



Análise da Viabilidade da Implantação de um Sistema Híbrido para Geração de Energia Elétrica

Naubert Zanoni¹, Vania Elisabete Schneider²

¹Instituto de Saneamento Ambiental/ Universidade de Caxias do Sul (naubert@gmail.com)

²Instituto de Saneamento Ambiental/ Universidade de Caxias do Sul (veschnei@ucs.br)

Resumo

Sistemas híbridos consistem de duas ou mais fontes geradoras de eletricidade, normalmente uma ou mais fontes convencionais e uma ou mais fontes renováveis e, objetivam promover a economia de combustível e obter uma fonte confiável de suprimento de energia, podendo estar ou não conectados a rede de distribuição. Este trabalho objetiva avaliar através do *software* HOMER, a viabilidade ambiental de implantação de um sistema híbrido de geração de eletricidade. Este sistema é composto por gerador a biogás, gerador a biodiesel e captação de energia solar. Todo o sistema está localizado no município de Serafina Corrêa onde há elevada concentração de suinocultores que, através do tratamento dos resíduos suínicos poderá levar a produção de biogás para ser aproveitado como combustível para geração de energia elétrica. A configuração ótima da estrutura do sistema híbrido onde ocorre a máxima redução de emissões de CO₂, H₂S e NO_x é composta por geração elétrica a partir de painéis fotovoltaicos com 330 kW, gerador a biogás 55 kW e inversor de 275 kW. Neste cenário, o sistema é capaz de reduzir a emissão de CO₂ em 291.474 kg/ano, além da redução na emissão de H₂S na ordem de 1.920 kg/ano e, a emissão de NO_x é reduzida em 560 kg/ano.

Palavras-chave: Sistemas híbridos. Energia elétrica. HOMER. Suinocultura. Energia renovável.
Área Temática: Energia e energias renováveis.

Analysis of the Feasibility of the Implementation of a Hybrid System for Generation of Electrical Energy

Abstract

Hybrid systems consist of two or more electricity generating sources, usually one or more conventional sources and one or more renewable sources, and aim to promote fuel economy and obtain a reliable source of energy supply, whether or not connected to the grid distribution. This work aims to evaluate through the HOMER software the environmental feasibility of implementing a hybrid electricity generation system. This system consists of biogas generator, biodiesel generator and solar energy capture. The whole system is located in the municipality of Serafina Corrêa where there is a high concentration of swine farmers who, through the treatment of pig waste, could lead to the production of biogas to be used as fuel for electricity generation. The optimum configuration of the hybrid system structure where the maximum reduction of CO₂, H₂S and NO_x emissions occurs is composed of electric generation from 330 kW photovoltaic panels, 55 kW biogas generator and 275 kW inverter. In this scenario, the system is able to reduce CO₂ emission by 291,474 kg/year, in addition to the reduction in H₂S emission of about 1,920 kg/year, and NO_x emissions are reduced by 560 kg/year.

*Keywords: Hybrid systems. Electricity. HOMER. Swine farming. Renewable energy.
Theme Area: Energy and renewable energies*

1 Introdução



Resíduos de origem animal configuram uma potencial fonte de produção de biomassa e utilizá-la como matéria-prima na obtenção de energia mostra-se favorável frente a aspectos econômicos e ambientais (CALZA *et al.*, 2015). Além disso, aproveitamento da energia contida nos resíduos agropecuários configura-se como uma fonte limpa, sustentável, potencial e economicamente atrativa e agrega valor à cadeia produtiva rural (TOLMASQUIM, 2016) e é amparada pelo PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (BRASIL, 2002) descrito no Decreto nº 5.025, de 2004 (BRASIL, 2004).

De acordo com Da Silva *et al.* (2015), tendo por base o agravamento do cenário das alterações climáticas, a geração de energia é um dos temas mais abordados frente à expectativa de sustentabilidade, haja vista a importância de um planejamento da matriz energética que promova o aproveitamento das fontes renováveis.

Das atividades agropecuárias, a suinocultura configura-se como uma atividade com elevado potencial poluidor, frente à geração de ampla quantidade de efluentes líquidos, ricos em nutrientes, DBO, patógenos, sedimentos, metais pesados como, por exemplo, cobre e zinco (VIVAN *et al.*, 2010). Além disso, segundo Cancelier *et al.* (2015), tem-se no domínio microrregional, o desconforto causado pela presença de insetos e maus odores. A biodigestão anaeróbia configura-se como uma alternativa que proporciona o aproveitamento da biomassa como fonte de energia, a redução do potencial poluidor e dos riscos de contaminação sanitária.

Segundo Appels *et al.* (2008) e Farhad *et al.* (2010), o biogás proveniente do processo de biodigestão constitui uma fonte renovável de geração de energia e pode ser utilizado como alternativa para redução no consumo de combustíveis fósseis, os quais estão associados a problemática de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), causadores de poluição atmosférica. Ainda segundo os autores, a redução na emissão de GEE pode ser realizada através do emprego de outras fontes renováveis como: solar, biocombustíveis, eólica, biogás, dentre outras. O biogás, por exemplo, combustível que custa entre 80 e 90% menos que o gás natural, reduz em cerca de 90% a emissão de GEE, quando comparado com a combustão de gasolina (LIU *et al.*, 2011).

As formas de utilização dos recursos energéticos surgem como o mais importante dos problemas frente ao progresso causado pela modernização (HUSSAIN; ARIF; ASLAM, 2017). De acordo com dados do Relatório Energias Renováveis 2016, Relatório da Situação Mundial – REN21 (GALÁN, 2016), atualmente cerca de 1,2 bilhão de pessoas em todo o mundo ainda vivem sem eletricidade e se concentram principalmente na África e na Ásia, onde sistemas de micro geração distribuída desempenham papel importante no abastecimento energético dessa população. A melhoria nos padrões de vida em países desenvolvidos aliado ao aumento populacional nos países em desenvolvimento resulta, invariavelmente, em acréscimos na demanda por energia.

