



IBP1129_06

APROVEITAMENTO DO GÁS GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE ÓXIDO SÓLIDO

Alexandre G. Paris¹, Emília S. M. Seo², Marcelo D. Freire³

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

O presente trabalho pretende discutir a utilização de um mecanismo de flexibilização previsto no protocolo de Quioto, para contribuir na viabilização do aproveitamento do gás gerado em aterros sanitários utilizando células a combustível de óxido sólido. A questão da gestão de resíduos sólidos no Brasil é extremamente deficitária. Apesar de ser ilegal, a maioria dos resíduos é destinada para “lixões”, degradando tanto o meio ambiente natural como as comunidades próximas e conseqüentemente, emitindo gases de efeito estufa (GEE), que estão cada vez mais desregulando o sistema climático global. A remediação ambiental dessas áreas contaminadas por esses lixões e a construção de aterros sanitários para substituí-los, entendendo o aterro sanitário como um bioreator, e a utilização do biogás para a geração de energia, pode contribuir para melhorar o quadro em que nos encontramos. A utilização da tecnologia alternativa inovadora de células a combustível de óxido sólido (SOFC - solid oxide fuel cells) ao invés de uma convencional trará ganhos tanto ambientais como em eficiência. A SOFC é um dispositivo eletroquímico que converte diretamente a energia química em energia elétrica e calor. Tanto a SOFC, como os outros tipos de células a combustível vêm sendo considerados, atualmente, com uma das mais promissoras alternativas energéticas para anos vindouros. Dentre as várias barreiras para uma maior utilização das células a combustíveis, o custo é apontado como a principal. Neste contexto, a SOFC é a que possui o maior custo dentro de todas as tecnologias de células a combustível, e neste sentido, a utilização do MDL pode contribuir para sua viabilização.

Abstract

This work discusses the utilization of one the Kyoto Protocol's flexibility mechanisms, to contribute to financing the use of the landfill gas in the solid oxide fuel cells. The issue of solid waste in Brazil is critical. Even being illegal, most of the solid waste goes to uncontrolled areas in open air places “lixões”, causing degradation of the environment and the communities around this areas, and also emission of green house gases (GHG), deregulating the global climate system. Decontaminate this areas and the construction of landfills to replace than, considering the landfill as a bioreactor, and the utilization of the biogas to generate power can improve nowadays picture that we are facing. The utilization of an innovative alternative technology as the solid oxide fuel cell (SOFC) instead the conventional technologies will be more efficient and environmentally better. The SOFC is an electrochemical device that converts chemical energy in electricity and heat directly. Among other barriers the cost is pointed as the biggest. In this context, the SOFC is the most expensive fuel cell, so the utilization of CDM can contribute to finance the application of this technology.

1. Introdução

¹Consultor, Gestor Ambiental, Mestrando – PricewaterhouseCoopers, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

² Professora, Doutora – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

³ Consultor, Gestor Ambiental – PricewaterhouseCoopers

No contexto de algumas conquistas do desenvolvimento tecnológico que se realiza no espaço global, a humanidade, com o advento da revolução industrial e nos séculos seguintes, a revolução das telecomunicações e da informática atinge um estágio em que quase conseguiu dobrar sua expectativa de vida, fez viagens espaciais tripuladas, conseguiu decodificar a maior parte de seu próprio genoma e vêm realizando conferências virtuais com pessoas dos quatro cantos do mundo discutindo simultaneamente. Esse desenvolvimento se encontra de modo extremamente descontínuo, irregular e não simultâneo nas diversas nações e regiões do mundo (ALTVATER, 1995). Quando se comparam os países pobres em desenvolvimento com os países industrializados, a expectativa de vida é 30% menor, a mortalidade infantil é de mais de 60 mortes por mil nascimentos, comparada com menos de 20, nos países industrializados. O analfabetismo é superior a 40% nos países em desenvolvimento (GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003). Cerca de 65% dos seres humanos nunca fizeram uma chamada telefônica. Inserido neste contexto, existem mais de dois bilhões de pessoas, ou um terço da população mundial, que não têm acesso à eletricidade (RIFKIN, 2003).

