



Encontro Internacional sobre Gestão  
Empresarial e Meio Ambiente

## **Implantação de biodigestores para tratamento e geração de energia em biotério de criação de animais**

**RODRIGO ANTONIO BASSO**

rodrigo\_basso@yahoo.com.br

**ALESSANDRA HENRIQUES FERREIRA**

alessandrahf@usp.br

**SONIA VALLE WALTER BORGES DE OLIVEIRA**

Universidade de São Paulo

soniavw@terra.com.br

## **Implantação de biodigestores para tratamento e geração de energia em biotério de criação de animais**

### **Implementation of biodigesters for treatment and power generation in an animal's breeding**

#### **RESUMO**

O atual cenário de crise energética associado ao desafio de gerenciar recursos naturais de forma sustentável enseja a adoção de medidas inovadoras e consistentes por parte das organizações. Nesse sentido, a partir da análise do referencial teórico e de forma a atender a legislação vigente, o presente trabalho elencou entre os diferentes processos, técnicas e métodos para processamento de resíduos sólidos aquele mais adequado para gestão e gerenciamento da maravalha contendo fezes e urina de animais criados em determinado biotério. A partir da escolha de biodigestor para processamento do referido resíduo, visando, sobretudo, à produção de bioenergia e de biofertilizante, foram realizados cálculos estimando a produtividade de biogás a partir desse resíduo de forma a analisar a viabilidade operacional e financeira de implementação de biodigestor, bem como descritas as etapas e procedimentos para a sua implantação e respectivo cronograma de execução. Os dados referentes ao volume de produção anual dessa biomassa denotaram a possibilidade de implementação de cinco biodigestores, visando não somente à economia de energia elétrica como redução de custos de transporte e disposição final em aterro industrial, o uso do biofertilizante nas áreas verdes do *campus*, bem como não lançamento *in natura* desses resíduos em locais não apropriados.

**Palavras-chave:** Biodigestores. Biotério. Bioenergia. Maravalha. Responsabilidade socioambiental.

#### **ABSTRACT**

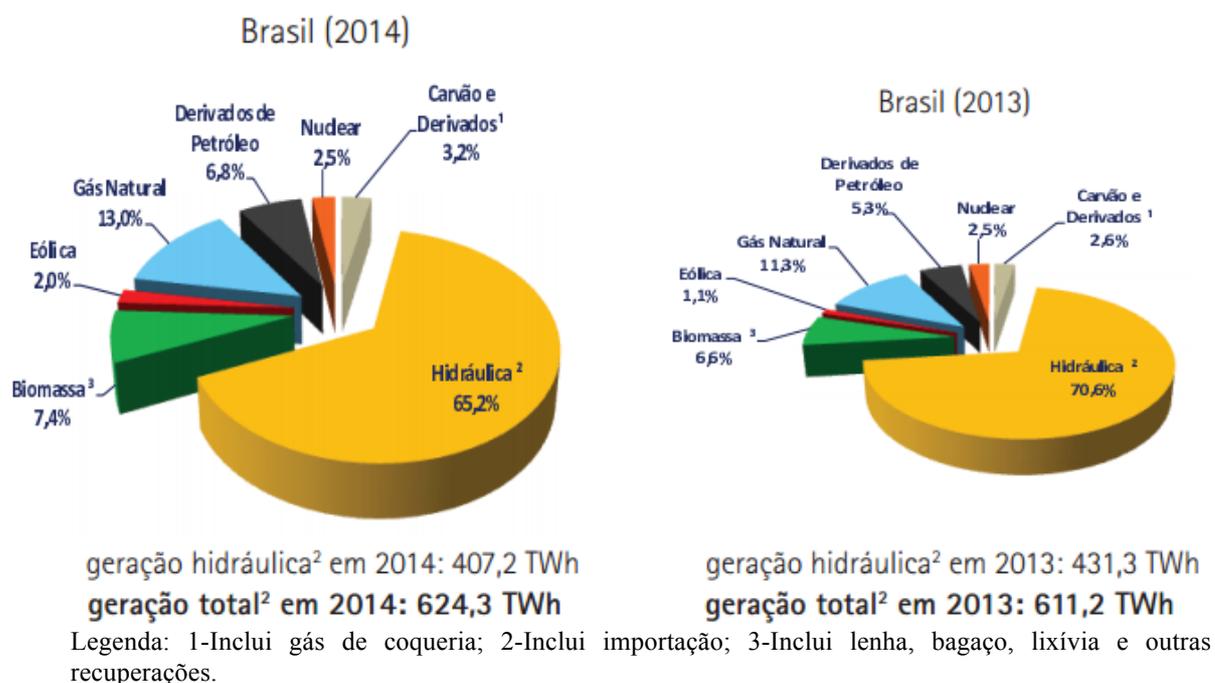
The current energy crisis scenario associated with the challenge of managing natural resources in a sustainable manner entails the adoption of innovative and consistent action by organizations. Thus considering the theoretical analysis and in accordance with the current legislation this paper has listed among the different processes, techniques and methods for processing of solid waste the most suitable for management of shavings containing feces and urine from animals bred in a particular vivarium. After the choice of digester for processing that waste aiming the production of bioenergy and biofertilizers, calculations were carried out by estimating the biogas productivity from this waste in order to analyze the operational and financial feasibility of implementing the digester and described the steps and procedures for its implementation and its execution schedule. The data relating to annual production volume of this biomass denoted the possibility of implementation of five digesters which aim not only to the economy of electric power as a reduction of transportation costs and disposal in landfills, the use of biofertilizers in the green *campus* areas and no *in natura* release of this waste in inappropriate places.