De acordo com Da Silva *et al.* (2015), tendo por base o agravamento do cenário das alterações climáticas, a geração de energia é um dos temas mais abordados frente à expectativa de sustentabilidade, haja vista a importância de um planejamento da matriz energética que promova o aproveitamento das fontes renováveis. Destaca-se também a necessidade de produzir energia próximo aos consumidores, o que reduz os investimentos e as perdas de energia nas redes de transmissão.

Para aumentar a capacidade instalada de geração de energia em pequenas propriedades há a possibilidade de utilização de mais de uma fonte geradora, o que configura um sistema híbrido (SH). SHs de geração elétrica normalmente consistem de duas ou mais fontes energéticas sendo, uma ou mais fontes convencionais e uma ou mais fontes renováveis como, por exemplo, captação de energia solar em conjunto com geradores diesel e captação de energia eólica (BARBOSA; PINHO; PEREIRA, 2004).



Estes sistemas objetivam promover a economia de combustível e obter uma fonte confiável de suprimento de energia e podem estar ou não conectados à rede de distribuição. O uso de SHs está se tornando popular para promover a autonomia na geração de energia em locais isolados graças aos avanços nas tecnologias de aproveitamento de energias renováveis e de conversores eletrônicos usados para converter a energia não regulada, gerada a partir de fontes renováveis, em energia útil para a carga final. A característica importante de um SH é combinar duas ou mais tecnologias de geração de energia, de modo a permitir o melhor uso de suas características operacionais e obter ganhos mais elevados daqueles obtidos a partir de uma única fonte energética, embora possam apresentar desvantagens como limitações em termos de flexibilidade de combustível, eficiência, confiabilidade, emissões e economia (BAJPAI; DASH, 2012). Para o dimensionamento dos equipamentos destes sistemas, há diversos métodos e softwares utilizados em estudos de viabilidade técnica, econômica e de impactos ambientais de diferentes sistemas baseados em fontes renováveis variadas, equipamentos de armazenamento (baterias) e conversores que o compõe (LIU et al., 2011).

A análise de impactos ambientais é realizada através da redução das emissões de gás carbônico – CO₂ – e da fração de energia proveniente de fontes renováveis (LIU *et al.*, 2011). Tais análises são realizadas através de simulações que visam satisfazer a demanda utilizando as opções tecnológicas alternativas e disponibilidade de recursos. As simulações são efetivadas a partir de uma descrição matemática das condições de operação dos seus componentes e do fluxo de energia no sistema onde se incorpora a análise financeira da configuração predeterminada, permitindo observar os efeitos da alteração do “tamanho” dos componentes, e dos seus parâmetros de operação inclusive ao longo do tempo e confrontando diferentes tecnologias.

Portanto, este trabalho objetiva-se em avaliar a viabilidade ambiental de otimização de um SH de geração de energia elétrica através da utilização do *software* HOMER como ferramenta facilitadora. Este SH visa o aproveitamento energético dos resíduos gerados pela atividade suinícola, para tanto, será utilizado um biodigestor anaeróbico onde ocorrerá a conversão da matéria orgânica em biogás a ser aproveitado como combustível em conjunto gerador de energia.

2 Metodologia

Definição da área de estudo

A bacia experimental utilizada para a realização deste trabalho é composta parcialmente por quatro municípios: Serafina Correa, Montauri, União da Serra e Guaporé, localizados no sítio hidrológico do rio Guaporé, na região do médio Taquari-Antas, no nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Esta bacia hidrográfica foi definida com base nas características de uso e cobertura do solo, pedologia, hidrografia, hipsometria, clinografia, pontos de localização e capacidade instalada de animais, plotados em uma única base. Nos municípios, as informações acerca dos rebanhos foram obtidas junto ao setor de licenciamento ambiental das prefeituras municipais. Na Figura 1 visualiza-se a Bacia Experimental e a localização dos suinocultores de acordo com o relevo da região. Este mapa permite a verificação da possibilidade de formação de *clusters*¹ para o tratamento dos dejetos.

