

BIODIGESTORES: UMA INOVAÇÃO NA GESTÃO DO LIXO SÓLIDO E NA PRODUÇÃO DE GÁS

Márcio P. Jorge*

(...) a grande maioria das combinações novas não brotará das empresas antigas nem tomará imediatamente o seu lugar, mas aparecerá a seu lado e competirá com elas. (Schumpeter)

Resumo

Este artigo é uma versão compacta da monografia vencedora do prêmio São Luís/ABN AMRO Bank 2005, que teve como objetivo estudar a viabilidade econômica da construção de biodigestores em firmas para a produção de biogás. As firmas geradoras de resíduos de grande vulto podem se beneficiar enormemente desse implemento tanto para a produção de sua própria energia quanto para a deposição de resíduos, que também poderão ser usados como biofertilizante no processo final da biodigestão. O artigo traz estudos de casos de biodigestores em países periféricos e desenvolvidos, assim como um projeto piloto concebido pelo autor especialmente para a indústria de cítricos.

* Márcio P. Jorge é aluno do 8º período do curso de Economia da Faculdade São Luís. E-mail: mpjorge71@yahoo.com.br

Palavras-chave

Biodigestor, biodigestão, biofertilizante, biogás, baixa/alta entropia, recursos renováveis/não-renováveis, modelo indiano, matrizes energéticas.

Abstract

This paper is a compact version of the 2005 São Luís/ABN AMRO Bank winning monograph that aimed at studying the economic viability of building bioreactors in firms to produce biogas. Firms responsible for generating high volumes of waste can benefit enormously from this implement both to produce their own energy and to discard residues. The latter can also become a rich fertilizer at the end of a process called biodigestion. The article brings studies of bioreactors located in developing and developed nations, as well as a pilot project which has been specially designed by the author for the citrus industry.

Key Words

Bioreactor, biodigestion, biofertilizer, biogas, implementation, high/low entropy, renewable/non-renewable resources, input, Indian design, energy matrix.

Considerações iniciais

Cada vez mais a questão da produção e escassez de energia é debatida em níveis nacional e internacional, tanto em países desenvolvidos quanto nos países periféricos. Há muito, já se previa o aumento da demanda do petróleo em virtude do crescimento de países populosos e em desenvolvimento como a China e a Índia e o conseqüente encahecimento da *commodity*, assim como a sua iminente escassez.

Aliado a isso, as mudanças ambientais decorrentes do aquecimento global levam muitos países dependentes de usinas hidrelétricas a sofrerem longas estiagens, muitas vezes, sem previsão de melhora das condições climáticas. Vale salientar, porém, que a água usada como insumo na geração de energia é muito demandada pela agricultura e que sua escassez está negativamente relacionada ao crescimento populacional.

O problema, no decorrer dos anos, será o de definir prioridades, já que é de conhecimento geral que a disponibilidade da água e do petróleo como insumos energéticos é irremediavelmente finita. Dessa forma,

a maximização e a alocação desses recursos serão os pontos de partida para definir tais prioridades, quer em relação aos indivíduos, quer em relação às firmas, que, por sua vez, terão de recorrer cada vez mais a novas tecnologias para controlar seus custos e manter suas vantagens competitivas. Assim, como Romeiro e Salles Filho (Romeiro, Reydon e Leonardi, 2001, p.96) observam, (...) *as considerações de ordem ambiental por parte dos agentes econômicos tendem a fazer parte de suas estratégias inovativas na exata medida em que signifiquem oportunidades de criação de competências para a busca de vantagens competitivas.*

Nesse contexto, busca-se o aproveitamento de recursos alternativos como o sol, o vento e a biomassa, que ganham cada vez mais espaço nas novas idéias para solucionar os problemas de escassez de energia.

O objetivo deste artigo é o de mostrar como a biomassa acumulada por meio da concentração do lixo de grande vulto gerado pelas firmas pode ser usada para produzir energia com base na construção de biodigestores. Estes, por sua vez, irão transformar a concentração energética dessa biomassa em gás, que poderá ser utilizado como insumo na geração de energia elétrica.

Sendo o biodigestor um poço ou um depósito onde os resíduos serão dispostos para a geração de gás, também servirá como um reservatório para a deposição desses mesmos resíduos e economizará, por sua vez, os serviços de coleta de lixo e o espaço que seria utilizado com algum tipo de aterro sanitário não-controlado.

Desse modo, enxergam-se também as externalidades positivas que os biodigestores possam trazer – tanto econômica, quanto socialmente pois, com o gás, a firma obterá um insumo produzido internamente que pode ser usado para reduzir os seus custos de produção. Além disso, com a gestão do lixo de grande vulto, ela também auxiliará na solução de um dos maiores causadores de problemas ao meio-ambiente, que é o do destino dos resíduos industriais que cada vez mais elevam os gastos com a coleta de lixo pelas prefeituras das cidades.

Verifica-se, ainda, que o mundo, hoje, acorda para uma nova realidade: a da responsabilidade social. Uma vez solucionada a questão econômica das firmas, vemos que os modelos de maximização dos lucros passam pela problemática da degradação do meio-ambiente, o qual se encontra cada vez mais limitado como provedor de bens e serviços. A visão de se ignorar o ecossistema como provedor limitado de certos

recursos tem como aliado um modelo tradicional do sistema econômico, em que a transferência de recursos entre os agentes acontece mediante os fluxos circulares de bens e serviços e de renda, ao serem criados, por sua vez, um sistema de preços para a devida alocação desses recursos.

Contudo, esse modelo básico de fluxo circular exclui o ecossistema e não traz soluções nem para os altos níveis de poluição (alta entropia) – presenciados na atmosfera por meio da queima de gases nocivos – nem para a escassez de recursos do ecossistema livremente retirados da natureza, que levam a uma maior e contínua degradação entrópica (Cavalcanti *apud* Romeiro, Reydon e Leonardi, 1999, p.67, 72, 73).

Uma saída para a reavaliação desse modelo está nas inovações tecnológicas intra-industriais, que enfatizam a introdução de técnicas para valer-se dos recursos disponíveis da melhor forma, de maneira que os renováveis não sejam levados à sua depreciação total e que os não-renováveis sejam poupados de sua iminente extinção.

Para que o desempenho dos recursos escassos pudesse ser maximizado dentro de uma realidade de responsabilidade social, caberia aos próprios agentes econômicos encontrarem soluções para o maior aproveitamento dos resíduos provenientes do seu consumo, com o intuito de criar, dessa forma, um círculo de reciclagem duradouro no ecossistema e tornar esse último parte integrante do sistema econômico vigente.

Tomemos como exemplo o aproveitamento dos resíduos gerados pela indústria alimentícia. As cascas residuais de frutas de uma indústria, como a de cítricos, compõem uma biomassa rica em energia que pode ser reaproveitada dentro de um biodigestor. Nesse caso, a fruta seria colhida, utilizada na fabricação do suco, e o resíduo não-utilizado seria levado a um depósito – como o biodigestor – para a geração de gás. O efluente (resíduo final), que ficaria contido no biodigestor, depois de produzido o gás, é um rico fertilizante que pode ser comprovadamente usado nas novas plantações como substituto da uréia (um fertilizante, que é um subproduto do petróleo e geralmente empregado na agricultura).