**Key-words:** Digesters. Vivarium. Bioenergy. Wood shavings. Social and environmental responsibility.

## 1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista o atual cenário de crise energética e a dependência da geração de energia a partir de hidrelétricas, a utilização de fontes alternativas e renováveis de energia pode ampliar a matriz energética brasileira.

Nesse sentido, a análise comparativa da matriz energética brasileira entre os anos de 2013 e 2014, denota um aumento na geração de energia a partir da biomassa. Essa observação pode ser feita na Figura 1.



**Figura 1:** Matriz Energética Brasileira (2013-2014)

**Fonte:** Empresa de Pesquisa Energética (2015).

Além desse cenário, há o desafio de gerenciar recursos naturais de forma sustentável, o que pode levar à adoção de medidas inovadoras e consistentes por parte das organizações. Com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), as organizações necessitam rever seus modelos de gestão e gerenciamento dos resíduos, com vistas a modelos que atendam aos preceitos instituídos na mesma.

Muitos resíduos sólidos ainda não têm destinação adequada, embora grande parte dos resíduos orgânicos sejam passíveis de produção de energia a partir da decomposição biológica anaeróbia, pelo aproveitamento do biogás produzido no processo de tratamento. Um dos equipamentos usados nesse fim são os biodigestores.

Biotérios de criação de animais são exemplos de organizações geradoras de matéria orgânica, que necessita de tratamento e destinação adequados como todos os demais resíduos sólidos. Essas instalações geram volumes expressivos de esterco de animais misturados à maravalha, que são aparas de madeiras de pinus utilizadas no acondicionamento e manutenção da higiene das gaiolas dos animais. Tal resíduo possui carga orgânica passível de ser decomposta em biodigestores, com posterior aproveitamento energético.

A partir dessas considerações, a pergunta de pesquisa do presente trabalho é: quais os procedimentos necessários para implantação de biodigestor para tratamento e geração de energia em biotério de criação de animais?

O presente trabalho teve como objetivo elencar os procedimentos necessários para implantação de biodigestores para tratamento e geração de energia em biotério de criação de animais.

Essa avaliação se justifica tendo em vista a necessidade de criar uma forma sustentável de gerenciar os resíduos gerados no biotério pesquisado, mostrando a responsabilidade socioambiental da instituição, além de aproveitar a oportunidade de geração de energia.

A estrutura do presente artigo é composta inicialmente por esta introdução, seguida da revisão bibliográfica, dos resultados e discussão e encerrada com as considerações finais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção científica é ampla no que se refere a processos, técnicas ou métodos de tratamento de diferentes resíduos produzidos. Diversos autores apresentam sistemas para tratamento de resíduos, como incineração, aterros sanitários, compostagem, biodigestores, entre outros.

Em consequência da Revolução Industrial no século XVIII e, mais recentemente, devido ao incremento da produção industrial no período Pós-Guerra, no século passado, muito tem-se debatido acerca do descarte correto dos resíduos dessa produção e sobre o conceito de poluição que é veiculado internacionalmente pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)<sup>1</sup> (1974 apud SÁNCHEZ, 2013, p. 25) como sendo:

[...] a introdução pelo homem, direta ou indiretamente, de substâncias ou energia no ambiente, resultando em efeitos deletérios capazes de pôr em risco a saúde humana, causar danos aos recursos vivos e ecossistemas e prejudicar ou interferir com as atrações e outros usos legítimos do meio ambiente.

Nas últimas décadas, mais do que debater sobre as causas da poluição e seus impactos, nota-se um esforço maior em minimizar tais impactos e a preocupação a longo prazo no que se refere ao gerenciamento dos resíduos. De acordo com Reichert e Mendes (2014, p. 302), “Para a definição dos sistemas sustentáveis de manejo de resíduos, a montagem de cenários com diferentes opções de coleta, de tratamento e de disposição final tem sido utilizada”. Os autores denominam como cenários de gerenciamento de resíduos as diversas alternativas para manejo dos resíduos, onde devem ser considerados “as etapas de coleta, transporte, triagem centralizada, reciclagem de materiais, tratamento biológico, tratamento térmico e aterro sanitário” (REICHERT; MENDES, 2014, p. 302). A combinação de técnicas diferentes pode gerar um sistema ambientalmente mais efetivo em relação a suas emissões, sejam gasosas, líquidas e residuais, além de ser necessário se analisar aspectos econômicos e sociais (REICHERT; MENDES, 2014).

Tendo em vista a necessidade de reduzir riscos e facilitar a sua disposição final, os resíduos podem ser submetidos a processos de tratamento que alterem seu caráter ou sua composição, considerando a manipulação e custo. Estes procedimentos podem ocorrer no próprio local de geração ou externamente, sendo aplicáveis tanto a resíduos sólidos, quanto aos resíduos químicos e aos infectantes. De acordo com Oliveira e Oliveira (2014, p. 299), há uma maior atenção a determinados processos de tratamento ou disposição final para resíduos sólidos urbanos, uma vez que estão mais adequados à legislação, ao domínio do manejo ou

---

<sup>1</sup> ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-OCDE. **Recommendation of the council on principles concerning transfrontier pollution.** Paris: OECD, 1974.

pela sua maior aceitação. No entanto, diversos processos formam um grande conjunto de tecnologias, das quais podem ser destacados: “aterro sanitário, biodigestor, compostagem, incineração por combustão, gaseificação e pirólise” (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2014).