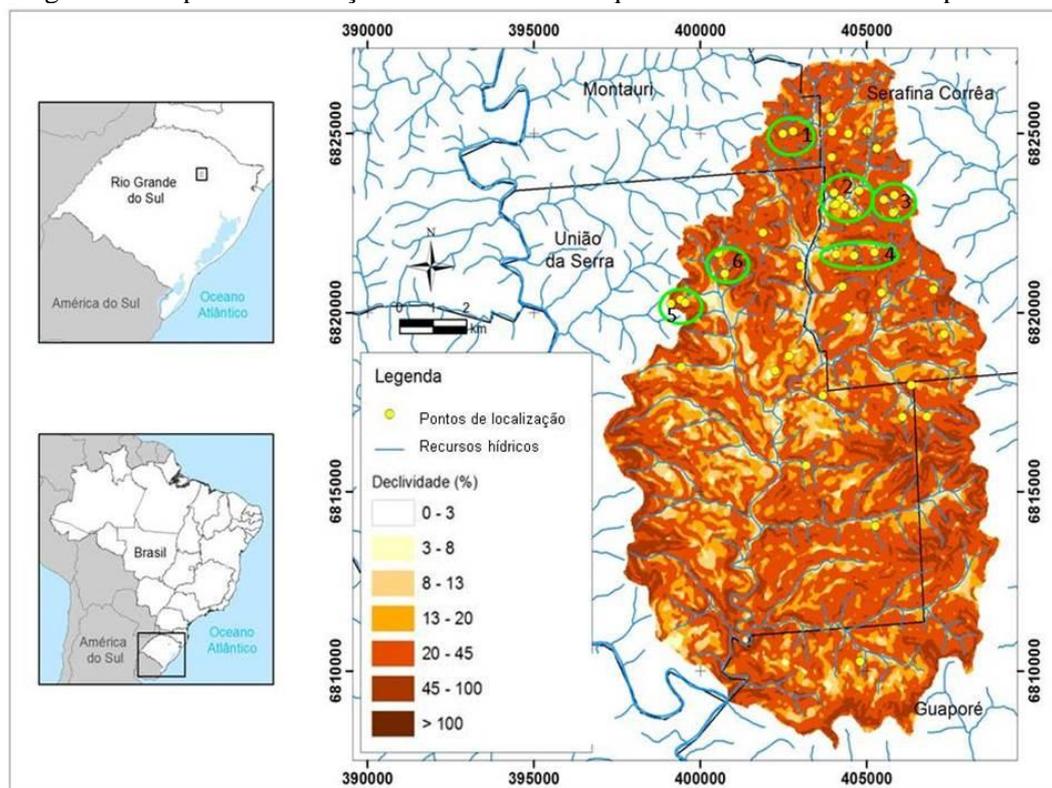
¹ Um *cluster* é uma concentração geográfica de qualquer companhia de um mesmo ramo de atividade, podendo ser expandido em canais de distribuição, compradores, produtores e outros que estejam relacionados por aptidão. Sendo assim, o conceito de *cluster* pode ser aplicado também na agricultura, agropecuária e na indústria a ela ligada (SANTANA, 2010).



De acordo com Schneider, Zanoni e Carra (2016), há na bacia experimental a possibilidade de formação de seis coletivos para tratamento dos dejetos e estes coletivos alocam 8.660 animais em cada lote produzido (e um total de 3,84 lotes por ano), estando divididos em diferentes fases de criação, sendo a fase de terminação a mais significativa. Neste estudo será abordado o maior *cluster* (*cluster* número 2, Figura 1) cuja distribuição dos animais conforme a fase de criação pode ser visualizada na Tabela 1.

Para determinação da localização do sistema biodigestor e geradores de eletricidade foi escolhido o local mais baixo, ou seja, com a menor cota, de tal forma que o transporte dos dejetos provenientes dos galpões de criação sejam conduzidos até o biodigestor utilizando apenas a gravidade como força motriz.

Figura 1 - Mapa de localização dos suinocultores quanto ao relevo da bacia experimental



Fonte: Elaborado por Santos (2015) adaptado de Schneider (2011)

Tabela 1 – Quantidade de animais por fase de criação no *cluster* avaliado

Fase	Número de animais por lote	Número de lotes por ano	Total
Matrizes	50	1	50
Ciclo completo*	1560	1	1560
Terminação**	2.900	3,84	11.136

Adaptado de Zanoni *et al.* (2017)

* Correspondem ao ciclo completo os animais que permanecem na mesma propriedade desde o nascimento até que estejam prontos para o abate.

** Número de animais em um lote. Para obter a quantidade de animais criados em um ano, multiplica-se por 3,84 lotes.

Dados climáticos (irradiação solar e temperatura média mensal) foram obtidos *on-line* de dados fornecidos pela NASA – *National Aeronautics and Space Administration* – diretamente pelo *software* e, o valor comercial dos componentes foram alcançados de fabricantes e/ou representantes comerciais, tanto dos conjuntos geradores a combustível quanto dos painéis solares.



Descrição dos equipamentos

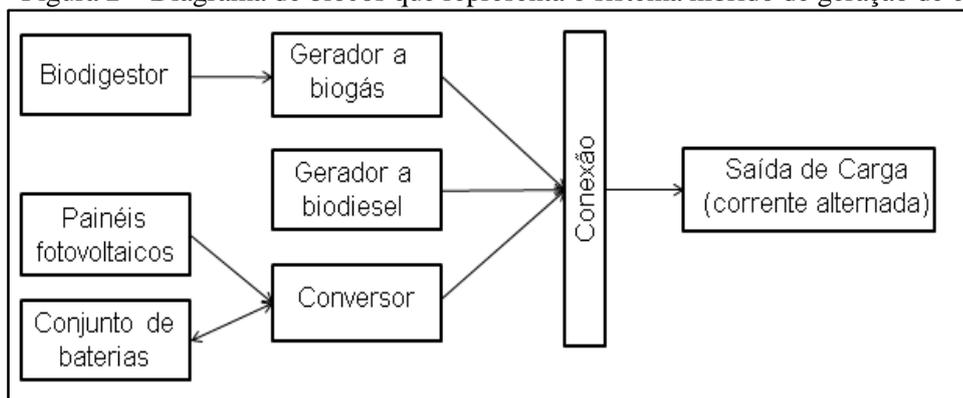
O sistema híbrido de geração de eletricidade e a seleção de equipamentos ocorrem de acordo com as fontes geradoras de energia, porém, consiste basicamente de biodigestor, necessário para produção de biogás utilizado como combustível, gerador a biogás, gerador a diesel/biodiesel, placas fotovoltaicas, conversor e, opcional, conjunto de baterias. A

A otimização, dimensionamento, custos de depreciação, manutenção e reposição de equipamentos foram avaliados utilizando o *software* HOMER de modo a permitir a simulação de diversas combinações para o sistema gerador de eletricidade, sendo possível optar por conectá-lo ou não à rede de distribuição, definindo, portanto a necessidade ou não de conjunto de baterias.

Figura 2 esquematiza os equipamentos que formam o sistema (neste sistema está incluso o conjunto de baterias).