Por conseguinte, tudo é aproveitado – do início ao final do processo – dentro da natureza, o que auxilia na prática da redução do volume de resíduos e na economia de espaço que seria tomado por eles (distribuição espacial). A geração do gás, por outro lado, seria aproveitada pela firma para a produção de energia e manteria, dessa maneira,

um ciclo de baixa entropia ao deixar de lado a utilização do petróleo e da água como recursos energéticos.

Nesse contexto, o trabalho centrar-se-á na indústria de cítricos e no aproveitamento do seu resíduo para a produção de gás em biodigestores. Existem, na literatura, estudos que comprovam a eficiência da casca das frutas cítricas como insumo para a produção de gás – assim como a eficiência de outros resíduos para o mesmo propósito – uma vez que os biodigestores podem e devem ser alimentados por outros tipos de dejetos disponíveis nas firmas, o que potencializa, assim, a eficiência desses insumos formadores de gases.

Deve-se atentar, porém, para as dificuldades relacionadas à produção do biogás por meio de biodigestores. Isso porque a sua composição é uma química complexa que deve ser estudada por todos os envolvidos num programa de geração. Existem resíduos impróprios que, se não forem tratados ou retirados da mistura que servirá como insumo para a produção do biogás, podem produzir efeitos negativos ou até mesmo retardar o processo de produção.

Da mesma forma, é importante conhecer o biodigestor correto para cada objetivo que se queira perseguir. Dependendo do porte da construção, essa escolha tem de ser feita por profissionais capacitados e conhecedores de engenharia civil, química e de produção. Para um estudo mais detalhado dos custos, por exemplo, a presença de um economista ou administrador de empresas torna-se essencial.

O tamanho da construção pode também acarretar problemas ao meio-ambiente com a poluição do lençol freático, caso o fundo do biodigestor ou de uma lagoa de insumo não sejam bem calculados. Nesse caso, torna-se primordial um estudo de impacto ambiental antes da implementação de um projeto com grandes dimensões.

Observa-se, assim, que um programa de produção de biogás é uma tarefa que requer equipes multidisciplinares que trabalhem de forma coesa, com a finalidade de se obter o melhor resultado e manter a confiança no projeto ao longo de sua implementação.

Este artigo terá a finalidade de introduzir todas essas questões, de modo que se possa compreender as dificuldades que envolvem a produção de biogás por meio de biodigestores e apontar soluções derivadas de experiências nacionais e internacionais ao longo dos últimos 50 anos de existência desse sistema.

1. O uso do biogás como fonte de energia: experiências e desafios

Apesar de o biogás ser utilizado, há muito tempo, como fonte de energia, a experiência mostra que o seu gerenciamento pode tornar-se complexo, caso haja falta de conhecimento sobre o assunto. Por esse fato, é normal observar-se governos se interessarem por projetos de biodigestores para a produção do biogás.

A idéia de se substituir o combustível gerado através do óleo ou da madeira por combustíveis alternativos, como o biogás, tem levado governos de vários países a implementar programas de biogás. Na Índia, por exemplo, mais de 200.000 plantas de biogás tinham sido construídas até 1984, seguindo um programa que teve seu início nos anos 50¹ (Fulford, 1988, p.1).

1.1. Experiências Internacionais

A atratividade pelo biogás como fonte de energia está relacionada ao baixo custo da manutenção do biodigestor e ao fato dele ser nutrido por restos de alimentos, esterco ou até mesmo esgoto. A formação dos três últimos mencionados pode ser uma grande fonte de energia com a vantagem de ser eliminada depois de utilizada no biodigestor. Por essa razão, países como a Índia e a China são exemplos concretos do uso do biogás como fonte de energia. É importante notar que a preferência pelo uso de biodigestores em países asiáticos é explicada pela grandeza da população, o que gera acentuados problemas no que diz respeito ao aproveitamento do espaço tomado por aterros sanitários e pela falta de energia em virtude do crescimento populacional constante.

Veremos, ao longo deste trabalho, a importância dos biodigestores quanto à economia de espaço e aos custos mais reduzidos na produção de energia em relação à produção convencional (hidrelétricas, termoe-létricas), uma vez que o insumo utilizado para se produzir o biogás tem custo ínfimo – por ser composto de lixo orgânico – em comparação a fontes de energia como o petróleo ou o carvão.

Na China, a tecnologia foi introduzida por um empreendedor chamado Lo Guorui, nos anos 1930, que criou uma empresa com o ob-

1. Traduzido do original.

jetivo de desenvolver biodigestores no país. Já na Índia, o projeto foi inspirado por pesquisas desenvolvidas em âmbito governamental pelo Instituto de Pesquisa Agrária de Delhi (Idnani *apud* Fulford, 1988, p.10) em conexão com uma estação de tratamento de esgoto de Bombaim. A idéia foi instituída, em 1951, por J. J. Patel do Khadi and Village Industries Commission, uma comissão que criou seu próprio programa nacional de biogás (Fulford, 1988).

No Brasil, as tentativas de se introduzir um programa nacional de biogás surgiram com o crescimento da dívida externa e a crise do petróleo, nos anos 70, que afetou a balança comercial em consequência da deterioração dos termos de troca. O plano não foi adiante pelo fato de que a consciência da importância de um programa de magnitude nacional deve ter o governo como pivô e principal estimulador do projeto. Ainda assim, o país logrou a construção de 7.530 plantas entre 1980 e 1985 com uma margem de fracasso de 7,5% (Da Silva *apud* Fulford, 1988, p.1).

1.2. Os Desafios do Biogás

Fulford (1988, p.3) ressalta que (...) *os desafios que envolvem a popularização do biogás não aparecem na dificuldade de torná-lo disponível, mas na complexidade e surpresas que compõem o processo*². Ambos os obstáculos advêm, em primeiro lugar, da dificuldade que seria definir o biogás como matéria acadêmica, uma vez que envolve disciplinas distintas. No seu processo de produção, ele é criado com base em um desenvolvimento microbiológico, em que a complexidade concentra-se na bioquímica da fermentação anaeróbica³ (Fulford, 1988).

Um outro fato é que, para o desenvolvimento de uma planta de biogás a baixo custo e eficiente, cabe à execução da engenharia civil e mecânica torná-lo possível, e esforços em pesquisa e desenvolvimento têm trazido à tona uma certa variedade de modelos de biodigestores. *A escolha da planta correta para o tipo de objetivo faz-se através de opiniões precisas e bem informadas e, uma vez produzido o gás, a aparelhagem adequada e de baixo custo deve ser desenvolvida e fabricada*⁴ (Fulford, 1988, p.3-4).

2. Traduzido do original.

3. Entende-se por fermentação anaeróbica a fermentação sem a presença do ar.

4. Traduzido do original.

Portanto, em geral, os desafios que envolvem o biogás estão diretamente relacionados à compreensão de como é intrincada a sua produção e ao conhecimento técnico, para que sua disseminação seja custo-efetiva⁵ na fase final.

