problemas das áreas urbanizadas, devido à sua composição química, causando problemas relacionados à poluição ambiental, como a poluição dos lençóis de água subterrâneos. Outros fatores negativos que podem ser citados são a inutilização da área mesmo anos após o fechamento do aterro e a necessidade de instalação distante da cidade, devido ao mau cheiro e mau aspecto visual. Logo, para a escolha de tratamentos de resíduos sólidos outros fatores devem ser considerados, como os ambientais e sociais.

Em relação ao espaço necessário, este tem sido um fator restritivo para a utilização de aterros sanitários em países com espaço físico limitado e a incineração acaba sendo a opção preferencial. No entanto, um grande inconveniente é o fato da técnica não representar a fase final de tratamento, necessitando de um tratamento adicional para as cinzas, geralmente depositadas em aterros e as emissões dos incineradores podem proporcionar compostos orgânicos e inorgânicos potencialmente tóxicos para a população exposta (Ferreira *et al.*, 2000), uma vez que as cinzas geralmente são constituídas de componentes tóxicos e o seu descarte torna-se outro problema ambiental a ser tratado.

Outro fato a ser considerado são as leis vigentes, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), sancionada em agosto de 2010, que poderão elevar os custos de tratamento de resíduos especiais, como os hospitalares, exigindo a busca por novas tecnologias de tratamento de resíduos sólidos que possam tornar o processo mais barato e menos poluente.

O processo *DuoTherm* de tratamento de resíduos apesar de apresentar um custo muito mais elevado do que o tratamento por aterro sanitário, tem alguns pontos a seu favor, como a necessidade de um espaço físico muito mais reduzido, processo ecologicamente limpo e com emissão poluentes dentro de níveis aceitáveis conforme legislação, sem necessidade de tratamentos auxiliares ou complementares. Além disso, o material resultante da compactação dos resíduos deve ser considerado como um potencial subproduto a ser utilizado, sendo o material inerte, há possibilidade de utilização inclusive na construção civil.

Como sugestões de pesquisa recomenda-se a análises de viabilidade econômica do tratamento de resíduos hospitalares, chamados resíduos sólidos da saúde (RSS), por apresentarem custos de tratamento mais elevados do que os resíduos sólidos urbanos. Outra possibilidade é o estudo de viabilidade econômica para substituição do tratamento de resíduos por incineração em países com espaço físico reduzido e leis ambientais rigorosas, que tornam o tratamento de RSU de custo muito elevado.

Referências

Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2012). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2012*. São Paulo



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

Barreira, L. P., Philippi Jr, A., & Rodrigues, M. S. (2006, out/dez). Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 11, n. 4, p. 385-393.

Brasil. *Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Recuperado em 20 julho, 2014, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

Brasil. *Resolução Conama nº 5, de 05 de agosto de 1993*. Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários. Publicada no Diário Oficial da União nº 166, de 31 de agosto de 1993, Seção 1, páginas 12996-1299818.

Chandramowli, S., Transue, M., & Felder, F. A. (2011). Analysis of barriers to development in landfill communities using interpretive structural modeling. *Habitat International*, v. 35, n. 2, p. 246-253.

Demajorovic, J. (1995, maio/jun). Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos as novas prioridades. *Revista de Administração de Empresas*, v. 35, n. 3, p. 88-93.

Dmitrijevas, C. (2010). *Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos*. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Eigenheer, E. M. (2009). *A limpeza urbana através dos tempos* (1a. ed.). Porto Alegre: Gráfica Pallotti.

Ferreira, M. I., Petrenko H., Lobo D. J. A., Rodrigues G.S., Moreira A., & Saldiva P.H.N. (2000). In situ monitoring of the mutagenic effects of the gaseous emissions of a solid waste incinerator in Metropolitan São Paulo, Brazil, using the *Tradescantia stamen hair* assay. *Journal of the Air and Waste Management Association*, v. 50, n. 10, p. 1852-1856

Furlan, W. *Modelo de decisão para escolha de tecnologia para o tratamento de resíduos sólidos no âmbito de um município*. (2007). 240 f. Tese (doutorado em Administração) Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Gil, A.C. (2010). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas.

Hjelmar, O. (1996). Disposal strategies for municipal solid waste incineration residues. *Journal of Hazardous Materials*, v. 47, n. 1, p. 345-368.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Recuperado em 20 Julho, 2014, de <http://www.censo2010.ibge.gov.br>.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

Leão, A. L., & Tan, I. H. (1998, março). Potential of municipal solid waste (MSW) as a source of energy in São Paulo: its impact on CO² balance. *Biomass and Bioenergy*, v. 14, n. 1, p. 83-89.

Martins, E.; Rocha, W. (2010). *Métodos de custeio comparados: custos e margens analisados sob diferentes perspectivas*. São Paulo: Atlas.

Martins, E. (2010). *Contabilidade de custos*. 10. ed. São Paulo: Atlas.

Marconi, M.A., Lakatos, E.M. (2010). *Fundamentos de metodologia científica*. 7. ed. Atlas. São Paulo.

Monteiro, J. H. P. *et al.* (2001). *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM.

Paro, A. de C., Costa, F.C. da, Coelho, S. T. (2008, jul/dez) Estudo comparativo para tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários x incineração. *Revista Brasileira de Energia*, v. 14, n. 2, p. 113-125.

Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., Dirassouyan F., & Moulin P. (2008). Landfill leachate treatment: review and opportunity. *Journal of Hazardous Material*, v. 150, n. 3, p. 468-493, 2008.

Silva, C.L. da, Rabelo, J.M.O., Ramazzotte, V.C.B, Rossi, L.F.S., & Bollamann, H.A. (2009). A cadeia de biogás e a sustentabilidade local: uma análise socioeconômica ambiental da energia de resíduos sólidos urbanos do aterro da Caximba em Curitiba. *Innovar. Revista de Ciências Administrativas y Sociales*, v. 19, n. 34, p. 83-98.

SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – 2012*. Recuperado em 20 Julho, 2014, de <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=104>.

Soares, S.R., Lupatini, G., & Castilhos, A.B. de. (2002). Sistema de apoio à decisão (SAD) em seleção de áreas de aterros sanitários para pequenas comunidades. In: Castilhos, A.B.de, Lange, L. C., Gomes, L.P., & Pessin, N. (2002). *Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades: coletânea de trabalhos técnicos*. Rio de Janeiro: RiMa, p. 3-12.

Solum Ambiental. *Solum Waste Solution: Unidade de tratamento de resíduos sólidos*. Recuperado em 01 Agosto, 2014, de <http://www.solumambiental.com.br>.

Tigini, V., Prigione, V., & Varese, G.C. (2014). Mycological and ecotoxicological characterisation of landfill leachate before and after traditional treatments. *Science of The Total Environment*, v. 487, p. 335-341.

Van Dijen, F. K. (2003). New initiatives on municipal solid waste incineration (MSWI) in the Netherlands. *VGB PowerTech*, v. 83, n. 7, p. 57-59.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP)
II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

Yin, R. (2001) *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Tradução Daniel Grassi. 2 ed. Porto Alegre: Bookman.