

## XI-011 - APROVEITAMENTO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS DE BAIXA RENDA

**Mayara Beuttenmüller Castro de Menezes<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Alagoas. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal de Alagoas (CTEC/ UFAL).

**Karina Ribeiro Salomon<sup>(2)</sup>**

Professora Associada do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) Mestre em Engenharia da Energia e Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Endereço(1): Av. Lourival Melo Mota, s/n – Tabuleiro do Martins - Maceió – AL. CEP: 57072-900 - Brasil - Tel: (82) 3214-1275 - e-mail: karina.ufal@yahoo.com.br.

### RESUMO

O estudo busca avaliar o potencial energético, da estação de tratamento de esgoto, de condomínios residenciais de baixa renda do programa minha casa minha vida (PMCMV), realizando as seguintes estimativas: produção de biogás, produção de energia elétrica e térmica, necessidades de energia da área comum do condomínio. Este trabalho aponta a possibilidade de utilizar o metano que é agressivo ao meio ambiente na recuperação de energia, incentivando a aplicação deste serviço para uso sustentável dos recursos naturais renováveis e eficiência energética. Foram realizados cálculos para a estimativa do biogás e do metano contabilizando suas perdas durante o processo de tratamento anaeróbico. A produção média de biogás estimado foi de 58,78 m<sup>3</sup>/d resultando em uma possível disponibilidade de energia elétrica de 86,61 kWh/d capaz de abastecer a iluminação dos postes das ruas internas e a área de lazer do condomínio (quadra poliesportiva e espaço gourmet) através de um gerador. A utilização do biogás como geração de energia elétrica é importante para o meio ambiente, pois evita que seja lançado gás metano e ainda diversifica a matriz energética.

**PALAVRAS-CHAVE:** Potencial energético, Biogás, Sustentabilidade.

### INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento populacional trouxe como consequência o aumento de resíduos prejudicando o meio ambiente. Estima-se que a população alcance 8,5 bilhões em 2030, chegue a 9,7 bilhões até 2050 e passará os 11,2 bilhões em 2100 (WORLD POPULATION, 2015). Assim, faz com que sejam tomadas medidas para reaproveitamento de resíduos de forma sustentável (POLONIO *et al*, 2015).

O reúso de água, em especial de efluentes domésticos tratados, é uma das práticas que vem sendo incorporada por diversos países. Israel recicla 80% do efluente doméstico gerado, onde quase tudo é encaminhado para a agricultura. No Japão, 40% do volume de efluente urbano tratado é reutilizado por indústrias (JIMÉNEZ e ASANO, 2008; OSORIO (2013) apud LIBHABER e CROOK, (2012). A disponibilidade de esgoto doméstico é constante, fator esse que viabiliza o reúso. A reutilização proporciona vários benefícios, tais como: a redução da captação dos recursos hídricos naturais; a reciclagem de nutrientes na agricultura, com economia de insumos (adubos e fertilizantes, p. ex.); previne a poluição com a redução do lançamento de efluentes em corpos hídricos (FLORENCIO, et al., 2006).

Existe grande variabilidade de aproveitamento para efluentes domésticos tratados. As aplicações são muitas, por exemplo: recreação, agricultura, dessedentação de animais, etc. processos industriais e outras aplicações (HELMER e HESPANHOL, 1997).

O princípio do tratamento sanitário em reatores anaeróbios é a digestão anaeróbia de compostos orgânicos, que gera dois produtos principais, sendo a maior parte composta pelo biogás (70 a 90%) e, em menor proporção, pelo lodo excedente do sistema (5 a 15%) (SPERLING, 1997).

A utilização do biogás como combustível para geração de energia elétrica não apenas aproveita de forma sustentável este subproduto da disposição dos resíduos sólidos, como também evita que o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) nele contido seja emitido para a atmosfera. Conforme Godoy Júnior et al. (2004) apud ARCADIS Tetraplan (2010), o  $\text{CH}_4$  presente no biogás de esgoto é cerca de 21 vezes mais danoso para o meio ambiente do que o  $\text{CO}_2$ , a queima do biogás na produção de energia gera emissões evitadas deste gás. A quantidade de carbono equivalente que potencialmente seria impedido de alcançar a atmosfera da Terra tornando-se, portanto, muito interessante o aproveitamento energético desse biogás, conciliando a geração de energia elétrica renovável com a questão do saneamento ambiental.