1.3. Os Desafios Econômicos

A relevância do estudo econômico do biogás está no fato de que uma empresa não usará uma nova tecnologia a menos que ela tenha um custo menor em relação às já existentes. As novas tecnologias desenvolvidas para o biogás mostram-se cada vez mais eficientes para derrubar a alusão de que o custo por unidade de energia produzida é muito alto. A idéia do alto custo de se produzir energia por meio do biogás tem procedência no fato de que, como outras energias alternativas (eólica e solar), existe uma densidade energética (concentração de energia) mais baixa nesse tipo de recurso em comparação ao carvão, ao óleo, à energia nuclear ou, até mesmo, à energia hidrelétrica. Em comparação às plantas energéticas convencionais (i. e. termelétricas ou hidrelétricas), as dimensões físicas de uma planta utilizada para o aproveitamento de energias alternativas tendem a ser necessariamente maiores por unidade de energia produzida (Fulford, 1988).

Fulford aponta ainda que (...) *outro fator é que as plantas convencionais têm como aliadas as economias de escala para extrair grande quantidade de energia em unidades mais centralizadas*⁶ (Fulford, 1988, p.4-5). No caso das energias alternativas, seu caráter difuso e com plantas em menor tamanho e espalhadas podem fazer com que os custos por unidade de força produzida não se tornem atraentes (Fulford, 1988). Dificilmente optar-se-ia por um modelo que não trouxesse, no mínimo, um retorno esperado similar ou maior do que aquele encontrado em matrizes energéticas já consolidadas, pois o tamanho do projeto é de suma importância para o empreendedor, uma vez que se encontra diretamente ligado ao custo. Quanto maior o empreendimento, maior será a escala de produção e, portanto, mais baixos serão os custos médios, ou unitários⁷.

5. Entende-se por custo-efetivo(a) o cumprimento de um objetivo com o menor dispêndio ou por meio de gastos que tornem o empreendimento viável em termos comerciais (The Oxford Dictionary for the Business World, 1993)

6. Traduzido do original.

7. Ainda que isso dependa da quantidade produzida pela firma e do nível de ociosidade da planta.

Todavia, existe também a idéia de se abandonar fontes de energia cujo custo social para serem produzidas é muito alto ou cujo caráter danoso coloca em risco a saúde ou a vida da população. Esse seria o caso de se usar a madeira como fonte de energia por ter um custo menor em relação à produção de biogás. Entretanto, a idéia do uso da madeira como fonte de energia já há muito está sendo abandonada, uma vez que seu custo se torna cada vez maior devido à sua escassez, aliado ao fato de que os desflorestamentos causam erosão, deslizamentos e enchentes. Nesse caso, o biogás seria uma excelente alternativa para desestimular o uso da madeira como fonte de energia (Fulford, 1988).

1.4. Considerações Econômicas

Para se ter uma idéia do aproveitamento do biogás, especialmente no setor industrial, torna-se necessária uma analogia com o óleo. Seriam necessários 0.33 litros de óleo para a produção de 1 kW/h de eletricidade, tanto num gerador a diesel quanto em uma térmica a diesel. Para efeito de analogia, a mesma energia requer 667 litros de biogás produzidos com 60 kg de esterco de gado (isto é, 120 litros da mistura desse esterco com água) (Fulford, 1988, p.5).

A biomassa ocupa 360 vezes o volume de óleo para a mesma quantidade de energia. O custo de uma térmica a diesel em 1982 era de R\$ 5.932,50 (£ 1.450,00) para plantas de escala média (por volta de 5 MW). Uma planta de biogás, produzindo 2m³ de gás ao dia, custava, na mesma época por volta de R\$ 2.168,43 (£ 530,00). Se essa quantidade de biogás fosse usada para colocar um gerador em funcionamento, produziria 3 kW/h por dia. Isso daria um custo de R\$ 17.470,20 (£ 4.270,00) por kW, ou seja, três vezes maior que o custo de se usar uma térmica a diesel. Porém, o custo do insumo para a geração de energia num biodigestor é ínfimo, enquanto o custo do diesel⁸ é de grande preocupação para vários governos⁹ (Fulford, 1988, p.5).

Segundo o presidente da Câmara Brasileira de Investidores de Energia (CBIEE), Cláudio Sales, o custo operacional das usinas termelétricas convertidas a diesel atingirá elevados US\$ 3 bilhões ao ano

8. Atualmente, por exemplo, o petróleo tem atingido picos de US\$ 60,00 o barril.

9. Traduzido do original.

adicionais, que ficarão ao cargo das geradoras a partir de 2005. O presidente afirma que a pressa do governo em converter as termelétricas dobrará o consumo de óleo diesel no país e que a conta será fatalmente repassada ao consumidor¹⁰.

Deve-se considerar também o fato de que o exemplo acima não leva em conta o custo de distribuição de energia. Um biodigestor, para a geração de biogás, pode ser construído próximo à área em que será utilizado, a fim de se aproveitar a proximidade logística do insumo (resíduos a serem coletados) e da empresa que irá consumir o combustível. Isso traria uma solução para os altos custos de transmissão de energia que tem levado empresas de grande porte, que investem em energia própria, a abandonar projetos que adquiriram recentemente em licitação, como o caso da Vale do Rio Doce e a BHP Billiton. A Vale está disposta a vender 40% de sua participação na hidrelétrica de Foz do Chapecó, um investimento de R\$ 1,8 bilhão, na divisa de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul.

A empresa alega que a impossibilidade de levar o projeto adiante está nos encargos setoriais e nos custos de transmissão e decidiu transferir seu consumo para a região Sudeste. Estima-se que os aumentos nas tarifas de uso da infra-estrutura, aliados a encargos do setor alcancem a 885% – de R\$ 7,00 por MW/hora para R\$ 69,00¹¹. Outra mineradora, a australiana BHP Billiton, que também produz sua própria energia, tem interesse em vender seus 16,48% de participação na hidrelétrica de Estreito (Maranhão e Tocantins), projeto calculado em R\$ 2,5 bilhões. Vale lembrar que havia um enorme interesse desses dois grandes produtores de energia em manter o negócio, uma vez que chegaram a pagar 3.000% de ágio nos leilões entre 2000 e 2002¹².

Portanto, para que o biogás seja concebido, faz-se necessário um levantamento das vantagens em relação ao sistema convencional, ao utilizar o custo como parâmetro principal para a sua adoção. Tanto o baixo preço dos insumos utilizados para alimentar o biodigestor, quanto a sua proximidade do consumidor final, têm de ser considerados, pois esse

10. Murillo Camarotto. *Térmicas a diesel aumentam gastos em US\$ 3bi*. Investnews online, 04/08/2005.

11. Leila Coimbra. *Grandes empresas saem de projetos hidrelétricos*. Valor online, 16 de agosto de 2005.

12. Ibid.

último resultará em grande economia – se se considerar que a distribuição de energia às fábricas situadas em lugares remotos torna o biogás uma alternativa muito atraente (Prasad e Makhijani *apud* Fulford, 1988, p.5).