No Brasil, em de 2 de agosto de 2010, foi promulgada e sancionada a Lei nº 12.305, também chamada de Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que introduz conceitos que devem estruturar a política de resíduos sólidos de cada um dos entes da Federação, inclusive da própria União, sendo o marco regulatório na temática que preconiza, entre outras coisas que:

[...] na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (BRASIL, 2010)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010) dispõe sobre princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Como mencionado anteriormente, existem atualmente diferentes processos, técnicas e métodos que podem – e deveriam – ser utilizados para o processamento dos diferentes tipos de resíduos.

Essas soluções oferecem diferentes alternativas desenvolvidas e aperfeiçoadas nas últimas décadas de forma a propiciar o tratamento mais adequado e vantajoso para cada resíduo de acordo com a realidade de cada organização, bem como atender à legislação vigente.

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), o aterro sanitário é, por definição:

[...] um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente o lixo domiciliar, que fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite uma configuração segura, em termos de controle da poluição ambiental e proteção ao meio ambiente. (CETESB, 2006, p. 57)

Outra alternativa que se apresenta, dentre tantas possíveis, é a destinação dos resíduos para incineração que, de acordo com Couto e Monteiro (2011, p. 4), consiste em um “processo de redução de peso e volume das características de periculosidade dos resíduos, com a consequente eliminação da matéria orgânica e características de patogenicidade, através da combustão controlada”.

Dessa forma, a partir da definição dos processos acima mencionados, percebe-se que nem todo processo visa a aproveitar a geração de energia e/ou de matéria orgânica como subprodutos finais dos resíduos sólidos tratados.

No processo de compostagem, há uma decomposição aeróbia da matéria orgânica produzindo um subproduto utilizável como adubo orgânico. A compostagem pode aproveitar matérias primas de origem animal ou vegetal, sendo que esses materiais podem ser enriquecidos [...] com minerais ou agentes capazes de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas e isento de substâncias proibidas pela regulamentação de orgânicos (BRASIL, 2008).

O tratamento de resíduos orgânicos com uso de biodigestor é considerado um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). De acordo com Pereira et al. (2012), o

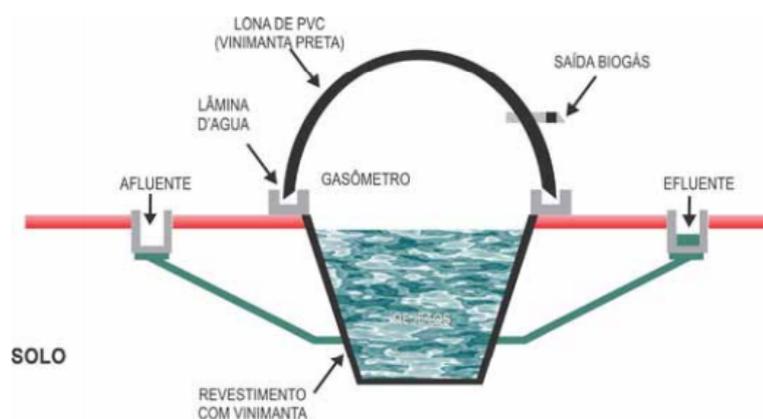
referido mecanismo é composto por uma câmara fechada, na qual se insere o material orgânico misturado com água, ocorrendo a decomposição anaeróbia e geração de biogás.

Diferentemente das técnicas e métodos anteriormente mencionados, esse mecanismo apresenta maior viabilidade de implementação no que tange ao seu aspecto econômico, considerando, sobretudo, que os produtos gerados podem ser consumidos e/ou comercializados, entre eles os créditos de carbono, o biogás (que pode ser transformado em energia elétrica) e o biofertilizante (PEREIRA et al., 2012).

Os biodigestores podem ser encontrados em diversos modelos (canadense, indiano, chinês etc.), cada qual com suas vantagens e desvantagens e características próprias de operação. Entretanto, existem dois tipos básicos de biodigestores classificados de acordo com a frequência de operação. De acordo com Duarte Neto et al. (2010, p. 37) os biodigestores em batelada “operam de forma descontínua; o processo de biodigestão se dá por cargas que são inseridas no compartimento de fermentação e são utilizados quando, por algum motivo, não é possível a alimentação diária do biodigestor com matéria orgânica” enquanto que os biodigestores de operação contínua “operam com cargas diárias de matéria orgânica que se movimenta por meio de carga hidráulica dentro do biodigestor”. Os modelos acima mencionados tratam-se de biodigestores de operação contínua sendo, também, os mais utilizados no Brasil, devido ao baixo custo, alto rendimento e fácil manuseio.