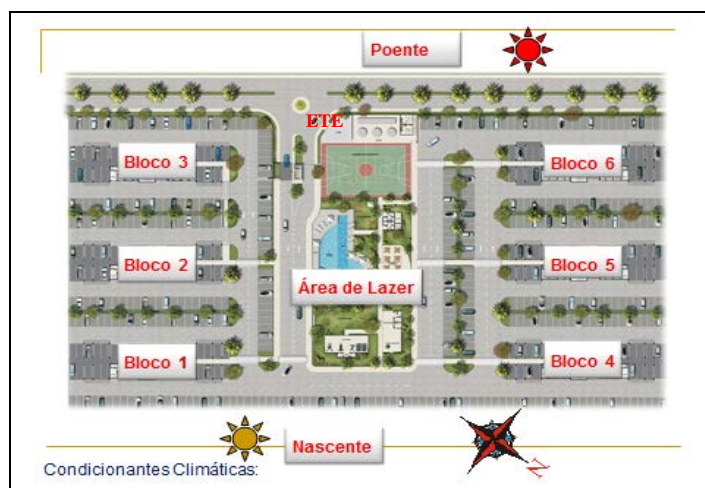
A Resolução Normativa 687/15 da Aneel estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e também instituiu o método de compensação de energia elétrica. A criação dessa resolução foi um importante passo ao crescimento da geração distribuída no Brasil. Onde é possível compensar os créditos de energia gerado nos demais meses.

Ultimamente têm-se discutido bastante a questão energética. Sabe-se que os combustíveis fósseis, além de altamente poluentes, também são considerados recursos não-renováveis, e as reservas naturais não devem durar muito tempo. Assim soluções energéticas limpas e renováveis tem sido alvo de muita pesquisa. As tecnologias a base de fontes renováveis são atrativas não só devido às vantagens ambientais, mas também sociais e econômicas.

O presente tem como objetivo geral avaliar o potencial de aproveitamento energético no biogás gerado a partir de ETE em um condomínio residencial de baixa renda. Os objetivos específicos são: estimar a geração de biogás a partir do efluente domésticos produzido; estimar a produção de energia elétrica e térmica a partir do biogás e estimar consumo de energia para aproveitamento in loco.

## METODOLOGIA

Maceió, cidade a qual está implantada o objeto de estudo, situa-se no estado de Alagoas, no litoral oriental do Nordeste brasileiro, encontra-se entre a latitude  $9^{\circ}33'18''$  Sul e longitude  $35^{\circ}45'33''$  Oeste Datum SAD 69, às margens do Oceano Atlântico, e do complexo lagunar Mundaú – Manguaba. O foco do trabalho foi o Park Shopping Condomínio Clube I está localizado no bairro da Cidade Universitária, o empreendimento possui um total de 528 unidades dividido em 6 torres e área de lazer comum as torres que foi o objeto de estudo. Possui ETE, projetada para atender uma população de 2.544 habitantes e operar com uma vazão média de tratamento de  $381,60 \text{ m}^3/\text{d}$  com 2 Reatores UASB, 2 Filtros Anaeróbio e 1 Tanque de Contato, como ostra a Figura 1.



**Figura 1 - Implantação do empreendimento**

Para cálculo da estimativa de produção de biogás, foi utilizado as equações da tabela 1