1.5. Conclusões Econômicas

Existem maneiras distintas de se fazer levantamentos econômicos sobre um sistema de biogás. Todavia, há conclusões que podem ser inferidas.

*Os biodigestores domésticos¹³ oferecem apenas benefícios econômicos marginais, exceto em casos onde o preço de se usar lenha seja muito alto, por exemplo. Ainda assim, seria mais vantajoso que moradores de vilarejos plantassem árvores para tal fim ao invés de se construir um biodigestor (Lau Wong *apud* Fulford, 1988, p.95). Já para pequenas indústrias, o investimento torna-se mais atraente, como no caso dos moinhos de grãos – especialmente se estiverem localizados em áreas mais remotas, uma vez que estariam livres da competição dos moinhos tradicionais¹⁴ (Ibid).*

As indústrias de maior porte – pelo fato de serem naturalmente possuidoras de escalas maiores de produção e altamente poluidoras – podem beneficiar-se sobremaneira do uso do biogás como fonte de energia. Nessa linha, (...) *a agro-indústria e as empresas processadoras de alimentos são usuários potenciais de digestores anaeróbicos¹⁵ (Fulford, 1988, p.75).*

Dois exemplos que podemos citar sobre o uso nessas duas indústrias são o caso filipino (Maramba *apud* Fulford, 1988, p.75), do complexo de fazendas Maya, que é gerido como uma agro-indústria, em que se utiliza o biogás como principal fonte de combustível para todos os seus processos e o de uma cervejaria na província de Sichuan, na China, que digere todos os seus insumos e usa o biogás produzido para gerar o equivalente a 340 kW de eletricidade, além de aproveitá-lo também como combustível para a calefação (Chen *apud* Fulford, 1988, p.75).

13. Para o uso doméstico, o biodigestor mais usado é o indiano, cujos detalhes serão esclarecidos mais adiante. Para fazendas e firmas, há modelos mais sofisticados, como os digestores de bolsa flexível (desenvolvidos em Taiwan e muito estudados na Universidade de Cornell nos Estados Unidos) e os de mistura completa.

14. Traduzido do original.

15. Traduzido do original.

No Brasil, podemos encontrar hoje o maior empreendimento de biogás do mundo, que contou com apenas 100 dias para a sua implantação. Isso corresponde a um recorde, já que o prazo habitual para um empreendimento como este seria de pelo menos nove meses. No projeto – com localização em Perus, São Paulo – foram investidos US\$ 17 milhões para a instalação dos 22 MW de potência elétrica e os 24 grupos geradores, com a assinatura da Caterpillar, que produzem 170 mil MW/hora/ano. A iniciativa tem como objetivo o abastecimento das agências bancárias do Unibanco e Fininvest e inclui também lojas da rede Blockbuster¹⁶. Fulford (1988, p.95) explica que para projetos dessa magnitude

um programa de biogás necessitará empregar os serviços de um economista, tanto em tempo integral quanto em forma de consultoria. Sua responsabilidade seria a de verificar o cumprimento das metas, assim como monitorar o valor econômico das diferentes abordagens para a extensão e o uso da tecnologia do biogás, uma vez que as circunstâncias do programa e do país variam com o tempo¹⁷.

Um outro fator importante do porquê cada vez mais empresas como as supracitadas se organizam para mudar suas matrizes energéticas convencionais para matrizes alternativas – como o biogás – está na elevação dos preços de um outro coadjuvante na geração de energia: o gás natural. Em artigo publicado no dia 13 de agosto de 2005, o jornal Diário de São Paulo anunciou o recuo da Petrobrás em relação ao aumento de 27% de reajuste no gás natural que seria feito em duas parcelas, sendo uma de 14%, a partir de 1º de agosto de 2005 e o restante (13%) em outubro do mesmo ano. A razão do aumento está ligada ao fato de que o gás natural usado no Brasil é importado da Bolívia, país que sancionou uma nova lei sobre os hidrocarbonetos que acabou por elevar os impostos – que se encontravam anteriormente em 18% – para 50%.

2. A vantagem do biogás na redução de custos de produção

A produção de biogás, como mostrado neste artigo, pode servir tanto para propósitos comunitários – como nos exemplos da China e da

16. *Novidades tecnológicas*: Recorde mundial em porte e prazo de implantação. Revista Elo, edição de março e abril de 2004.

17. Traduzido do original.

Índia – quanto para objetivos industriais. Na indústria, o biogás tem o seu papel como gerador de aquecimento ou de energia elétrica, de acordo com a necessidade da firma. Existem motores de quatro tempos e microturbinas adaptadas para o uso do biogás – sendo que estas últimas, segundo Rutledge (2005), podem ser encontradas em modelos de até 1.5 MW – que não são novidades para algumas empresas.

Porém, para que o biogás aumente seu desempenho, estudos mostram que ele teria de ser convertido para o biometano¹⁸. O biometano nada mais é do que uma elevação do biogás a um padrão similar ao do gás natural¹⁹. Portanto, substituir-se-ia o gás natural em qualquer dimensão do seu uso na indústria – seja para acionar potência mecânica, elétrica, seja para obter aquecimento – pelo biogás, um substituto perfeito do gás natural (Rutledge, 2005). Atualmente, esse último é comum nas grandes indústrias para a geração de energia elétrica, o que evita, dessa forma, a dependência completa da energia fornecida por hidrelétricas.

2.1. Os Custos de Construção e o Retorno sobre o Investimento dos Biodigestores

2.1.1. O Caso Planta Valorga

Existem vários tipos de biodigestores e seus preços irão variar de acordo com a possibilidade de financiamento dos diferentes projetos. Os biodigestores têm de ser aquecidos, caso não estejam localizados nos trópicos, e isso pode elevar seus custos ou requerer dos técnicos projetos mais sofisticados com aquecimento próprio. Dessa forma, pode ser mais barato um projeto em lugares mais quentes, uma vez que os biodigestores têm de estar aquecidos acima de 20^o centígrados. Ainda

18. Na prática, uma “limpeza” pode ser feita no biogás cru antes dele ser usado em turbinas de gás e caldeiras. Esta “limpeza” consiste em remover o sulfeto de hidrogênio (H₂S), vapor de água (H₂O) e partículas para prevenir danos em mecanismos. Uma vez que os equipamentos industriais são especialmente projetados para operar com gás de alta qualidade (ou encanado), um “melhoramento” tem de ser feito para possibilitar seu uso em equipamentos industriais (Rutledge, 2005, p.8, traduzido do original).

19. Em termos gerais, como será explicado mais adiante, o gás (natural ou biogás) é usado em motores de quatro tempos ciclo Otto, que, quando abastecido com o gás (...) a expansão dos gases no interior do cilindro proveniente da queima do combustível força o pistão para baixo que, acoplado ao eixo de manivelas, transforma esta energia térmica em trabalho (CEPEL, 2001, p.7).

assim, observa-se lucro até mesmo em modelos mais sofisticados, se um bom planejamento for levado a cabo. Esse é o caso da Planta Valorga, em Tilburg na Holanda.