A otimização, dimensionamento, custos de depreciação, manutenção e reposição de equipamentos foram avaliados utilizando o *software* HOMER de modo a permitir a simulação de diversas combinações para o sistema gerador de eletricidade, sendo possível optar por conectá-lo ou não à rede de distribuição, definindo, portanto a necessidade ou não de conjunto de baterias.

Figura 2 – Diagrama de blocos que representa o sistema híbrido de geração de energia



Para variações de “tamanho” dos equipamentos utiliza-se a caixa de busca do *software*. São adicionados diferentes equipamentos para a mesma finalidade somente se for para avaliação de desempenho ou para comparar diferentes tecnologias. Por exemplo, dois modelos de gerador a biogás onde seja necessário comparar eficiência, desempenho, etc.

Biodigestor

Optou-se pelo modelo canadense de biodigestor. Considerou-se para o dimensionamento a produção média diária de dejetos de 5,6 kg/animal.dia (0,0056 m³/d) em fase de terminação (Zanoni, 2015) e utilizou-se o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 30 dias conforme adotado por Souza *et al.* (2008) e, o cálculo do volume do biodigestor adaptado de Calza *et al.* (2015), conforme Equação 1.

$$VB = VD \cdot TRH \cdot NA \quad (1)$$

Onde:

VB = volume do biodigestor (m³)

VD = volume diário de dejetos (m³/animal.d)

TRH = tempo de retenção hidráulica (d)

NA = número de animais



A localização do biodigestor foi definida de acordo com o local de menor cota, nas proximidades do ponto de localização 7, distante aproximadamente 230 metros do recurso hídrico, fator importante a ser considerado no licenciamento ambiental do empreendimento. Na Figura 3 observa-se a declividade entre a localização dos galpões de criação.

Os dados referentes a valores do sistema de biodigestão compõem os custos do biogás, obtido através da Equação 2.

$$Cb = \frac{CB}{pb \cdot t} \quad (2)$$

Onde:

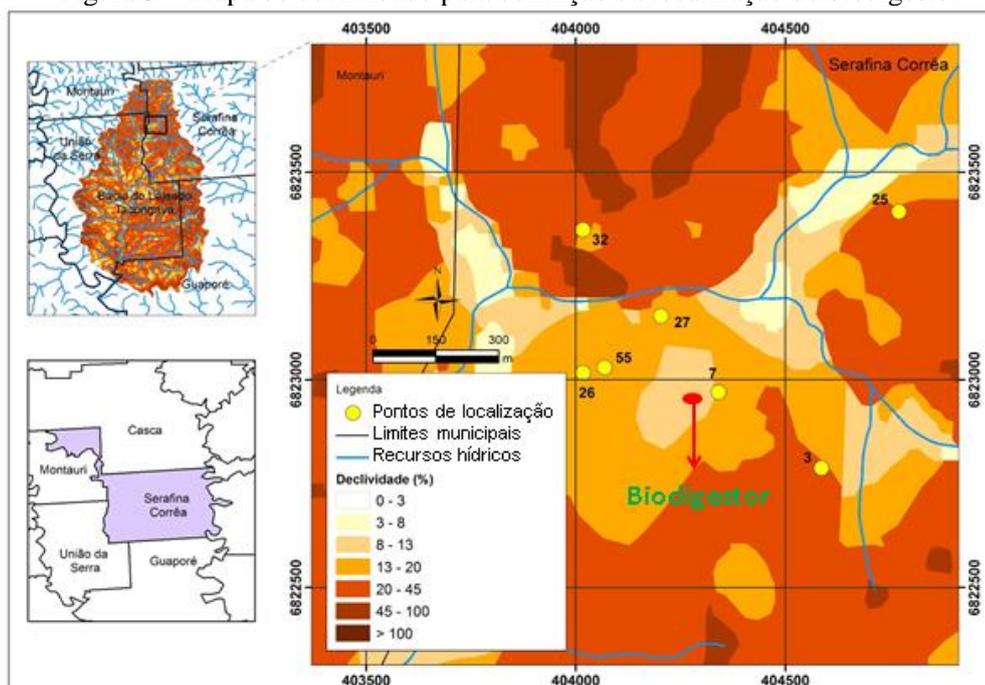
Cb = custo do biogás (R\$/m³)

CB = custo do biodigestor (incluindo tubulação para condução dos resíduos e todos os demais equipamentos que o compõe); (R\$)

pb = produção de biogás (m³/ano)

t = tempo de vida útil do biodigestor (anos)

Figura 3 – Mapa de declividade para definição da localização do biodigestor



Elaborado por Santos (2017)

Para os cálculos preliminares, adotou-se o custo estimado² do biodigestor de R\$ 100.000,00, incluindo a tubulação de transporte dos dejetos e a instalação de todo sistema. Adotou-se vida útil de 10 anos e custos de operação e manutenção mensal de 1% do valor total, somando-se o valor total de operação e manutenção ao custo do biodigestor para cálculo do preço do m³ de biogás. Na Tabela 2 são apresentados: o valor do biodigestor já acrescido do percentual referente à manutenção e operação (adotado mensalmente 1% do valor do biodigestor), a geração de biogás em 10 anos e a respectiva tarifa do biogás. Neste cálculo não é considerada a inflação.

² Valor estimado para simulação do custo do combustível exigível pelo software.



Tabela 2 – Custo do biodigestor incluindo operação e manutenção no período de 10 anos

Custo total do conjunto biodigestor	Produção anual de biogás (m³)	Produção de biogás em 10 anos (m³)	Custo por m³ de biogás
R\$ 220.000,00	368.603	3.686.030	R\$ 0,059

Conforme apresentado na Tabela 3 no período de vida útil considerado para o conjunto biodigestor, há produção de 3.686.030 m³ de biogás ao valor de R\$ 0,059/m³.