Dentre esses modelos de biodigestores, o canadense, também conhecido como biodigestor da marinha, segundo Soares e Silva (2010), caracteriza-se como um modelo tipo horizontal em que a largura é maior que a profundidade de forma que sua área de exposição ao sol seja maior e, conseqüentemente, aumente a produção de biogás. Sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, que infla com a produção de biogás, como um balão, conforme a Figuras 2 e 3. Esse modelo com cobertura em lona de PVC, em substituição às campânulas (metálica ou fibra de vidro como aquelas existentes nos modelos indiano e chinês, respectivamente), vem ganhando maior espaço em virtude dos menores custos e facilidade de implantação. A cúpula pode ser retirada, o que facilita na limpeza. A vantagem desse processo está na produção constante de biogás que é relacionado com a carga diária de sólidos depositados para a biodigestão.

As Figuras 2 e 3 representam, respectivamente, a ilustração do princípio do funcionamento do biodigestor canadense e o referido biodigestor já devidamente instalado em determinada propriedade rural.



**Figura 2:** Princípio de funcionamento do biodigestor canadense  
**Fonte:** EMBRAPA (2009).



**Figura 3:** Biodigestores canadenses instalados em propriedade rural  
**Fonte:** Torres, Pedrosa e Moura (2012).

Como pôde ser visto, os processos, técnicas ou métodos utilizados para tratamento de diferentes resíduos são diversos, gerando possibilidades de tratamento de biomassa e produção de bioenergia a partir de resíduos oriundos da produção de bovinos, ovinos, caprinos, equinos, dentre outros.

A composição do substrato afluyente ao reator tem grande interferência na produção de biogás. Estudos desenvolvidos por Al-Masri (2001) e utilizados por Oliveira (2009) mostraram que acréscimos de resíduos de origem animal proporcionavam acréscimo na produção de biogás, enquanto que o contrário acontecia com acréscimos de resíduos vegetais. Outra observação sobre acréscimo na taxa de produção de biogás foi feita por Amon et al. (2006) ao agregarem 6% de glicerina em biodigestor tratando esterco de suínos e silagem de milho. Os estudos de Amon et al. (2006) também apontaram que a alterações na dieta alimentar de alguns animais altera produção de metano a partir de seus dejetos e, consequentemente, do volume de biogás produzido.

Os cálculos para de produção de biogás e bioenergia podem ser encontrados em publicações científicas e técnicas do Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior (2012) no que concerne à tecnologia de biodigestores – produtividade, custo para implementação e análise do melhor modelo a ser utilizado dadas as diferentes biomassas.

No entanto, há escassez de material destinado ao cálculo da produção de biogás a partir de maravalha contendo fezes e urina de mais de um animal, o que dificulta o cálculo preciso da produção de bioenergia estimada em biotérios. O estudo de Santos et al. (2012) possibilitou o cálculo aproximado da produção de bioenergia considerando a mistura de maravalha e dejetos de animais diversos.

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma pesquisa aplicada, exploratória, de caráter quali-quantitativo, usando-se uma instituição existente, no caso um biotério, para se elencar os procedimentos necessários para implantação de biodigestores para tratamento e geração de energia em biotério de criação de animais.

O biotério analisado está instalado em uma instituição pública de ensino do interior de São Paulo e fornece animais para diversos laboratórios localizados no *campus*.

A coleta de dados se deu de forma direta, a partir de dados reais da instituição. A observação também possui caráter relevante na coleta de dados, uma vez que traz informações complementares da rotina de trabalho do biotério.

As análises quantitativas foram realizadas a partir de cálculos encontrados na literatura e descritos ao longo do capítulo 4, de acordo com Santos et al. (2012) e Barros (2015). Foi analisada a produção de biomassa a partir dos resíduos gerados na produção dos animais, para se verificar a viabilidade de implementação de biodigestores no mesmo local onde a referida biomassa é produzida.

A partir dessas análises, foi apresentado um conjunto de procedimentos necessários para que possam ser instalados os biodigestores para tratamento dos resíduos de maravalha contendo os dejetos dos animais, para produção de energia.

#### 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os biotérios são responsáveis pela produção e manutenção de animais como ratos, camundongos e cobaias com a finalidade de promover o desenvolvimento de pesquisas em instituições públicas e privadas. No biotério analisado pelo presente trabalho, essa produção de animais oscilou entre 80.000 e 100.000 unidades/ano (2011-2014), tendo atingido pouco mais de 105.000 unidades no ano de 2012.

Paralelamente a essa produção de animais e em decorrência da consequente demanda dessa produção, desenvolveu-se ao longo dos últimos anos a necessidade de o biotério ser autossuficiente na produção e fornecimento da maravalha. As madeiras são fornecidas gratuitamente pelo horto florestal da cidade, por meio da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, embora o seu corte, baldeio, descasque e transporte sejam efetuados por empresa contratada para tais finalidades.

O elevado número de animais produzidos e a limpeza diária das gaiolas que acondicionam esses animais culminam com a necessidade de produção quase ininterrupta da maravalha que, em 2014, atingiu a ordem de aproximadamente 121.858 kg de forma a atender a produção e manutenção dos animais desse biotério e dos demais biotérios departamentais existentes na mesma instituição, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1** - Consumo de maravalha (em kg) pelos biotérios entre os anos de 2012 e 2014

UNIDADE	ANO	2012	2013	2014
Biotério (principal)		71.871	61.717	90.750
Demais biotérios		41.498	33.693	31.108
<b>TOTAL</b>		<b>113.369</b>	<b>95.410</b>	<b>121.858</b>

A análise do referencial teórico e da literatura relacionada à temática de gerenciamento de resíduos apontam várias oportunidades que se apresentam para tratamento da maravalha produzida e utilizada no biotério analisado. Cada uma dessas opções com suas especificidades, possui vantagens e desvantagens para implementação.