Apesar de o investimento ter sido elevado, trata-se de um projeto comunitário que traz benefícios no uso do gás e na disposição do lixo orgânico de mais de 380 mil habitantes, que geram 450 kg de lixo/ano per capita. As prefeituras da região são as maiores fontes de renda da planta, que pagam pelo uso do gás, assim como pelo tratamento do lixo. Apenas no tratamento do lixo, a planta arrecada U\$ 3.600.000,00 todos os anos, com ganhos anuais de U\$ 81.600,00 com a venda do gás – ao se levar em conta o valor de U\$ 0,06 por metro cúbico de gás²⁰.

Com apenas 20 técnicos qualificados, que custam ao todo U\$ 800.000,00 à planta, a manutenção, materiais e equipamentos requerem outros U\$ 800.000,00 para seu perfeito funcionamento. Esse funcionamento fornece uma vida útil à planta de 20 anos, o que possibilita 10% de retorno sobre o investimento e o pagamento de U\$ 920.000 anuais referente à amortização.

Entretanto, o investimento gera à planta anualmente a receita de U\$ 3.800.000 €, descontados os custos antes mencionados (U\$ 800.000 em gastos com funcionários, U\$ 800.000 referentes à manutenção e aos equipamentos e os U\$ 920.000 anuais em amortizações), sua receita líquida anual chega a U\$ 1.600.000²¹, o que torna a planta um projeto lucrativo, ainda que muito custoso para ser implementado.

O importante a ser observado no caso Valorga é que um projeto dessa magnitude nunca teria sido viável sem a participação de um financiamento a juros muito baixos. Num cálculo realizado, descobriu-se que o financiamento do projeto foi feito a uma taxa de juros menor que 0,5% ao ano (a amortização anual da planta é de U\$ 920.000,00 anuais) em contraste com 9,75% da taxa de juros de longo prazo proporcionada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, o BNDES, por intermédio da TJLP para investimentos dessa natureza (dados de 2005).

20. *Validation using the Valorga plant at Tilburg, Netherlands*. Online: www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/biomass/validation.html

21. *Ibid.*

2.1.2. O Caso Biodigestor da Fazenda Bebida Velha

Para situar este trabalho em um contexto nacional, buscar-se-á um exemplo de porte micro para um tratamento dentro da realidade dos países em desenvolvimento. Tal exemplo encontra-se num biodigestor localizado no Rio Grande do Norte, que foi implementado, em 2002, na Fazenda Bebida Velha com o objetivo de substituir o GLP que usava para aquecer um aviário.

A fazenda tem como insumo para a produção de gás o esterco bovino. O biodigestor tem volume para 600 m³ de resíduos e nele é colocado o esterco das 150 cabeças de gado, o que evita o espalhamento das fezes do rebanho, que causam mau cheiro e a geração de parasitas. Porém, a maior vantagem do biodigestor ali instalado é a produção de gás, suficiente para substituir o consumo de 25 bujões de gás de 13 kg semanais que a fazenda necessitava no passado, com uma economia de R\$ 3.000,00 reais por mês²².

Segundo o dono da fazenda, havendo mais demanda pelo gás, o volume pode ser dobrado. Outro grande ganho está no uso do resíduo resultante do processo de biodigestão como fertilizante que é aplicado na plantação com um trator pipa²³.

O projeto da Fazenda Bebida Velha prova todas as experiências colocadas por Fulford et al. (1988) e apresentadas neste trabalho. A primeira, é o conhecimento técnico dos investidores que, além de terem encomendado o projeto com engenheiros especializados, os próprios donos da fazenda também são engenheiros, ou seja, técnicos que acabam por especializar-se e interagir com o projeto regularmente, com o intuito de adicionar melhoramentos com o passar dos anos²⁴.

A segunda experiência é a que envolve o material utilizado que – exceto pelo gasômetro, uma campânula de vinil importada pela Sansuy – foi todo adquirido localmente, assim como a mão-de-obra, na região de Natal. A terceira, é a relativa ao posicionamento estratégico do biodigestor. Os proprietários posicionaram o curral junto à sua área de

22. Rômulo Rostand. *Biodigestor Rural com Campânula de Vinil Mostra Bons Resultados no Rio Grande do Norte*. Online: www.aondevamos.eng.br/boletins/edicao15.htm

23. Ibid.

24. Ibid.

construção, o que diminui, dessa forma, o custo de mão-de-obra para o carregamento do insumo²⁵.

Da mesma forma, foram consideradas as necessidades específicas da fazenda, que possui lavoura, gado para corte e avicultura, com o objetivo de manter um benefício conjunto. Já a manutenção, segundo os donos – que ocorreu depois de mais de dois anos de funcionamento do projeto – não passou de alguns reparos na campânula de vinil, que foram considerados (...) *aceitáveis e de fácil execução, sendo feitos no próprio local* (ibid). Em relação ao retorno sobre o investimento, o projeto se paga após três anos e, de acordo com os proprietários, caso houvesse mais demanda pelo gás, os atuais dois anos de vida já teriam sido suficientes para cobrir todo o investimento, que foi de aproximadamente R\$ 80.000,00 em preços atuais²⁶.

Como visto nos dois casos acima, as construções de biodigestores são empreendimentos comprovados de sucesso entre aqueles que optaram pela sua implementação. O projeto Valorga é uma opção cara, mas os ganhos para a municipalidade de Tilburg serão de grande valia para a comunidade como um todo – com economia para a população na utilização do gás produzido pela planta e na gestão do lixo sólido –, de forma a diminuir os gastos com o armazenamento de lixo e a possibilitar o aproveitamento de um espaço que seria utilizado como aterro sanitário.

No caso da Fazenda Bebida Velha, opções ainda mais produtivas podem ser escolhidas. Essa questão será tratada no projeto piloto de um biodigestor *modelo indiano* que será estudado a seguir.

2.1.3. O Projeto Piloto com Biodigestores *Modelo Indiano* na Indústria de Cítricos

Para que a firma possa ter uma idéia da viabilidade de se implementar um projeto de grandes dimensões, é importante que ela comece por um projeto piloto menor para só então decidir se dará continuidade a algo de proporções maiores. Esse projeto terá de, ao mesmo tempo, considerar uma proporção mínima de produção de gás para uma pos-

25. Ibid.

26. Ibid.

sível visualização do impacto na economia de energia da firma, com a intenção de trazer resultados mais concretos.

Portanto, o projeto piloto aqui sugerido terá de atender os seguintes objetivos:

- Produção de 100 m³ de gás/dia;
- Localização do biodigestor em lugar estratégico onde a formação de resíduos acontece;
- Aproveitamento do resíduo final, que se formará no biodigestor depois da produção de biogás, como biofertilizante para as plantações da firma, caso essa possua fazendas²⁷.