Outra faceta do desenvolvimento é o descaso com o meio ambiente, fazendo com que cada vez mais a biodiversidade sofra perdas irreparáveis, o desmatamento e a degradação do solo aumentam a cada ano e as mudanças climáticas antropogênicas se agravam.

A vulnerabilidade a panes da infra-estrutura elétrica (usinas de força e linhas de transmissão) fica cada vez mais evidente por todo mundo. Isso se dá porque mesmo com as matrizes energéticas dos países sendo bem diferenciadas, o modelo de geração e distribuição de energia elétrica é basicamente o mesmo, as grandes usinas de força gerando energia para vastas áreas, por meio de quilômetros e quilômetros de linhas de transmissão. Os grandes conglomerados humanos, que são as áreas que mais utilizam energia elétrica, estão geralmente afastados das usinas de força.

Como contraponto ao paradigma atual do setor energético, a utilização de células a combustível para geração de energia distribuída pode ser o alicerce de uma possível revolução não apenas energética, mas também sócio-ambiental.

O Programa Célula a Combustível (Procel) do Ipen que está de acordo com o Programa Brasileiro de Sistemas Célula a Combustível (Procac), que em 2005, passou a ter nova denominação, passando a se chamar Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2) tem como foco a geração de energia elétrica para aplicação estacionária (geração distribuída), e prevê estudos de impacto social, ambiental, financeiro e tecnológico na matriz energética nacional (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2006).

Neste sentido, esse trabalho discute a utilização do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), para contribuir na viabilização do aproveitamento do gás gerado em aterros sanitários utilizando células a combustível de óxido sólido (SOFC - *solid oxide fuel cells*), que é um dos dois tipos de células a combustível em desenvolvimento no Ipen desde 1998. Esse tipo de célula a combustível possibilita a co-geração de calor e energia elétrica, e a reforma do combustível pode ser feita internamente na célula. Particularmente, SOFC são dispositivos eletroquímicos que transformam energia química diretamente em elétrica. Tanto as SOFC quanto outros tipos de células a combustível são vistos atualmente com uma das mais promissoras alternativas energéticas para anos vindouros.

A metodologia desse trabalho consiste na análise de conceitos e dados pesquisados na literatura técnica. Os dados secundários foram coletados de livros, revistas, estudos científicos e *internet*.

2. Células a Combustível a bio-combustíveis

O programa “Northeast Regional Biomass” em parceria com a XENERGY, Inc. realizou um estudo analisando a viabilidade da utilização de bio-combustíveis na tecnologia de células combustíveis estacionárias. Os resultados demonstram que de uma perspectiva técnica os bio-combustíveis são capazes de prover um recurso energético renovável, limpo e de longo prazo. Estes resultados não são novidades, células a combustível já provaram ser bem sucedidas nestas aplicações, estando presente em mais de 150 aterros, e estações de tratamento de esgoto (ETE), nos EUA, gerando energia a partir do gás metano que produzem e reduzindo as emissões de gases poluidores.

Em 1992 uma bem sucedida demonstração no aterro Penrose em Sun Valley, Califórnia, pavimentou o caminho para a aplicação de células combustíveis em aterros e ETes. Estes tipos de instalação estão difundidos nos EUA e na Ásia. Desde 1996 o aterro Groton de Connecticut vem produzindo 600,000 KWh de eletricidade por ano, com uma célula combustível de geração de energia firme de 140 KW.