Embora esse biotério seja o único responsável pela produção, comercialização e distribuição da maravalha dentro da instituição, a destinação dada aos resíduos pelas unidades consumidoras é desconhecida uma vez que não existe o mapeamento dessa maravalha descartada e uma política de gerenciamento da mesma.

No entanto, convém salientar que os animais que são propositalmente contaminados com micro-organismos em pesquisas dessa natureza são descartados juntamente com resíduos hospitalares, considerando o risco que representam para aqueles que os manuseiam assim como para o meio ambiente. Da mesma forma, a maravalha utilizada para o acondicionamento dos referidos animais, são autoclavadas e posteriormente incineradas de forma a atender protocolos sanitários e ambientais.

Tomando-se por base somente a maravalha consumida e descartada no âmbito do biotério produtor, constata-se uma geração aproximada de 350 kg de resíduos/dia que são descartados nos arredores do biotério onde esse insumo é produzido.

Os animais produzidos e utilizados nesse biotério passam por minuciosos controles parasitológico, virológico, microbiológico – e futuramente, genético – de forma a obter a certificação *Specific Pathogen Free* (SPF), ou seja, livres de agentes patogênicos. Condição imprescindível para o fornecimento de animais puros e que permitam a obtenção de resultados em pesquisas pouco ou nada alterados por fatores ligados à produção desses animais. Portanto, os dejetos dos animais contidos na maravalha descartada apresentam ou deveriam apresentar, risco de contaminação baixo ou quase nulo por agentes patogênicos muito embora o efeito da ureia no meio ambiente a médio e longo prazos, associado à crise energética da atualidade apontem a necessidade de adoção de medidas que vão ao encontro de práticas sustentáveis e preconizadas na instituição onde os animais e a maravalha são produzidos.

Tendo em vista o volume descartado de maravalha (contendo material orgânico de animais), associado ao descarte semanal de aproximadamente 150 kg de fezes de coelhos produzidos também nesse biotério, torna-se imprescindível a instalação de um biodigestor de operação contínua, de alta produtividade e de baixo custo de implementação – nesse caso, o modelo canadense de biodigestão.

Santos et al. (2012) realizaram um estudo comparativo da biodigestão em processo de anaerobiose no tratamento de sólidos, contendo maravalha e esterco de animais de laboratório (coelho, cobaia, camundongo e hamster) no que tange à produção de biogás, tendo obtido os resultados apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Produção de biogás nos biodigestores abastecidos com resíduos provenientes de biotério

Biodigestor	Produção de Biogás	kg de dejetos	Litros.kg <sup>-1</sup>
Biodigestor 1 - Coelho	3.667,02	42,85	85,58
Biodigestor 2 - Cobaia	1.828,00	19,89	91,91
Biodigestor 3 - Camundongo	1.830,20	18,03	101,51
Biodigestor 4 - Hamster	1.102,53	15,54	70,95
Biodigestor 5 - Mistura	3.181,91	44,94	70,80

**Fonte:** Santos et al. (2012, p. 37).

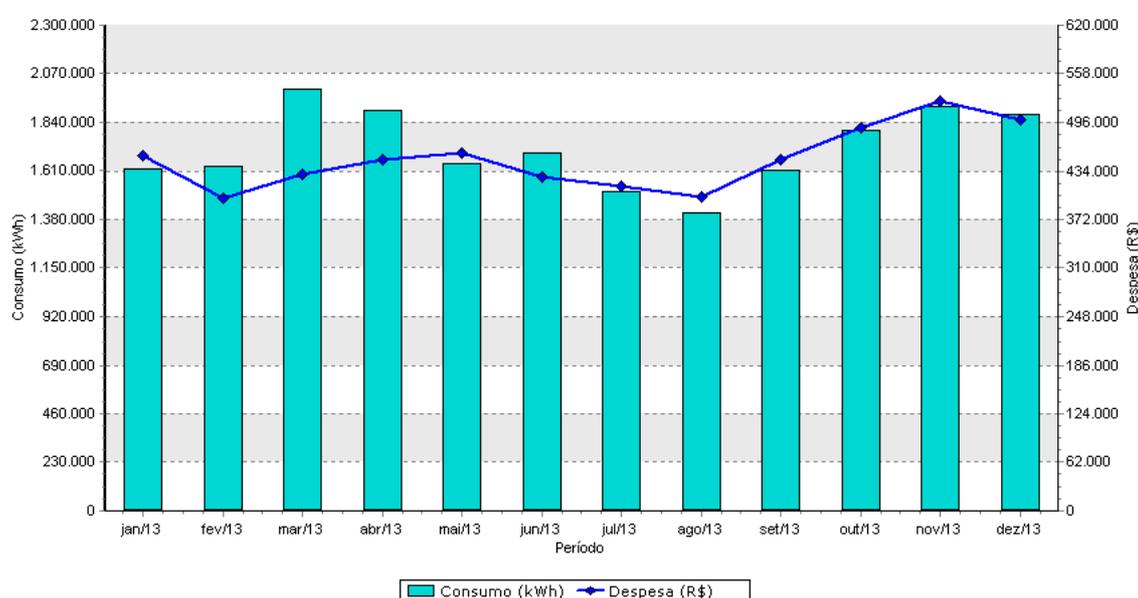
Considerando que não há separação da maravalha no ato de seu descarte, ou seja, esse resíduo contendo dejetos de ratos, camundongos, cobaias e hamsters é descartado de forma conjunta, para efeito de análise comparativa, será tomado por base de cálculo o dejetos Mistura da Tabela 2.