Esses objetivos irão cumprir as seguintes funções:

- Geração de 150 kW de energia elétrica por dia com o gás produzido;
- Utilizar todos os resíduos orgânicos gerados pela firma, inclusive a água residuária, num processo de biodigestão;
- Diminuir os custos na utilização da uréia usada como fertilizante nas plantações de frutas cítricas.

Além disso, tem-se como premissa básica que a empresa já tenha experiência em microgeração de energia por meio do gás natural, ao utilizar motores de combustão interna²⁸, ou seja, a firma optará por um combustível alternativo ao que já usa. Dessa forma, a empresa utilizaria as suas instalações correntes e otimizaria alguns dos seus ativos fixos (nesse caso, os motores de quatro tempos que são lugar comum em empresas médias e grandes).

Primeiramente, é importante que os objetivos listados estejam claros, uma vez que, caso o objetivo de produção de gás apresente apenas uma economia marginal na redução de custos com energia para a firma,

27. É comum que firmas envolvidas com o processamento de frutas cítricas possuam suas próprias fazendas.

28. Muito utilizado na indústria para a microgeração de energia, esse motor é conhecido como motor ciclo Otto ou, no caso de uso do diesel, ciclo diesel, e é largamente difundido pelo fato de poder operar tanto em pequena quanto em grande escala de produção de energia – além de ser simples e fácil de revisar. Encontra-se em sua maior parte em quatro tempos (admissão, compressão, combustão e exaustão) quando usado para a geração de energia elétrica e admite vários tipos de combustíveis além do diesel, como a gasolina, querosene, metano, gás natural e até mesmo o biogás (CEPEL, 2001).

os outros objetivos adicionariam mais valor a essa redução marginal, de forma que seria justificável a construção do biodigestor. Por exemplo, a destinação do lixo em um lugar apropriado dentro da firma diminuiria os custos de coleta de lixo e o biofertilizante traria, por outro lado, uma economia significativa como substituto aos fertilizantes derivados do petróleo.

Para o projeto piloto, foi escolhido um biodigestor *modelo indiano*, já que é o mais conhecido tecnicamente no Brasil. É um modelo simples, cujos materiais podem ser encontrados localmente e têm preços consideravelmente baixos. O formato do biodigestor é cilíndrico, possui um gasômetro e caixas de abastecimento e saída (Ortolani, 1991). Ortolani (1991, p.5) enfatiza que (...) *quando a demanda for superior a 25 m³ de biogás por dia, recomenda-se construir mais de uma unidade*; conselho que vai servir aos propósitos de se construir quatro biodigestores em lugares estratégicos da firma onde os resíduos seriam coletados, o que evitaria o traslado desses últimos e, conseqüentemente, mais gastos com mão-de-obra.

Uma vez que os biodigestores podem ser alimentados por vários tipos de resíduos, a mistura que a firma escolherá para a alimentação dos digestores ficará a cargo dos engenheiros responsáveis pelo projeto, que terá de ser desenvolvido e implementado por uma empresa especializada. Portanto, o estudo apenas se concentrará nos aspectos econômicos da execução do projeto, ao invés de trazer detalhes muito aprofundados sobre a composição química da mistura que será usada como insumo para a produção do biogás. O importante é saber que, desde a água residuária às cascas das diferentes frutas, quase todo o resíduo pode ser aproveitado como insumo²⁹.

Para a produção de 100 m³ de biogás diários, será necessária a construção de quatro biodigestores de 75 m³ cada³⁰, com produção de 25 m³/dia de gás por planta. A firma, dessa forma, terá quatro depósitos com volume de 300 m³ no total para dispor de seus resíduos. Apenas como um paralelo, a importância econômica do uso do resíduo final,

29. Cuidados devem ser tomados, porém, para que não haja componentes químicos tóxicos na residuária, uma vez que o resíduo final será utilizado como biofertilizante.

30. Nesse caso, respeita-se as normas técnicas de proporção entre volume útil do biodigestor e volume de gás produzido de 1:3, de acordo com o manual da CETEC (1981).

depois de produzido o biogás, está no alto custo da uréia que, em apenas três meses do ano de 2003, teve um aumento de 18% no período – o que mostra o quanto a dependência desse subproduto do petróleo pode afetar os custos de produção das firmas processadoras de alimentos³¹.

Na seqüência desse raciocínio, Fulford (1988, p.5), traz em sua literatura, que 667 litros de biogás produzem o equivalente a 1 kW de energia elétrica. As quatro plantas, com volume de 75 m³ cada e produção de 25 m³ de biogás, produziriam juntas 100 m³ de biogás/dia (100.000 litros), o que equivale a 150 kW/dia ou 4.5 MW/mês, ou ainda 54 MW/ano.

Portanto, a empresa terá uma capacidade de geração de 54 MW/ano com as quatro plantas de biogás, sendo que a receita delas será o equivalente à venda dessa energia a preço de mercado para um consumidor residencial. Num cálculo feito junto à AES Eletropaulo (www.eletropaulo.com.br), o fornecimento de 54 MW de energia (dados de 2005) é vendido a R\$ 22.328,62, incluídos todos os impostos; logo esse, é o preço de venda da energia produzida pela firma por meio dos biodigestores.

Para a manutenção dos biodigestores, far-se-á necessária a contratação de apenas um funcionário. Presumiremos, dessa forma, que o salário do funcionário seja de R\$ 800,00 (equivalente a um salário mínimo com todos os encargos trabalhistas), de modo que o montante anual seria de R\$ 10.400,00, já incluído o décimo terceiro salário. Para que as plantas não fiquem desatendidas em relação ao acompanhamento do seu bom funcionamento, consideraremos o montante de R\$ 1.000,00 gastos anualmente, referente aos honorários dos engenheiros responsáveis pelo projeto³². Como manutenção, para efeito de reparos em alve-

31. O trabalho não tem como objetivo abordar o impacto da economia da uréia nas plantações da firma e limita-se apenas ao impacto microeconômico da economia de energia gerada pela biomassa contida no lixo orgânico gerado.

32. Essas visitas raramente se farão necessárias, mas deve-se levar em conta que a firma pode exigir a vinda de mão-de-obra especializada para a verificação do andamento do processo. O montante de R\$ 1.000,00 propostos aqui são relativos ao preço de duas consultas anuais de engenheiros especializados, cujos honorários podem variar consideravelmente de empresa para empresa. Uma empresa consultada em Minas Gerais, a Engenharia e Projetos, cobraria exatamente R\$ 500,00 para elaborar um planejamento de viabilidade econômica para a implantação de um biodigestor, utilizando restos de frutas.

narria, pinturas dos gasômetros com tinta anticorrosiva e óleo lubrificante para as torneiras de gás, foi calculado um total de R\$ 824,00 em gastos.

Com o mesmo tipo de estimativa em relação à mão de obra, os gastos com manutenção foram presumidos de acordo com a necessidade mínima de reparo de cada biodigestor, pois a construção tem de ser feita de maneira que não ocorram falhas ao longo da vida da planta. Uma falha de 1% na alvenaria de apenas um dos biodigestores equivaleria ao reparo de 2.100 tijolos, sem incluir os gastos com reboco e mão-de-obra. Dessa forma, o projeto e o trabalho de alvenaria têm de ser realizados de forma que as falhas sejam minimizadas desde o princípio. Num levantamento, chega-se ao lucro líquido anual, para todas as plantas, de R\$ 9.904,62.