A distância entre os galpões de criação varia de 280 a 600 metros, tendo como média aproximada de 405 metros, sendo necessários, portanto, 2.840 metros de tubulação de PVC rígido de 100 mm de diâmetro para condução dos resíduos. Estes dutos foram instalados a profundidade média de 0,7 m necessitando de abertura de vala com auxílio de retroescavadeira.

Geradores e cotações

Definiu-se a capacidade do gerador a biogás a partir da quantidade disponível de combustível, fazendo com que este seja um parâmetro fixo, afim de consumir todo biogás gerado na degradação dos dejetos e manter uma margem de segurança de 2,5% de excedente de biogás. Este excedente pode ser utilizado em sistemas de aquecimento do biodigestor nos meses de inverno e, caso a concentração de metano no biogás seja menor que 60%, consequentemente aumentará o consumo diário de combustível e assim, há garantia de que o equipamento pode operar ininterruptamente. A capacidade das demais fontes geradoras foi variada de modo a alcançar o ponto ótimo do sistema, ou seja, ponto onde o NPC seja positivo ou igual a ZERO (nulo), isto é, no ponto igual a ZERO é um investimento que não tem prejuízos nem benefícios financeiros.

O gerador a biogás foi orçado junto à empresa ER-BR Energias Renováveis e Biocombustíveis. Optou-se por um grupo gerador com painel manual marca MWM 80 kVA/55kW com capacidade de geração líquida³ de 36.300 kW/mês. Este gerador consome, segundo o fornecedor, 984 m³/d de biogás com concentração de 60% de metano e de 528 m³/d se a concentração for de 75%, operando 24 horas/dia (*base load*). O equipamento pode ainda ser configurado para atender a algumas cargas prioritárias, pois na geração distribuída em caso de falta de energia da concessionária seria automaticamente desligado para prevenção de acidentes e, podendo atender através de manobra manual, cargas predefinidas como, por exemplo, uma ou mais residências. Esta manobra manual é também conhecida como manobra de ilhamento. O equipamento de proteção de geração distribuída consiste de um painel URP – 75 kWh (120 kVA).

Para remoção do H₂S do biogás é necessária a utilização de um sistema de filtro TEKOLL BIOFILT H₂S MASTER 100, 1500 ppm (ER-BR Energias Renováveis e Biocombustíveis). Este equipamento é um cilindro de dimensões 1,6 m de altura e 0,45 m de diâmetro, carregado com 100 kg de material adsorvente não regenerável e pode operar a vazão máxima de 70 m³/h, regulada por compressor radial de 5 CV. A duração esperada do material filtrante é de um ano considerando a máxima vazão e máxima concentração de H₂S operando 24 horas/dia.

O conjunto gerador a diesel/biodiesel foi cotado com a empresa Stemac e é formado por dois geradores Cummins modelo C20D6, 25 kVA – 20 kW com capacidade de geração de energia de 26.400 kWh/mês considerando operação de 22 horas diárias e mês de 30 dias.

³ Limitado a 36.300 kW/mês operando em média 22 horas diárias, considerando-se paradas para manutenção preventiva e corretiva do equipamento. Mês de 30 dias.



Todo sistema de captação de energia fotovoltaica foi orçado junto a empresa NEOSOLAR Energia. Este sistema é composto por painéis marca Yingly Solar com capacidade de 275 Wp (Watt pico) por painel, inversores Fronius cuja capacidade é dimensionada pelo *software*, de acordo com a quantidade de energia solar captada.

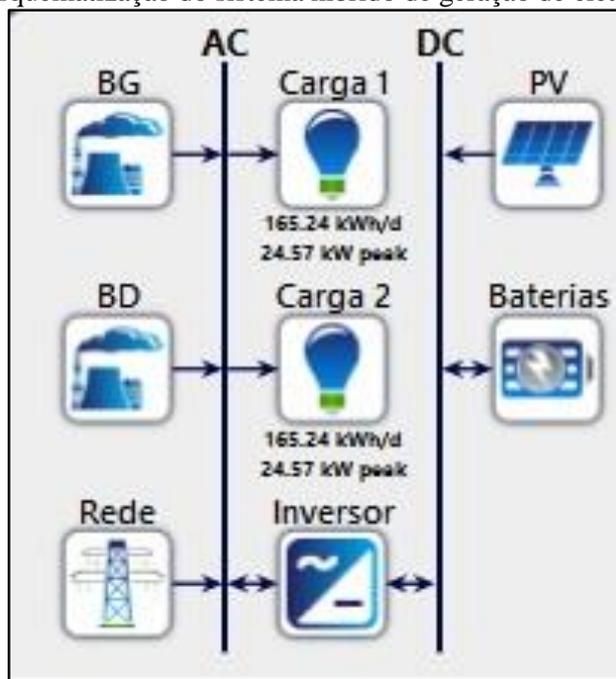
A vida útil do projeto foi fixada em 25 anos, tempo correspondente à vida útil dos equipamentos que compõem o sistema de captação de energia solar. Avaliou-se também vida útil do sistema para 10 anos, de acordo com a vida útil do biodigestor e do gerador a biogás.

Combinação de equipamentos

Considerou-se a combinação das seguintes tecnologias: gerador a biogás, gerador a diesel/biodiesel e placas de captação de energia solar ligadas a inversor (de corrente contínua para corrente alternada), demanda por energia e rede de distribuição. Esta combinação pode ser visualizada na Figura 4.

Note-se que o gerador a diesel/biodiesel (BD) e o gerador a biogás (BG) estão ligados diretamente à rede de abastecimento (Carga 1 e Carga 2), enquanto as células fotovoltaicas (PV) estão conectados a um conversor de corrente contínua para corrente alternada e só então a energia é direcionada à distribuição.

Figura 4 – Esquemática do sistema híbrido de geração de eletricidade *grid tie*



Elaborado pelo autor utilizando o *software* HOMER (2017)

Dados informados ao programa

É necessário informar ao HOMER dados iniciais que descrevem o projeto, incluindo o autor, o título e a descrição do projeto. Também pode-se atribuir um local para o projeto no mapa, facilitando o acesso a dados climáticos e de radiação solar, utilizados para elaboração de projeto de energia solar, eólica ou ainda sobre possíveis implicações no uso da biomassa como fonte de energia. Na página inicial também são informados: taxa de desconto, que é a taxa mínima de retorno para um investimento seguro (por exemplo, títulos governamentais), inflação, capacidade anual de armazenamento de energia e o período de avaliação do projeto. Os dados informados nesta etapa estão apresentados na Tabela 3.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Tabela 3 – Dados iniciais informados ao HOMER e coordenadas de localização do projeto

Taxa de desconto (%)	Inflação (%)	Capacidade de armazenamento	Período de avaliação (anos)	Coordenadas geográficas	
8	7	0,00	10,0	28°43'10"	51°58'46"

Foram definidos perfis de carga (Perfil de Carga 1 e 2) idênticos, necessários para simular a demanda elétrica do sistema, ressalta-se que estes dados são fictícios, uma vez que a operadora de energia que atende a região de estudo não forneceu dados sobre a demanda, conforme solicitado oficialmente pelo Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM/UCS).

Dados sobre custos do gerador biogás estão dispostos na Tabela 4. Valores do gerador diesel são apresentados na Tabela 5 e, dos painéis solares e inversor(es), também expressos para uma unidade de energia (kW) estão dispostos na Tabela 6. Todos os custos estão expressos em R\$/kW, ou seja, o custo para instalação de 1 kW de potência.

Tabela 4 – Custos de instalação de 1 kW para gerador a biogás

Capacidade biogás (kW)	Custo por kW	Reposição		O&M	Caixa de busca (kW)		
1	R\$ 3.646,67	R\$ 3.646,67		R\$ 0,75	0	25	55
Carga mínima de acionamento	Vida útil (h)	Custo do combustível (R\$/m ³)		Período mínimo de funcionamento (minutos)			
30 %	87.600	0,057	0,1134	600			

Tabela 5 – Custos de instalação de 1 kW para gerador a diesel

Capacidade diesel (kW)	Custo por kW	Reposição			O&M	Caixa de busca (kW)		
1	R\$ 1.990,00	R\$ 0,00			R\$ 1,74	0	20	40
Carga mínima de acionamento	Vida útil (h)	Custo do combustível (R\$/m ³)			Período mínimo de funcionamento (minutos)	Limite de consumo (L)		
25 %	87.600	2,70	2,85	3,00	180	1.000		

Tabela 6 – Custos de instalação de 1 kW para captação de energia solar

Capacidade por painel (kWp)	Custo por kW	Reposição	O&M/ano	Caixa de busca (kW)*	Vida útil (anos)
0,275	R\$ 5.165,28	R\$ 0,00	R\$ 10,00	0 - 357	25

* Variou-se a quantidade de painéis de 0 (zero) a 1.273 iniciando com 0, 10, 25, 50, 100, 200, ..., 1273

Outros dados referentes a consumo de combustíveis e emissões atmosféricas foram suprimidos devido à limitação de espaço neste artigo.

3 Resultados

Para otimização do SH no que tange “tamanho” de equipamentos, diversas configurações foram avaliadas tendo como parâmetro o menor custo de investimento e a maior taxa de retorno (payback). Em todas as configurações, a TMA (taxa mínima de atratividade) foi mantida constante, baseada em títulos governamentais.

A análise de impactos ambientais teve por base as emissões de gases poluentes, material particulado e hidrocarbonetos de combustão incompleta avaliados para cada configuração de sistema, desde 5 kW a 350 kW de capacidade de captação de energia solar, o que corresponde



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

a aproximadamente 50% da energia gerada pelo sistema. Os resultados destas avaliações estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Variação das emissões atmosféricas como resposta da variação da quantidade de painéis solares

kW energia solar	Emissão CO ₂ (kg/ano)	Emissão CO (kg/ano)	Hidrocarbonetos de combustão incompleta (kg/ano)	Material Particulado (kg/ano)	H ₂ S (kg/ano)	NO _x (kg/ano)	número de painéis
5	-96.922	1.848	205	139	-613	2.845	18
10	-101.102	1.848	205	139	-631	2.476	36
13,75	-130.872	2.140	237	161	-790	2.837	50
27,5	-142.348	2.140	237	161	-840	2.813	100
55	-165.274	2.140	237	161	-939	2.764	200
110	-184.709	1.848	205	139	-993	2.299	400
165	-257.373	2.140	237	161	-1.339	2.570	600
210	-302.983	2.140	237	161	-1.536	2.473	764
275	-349.295	2.140	237	161	-1.737	2.375	1.000
330	-391.474	2.140	237	161	-1.920	2.285	1.200
350	-385.265	1.848	205	139	-1.863	1.873	1.273

De acordo com a Tabela 7, observa-se a redução da emissão de CO₂, H₂S e NO_x em todas as configurações em que é aumentado o número de painéis, enquanto que as emissões de CO, hidrocarbonetos de combustão incompleta e material particulado mantem-se praticamente estáveis. A Figura 5 mostra a variabilidade de emissões em CO₂ (eixo principal) e H₂S (eixo secundário) e, a Figura 6 representa a variabilidade da emissão de CO, hidrocarbonetos de combustão incompleta e material particulado.

Figura 5 – Variação da emissão de CO₂ e H₂S de acordo com o número de painéis

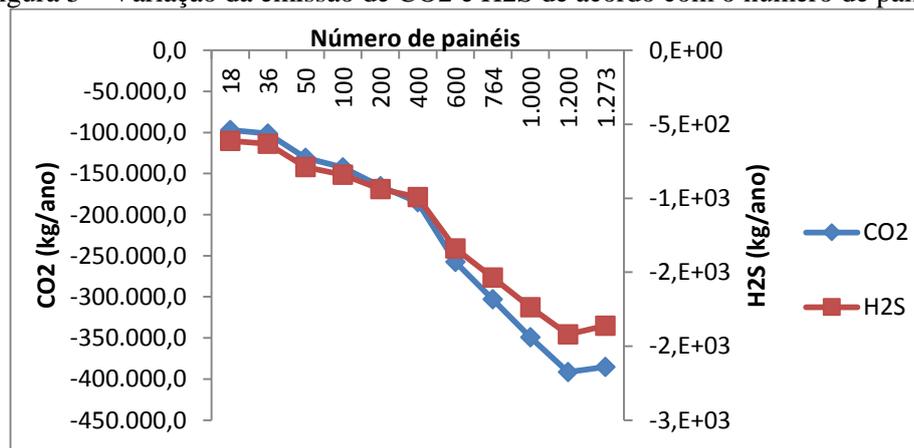
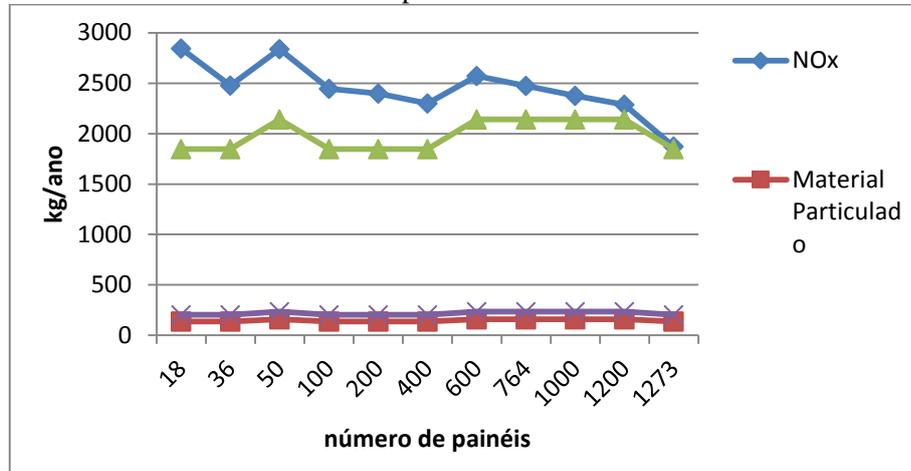




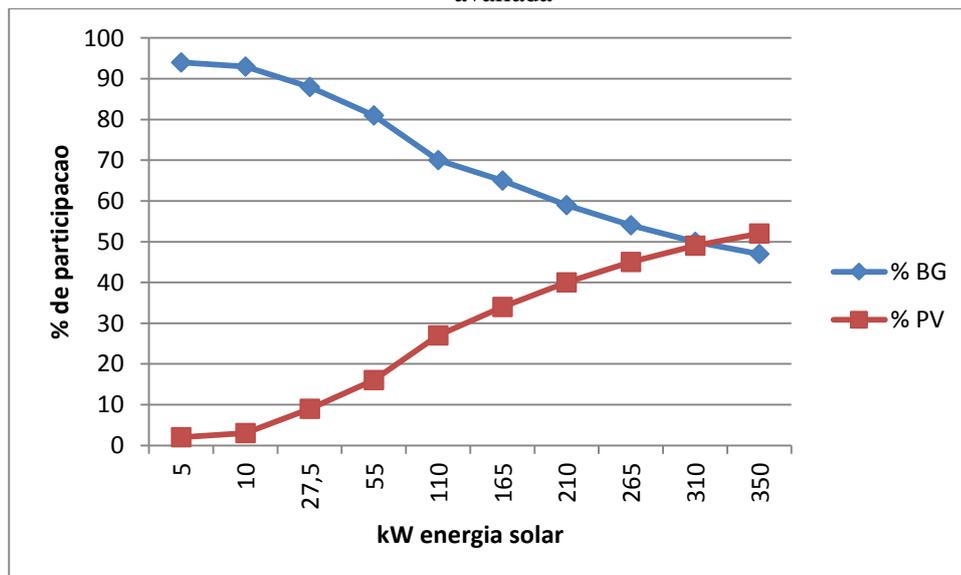
Figura 6 – Variação de emissões de CO, hidrocarbonetos de combustão incompleta e material particulado



De acordo com a Figura 5 a melhor configuração na qual ocorre a redução máxima de emissão de CO₂ e H₂S se dá com 1.200 painéis e, a estrutura do sistema híbrido é composta por: captação de energia solar de 330 kW, gerador a biogás 55 kW e inversor de 275 kW e energia importada da rede em percentual inferior a 1%. A utilização do sistema de captação de energia solar permite a redução de 291.474 kg/ano de CO₂, redução na emissão de H₂S na ordem de 1.920 kg/ano e, a emissão de NO_x é reduzida em 20%. Em estudo semelhante, porém em SH com menor capacidade, Hossain, Barua e Martin (2015), alcançaram a redução de 3.422 t na emissão de CO₂. Também em estudo semelhante, Bhatt, Sharma e Saini (2016) obtiveram redução na emissão de carbono 15,93 t/ano.

O percentual de energia gerada por equipamento do SH proposto é apresentada na Figura 7, onde se excetua a participação da energia proveniente da rede.

Figura 7 – Percentual de participação de energia solar e biogás no sistema para cada configuração avaliada





Nota-se que o percentual de energia proveniente da geração a biogás é decrescente em virtude do incremento de painéis solares, igualando-se quando a capacidade de captação de energia solar é de 330 kW (1.200 painéis).

No que tange emissões atmosféricas e é observado na Tabela 8, há redução de lançamento de gases poluentes na ordem de 136.886 kg/ano de CO₂ e redução de 786 kg/ano de gás sulfídrico (H₂S).

4 Conclusão

Em vista da escassez mundial de energia e dos impactos ambientais associados a utilização de combustível fóssil, o conceito de sistema híbrido com vistas a descentralização e diversificação da matriz energética apresenta-se como uma oportunidade, tanto de fornecimento de energia quanto para mitigação dos impactos ambientais associados. Sistemas híbridos apresentam-se como uma opção viável em diferentes aspectos, em especial no que tange os impactos ambientais, favorecendo a redução de emissão de CO₂, H₂S e NO_x. Neste sentido, o sistema estudado é aplicável na área em questão, ainda que sejam necessários novos estudos, os quais englobem maior demanda por energia, redução da quantidade comprada da rede e até mesmo aumento na disponibilidade energia em ambas fontes geradoras. Da mesma forma, uma abordagem sistemática de considerar a solução de questões relacionadas à entrega (venda) de energia para a rede, no intuito de aumentar a valorização geral, bem como fomentar a indústria a ligada aos sistemas de microgeração de energia.

A análise com o *software* HOMER permitiu simular diversas configurações do sistema do ponto de vista ambiental, frente às possíveis combinações analisadas. A solução encontrada mostra que uma combinação híbrida de geradores de energia pode ser uma alternativa técnica e economicamente viável e ambientalmente mais eficiente, fazendo da sustentabilidade uma estratégia para o desenvolvimento e manutenção da cadeia produtiva.

Referências

APPELS, L. et al. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. **Progress in energy and combustion science**, v. 34, n. 6, p. 755-781, 2008. ISSN 0360-1285.

BAJPAI, P.; DASH, V. Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2926-2939, 2012. ISSN 1364-0321.

BARBOSA, C. F. D. O.; PINHO, J. T.; PEREIRA, E. J. D. S. Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica. **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004.

BHATT, A.; SHARMA, M.; SAINI, R. Feasibility and sensitivity analysis of an off-grid micro hydro–photovoltaic–biomass and biogas–diesel–battery hybrid energy system for a remote area in Uttarakhand state, India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 53-69, 2016. ISSN 1364-0321.

BRASIL. **PROINFA - Programa de incentivo as fontes alternativas de energia elétrica**. MME. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia 2002.



_____. **DECRETO Nº 5.025, DE 30 DE MARÇO DE 2004. Dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA.** Brasília: Ministério de Minas e Energia 2004.

CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 990-997, 2015. ISSN 0100-6916. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162015000600990&nrm=iso >.

CANCELIER, A. et al. Evaluation of biogas production of swine waste using response surface methodology. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 209-217, 2015. ISSN 1413-4152.

DA SILVA, S. S. F. et al. Complementaridade hidro eólica: desafios e perspectivas para o planejamento energético nacional. **HOLOS**, v. 6, p. 32-53, 2015. ISSN 1807-1600.

DE SOUZA, S. N. M. et al. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.

DOS SANTOS, G. M. **Mapas da bacia experimental: arroio Tacongava.** ArcMap 10. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul 2015.

FARHAD, S.; YOO, Y.; HAMDULLAHPUR, F. Effects of fuel processing methods on industrial scale biogas-fuelled solid oxide fuel cell system for operating in wastewater treatment plants. **Journal of Power Sources**, v. 195, n. 5, p. 1446-1453, 2010. ISSN 0378-7753.

GALÁN, E. M. **Renewable energy Policy Network for the 21st century. Energias Renováveis 2016, Relatório da Situação Mundial 2016**

HOSSAIN, M. M.; BARUA, S.; MATIN, M. A pre-feasibility study for electrification in Nijhum Dwip using hybrid renewable technology. *Electrical & Electronic Engineering (ICEEE), 2015 International Conference on, 2015.* IEEE. p.225-228.

HUSSAIN, A.; ARIF, S. M.; ASLAM, M. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 12-28, 2017. ISSN 1364-0321.

LIU, G. et al. Feasibility study of stand-alone PV-wind-biomass hybrid energy system in Australia. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, 2011.* IEEE. p.1-6.

RAHEEM, A. et al. Economic feasibility of stand-alone wind energy hybrid with bioenergy from anaerobic digestion for electrification of remote area of Pakistan. **International Journal of Integrated Engineering**, v. 6, n. 3, 2015. ISSN 2229-838X.

SANTANA, É. J. **Polos de aglomeração produtiva de milho, aves e suínos em Mato Grosso.** 2010. 108 p. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.



SCHNEIDER, R. M. et al. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó-[doi: 10.4025/actascitechnol. v33i3. 8385](https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i3.8385). **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011. ISSN 1807-8664.

SCHNEIDER, V. E.; ZANONI, N.; CARRA, S. H. Z. **Clusters formation of potential assessment for swine manure treatment and biogas generation in an experimental watershed in Rio Grande do Sul/Brazil**. 8th International Conference on Waste Management. Valencia: Wessex Institute 2016.

SOUZA, C. D. F. et al. Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 219-224, 2008. ISSN 1413-7054. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000100032&nrm=iso>.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE 2016.

VIVAN, M. et al. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 320-325, 2010. ISSN 1415-4366. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000300013&nrm=iso>.

ZANONI, N. et al. **Formação de clusters para tratamento de dejetos suínos e geração de energia em uma bacia experimental** Foz do Iguaçu: SIGERA 2017.