Dessa forma, de acordo com a referida tabela, 1 kg de Mistura de dejetos equivale à produção de 70,80 litros de biogás ou ainda de 0,0708 m<sup>3</sup>. Portanto, sob condições ideais de produção de biogás a partir de modelo semelhante de biodigestor e considerando o consumo e consequente descarte de 90.750 kg de maravalha ao ano somente pelo biotério principal (produtor). Calcula-se durante esse período uma produção estimada de 6.425.100 litros de biogás, ou seja, 6.425,1 m<sup>3</sup> do mesmo.

Segundo Magalhães et al. (2004), “cada metro cúbico (m<sup>3</sup>) de gás equivale a 5,5 kWh”, ou seja, o biogás gerado poderia produzir cerca de 35.338 kWh. Dessa forma, tendo em vista o preço médio de R\$ 0,41964/kWh da energia elétrica praticado pela concessionária da região nas unidades de consumo localizadas no referido biotério (segundo a média da tarifação observada nos últimos meses), estima-se uma economia anual na ordem de R\$ 14.829,26 para essa instituição.

Com base no gasto total aproximado com energia por essa organização na ordem de R\$ 5,6 milhões no ano de 2013, a partir da análise do Gráfico 1, tem-se que a média de consumo mensal de aproximadamente R\$ 466 mil ao mês naquele ano. Efetuando-se os ajustes necessários, tem-se que com o aumento de 28,38% a partir de março de 2015, estima-se um gasto próximo a R\$ 6,8 milhões para o presente ano.

**Gráfico 1-** Consumo de energia x Despesa na instituição (2013)



O consumo total de energia pela referida instituição é aferido a partir de um total de 169 Unidades de Consumo (UC), das quais três estão localizadas no âmbito do biotério produtor de animais e maravalha e representaram, em 2014, um total de R\$ 266.338,67, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3 -** Consumo de energia por Unidades de Consumo do referido biotério em 2014

Unidade de Consumo - localização	Consumo total (R\$)
16569695 - Administração	R\$ 3.805,66
40065081 - Laboratórios	R\$ 9.332,19
41807910 - Roedores SPF	R\$ 253.200,82
<b>Consumo total (anual) do biotério</b>	<b>R\$ 266.338,67</b>

Considerando o reajuste aludido no cálculo anterior, estima-se uma previsão de gasto na ordem de R\$ 323.668,07 pelo biotério no ano de 2015, ou seja, 4,76% do total previsto para a instituição em sua totalidade.

Ainda que o cálculo da produção de energia a partir do referido biodigestor revele que o montante produzido não consegue suprir a demanda anual de energia do biotério, constata-se que o total produzido é suficiente para atender a demanda de duas de suas UC – da Administração e dos Laboratórios.

Os resultados obtidos permitem concluir que o processo de biodigestão anaeróbia utilizando resíduos de biotérios – maravalha e dejetos dos animais – é eficiente para a produção de biogás. Além de ser uma solução para os problemas de resíduos sólidos do biotério, os processos de biodigestão anaeróbia proporcionam o retorno de matéria orgânica e nutrientes ao solo, a partir da aplicação do biofertilizante resultante da decomposição. Uma prática que vai ao encontro do que preconiza o tripé da sustentabilidade sendo, portanto, ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável.

No que tange à implementação desse biodigestor, o órgão de avaliação de uso do solo e edificações dessa instituição classifica e subdivide em categorias as obras de engenharia de acordo com as suas características e especificidades. A construção de um biodigestor, por se tratar de uma nova obra de engenharia, se enquadraria na Categoria A e, por conseguinte, deverá respeitar o trâmite a seguir descrito e ilustrado de forma sucinta no Quadro 1 referente ao cronograma de execução da implementação do biodigestor no âmbito dessa organização.

Dessa forma, definido o modelo de biodigestor a ser construído nesse biotério, faz-se necessário apresentar um cronograma para sua implementação, respeitando os trâmites internos e as normas de conduta de obras e serviços de engenharia da instituição.

Fases do Projeto	2016 (trimestres)				2017 (trimestres)			
	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º
1. Solicitação	X							
2. Elaboração do projeto		X	X					
3. Análise pelo órgão de avaliação de uso do solo e edificações			X	X				
4. Análise da Comissão de Meio Ambiente				X				
5. Encaminhamento à CETESB					X	X		
6. Divisão Financeira						X		
7. Execução							X	X

**Quadro 1:** Cronograma de Execução.

A implementação do projeto está prevista para aproximadamente 24 meses e obedecerá às fases elencadas no Quadro 1 e detalhadas a seguir. A previsão para cada etapa foi elaborada com o auxílio da equipe de engenheiros da instituição, baseada em seu conhecimento técnico e experiência na área e considerando/respeitando, sobretudo, o volume de processos atendidos por cada uma das instâncias supracitadas.