Em 1997, a UTC Power (Antiga IFC/ONSI) instalou um sistema de células a combustível na ETE da planta da Yonkers em Nova York, que produz mas de 1.6 milhões de KWh de eletricidade por ano, liberando uma quantidade irrisória de emissões para o meio ambiente. A cidade de Portland no Oregon, instalou uma célula a combustível para produzir energia utilizando gás digerido de forma anaeróbica proveniente de sua ETE. Gerando 1.5 milhões de KWh de eletricidade por ano, reduzindo a conta da de eletricidade da ETE em U\$\$ 102,000 por ano. A unidade recebeu um Prêmio Clean Air Excellence da U.S. Environmental Protection Agency – EPA (Agência

Norte-Americana de Proteção Ambiental). A UTC também vendeu 200 células combustível PureCell™ para dois distritos da Califórnia para sua aplicação e oito usinas elétricas de células a combustível PC25™ para Autoridade de Energia Elétrica de Nova York. As 200 unidades de células combustível 200-kilowatt PureCell™ serão instaladas em quatro ETEs no Brooklyn, Staten Island, Bronx e Queens.

Fora dos EUA, a UTC instalou uma unidade da Célula combustível PureCell™ 200 na cidade chinesa de Guangzhou para gerar energia para equipamentos elétricos de uma fazenda de suínos, com o excedente exportado para os usuários externos da fazenda. Inicialmente a célula será abastecida por gás fóssil liquefeito, mas eventualmente será abastecida pelo metano produzido pela decomposição dos dejetos suínos.

Outra Companhia a FuelCell Energy, Inc. (FCE) foi selecionada para instalar e operar uma usina de energia Direct FuelCell® (DFC) de 1MW na ETE da King County em Renton, Washington. O projeto de demonstração de 2 anos tem o custo rateado igualmente entre a FuelCell Energy e a King County, através de uma cooperativa concedida a Contee pela EPA. O Valor total do contrato é de U\$18.8 milhões.

FCE e o seu sócio/distribuidor Asiático, Marubeni Corporation, instalaram uma usina de energia DFC em uma ETE municipal em Fukuoka, Japão. A instalação da unidade é parte do programa de dois anos para avaliar a célula a combustível, que irá operar no modo de co-geração, utilizando as emissões de metano provenientes do processamento dos efluentes municipais para gerar energia elétrica. Adicionalmente, um digestor anaeróbico para tratar os efluentes municipais usará a energia térmica da célula de combustível.

FCE e Marubeni também instalaram uma usina de energia DFC na planta da cervejaria Kirin fora de Tokyo. A célula a combustível utiliza um gás digerido semelhante ao metano proveniente do efluente do processo da cervejaria. Também no Japão, a Toshiba instalou células combustíveis que funcionam com gases residuais nas cervejarias Asahi e Sapporo e planeja expandir seus esforços para vender células a combustível que funcionam com gás proveniente de algas. A Toshiba está iniciando esta operação na cidade de Yokohama, focando os sistemas para governos locais.

Tabela 1. Adequação das células a combustível para combustíveis de origem de biomassa

Origem do combustível	Tipo de célula a combustível			
	PEM	PAFC	MCFC	SOFC
Gaseificação de biomassa	▼	●	✘	✘
Metano de gás de aterro sanitário	▼	●	✘	✘
Metano de biodigestores	▼	●	✘	✘
Etanol	●	●	✘	✘
Óleo de pirólise	□	□	□	□
Biodiesel	□	□	□	□
Acido Levulínico	□	□	□	□

✘ - Grande potencial no longo prazo

● - Parcialmente compatível

▼ - Não muito compatível

□ - Necessidade de mais pesquisa

A Tabela 1 foi adaptada do estudo que analisa a viabilidade da utilização de bio-combustíveis na tecnologia de células combustíveis estacionárias programa “Northeast Regional Biomass” em parceria com a XENERGY, Inc., essa tabela faz um comparativo das diferentes tecnologias de células a combustível com a utilização bio-combustíveis de algumas origens.

A Tabela 2 também adaptada do mesmo estudo mostra outro comparativo entre os tipos de células a combustível no impacto da utilização de espécies de gases comuns encontrados em bio-combustíveis.