**Tabela 1- Estimativa de Produção de Biogás**

PARÂMETROS	EQUAÇÃO	NÚMERO
Vazão média de esgoto	$Q_{\text{méd}} = \frac{Q_{\text{pc}} \times r \times \text{Pop}}{1000}$	(Equação 1)
Carga diária de DQO removida no sistema	$R_{\text{DQO}}^{\text{rem}} = \text{Pop} \times \text{QPC}_{\text{DQO}} \times \frac{E_{\text{DQO}}}{100}$	(Equação 2)
Carga diária de DQO convertida em biomassa	$R_{\text{DQO}}^{\text{lodo}} = R_{\text{DQO}}^{\text{rem}} \times Y \times K_{\text{sólidos}}$	(Equação 3)
Carga de SO <sub>4</sub> convertida em sulfeto	$R_{\text{SO}_4}^{\text{con}} = Q_{\text{méd}} \times C_{\text{SO}_4} \times \frac{E_{\text{SO}_4}}{100}$	(Equação 4)
DQO utilizada pelas bactérias redutoras de sulfato	$R_{\text{DQO}}^{\text{SO}_4} = R_{\text{SO}_4}^{\text{con}} \times K_{\text{DQO}}^{\text{SO}_4}$	(Equação 5)
Carga diária de DQO convertida em metano	$R_{\text{DQO}}^{\text{CH}_4} = R_{\text{DQO}}^{\text{rem}} - R_{\text{DQO}}^{\text{lodo}} - R_{\text{DQO}}^{\text{SO}_4}$	(Equação 6)
Produção volumétrica teórica de metano	$Q_{\text{CH}_4} = \frac{R_{\text{DQO}}^{\text{CH}_4} \times R \times (273 + T)}{P \times K_{\text{DQO}}}$	(Equação 7)
Perda de metano na fase gasosa, com o gás residual	$Q_{\text{CH}_4}^{\text{w}} = Q_{\text{CH}_4} \times P_{\text{w}}$	(Equação 8)
Outras perdas de metano na fase gasosa	$Q_{\text{CH}_4}^{\text{o}} = Q_{\text{CH}_4} \times P_{\text{o}}$	(Equação 9)
Perda de metano na fase líquida, dissolvido no efluente	$Q_{\text{CH}_4}^{\text{l}} = Q_{\text{méd}} \times P_{\text{L}} \times f_{\text{CH}_4} \times \frac{R \times (273 + T)}{P \times K_{\text{DQO}}}$	(Equação 10)
Produção de biogás capturado	$Q_{\text{biogás}} = \frac{Q_{\text{CH}_4}^{\text{real}}}{C_{\text{CH}_4}} \times 100$	(Equação 11)
Potencial Calorífico Inferior disponível	$\text{PCI}_d = \text{PE} \times \text{PCI} \times K$	(Equação 12)
Potência Elétrica Disponibilizada pelo metano	$P = Q_{\text{CH}_4}^{\text{real}} \times \text{PCI}_d \times n$	(Equação 13)

Para cálculo das necessidades energéticas do empreendimento foram utilizadas as equações da tabela 2.

**Tabela 2-Necessidade Energética do Empreendimento**

PARÂMETROS	EQUAÇÃO	NÚMERO
Número de postes	Comprimento da rua / 35 m	(Equação 14)
Demanda de iluminação	Nº de postes x P da luminária em kVA	(Equação 15)

## PREMISSAS ADOTADAS

As principais variáveis necessárias para se estimar a produção de metano e o potencial energético obtidos são as seguintes:

- População contribuinte 2.544 hab;
- Contribuição per capita de esgoto 96 L hab-1dia-1
- Contribuição per capita de DQO (QPCDQO) 0,10 kg DQO hab-1dia-1 (SPERLING,1997)
- Eficiência de remoção de DQO (EDQO) 67,54 % (FIBRATÉCNICA,2011)
- Coeficiente de produção de sólidos (Y) 0,15 kgDQOLodo/kgDQORemov Lobato (2011) e Eller (2013)
- Fator de conversão de STV em DQO (k sólidos) 1,42 Lobato (2011) e Eller (2013)
- Concentração de SO<sub>4</sub> no afluente (COSO<sub>4</sub>) 0,039 kgSO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> Eller (2013)
- Eficiência de redução de sulfato (ESO<sub>4</sub>) 61,52% Eller (2013)
- DQO consumida na redução de sulfato (KDQO-SO<sub>4</sub>) 0,667 kgDQOSO<sub>4</sub>/kgSO<sub>4</sub> Eller (2013)
- Pressão atmosférica (P) 101325 Pa

- DQO corresponde a 1 mol de metano (KDQO) 0,064 kgDQOCH<sub>4</sub>/mol Lobato (2011) e Eller (2013)
- Percentual de CH<sub>4</sub> no biogás (CCH<sub>4</sub>) 65 %
- Perda de CH<sub>4</sub> na fase gasosa ( $P_w$ ) 5,0% Lobato (2011) e Eller (2013)
- Outras perdas de CH<sub>4</sub> na fase gasosa ( $P_o$ ) 5,0% Lobato (2011) e Eller (2013)
- Perda de CH<sub>4</sub> dissolvido no efluente ( $P_L$ ) 0,020 kg/m<sup>3</sup> Lobato (2011) e Eller (2013)
- Fator de conversão teórico de DQO em CH<sub>4</sub> (fCH<sub>4</sub>) 4,0 kgDQO/kgCH<sub>4</sub> Lobato (2011) e Eller (2013)
- Peso específico do CH<sub>4</sub> (PE) 1,1518 kg/Nm<sup>3</sup> Lobato (2011) e Eller (2013)
- Poder calorífico inferior do CH<sub>4</sub> (PCI) 4.831,1 kcal/kg Lobato (2011) e Eller (2013)

## RESULTADO

Utilizando as premissas do e as equações obteve-se os resultados da estimativa de Produção de Biogás conforme tabela 4:

**Tabela 3 – Resultados calculados - Estimativa de Produção de Biogás**

VARIÁVEL	VALOR OBTIDO	UNIDADES
Estimativa da massa diária de DQO removida no sistema	171,82	kgDQO dia <sup>-1</sup>
Estimativa da massa diária de DQO utilizada pela biomassa	36,60	kgDQO lodo dia <sup>-1</sup>
Estimativa da carga de sulfato convertida em sulfeto	0,06	kg SO <sub>4</sub> dia <sup>-1</sup>
Estimativa da massa diária de DQO utilizada na redução de sulfato	0,04	kgDQO SO <sub>4</sub> dia <sup>-1</sup>
Estimativa da massa diária de DQO convertida em metano	135,13	kgDQO CH <sub>4</sub> dia <sup>-1</sup>
Estimativa da quantidade diária de metano produzida	51,63	kgDQO CH <sub>4</sub> dia <sup>-1</sup>
Estimativa das perdas de metano na fase gasosa, como gás residual	2,58	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
Estimativa de outras perdas de metano na fase gasosa (vazamentos, etc)	2,58	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
Estimativa das perdas de metano na fase líquida, dissolvido no efluente	7,47	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
Estimativa da produção real de metano	39,00	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
Estimativa da produção de biogás capturado	60,00	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>

Utilizando os dados calculados na estimativa de produção do biogás capturado e produção real do metano obteve-se os resultados conforme tabela 5:

**Tabela 4 – Resultados calculados- Energética do biogás**

VARIÁVEL	VALOR OBTIDO	UNIDADES
Poder calorífico inferior disponível do CH <sub>4</sub>	6,48	kWh m <sup>-3</sup>
Potencia elétrica efetiva com n=0,35	88,41	kWh dia <sup>-1</sup>
Potencia elétrica efetiva com n=0,75	189,45	kWh dia <sup>-1</sup>

Os resultados da demanda energética estão apresentados na tabela 6.

**Tabela 5- Resultados da demanda energética**

AMBIENTE	POTÊNCIA DEMANDADA	UNIDADES
Iluminação dos Postes (ruas internas)	4,80	kVA
Área de lazer (iluminação)	2,06	kVA

A estimativa da produção real de metano foi de 39,00 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> (0,16 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>de esgoto) e (0,227 Nm<sup>3</sup> kgDQOrem<sup>-1</sup>) valor pouco abaixo encontrado na literatura, 0,18 Nm<sup>3</sup> kgDQOrem<sup>-1</sup> Noyola, Capdeville e Roques (1988) e 0,24 Nm<sup>3</sup> kgDQOrem<sup>-1</sup> Eller (2013) e a estimativa do biogás capturado 60,00 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> 2,50 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (0,246 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>de esgoto) está coerente com os valores encontrados por ELLER (2013).

Para o cálculo do poder calorífico inferior disponibilizado pelo CH<sub>4</sub> (PCI<sub>D</sub>) foi adotado 65% de metano no biogás (Zilotti, 2012). Todavia, quanto maior a parcela de metano, maior será a capacidade calorífica do

biogás, e essa proporção dependerá sobretudo das condições operacionais da estação de tratamento e das características físico-químicas do esgoto afluente (COELHO et al., 2004; COSTA, 2006).

A queima da produção real de metano forneceria uma potência elétrica de 252,59 kWh/d. No caso de motores de combustão interna, a eficiência de geração de energia elétrica varia numa faixa entre 33 e 36% (de acordo com levantamento realizado por Lobato, 2011), utilizando 35% o que geraria uma potência elétrica efetiva de 88,41 kWh/d com potencial de geração de energia elétrica de 2.689,08 kwh/ mês ou 32.688,96 kwh/ ano. Em outro caso, levando em conta a potência disponível para aproveitamento em sistema de ciclo combinado (considerando o aproveitamento da energia na forma de energia elétrica e calor), a eficiência de sistemas empregando motores de combustão interna está entre 75 e 76% (LOBATO, 2011). Nessas condições, a queima do biogás produzido na ETE disponibilizaria uma potência efetiva total de 189,45 kWh/d para aproveitamento conjunto na geração de energia elétrica e calor com potencial de geração de energia elétrica de 5.762,31 kwh/ mês ou 69.147,77 kWh/ ano.

A Demanda de iluminação dos postes considerando 32 postes com lâmpadas de 125 W foi de 4,8 kVA já no espaço da área de lazer, considerando o espaço gourmet e a quadra poliesportiva foi de 2,06 kVA.

### **CENÁRIO 01**

O condomínio produz 2,5 m<sup>3</sup> de biogás por hora com população de 2.544 hab. para o condomínio gerar pelo menos 4 m<sup>3</sup> por hora seria necessária uma população de pelo menos 4.070 habitantes para uma estação com as mesmas características. Para melhorar essa produção pode-se melhorar a eficiência da remoção do DQO da estação de tratamento, considerando que a estação atinja 75% de eficiência de remoção é produzido 2,83 m<sup>3</sup> de biogás por hora, portanto quanto maior a eficiência de remoção melhor é o aproveitamento do biogás para produção de energia.

### **CENÁRIO 02**

O Benefício gerado é decorrente da energia retornada para rede que entra como compensação de crédito da próxima fatura, ou seja, não é um valor que o empreendimento vai receber, mas um valor que o empreendimento vai deixar de pagar.

### **CONCLUSÃO**

A utilização do biogás não deve ser tratada apenas como um interesse econômico, ao utilizá-lo como fonte de energia elétrica nos motores de combustão, ou ainda, apenas queimá-lo evita a emissão de gás metano para a atmosfera que possui maior potencial de poluição comparado ao dióxido de carbono.

Baseado na população atendida, conclui-se que o potencial elétrico gerado por habitante pode chegar a 0,07 kWh/d em função da tecnologia de geração utilizada. Onde possui capacidade anual de até 27,18 kwh/ ano;

Em função dos dois cenários observa-se que:

A simulação mostrou que a partir de 10 horas de operação o investimento é viável, no entanto, a população do condomínio não é suficiente para gerar 4 m<sup>3</sup> de biogás por hora para dar partida ao gerador, portanto seria necessário outro equipamento com melhor eficiência.

Já no cenário 2, observa-se que a implementação do empreendimento a Resolução da ANEEL 687/15 mostrou-se bastante viável, visto que toda energia gerada pode ir para rede de distribuição, sem gastos a mais, como baterias acumuladoras de energia ou reservatórios para acúmulo de biogás, onde o sistema apresentou grande vantagem para o empreendimento, visto que necessita apenas de 2 anos para retorno do capital investido.

Apesar das vantagens da microgeração ao nível de eficiência energética e preservação do ambiente, o elevado custo do sistema, a falta de incentivo público e a baixa eficiência de geração dificulta a sua implementação.



É essencial a continuação de pesquisas nessa área e incentivo às empresas para que sejam implantados projetos desse tipo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 1º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE REÚSO DE ÁGUA SIMPÓSIO, ABES-PR, Experiência de reúso de água em Israel, Curitiba, 2012. LIBHABER, M.
2. 1º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE REÚSO DE ÁGUA, ABES-PR. Applications, risks, and public acceptance of water reuse, Curitiba, 2012. CROOK, J.
3. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Guia do cogador de energia elétrica. Brasília: Distrito Federal, 1998. (Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas, 5).
4. ANEEL. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, referências disponíveis na Internet, <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>, 2015.
5. ARCADIS TETRAPLAN. Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. São Paulo. 2010.
6. COSTA, D. F. Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 194p. 2006.
7. JIMÉNEZ, B. ASANO, T. Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs. 1.ed. Londres: IWA Publishing, 2008.
8. Laponi, J. C., “Projetos de Investimento: Construção e Avaliação de Fluxo de Caixa: Modelos em Excel” Laponi Treinamento e Editora, São Paulo, 2000.
9. LOBATO, L. C. S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. 187 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2011.
10. NOYOLA, A.; CAPDEVILLE, B.; ROQUES, H. Anaerobic treatment of domestic sewage with a rotating stationary fixed-film reactor. Water Research, v. 22, n. 12, p. 1585-1592. 1988.
11. ONU (Organização das Nações Unidas). World population projected to reach 9.6 billion by 2050– UN report. 2013. Disponível em: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=45165&Cr=population&Cr1=#.U1bBZvk7uSr>. Acesso em 22 abr. 2014.
12. POLONIO, J. C. et al. Potencial biorremediador de microrganismos: Levantamento de resíduos industriais e urbanos tratáveis no município de Maringá-PR. BBR - BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY REPORTS, Londrina, v.3, n.2, p.31-45, 2014. E-ISSN: 2316-5200
13. VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgoto. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211 p.
14. VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgoto. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.2).
15. ZILOTTI, H. A. R. Potencial de Produção de Biogás em uma Estação de Tratamento de Esgoto de Cascavel para a Geração de Energia Elétrica. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE, Paraná. 52p. 2012.