1. Solicitação: o biotério em parceria com equipe técnica devidamente constituída e com conhecimento prático e teórico na área são responsáveis pela elaboração da solicitação da construção do referido biodigestor. Uma vez descritas as especificações técnicas da obra, encaminha-se a solicitação à equipe de engenheiros que, em parceria com empresa especializada, serão responsáveis pela elaboração do projeto;

2. Elaboração do projeto: essa fase subdivide-se em 2 etapas – elaboração do Memorial Descritivo e Execução da Planilha Orçamentária.

2.1. Durante a elaboração do memorial, os engenheiros relacionam todos os itens contemplados na execução da obra, desde fundação, estrutura, alvenaria, instalações, revestimentos, acabamentos, entre outros;

2.2. Posteriormente a essa etapa, é executada a planilha orçamentária calculando-se os custos envolvidos na construção/implementação do biodigestor;

3. Análise do órgão de avaliação de uso do solo e edificações: uma vez elaborado o projeto pela equipe de engenheiros, o mesmo é encaminhado ao escritório de engenheiros da instituição que será responsável por analisar a consonância do referido projeto com o plano diretor da organização, a viabilidade econômico-orçamentária de sua implementação e questões como acessibilidade da obra caso se faça necessária e outras características eventualmente não contempladas pelos engenheiros;

4. Análise da Comissão de Meio Ambiente: essa comissão tem como objetivo planejar a readequação do plano ambiental vigente, sugerir eventualmente contratação de empresa especializada para avaliação de sanidade fitossanitária dos exemplares arbóreos do espaço físico da instituição, orientar as ações pertinentes à reserva ecológica do local e, principalmente, emitir pareceres relativos às solicitações, após vistorias programadas. Dessa forma, tendo em vista o impacto positivo da implementação do biodigestor, faz-se imprescindível a análise do projeto pela referida Comissão;

5. Encaminhamento à CETESB: a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) é a agência do governo estadual paulista responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo, sendo, portanto, etapa obrigatória para aprovação e emissão das licenças (Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação) para a instalação de um biodigestor (CETESB, 2006);

6. Divisão Financeira: atendidos todos os itens mencionados, encaminha-se o projeto final à Divisão Financeira que determinará a modalidade de licitação a ser utilizada, bem como a previsão e dotação orçamentária para execução, elaboração do respectivo contrato onde deverá constar o custo total da obra e itens ali relacionados como previsão de aditamentos, designação de responsável pela supervisão da referida obra, elaboração de cronograma de pagamento e, ainda, a previsão de entrega de cada etapa da obra;

7. Execução: última fase da implementação do biodigestor e de competência exclusiva da empresa particular contratada. Constatada a conformidade da obra pelo supervisor do contrato, o biodigestor estará devidamente apto a funcionar.

O custo estimado para a implementação de um biodigestor com capacidade de 40m<sup>3</sup>, segundo orçamento oferecido pela Empresa Sansuy em março de 2015, é da ordem de R\$ 45.000,00 e contempla projeto, instalação e treinamento. Os custos relacionados a obras civis e de terraplanagem seriam arcadas pela instituição.

Santos et al. (2012) sugerem um percentual máximo de 12% de sólidos, um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 100 dias para tratamento de resíduos de biotério. No biotério estudado, tendo a carga anual de sólidos de cerca de 91.000 kg, ou 7.583 kg/mês (12%), seriam necessários mais cerca de 53.000 L/mês de água para obtenção da umidade necessária, totalizando um volume a ser tratado de cerca de 60.667 L/mês ou 2,02 m<sup>3</sup>/dia.

Utilizando-se o cálculo do biodigestor canadense proposto por Barros (2015), tem-se a equação (1).

$$V = Q \times TDH \quad (1)$$

Sendo:

$V$  – volume da câmara ( $m^3$ )

$Q$  – vazão afluyente ( $m^3/dia$ )

$TDH$  – tempo de detenção hidráulica

Para o biotério estudado, o volume da câmara ( $V_{cd}$ ) seria de cerca de  $202 m^3$ , utilizando-se a vazão afluyente de  $2,02 m^3/dia$  e o tempo de detenção hidráulica de 100 dias. Para atender esse volume a ser tratado, seriam necessários cinco biodigestores de  $40 m^3$ , com um valor de investimento de cerca de R\$ 225.000,00. Para a avaliação de viabilidade do investimento, não pode ser considerada apenas a economia de energia elétrica que o equipamento pode gerar, mas também a redução de custos de transporte e disposição final em aterro industrial, o uso do biofertilizante que pode ser usado nas áreas verdes do campus, bem como os ganhos ambientais do não lançamento *in natura* desses resíduos em locais não apropriados.

Em consonância com a política de ampliação da matriz energética no país, a instituição analisada visa a estabelecer diretrizes, propor atuações, avaliar e gerenciar a utilização dos recursos hídricos e energéticos em suas unidades e órgãos, com vistas a incrementar a eficiência do uso e reduzir o consumo desses recursos por meio de ações de caráter tecnológico e comportamental.

Dessa forma, embora muitas alternativas se apresentem para destinação da maravalha gerada pelo biotério, a instalação de biodigestores vai ao encontro da atual política da instituição e do cenário de crise energética vivenciado em diversos municípios brasileiros uma vez que representa uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O biotério analisado pelo presente trabalho é hoje considerado um dos maiores biotérios de produção e criação de animais sem fins lucrativos do Estado de São Paulo em termos de excelência na qualidade dos animais produzidos, bem como nos procedimentos operacionais padrão adotados.

A elaboração do presente trabalho possibilitou analisar os desafios e limitações associados à implementação de medidas socioambientais frente a um cenário de crise energética por meio da adequação da produção e descarte da maravalha produzida pelo biotério, bem como seu tratamento efetivo e concomitante produção de bioenergia e biofertilizante a partir de instalação de biodigestores nesse biotério.

No entanto, é oportuno ressaltar que o biodigestor de modelo canadense apresenta um entrave ao processamento da maravalha descartada, tendo em vista o volume de resíduo sólido a ser processado e o tempo para a biodigestão dessa biomassa. O modelo adotado subsidia o cálculo estimado de biogás a partir do referido resíduo, muito embora novos estudos possam apontar modelos mais apropriados para o processamento desse tipo de biomassa.

Finalmente, convém mencionar que a crise energética decorrente da dependência de geração de energia por meio de hidrelétricas associada à crescente conscientização da responsabilidade socioambiental ensejam a adoção de medidas inovadoras, consistentes e replicáveis para a sociedade.

Com esta pesquisa, espera-se trazer uma contribuição prática para um planejamento sustentável para a destinação dos resíduos gerados no biotério analisado.

## REFERÊNCIAS

- AL-MASRI, M. R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 1, p. 97-100, March 2001.
- AMON, T. et al. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: effects of dairy systems and of glycerine supplementation. **International Congress Series**, v. 1293, p. 217-220, 2006.
- BARROS, T. D. **Agroenergia**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC. Disponível em:  
<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj06suh302wyiv802hvm3ja3fm10a.html>>. Acesso em: 14 out. 2015.
- BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Brasília, DF: [s.n], 2010. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 20 fev. 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa nº 64, de 18 de dezembro de 2008**. Brasília, DF, 2008.
- CETESB. **Biogás: projetos e pesquisas no Brasil**. São Paulo: SMA, 2006.
- COUTO, R. A. O.; MONTEIRO, W. A. Geração de energia elétrica por meio da digestão de papel com o uso de biodigestores. **Anais da VII Jornada de Iniciação Científica da Universidade Presbiteriana Mackenzie**, 2011.
- DUARTE NETO, E. D. et al. Implementação e avaliação de um biodigestor de produção descontínua. **E-xacta**, v. 3, n. 2, p. 36-43, 2010.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014**: Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em:  
<[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final\\_2015\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2015_Web.pdf)>. Acesso em: 4 set. 2015.
- LUCAS JUNIOR, L. **Tratamento de efluentes de produções animais**. In: SIMPÓSIO PRODUÇÃO ANIMAL E RECURSOS HÍDRICOS, 2., São Carlos, 2012. Disponível em:  
<[http://www.cppse.embrapa.br/sites/default/files/principal/Documentos\\_para\\_Download/Jorge%20de%20Lucas%20Junior%20Tratamento%20de%20efluentes%20na%20producao%20animal.pdf](http://www.cppse.embrapa.br/sites/default/files/principal/Documentos_para_Download/Jorge%20de%20Lucas%20Junior%20Tratamento%20de%20efluentes%20na%20producao%20animal.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2015.
- MAGALHÃES, E. A. et al. Confecção e avaliação de um sistema de remoção do CO<sub>2</sub> contido no biogás. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 1, p. 11-19, 2004.

OLIVEIRA, L. N. et al. Avaliação da biodigestão anaeróbia como método alternativo para aproveitamento de resíduos sólidos de biotério. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 19., 2009, Águas de Lindóia-SP. **Anais...** Zootec, 2009.

OLIVEIRA, S. V. W. B.; OLIVEIRA, M. M. B. Tecnologias disponíveis para o tratamento ou a disposição adequada de resíduos sólidos urbanos. In: SAIANI, C. C. S.; DOURADO, J.; TONETO JUNIOR, R. **Resíduos sólidos no Brasil: oportunidades e desafios da lei federal nº 12.305 (Lei de Resíduos Sólidos)**. Barueri: Minha Editora, 2014.

PEREIRA, L. et al. A construção e o papel ambiental de um biodigestor. **Revista Magistro de Filosofia**, v. 5, n. 9, p. 17-29, 2012.

REICHERT, G. A.; MENDES, C. A. B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 301-313, 2014.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, E. M. S. et al. Potencial energético do aproveitamento de resíduos sólidos provenientes de biotério para a produção de biogás. **Revista Acta Veterinaria Brasilica**, v. 6, n. 1, p. 35-39, 2012.

SOARES, R. C.; SILVA, S. R. C. M. Evolução histórica do uso de biogás como combustível. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 5., 2010, Maceió-AL. **Anais...** CONNEPI, 2010.

TORRES, A.; PEDROSA, J. F.; MOURA, J. P. Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais. **Educação Ambiental em Ação**, n. 40, ano XI, jun.-ago. 2012.