Tabela 2. Impactos de espécies de gases comuns nos quatros tipos de células a combustível

Espécie de gás	PEM	PAFC	MCFC	SOFC
Hidrogênio	Combustível	Combustível	Combustível	Combustível
Monóxido de carbono	Veneno	Veneno	Combustível	Combustível
Metano	Inerte, combustível se reformado	Inerte, combustível se reformado	Combustível pode ser reformado internamente ou externamente	Combustível pode ser reformado internamente ou externamente
Dióxido de carbono e água	Diluyente	Diluyente	Re-circulado	Diluyente
Enxofre (Sulfeto de Hidrogênio e Sulfeto Carbonílico)	Não há dados	Veneno < 20 ppm H ₂ S < 50 ppm H ₂ S +COS	Veneno < 10 ppm H ₂ S no combustível < 1 ppm SO ₂ no oxidante < 0.1-0.5 ppm H ₂ S	Veneno < 1 ppm H ₂ S
Halogênios (HCl)	Não há dados	Veneno 4 ppm	Veneno < 0.1-1.0 ppm	Veneno < 1 ppm

Tabela 3. Pontos de atenção nos diferentes tipos de células a combustível

Pontos de atenção	PEM	PAFC	MCFC	SOFC
Tolerância com contaminantes	Intolerante	Tolerância moderada	Tolerante	Maior tolerância
Calor residual	Não utilizável	Utilizável	Utilizável	Utilizável
Eficiência do sistema	Menor	Moderada	Moderada	Maior
Outros pontos	Baixa temperatura	Problemas de eficiência	Corrosividade, vida útil curta	Custos elevados

Células a combustível do tipo SOFC apresentam os melhores potenciais para a aplicação estacionária utilizando biogás proveniente de aterros sanitários, e outros combustíveis derivados de biomassa. Além disso, a geração de energia estacionária em SOFC é um dos pilares do Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH₂).

3. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL

Em 1997 foi celebrada a terceira COP (Conferência das Partes) entre os países signatários da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Nela foi estabelecido o Protocolo de Quioto que se propõe reduzir 5,2% do nível de emissões de gases de efeito estufa dos países desenvolvidos (que estão listados no anexo I do protocolo) tomando como base o ano 1990, no período entre 2008 a 2012. Para isso esses países podem reduzir suas emissões domésticas ou através dos mecanismos de flexibilização. Foram instituídos três mecanismos: JI – *Joint Implementation*, ET – *Emissions Trading* e CDM – *Clean Development Mechanism* ou MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo [16]. O MDL, instituído no artigo 12 do Protocolo de Quioto, é o único mecanismo pelo qual países que não constam no anexo I, como o Brasil, podem participar.

Todo projeto de MDL inclui a elaboração de uma lista de cenários futuros. Dessa lista serão extraídos dois cenários: o cenário de linha de base (*baseline scenario*), que é o cenário mais provável que ocorra na ausência do projeto e o próprio cenário do projeto (*project scenario*) que consiste no projeto em questão. O próximo passo, representado pela equação 2, é calcular a diferença na emissão de GEE desses dois cenários selecionados:

$$RE\ CO_{2e} = EB\ CO_{2e} - EP\ CO_{2e} \quad (1)$$

onde,

RE CO_{2e} são as reduções de emissão de GEE do projeto calculadas em tonelada de CO₂ equivalente;

EB CO_{2e} são as emissões de GEE do cenário de linha de base calculadas em tonelada de CO₂ equivalente;

EP CO_{2e} são as emissões de GEE do projeto calculadas em tonelada de CO₂ equivalente.

O IPCC instituiu ao dióxido de carbono um potencial de aquecimento global (*GWP - Global Warming Potential*) igual a 1 (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001), a partir dessa premissa calculou os demais potenciais dos outros cinco grupos gasosos listados no Protocolo de Quioto.

Tabela 4. Potencial de aquecimento global (Global Warming Potentials) no horizonte de tempo de 100 anos

Gás		GWP
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	23
Óxido nitroso	N ₂ O	296
Hidrofluorcarbonos	HFC-23	12.000
	HFC-125	3.400
	HFC-134	1.300
	HFC-143	4.300
	HFC-152	120
	HFC-227	3.500
	HFC-236	9.400
	HFC-4310	1.500
Perfluorcarbonos	CF ₄	5.700
	C ₂ F ₆	11.900
	C ₄ F ₁₀	8.600
	C ₆ F ₁₄	9.000
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	22.200

Cada tonelada de RE CO_{2e}, se o projeto for aprovado, equivale a 1 RCE – Redução Certificada de Emissão, que são os tão falados créditos de carbono, que os países do anexo I do Protocolo de Quioto tem grande interesse em adquirir-los, pois esses créditos de carbono irão ajudar o país que os tenha a atingir suas metas nacionais de redução. Os valores a que estão sendo negociados os RCE's variam muito, mas em média cada unidade pode ser vendida hoje por € 10,00.



Em um projeto de MDL para o aproveitamento do gás gerado em aterros sanitários utilizando uma SOFC, o gás que será reduzido será o metano (CH₄), que será reformado no interior da célula que opera em temperaturas médias entre 800°C a 1.000°C, nessa faixa de temperatura a cinética das reações eletroquímicas são muito favorecidas. O CH₄ que tem um GWP = 23. O que quer dizer que cada tonelada de CH₄ que se deixar de emitir representa 23 toneladas de CO_{2e}, ou possivelmente 23 RCE's. Porém atualmente é recomendado pelo conselho executivo do UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) a utilização do para o CH₄ um GWP=21, número que aparece no relatório de 1996 do IPCC, por ser mais conservador e estar consolidado nos projetos já aprovados.

5. Simulação de obtenção de Reduções Certificadas de Emissão, com um projeto de aproveitamento de gás gerado em aterro sanitário, para geração de energia através da utilização de célula de combustível de óxido sólido

Embora, até o presente momento, não exista nenhuma metodologia aprovada pelo conselho executivo da UNFCCC, envolvendo a utilização de células combustível de óxido sólido para a geração de energia através do aproveitamento de gases de aterros sanitários. Existem metodologias consolidadas para o aproveitamento destes gases através de outras tecnologias, sendo assim, é razoável traçar uma simulação do potencial de redução de emissões e obtenção de créditos da tecnologia que envolve célula a combustíveis, baseado nos parâmetros já consolidados nas

demais metodologias existentes para a destinação do mesmo tipo de gás de aterro. Para tanto foram utilizadas informações obtidas do EPA, incluindo um programa que calcula as reduções equivalentes de CO₂, chamado “Emission Reductions and Environmental and Energy Benefits for Landfill Gas Energy Projects” e as cotações médias do RCE no mercado internacional, para obter uma cifra financeira factível. Escolhemos para ilustrar o caso real do aterro Groton de Connecticut vem produzindo 600,000 KWh de eletricidade por ano. O programa calcula as emissões diretas evitadas pela liberação dos gases na atmosfera e as emissões indiretas relativas a quantidade de emissões evitadas para gerar a quantidade de energia produzida. No caso do aterro Groton, o total da redução de emissões equivalentes é de 28.624 t CO_{2e}/ano, lembrando que cada tonelada de CH₄ que se deixar de emitir representa 21 toneladas de CO_{2e}. Considerando o período do projeto de 21 anos e com a cotação atual do RCE no mercado internacional em torno de €10,00, teremos a cifra de €6.011.040,00 ao longo de todo o período do projeto.

Figura 1. Tabela da EPA “Emission Reductions and Environmental and Energy Benefits for Landfill Gas Energy Projects”

Emission Reductions and Environmental and Energy Benefits for Landfill Gas Energy Projects						
						
For electricity generation projects, enter megawatt (MW) capacity: <input type="text" value="0.60"/>		- OR -		For direct-use projects, enter landfill gas utilized by project: <input type="text" value=""/> million standard cubic feet per day (mmscfd)		
				or <input type="text" value=""/> standard cubic feet per minute (scfm)		
Direct Equivalent Emissions Reduced [Reduction of methane emitted directly from the landfill]		Avoided Equivalent Emissions Reduced [Offset of carbon dioxide from avoiding the use of fossil fuels]		Total Equivalent Emissions Reduced [Total = Direct + Avoided]		
MMTCO ₂ E/yr	tons CH ₄ /yr	MMTCO ₂ E/yr	tons CO ₂ /yr	MMTCO ₂ E/yr	tons CH ₄ /yr	tons CO ₂ /yr
million metric tons of carbon dioxide equivalents per year	tons of methane per year	million metric tons of carbon dioxide equivalents per year	tons of carbon dioxide per year	million metric tons of carbon dioxide equivalents per year	tons of methane per year	tons of carbon dioxide per year
0,0228	1.195	0,0032	3.529	0,0260	1.195	3.529
Equivalent to any one of the following annual benefits:		Equivalent to any one of the following annual benefits:		Equivalent to any one of the following annual benefits:		
Environmental Benefits		Environmental Benefits		Environmental Benefits		
• Removing emissions equivalent to __ vehicles:	4.404	• Removing emissions equivalent to __ vehicles:	619	• Removing emissions equivalent to __ vehicles:	5.023	
• Planting __ acres of forest:	6.275	• Planting __ acres of forest:	882	• Planting __ acres of forest:	7.157	
• Offsetting the use of __ railcars of coal:	113	• Offsetting the use of __ railcars of coal:	16	• Offsetting the use of __ railcars of coal:	128	
• Averting electricity usage of __ lightbulbs:	41.148	• Averting electricity usage of __ lightbulbs:	5.786	• Averting electricity usage of __ lightbulbs:	46.933	
		Energy Benefits (based on project size entered):				
		• Powering __ homes:		382		
View Calculations and References						

6. Conclusão

O trabalho propõe um projeto de MDL fazendo parte da viabilização financeira para um aproveitamento do gás gerado em aterros sanitários utilizando células a combustível de óxido sólido, com isso chama a atenção para alguns temas de grande relevância no atual panorama mundial, como os distúrbios no sistema climático global causados pelo aumento de emissões de GEE, a vulnerabilidade das matrizes energéticas centralizadas e a degradação ambiental causada pela má disposição e tratamento inadequado dos resíduos sólidos.

Por ter um investimento inicial muito elevado, que envolve P&D, fica muito difícil atrair capital para projetos de células a combustível de óxido sólido que utilizem o gás gerado em aterros sanitários para geração de energia. Nesse contexto, o MDL pode ser um caminho para ajudar a viabilizar os mesmos.

O Protocolo de Quioto só institui regras até o ano de 2012, as novas resoluções a serem elaboradas nos próximos anos e consolidadas nas COP's serão fundamentais para projetos que visem reduções de GEE depois de 2012. Avanços na tecnologia de SOFC, que visem diminuição dos custos e aumento de sua eficiência, serão cruciais para sua implementação.

Mesmo o caso escolhido sendo um aterro localizado nos EUA, país que não ratificou o Protocolo de Quioto, é possível concluir que os RCEs são um fator diferencial que podem viabilizar a adoção de novas tecnologias mais limpas e que podem ser associados a utilização de células a combustível de óxido sólido para a geração de energia, através do aproveitamento de gases de aterros sanitários em países em desenvolvimento.

7. Referências

- ALTVATER, E., *O Preço da Riqueza: Pilhagem Ambiental e a Nova (Des) Ordem Mundial*. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1995.
- GOLDEMBERG, J., VILLANUEVA, L., *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
- IPCC, *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, *Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2)*, <http://www.mct.gov.br/>, Acessado em junho de 2006.
- RIFKIN, J., *A Economia do Hidrogênio*. São Paulo: M.Books, 2003.
- U.S. Environmental Protection Agency, *Landfill Methane Outreach Program (LMOP)*, <http://www.epa.gov/lmop/>, Acessado em junho de 2006
- XENERGY., *Toward a Renewable Power Supply: The Use of Bio-based Fuels in Stationary Fuel Cells*. Burlington, 2002.