Usaremos o lucro líquido anual para fazer um cálculo da Taxa Interna de Retorno do projeto (TIR)³³ e do Valor Presente Líquido (VPL)³⁴. A vida útil das plantas será de no mínimo 10 anos³⁵, o que possibilita o arredondamento do cálculo de depreciação para 10% ao ano.

O custo do investimento fixo, incluindo os quatro biodigestores, foi calculado de acordo com uma lista de materiais disponibilizados pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais para um biodigestor de 30 m³ de volume e 10 m³ de produção de gás.

Para o cálculo total do projeto, será estipulado o custo do metro cúbico para a construção apenas do poço digestor, uma vez que o gasômetro será mantido em 6 m³. Essa possibilidade existe porque esse último não necessita ter o mesmo volume de armazenamento que o do

33. O cálculo da TIR é usado para uma averiguação da viabilidade de um projeto. O resultado dela é confrontado a uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que pode ter como balizadoras a TJLP, caso tenha havido um financiamento junto ao BNDES, ou a SELIC, caso o empreendedor queira escolher entre investir em títulos públicos ou no próprio projeto.

34. O VPL tem por objetivo trazer uma medida de cunho financeiro para que se tenha uma idéia mais concreta do retorno sobre o investimento de um projeto. O número resultante que será mostrado no final do projeto piloto elaborado neste trabalho significa que, além de o projeto ter recuperado o investimento, houve um excedente que pode ser considerado como lucro, caso satisfaça os objetivos do empreendedor.

35. Essa projeção de vida útil varia de acordo com a manutenção do gasômetro e da correção de falhas em alvenaria. A vida média de um gasômetro, por ser de aço e estar em constante contato com água e mistura de vários componentes, é de sete anos em média. Porém, existem casos na Índia em que a vida útil de alguns gasômetros chegou a 50 anos (Fulford, 1988).

gás produzido (ou seja, para gerar 10 m³ de gás, não há a necessidade de um gasômetro de 10 m³ de armazenamento), visto que o consumo e a produção acontecerão ao mesmo tempo (Ortolani, 1991).

O custo, portanto, para a construção dos 300 m³ relativos aos poços digestores será de R\$ 225,80 por m³ (R\$ 6.774,05 / 30 m³), que, multiplicado por 300 m³, resultará no montante de R\$ 67.740,50. Ao se incluir os quatro gasômetros, têm-se adicionais R\$ 22.864,96 (R\$ 5.716,24 x 4) e atinge-se o valor final de R\$ 90.605,46 em investimento fixo.

Resta agora o cálculo da Taxa Interna de Retorno e do Valor Presente Líquido para verificar a viabilidade do projeto. Conclui-se, assim, que um projeto que emprega biodigestores ultrapassa as expectativas do empresário que opta por essa forma de investimento. Ao se utilizar uma taxa de desconto baseada na TJLP de 9,75% (dados de 2005), constata-se que o projeto representa um adicional de 10,78% acima dela. Caso a abordagem seja a eficiência marginal do capital, a TIR encontra-se 1,53% sobre a SELIC. Outro resultado importante é que, depois de 10 anos de funcionamento dos biodigestores, o VPL sugere que – além de todas as plantas se pagarem – existe ainda a possibilidade da construção de uma outra planta de mais de 100 m³ de volume com um novo gasômetro por meio do lucro obtido.

Porém, o maior interesse de uma firma que opte pela construção de um biodigestor é o de usufruir a energia que o biogás pode produzir. Nesse contexto, o estudo abordou a opção de a firma usufruir o biogás como fonte de energia para a produção de eletricidade, ao buscar uma possível redução dos gastos em energia elétrica. Baseado em estudos detalhados, chegou-se ao resultado de que a firma pagaria todo o projeto em oito anos e passaria a economizar R\$ 8.886,21 líquidos anuais em energia elétrica a partir desse período.

Para uma abordagem mais concreta, foi feita uma verificação de quanto uma grande empresa no ramo de sucos gastaria anualmente em energia elétrica³⁶. Se um projeto piloto, como o proposto por este

36. O autor deste trabalho reservou-se no direito de manter sigilo quanto aos detalhes da firma escolhida e em relação aos resultados financeiros dela obtidos, podendo tais dados serem coletados com a leitura da própria monografia completa que se encontra na biblioteca da Faculdade São Luís.

estudo, fosse adotado na firma escolhida, essa teria uma economia de 10% em seus gastos com energia elétrica a partir do oitavo ano de operação dos biodigestores. Com mais 10 anos de vida útil dos biodigestores, ou seja, 18 anos³⁷, a economia da empresa em energia elétrica equivaleria à quase toda a sua necessidade de energia no ano de 2004, sem esquecer que este é apenas um projeto piloto de pequena escala. A empresa escolhida, que está localizada no interior de São Paulo, poderia ainda conseguir um lucro adicional com a venda do biofertilizante para as fazendas da região.

As projeções do projeto piloto sugerido pelo artigo vão ao encontro dos casos da Planta Valorga e da Fazenda Bebida Velha, anteriormente citados, e com os estudos mostrados por Fulford et al. (1981). No caso da Planta Valorga, com vida útil de 20 anos e pagamento total do seu financiamento também em 20 anos, a TIR estimada pelos auditores externos foi de 14,9%, apesar de os administradores da própria planta terem chegado a um número mais baixo, ou seja, 10%³⁸.

No caso da Fazenda Bebida Velha, os donos do biodigestor de 600 m³ de volume, com custo de construção de R\$ 80.000,00, garantem que o projeto se pagará em três anos de vida. Fulford (1988, p.91) encontrou uma TIR de 21%, num projeto piloto elaborado pelo próprio autor, para uma planta SD 500 com um motor de 5 kW no Nepal. Seu projeto previa o pagamento total do que foi financiado ao final de sete anos, com um VPL equivalente a 40% do investimento fixo e uma TIR de 21%, no caso de a firma utilizar o gás para produzir sua própria energia³⁹.

37. Não existe uma estimativa concreta sobre a vida útil de biodigestores que apresentem manutenção constante em alvenaria e nos gasômetros. Salienta-se que a construção de um biodigestor é um investimento que deve ser pensado como de longo prazo e que não se pagará em menos de oito anos, dependendo do caso. A corrosão dos gasômetros, por exemplo, é uma questão de boa projeção, pois deve ser evitada a existência de cantos e juntas na hora da execução do projeto, sendo que estes últimos podem acumular mistura (insumo) – o que levaria à deterioração do gasômetro por meio da ferrugem. Como já observado anteriormente, com boa manutenção, existem casos de até 50 anos de vida útil dos gasômetros, que são a parte mais frágil do projeto, pois são feitos de aço (Fulford, 1981).

38. *Validation using the Valorga plant at Tilburg, Netherlands*. Online: www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/biomass/validation.html

39. Esta TIR e o Valor Presente Líquido, estudados no projeto piloto de Fulford, ficaram muito próximos daqueles encontrados pelo projeto piloto desenvolvido neste estudo, caso a empresa optasse por consumir o gás produzido.

Considerações Finais

A pesquisa aqui realizada permitiu concluir que um projeto que utiliza biodigestores para a produção de biogás é tecnicamente complexo e deve ser cuidadosamente organizado, de maneira que falhas sejam identificadas antes da sua implementação.

Verificou-se, nos estudos de caso, que o conhecimento técnico se fez presente desde o início e que os executores tinham vários interesses a serem satisfeitos, além da produção do biogás, como a destinação dos resíduos sólidos orgânicos e o uso do resíduo fermentado como biofertilizante.

O projeto piloto desenvolvido pelo autor tornou possível enxergar que cuidados devem ser tomados ao se levantar o orçamento para a construção de um biodigestor, uma vez que alguns tipos de mão-de-obra precificam seus serviços de forma aleatória. Permitiu também perceber que um projeto de produção de biogás é um implemento que requer visão de longo prazo para que se obtenha um retorno razoável sobre o investimento realizado. Como qualquer outro projeto, esse retorno deve ser mensurado de acordo com os interesses do empreendedor, isto é, a questão da viabilidade do projeto dependerá de como o empreendedor irá comparar os resultados obtidos às metas pré-estabelecidas (Taxa Mínima de Atratividade).

Todavia, outras questões devem ser observadas quanto à escolha de se levar um projeto de biodigestão adiante na indústria de cítricos. O projeto piloto não levou em conta os custos que poderiam ter ocorrido caso fosse necessária a compra de um motor ciclo Otto ou de uma microturbina para a transformação do biogás em energia elétrica. O estudo também não abordou gastos laboratoriais para a verificação dos elementos que compõem o resíduo fermentado oriundo do biodigestor a ser utilizado como biofertilizante. Essa análise é importante para que elementos tóxicos não estejam presentes no biofertilizante no momento do seu uso.

Apesar de levantada a questão da possibilidade de se usar a casca das frutas cítricas como parte do substrato que irá compor o insumo utilizado para a produção do biogás, não foram apresentados os custos de retirada do óleo tóxico contido na casca da laranja, como sugerido por Lane (*apud* G. Th. Kroyen *in* Martin, 1991, p.302). Esse tipo de verificação seria aqui muito complexo, pois a técnica teria de ser descrita e analisada, o que envolveria equipes multidisciplinares e outras ciências que não caberiam abordar neste contexto, devido ao enfoque econômico sugerido desde o início.

Ainda que seja prematuro levar este trabalho a uma conclusão definitiva, devido à complexidade de se incluir um projeto de produção de biogás em uma análise generalizada de viabilidade econômica, o estudo realizado neste artigo permitiu mostrar – baseado em uma visão de longo prazo – que qualquer que seja a indústria interessada na construção de um biodigestor, ele é um projeto viável, tanto no quesito retorno sobre o investimento quanto na questão da deposição dos resíduos sólidos orgânicos e o seu reaproveitamento como biofertilizante.

Espera-se, da mesma forma, que esta pesquisa desenvolvida venha – assim como outros estudos já realizados sobre o tema – reacender o debate sobre a produção de biogás por meio de biodigestores, tema esse que continua a ganhar espaço nas discussões sobre as alternativas energéticas para as próximas décadas.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. (2003). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. São Paulo: Abrelpe.
- BARBIERI, J. C. (2004). *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. São Paulo: Saraiva.
- CASTILHOS JUNIOR, A. B. de. (2003). *Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Florianópolis, SC: Prosab – Edital 03.
- COMMITTEE ON COMMODITY PROBLEMS, INTERGOVERNMENTAL GROUP ON CITRUS FRUIT. *Projections of World Production and Consumption of Citrus to 2010*. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/006/Y8471e.pdf>.
- FULFORD, D. (1988). *Running a Biogas Programme: A handbook*. ITDG Publishing.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC. (1981). *Manual para construção e operação de biodigestores*. Belo Horizonte, MG: Série de Publicações Técnicas.
- Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management. Online: www.floridacenter.org.
- Florida Bioreactor Demonstration Project. Online: www.bioreactor.org.
- HOLANDA FERREIRA, A. B. de. (1988). *Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S.A.
- IEF notícias. *IEF promove curso de biodigestores*. www.ief.go.br/noticias/260504-1.htm.

- JORGE, M. P. (2005). *Biodigestores: uma inovação na gestão do lixo sólido e na produção de gás*. Monografia de Conclusão do Curso de Economia da Faculdade São Luís.
- Leila Coimbra. *Grandes empresas saem de projetos hidrelétricos*. Valor online, 16 de agosto de 2005.
- Novidades tecnológicas*: Recorde mundial em porte e prazo de implantação. Revista Elo, Edição de março e abril de 2004.
- MARTIN, A. M. (1991). *Bioconversion of waste materials to industrial products*. Elsevier Science Publishers LTD.
- MANTELL, C. L. (1975). *Solid wastes*: Origin collection processing and disposal. Wiley Interscience.
- Murillo Camarotto. *Térmicas a diesel aumentam gastos em US\$ 3bi*. Investnews online, 04/08/2005.
- ORTOLANI, F. A.; BENINCASA, M.; LUCAS JR, J. (1991). *Biodigestores Rurais Modelos Indiano, Chinês e Batelada*. Jaboticabal, SP: FUNEP, Jaboticabal.
- Petrobrás volta atrás e suspende aumento de 27% do gás natural*. Diário de São Paulo, 13 de agosto de 2005. *Caderno Economia*.
- Preços Médios Pagos pela Agricultura, Cidade de São Paulo, Janeiro a Abril de 2003*. Instituto de Economia Agrícola. Online: www.iea.sp.gov.br.
- REYDON, B. P.; ROMEIRO, A. R.; LEONARDI, M. L. A. (1999). (orgs). *Economia do meio ambiente*. Campinas, SP: Unicamp.
- RUTLEDGE, B. (2005). *California Biogas Industry Assessment White Paper*. WestStart- CALSTART.
- Rômulo Rostand. *Biodigestor Rural com Campânula de Vinil Mostra Bons Resultados no Rio Grande do Norte*. Online: www.aondevamos.eng.br/boletins/edicao15.htm.
- Setor de gás natural alerta para desabastecimento*. A Tarde, Salvador, 13 agosto de 2005.
- The Oxford Dictionary for the Business World*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- VIANNA JUNIOR, A. L.; VIEIRA, L. S. R.; SOARES, G. F. W.; NASCIMENTO, M. V. G. (2001). *Estudo Comparativo de Microsistemas de Geração Baseados em Combustíveis*. Rio de Janeiro: CEPEL – Relatório Técnico DPP/PER – 1165/01.
- Validation using the Valorga plant at Tilburg, Netherlands*. Online: www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/biomass/validation.html.
- Valorga plant at Tilburg*. Online: www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf.