

Desenvolvimento de Modelo para Gestão Integrada de Recursos e Soluções Energéticas em Sistemas Isolados

Adriano G. Lira, Guilherme C. G. Lima, Paulo H. R. P. Gama, Sérgio P. R. da Silva, Ronan N. Dias, Wagner R. Lima, Juliana D. B. C. Dias, Fabíola R. da Silva

Resumo – Este trabalho apresenta um Modelo para Gestão Integrada de Recursos e Soluções Energéticas em Sistemas Isolados de forma a contribuir para uma sustentabilidade de processo de geração de energia. A concepção do modelo é definir os insumos energéticos disponíveis no sistema isolado, obtido a partir de um mapeamento local, e posteriormente avaliar as rotas tecnológicas mais adequadas à região e que são comercialmente viáveis, a partir disso é definido a melhor tecnologia a ser utilizada através de uma análise de viabilidade técnico-econômica para posteriormente se avaliar o uso integrado dos recursos energéticos existente no local. Utilizou-se como estudo de implantação do modelo a Ilha de Fernando de Noronha, que é atualmente um dos cartões postais do Brasil submetida a regras ambientalmente rígidas. Escolheu-se uma opção tecnológica a ser estudada então foi instalado na ilha um biodigestor piloto.

Palavras-chave – Biodigestor, Fernando de Noronha, Sistema Isolado, Planejamento Integrado de Recursos.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um Modelo Integrado de Gestão Energética, em sistemas isolados, pode permitir a diminuição do consumo de diesel, o aproveitamento de resíduos de efluentes e lixo e um melhor aproveitamento da água, visando uma maior sustentabilidade em geração de energia. Dentre os objetivos propostos inclui-se também a execução de um projeto demonstrativo de biodigestão como possível solução energética na ilha de Fernando de Noronha.

O projeto *Desenvolvimento de Modelo para Gestão Integrada de Recursos e Soluções Energéticas em Sistemas Iso-*

lados, código ANEEL 2890-005/2007, está sendo desenvolvido pelo Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação – CGTI, B&G Pesquisa e Desenvolvimento em Sistemas Elétricos e a Universidade de Pernambuco, dentro dos Ciclos 2006/2007 e 2007/2008 do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Termoper-nambuco S.A. aprovado pela ANEEL.

II. CONTEXTUALIZAÇÃO

Um grande desafio para o fornecimento de energia a consumidores em sistemas isolados está na viabilidade do atendimento. Na maioria dos casos a solução tradicionalmente adotada para o atendimento é a geração através de motores diesel. Este modelo se justifica pelo fato de que a tecnologia de geração a diesel está consolidada no país e a existência e facilidade na aquisição do combustível contribuem para que este modelo seja amplamente adotado.

Outro grande motivador para que as empresas de energia atendam os seus sistemas isolados está no fato de que elas recebem recursos da chamada CCC - Conta de Consumo de Combustíveis para custear as despesas com essa geração de energia. Desta forma torna-se facilitado o atendimento a sistemas isolados, de maneira que a empresa fornecedora de energia precisa apenas se preocupar com a manutenção e operação do sistema, o que em muitas vezes é terceirizado.

III. A ILHA DE FERNANDO DE NORONHA

A ilha de Fernando de Noronha é um dos sistemas isolados mais conhecidos do Brasil e o fornecimento de energia elétrica para a Ilha é feito através de um sistema de geração com motores diesel com capacidade instalada em torno de 4200 kW. O grupo gerador atende principalmente a empresa Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) que é responsável pelo fornecimento de água potável em toda a Ilha. Hoje, a maior parte do consumo de energia é gasto com a produção de água do dessalinizador marinho e do bombeamento do açude do Xaréu. O restante do consumo se diversifica entre as pousadas, residências e outros estabelecimentos existentes.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica da Termoper-nambuco S.A. regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Adriano G. Lira e Guilherme C. G. Lima trabalham no CGTI (e-mails: adriano@buenomak.com.br e guilherme@buenomak.com.br)

Paulo H. R. P. Gama, coordenador do projeto, trabalha na B&G Pesquisas e Desenvolvimento em Sistemas Elétricos Ltda (e-mail: paulogama@bgpesquisa.com.br)

Sérgio P. R. da Silva trabalha na Universidade de Pernambuco – UPE (e-mail: speres@upe.poli.br)

Ronan N. Dias, Wagner R. D. Lima, Juliana D. B. C. Dias e Fabíola R. da Silva, trabalham na Termoper-nambuco (e-mails: ronan.dias@termope.com.br, wlima@termope.com.br, jdias@termope.com.br, Fabiola.start@termope.com.br)



Figura 1. Usina Tubarão -Termoelétrica- Fernando de Noronha

O combustível que abastece a Usina Termelétrica, com consumo mensal aproximadamente 270.000 litros, é transportado através de uma logística complicada, realizada por embarcação, também movida a óleo diesel.

Os cinco maiores consumidores de energia, são:

- Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA);
- Administração do Distrito Estadual de Fernando de Noronha;
- Comando da Aeronáutica;
- Pousada Zé Maria; e
- Pousada Maravilha

Hoje, por causa principalmente da usina termelétrica, a emissão per capita de gás carbônico na ilha, responsável pelo efeito estufa, é de 50,3 toneladas por ano, montante superior ao emitido pelos americanos.

Os índices de emissões de CO2 per capita em Noronha estão maiores do que países ricos, abaixo de algumas ilhas ou países em situação de dependência extrema de combustíveis fósseis [10].

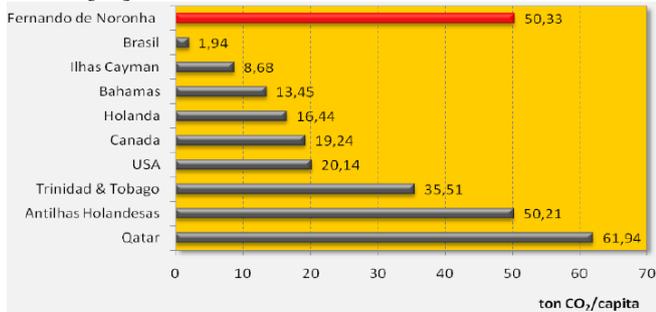


Figura 2. Comparativo de emissão de CO2 per capita entre países e Fernando de Noronha

Atualmente a geração de energia elétrica totalmente dependente de combustíveis fósseis, não existe geração de energia de fonte renovável.

Havia na ilha uma turbina eólica com capacidade de 225 KVA e respondendo a cerca de 10% da oferta de energia, mas um raio atingiu a torre e destruiu uma das pás e o gerador da turbina.



Figura 3. Turbina eólica danificada pelo raio

Neste projeto busca-se desenvolver um Modelo de Integrado de Gestão Energética usando a Ilha de Fernando de Noronha como estudo de caso. O grande diferencial da Ilha com relação a outros sistemas isolados é que os critérios ambientais são extremamente rigorosos, conforme Figura 4, de maneira que o modelo desenvolvido e as soluções energéticas encontradas deverão apresentar um alto benefício ambiental.

A Figura 4 apresenta o mapa da ilha dividido por zonas, onde é possível verificar a forte restrição ambiental.

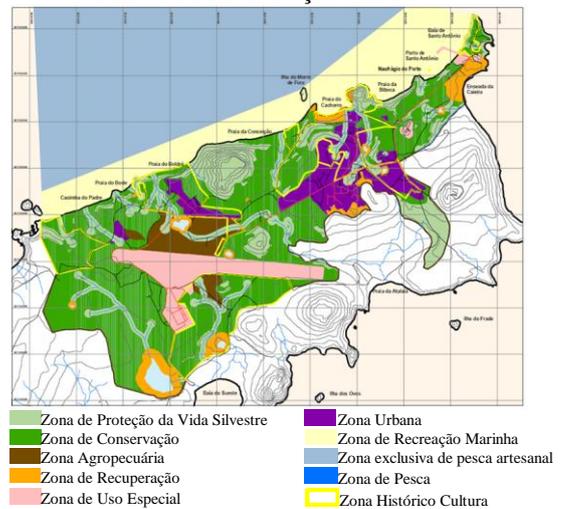


Figura 4. Mapa da ilha dividido por zonas- Fonte ICMBio

IV. O MODELO DESENVOLVIDO

Sistemas integrados de energia são normalmente caracterizados pela utilização conjunta e otimizada dos recursos energéticos renováveis disponíveis em determinada localidade. Muitas vezes o atendimento energético de um sistema isolado é feito de forma centralizada e utilizando um único insumo energético, não avaliando os benefícios que traria a utilização integrada dos vários recursos energéticos disponíveis no local.

No modelo é apresentado às opções de geração descentralizada por meio de tecnologias renováveis, avaliando o uso de tecnologias de geração de energia a partir da energia solar fotovoltaica, eólica, biogás como também a captação de água de chuva e o aquecimento solar.

A concepção do modelo foi definir os insumos energéticos disponíveis no sistema isolado, obtido a partir de um mapeamento local, e posteriormente avaliar as rotas tecnológicas mais adequadas à região e que são comercialmente viáveis, a partir disso foi definido a melhor tecnologia a ser utilizada através de uma análise de viabilidade técnico-econômica para posteriormente se avaliou o uso integrado dos recursos energéticos existente no local.



V. MAPEAMENTO LOCAL

O mapeamento local é o primeiro passo para a aplicação do modelo desenvolvido. Esta etapa contempla o levantamento quali-quantitativo das características do sistema isolado. Devem ser levantados o número de residências e estabelecimentos a fim de qualificar os tipos de efluentes e quantificá-los, assim como o consumo de água e energia. As áreas dos telhados devem ser medidas ou estimada de forma a se calcular o potencial de obtenção de água de chuva.

VI. OPÇÕES TECNOLÓGICAS

Com os resultados do mapeamento local torna-se possível estudar quais os potenciais energéticos existentes ou passíveis de serem construídos no sistema isolado.

Foi desenvolvida uma planilha em Excel como forma de auxiliar o planejamento integrado de recursos. A seguir são apresentadas algumas das variáveis contidas na planilha como também as diretrizes do desenvolvimento do Modelo de Gestão Integrada de Oportunidades Energética, utilizando recursos energéticos disponíveis no local (sol, vento, biomassa, etc.) de maneira integrada e descentralizada.

A. Aproveitamento de Água da Chuva e Dimensionamento de Reservatório

Dentre as ações de gestão ambiental adotadas, a utilização da água de chuva, para fins não potáveis, tem sido impulsionada em todo o mundo em razão da crescente dificuldade de atendimento a uma demanda cada vez maior de água para o abastecimento público e da escassez cada vez maior de mananciais próximos ou de qualidade adequada para o abastecimento, após o tratamento convencional da água.

A planilha desenvolvida utilizou o Método de Rippl para o dimensionamento do reservatório de água de chuva. Esta metodologia apresenta os seguintes dados de entrada e saída.

Dados de entrada:

- Precipitações mensais em mm, de preferência médias históricas de dez ou mais anos;
- Área de captação em m²;
- Demanda mensal de água em m³;
- Coeficiente de escoamento superficial (C);
- Eficiência do sistema de captação (η).

O coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de runoff representa a relação entre o volume total escoado e o volume total precipitado variando conforme a superfície.

A eficiência do sistema de captação refere-se à eficiência dos equipamentos colocados antes do reservatório, isto é, filtros, equipamentos para retirada do escoamento inicial, etc.

Dados de Saída

- Volume de chuva aproveitável em m³;
- Volume acumulado de chuva em m³,
- Volume do reservatório.

O volume de água de chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, sendo calculado pela seguinte equação:

$$V = P \cdot A \cdot C \cdot \eta \quad (1)$$

Onde:

- V = Volume mensal de água de chuva aproveitável, em m³;
- P = Precipitação média mensal, em mm;
- A = Área de coleta, em m²;
- C = Coeficiente de escoamento superficial;
- η = Eficiência do sistema de captação.

A variação do coeficiente de escoamento superficial pode ser visto na tabela I

Tabela I. Coeficiente de escoamento ou Runoff

Material	C
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico, pvc	0,9 a 0,95

O volume acumulado de água de chuva é dado por:

$$S(t) = D(t) - V(t) \quad (2)$$

Onde:

- S(t) = Volume de água no reservatório no tempo t;
- V(t) = Volume de chuva aproveitável no tempo t;
- D(t) = Demanda ou consumo no tempo t;

O volume do reservatório é dado por:

$$V_R = \sum S(t) \quad (3)$$

Somente para valores de $S(t) > 0$

$$\text{Sendo que: } \sum D(t) < \sum V(t) \quad (4)$$

B. Tratamento Estatístico dos dados de Vento e Estimativa da Energia Elétrica Produzida

O vento tem uma característica estocástica e sua velocidade é uma variável aleatória contínua. A distribuição da velocidade do vento pode ser representada por uma função de densidade de probabilidade. A função de densidade de probabilidade mais adequada à distribuição do vento é a função de Weibull.

A partir das informações estatísticas resultantes da análise do vento em um dado local e da curva característica de tur-

binas eólicas, a planilha avalia a provável energia elétrica obtida ao empregar determinado aerogerador.

Dados de Entrada:

- Velocidade de vento (m/s) no período de um ano e em intervalos de 10 minutos;
- Altura da medição;
- Curva de potencia do aerogerador;
- Altura do aerogerador.

Dados de Saída:

- Cálculo dos parâmetros de Weibull;
- Histograma da velocidade dos ventos
- Perfil mensal de vento
- Energia elétrica produzida.

A velocidade do vento varia com a distância do solo, devido à camada limite terrestre, sendo afetada pelos obstáculos que cercam o ponto considerado e pelo perfil do terreno nas imediações.

Caso a altura de medição do vento seja diferente da altura do aerogerador que será utilizado, então a planilha realiza uma correção de velocidade do vento com a altura de acordo com a relação a seguir:

$$v = v_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^n \tag{5}$$

Onde:

v = Velocidade corrigida do vento na altura da turbina [m/s];

v_0 = Velocidade do vento medida pelo anemômetro [m/s];

h = Altura da turbina [m];

h_0 = Altura do anemômetro [m];

Valores de referência de n são mostrados na tabela II

Tabela II. Valores de Referência de n

Tipos de Terreno	n
Liso (mar, areia plana, neve plana)	0,10 – 0,13
Moderadamente rugoso (pastagem curta, campos de cereais, regiões rurais despovoadas)	0,13 – 0,2
Rugoso (bosque, bairros)	0,2 – 0,27
Muito rugoso (cidade, edifícios altos)	0,27 – 0,40

É importante observar que a aproximação do perfil de velocidade vertical do vento através da equação 5 leva em consideração apenas a influência da rugosidade no perfil de velocidade, negligenciando o efeito da estratificação térmica da atmosfera e, portanto, desvios significativos podem ocorrer em relação ao perfil de velocidade real da atmosfera.

Após a inserção dos dados de vento a planilha realiza o tratamento estatístico destes, de forma a proceder-se à análise dos dados para estimativas do comportamento dos ventos, calculando a velocidade média, realizando distribuições da velocidade média do vento em classes de 1 m/s, construindo histogramas de velocidades e calculando os parâmetros da função de Weibull.

O histograma representa, graficamente, a frequência de cada velocidade com base nos dados amostrais colhidos. É apresentado em forma de barras, as quais representam a ocorrência de um intervalo de velocidades em células e per-

mite descrever o comportamento dos mesmos, quanto à sua tendência central, forma e dispersão.

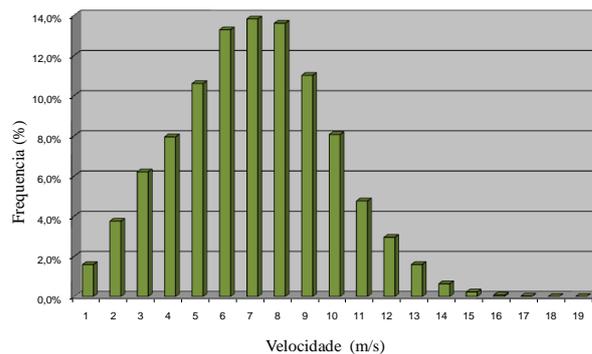


Figura 5. Exemplo de histograma de velocidade do vento

O histograma é uma função discreta e sua aplicação para modelagem do problema é pouco adequada para simular (ou estimar) a energia disponível e a energia gerada pelos possíveis equipamentos, é conveniente obter uma função contínua de distribuição das frequências com que ocorre cada faixa de velocidades do vento.

Dessa maneira a ferramenta desenvolvida utiliza a função de distribuição de frequência de Weibull para estudo de ventos e estimativa da energia elétrica gerada.

A função Weibull é a distribuição contínua que usualmente mais se aproxima à distribuição discreta representada nos histogramas de velocidade, porque tem maior precisão na descrição das circunstâncias do vento é a empregada nos trabalhos de avaliação de potenciais eólicos.

A função de Weibull leva em conta o desvio padrão dos dados coletados, este é um importante parâmetro estatístico, pois introduz uma informação acerca das incertezas com que podem ocorrer as velocidades previstas a partir dos dados coletados no período.

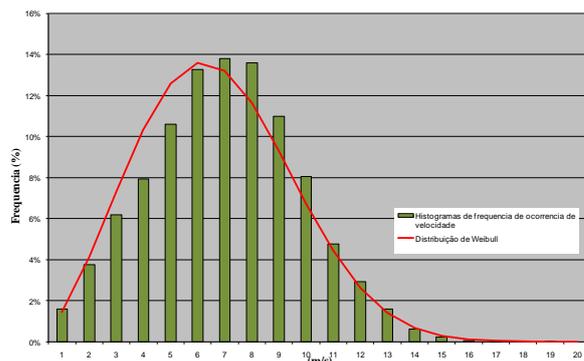


Figura 6. Distribuição de Weibull x Histograma de frequência de ocorrência de velocidade

A expressão matemática da função densidade de probabilidade de Weibull – $f(u)$ – é:

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c} \right)^{k-1} \exp \left\{ - \left[\left(\frac{u}{c} \right)^k \right] \right\} \tag{6}$$

Onde:

\bar{u} = Velocidade média do vento;

k = Parâmetro ou fator de forma da distribuição dos ventos, é adimensional;

c = Parâmetro ou fator de escala, dado em m/s

O método utilizado na planilha para calcular os parâmetros k e c envolve uma regressão linear e não são objetivos do escopo deste artigo.

A partir do cálculo dos parâmetros da distribuição de Weibull, a planilha tem condições de proceder a compatibilização dos dados da velocidade do vento com a curva de potência de vários aerogeradores. Desta forma, é possível conseguir um prognóstico da energia gerada, considerando altura da torre desejada, permitindo até desenvolver uma análise comparativa do desempenho de diversas máquinas

C. Dimensionamento de Sistema de Aquecimento Solar.

Para dimensionar um sistema de aquecimento solar, vários fatores devem ser considerados, tais como a radiação solar média do local de instalação, a temperatura ambiente, os hábitos regionais, o número de pontos de consumo, a orientação dos painéis e a incidência de sombras.

Na planilha as variáveis relacionadas ao dimensionamento de sistema de aquecimento solar são:

Dados de Entrada:

- Demanda de água quente;
- Intensidade da radiação solar (kWh/m² mês).
- Rendimento dos coletores.

Dados de Saída:

- Área coletora

A planilha auxiliar no levantamento da demanda por água quente. A fórmula de dimensionamento, por ponto, com base na vazão e capacidade dos equipamentos de uso final, além do tempo e frequência de sua utilização é apresentada a seguir.

$$V_{dia/ponto} = (N_{us} * Q_{ut} * t_{ut} * N_{ut} * u)_{ponto} \quad (7)$$

Onde:

$V_{dia/ponto}$: Volume total diário dimensionado por ponto (litros);

N_{us} : Número de usuários;

Q_{ut} : Vazão no ponto de utilização (litros/segundo);

t_{ut} : Tempo de uso do ponto (segundo);

N_{ut} : Número de utilizações diárias;

u : Taxa de ocupação (%).

A taxa de ocupação (u) é um parâmetro relevante no caso de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar em locais onde há a ocupação sazonal como é o caso de hotéis e pousadas.

O volume total diário consumido é calculado a partir da soma do volume dimensionado para cada ponto:

$$V_{dia} = \sum_{n=i} V_{dia/ponto} \quad (8)$$

O volume mensal é calculado a partir da soma de todos os valores diários.

$$V_{mês} = \sum_{n=1} V_{dia} \quad (9)$$

De modo a torna mais simples o dimensionamento do volume de água quente a ser utilizado num determinado local, a planilha desenvolvida também permite calcular a quantidade de água quente necessária por dia levando em consideração o número de usuários e o tipo de atividade envolvendo água quente.

Após levantar a demanda de água quente é preciso dimensionar a demanda energética para atendê-la. A energia necessária para atender o volume de água quente calculado é dada por:

$$L_{mês} = \rho \frac{V_{mês} \cdot C_p \cdot (T_{banho} - T_{ambiente})}{1000 \cdot 3600} \quad \text{[Wh/mês]} \quad (10)$$

$L_{mês}$: Energia necessária para aquecer o volume de água ao final;

ρ : Massa específica da água, considerada 1000 (kg/m³);

$V_{mês}$: Volume de água quente requerido por mês (litros);

C_p : Calor específico a pressão constant da água, 4,18 (kJ/kg°C);

T_{banho} : Temperatura da água quente (°C);

$T_{ambiente}$: Temperatura ambiente local (°C);

O calculo da área coletora é dado por:

$$\text{Área Coletora} = \frac{\text{Demanda Energética (kWh/mês)}}{\text{Produção Específica do Coletor Solar (kWh/m²)}} \quad (11)$$

Onde:

Produção específica de energia do coletor = $I * R$ (12)

Sabendo que:

I = Intensidade da radiação solar (kWh/m² mês);

R = Rendimento dos coletores;

Em um projeto de aquecimento solar é importante levantar as condições de instalação. É preciso verificar se há espaço disponível para a instalação do sistema de aquecimento solar e se o local de instalação possui resistência estrutural compatível. Também é preciso analisar se haverá sombreamento nos coletores solares, se há circuito hidráulico de água quente e qual o tipo de aquecimento auxiliar pretendido. Essas informações são essenciais para o sucesso da instalação do sistema de aquecimento solar.

D. Produção de Biogás

Mesmo se a quantidade de produção de biogás não seja suficiente para atender a toda a demanda local, o uso de bio-

digestores é uma possível solução para o problema da destinação dos resíduos sólidos.

Além das contribuições para o meio ambiente, a difusão de biodigestores possibilita usar o biogás como energético em cocção ou em acionamento de máquinas à explosão.

Na planilha desenvolvida os dados de entrada e saída são:

Dados de Entrada:

- Número de suínos, bovinos e caprinos;
- Volume de lixo orgânico;
- Quantidade de esgoto.

Dados de Saída:

- Volume de biogás produzido;
- Energia elétrica disponível.

A produção de biogás a partir de dejetos animais depende do tipo de animal, da idade, da alimentação, da época do ano, do método de armazenamento do esterco empregado etc.

Para os suínos adotou-se que cada matriz suína produz cerca de 2,25 kg de esterco por dia, que pode ser aproveitado para a produção de biogás e que para a geração de 1 m³ de biogás são necessários cerca de 12 kg de dejetos suínos. Então para os dejetos suínos temos uma relação de produção de biogás de **0,18 m³/animal/dia**.

Para os bovinos adotou-se que cada matriz bovina produz cerca de 20 kg de esterco por dia e que para geração de 1m³ de biogás são necessários cerca de 25 kg de dejetos bovinos. Então para os dejetos bovinos temos uma relação de produção de biogás de 0,8 m³/animal/dia.

Para os caprinos adotou-se que cada matriz produza, somente preso a noite, cerca de 0,5 kg de esterco por dia e que para geração de 1m³ de biogás são necessários cerca de 17 kg de dejetos de caprinos. Então para os dejetos bovinos temos uma relação de produção de biogás de 0,03 m³/animal/dia

A planilha também apresenta o volume de água necessário que ser que deve ser diluído o esterco de acordo com as proporções a seguir:

Tabela 1 – Quantidade de água de diluição

Tipo de esterco	Volume de água para diluição
1 kg de esterco bovino	1 litro
1 Kg de esterco suíno	1,3 litros
1 kg de esterco caprino	4 a 5 litros

A quantidade de água adicionada para o esterco caprino/ovino é maior, devido ao teor mais alto de matéria seca.

Embora a produção de biogás a partir do lixo orgânico dependa do tipo de resíduo utilizado, pode-se concluir, segundo [11], que para produzir **1m³ de biogás é necessário consumir cerca de 13,23 kg de lixo orgânico**.

Caso a informação referente ao quantitativo de lixo orgânico não esteja disponível, a planilha elaborada pode estimar a produção de lixo orgânico partindo do numero de pessoas. De acordo com o Instituto Akatu cada brasileiro produz, em média, 0,7 quilos de lixo por dia. Desse total, 20 a 40 %

representam o desperdício de comida, dessa maneira adotou-se um valor médio **0,2 kg/dia/pessoa** de lixo orgânico produzido.

Para estimar a quantidade de esgoto produzido foi utilizado o valor de referência adotado pelas concessionárias de águas e esgotos do Brasil, de produção de **0,18 m³ de esgoto produzido por dia e por habitante**.

Usando a relação de conversibilidade proposta por [13] de **0,07361 m³ de biogás a cada m³ de esgoto tratado**. Significa dizer que 76 pessoas produzem esgoto suficiente para gerar 1m³ de biogás.

Para estimar a produção de energia elétrica a partir do biogás, adotou-se a conversão de:

$$1\text{m}^3 \text{ de biogás} \rightarrow 1,43 \text{ kWh}$$

Como o biogás pode ser utilizado tanto para geração de energia, como para produção de calor ou até mesmo para a utilização como gás de cozinha, a planilha permite que o usuário avalie a escolha da utilização final do biogás de acordo com seu interesse.

E. Outras Variáveis

O modelo poderá contemplar outras opções tecnológicas como motor stirling, célula a combustível dentre outras fontes renováveis de energia.

VII. TECNOLOGIAS ADOTADAS

Após o mapeamento local e levantando o potencial energético de cada insumo disponível no sistema isolado, é feita uma análise técnico-econômica das melhores tecnologias a serem utilizadas e então se avalia a utilização destes recursos de forma integrada, visando o aproveitamento otimizado dos recursos energéticos disponíveis e economicamente viáveis.

VIII. BIODIGESTOR PILOTO

Durante o mapeamento e o estudo das oportunidades energéticas disponíveis em Fernando de Noronha, verificou-se, entre outros insumos, que existe na ilha um enorme potencial para obtenção de biogás e biofertilizante através do uso de biodigestores.

Existe uma usina de compostagem na ilha que realiza a separação do lixo em orgânico e inorgânico. A parte inorgânica é destinada ao continente e o material orgânico é deixado na ilha e colocado em leira para realizarem a compostagem.



Figura 7. Matéria Orgânica na Usina de Compostagem

Na ilha de Fernando de Noronha o biogás obtido com o uso de biodigestores pode ser uma opção mais econômica para cozimento uma vez que o gás de cozinha convencional possui elevado custo devido ao fato de precisar ser levado do continente. A produção de biogás pode ser uma opção favorável também para a geração de energia elétrica, a partir da utilização de motores que funcionam a biogás, os quais são acoplados aos geradores elétricos. A utilização de biodigestores também produz fertilizantes que podem ser utilizados pela comunidade da ilha.

Dentro das atividades deste projeto de pesquisa está a implantação de um biodigestor piloto.

Este sistema demonstrativo permitirá mostrar aos moradores da Ilha que a gestão energética integrada deve ser difundida e utilizada nos locais apropriados. Com ele será possível convencer os moradores e o órgão ambiental sobre a importância do sistema integrado de gestão energética da ilha, onde a contribuição de cada unidade consumidora torna-se fundamental para a manutenção do sistema.

Foram levantados, na ilha de Fernando de Noronha, alguns possíveis lugares capazes de receber o projeto do biodigestor e foi verificado o grande potencial da pousada Zé Maria.

Além da quantidade considerável de matéria orgânica encontrada no lixo, esta pousada apresentada equipe capacitada para manter o bom funcionamento do biodigestor, além já desenvolver atividades ambientalmente corretas, como por exemplo, o gerenciamento dos resíduos sólidos.

O biodigestor e o gasômetro levados para a ilha de Fernando de Noronha estão apresentados na Figura 8.



Figura 8. Biodigestor e Gasômetro levados para Noronha

No interior do biodigestor há uma divisória que tem a finalidade de garantir o tempo de retenção da matéria orgânica coloca no biodigestor.



Figura 9. Divisória localizada no fundo do biodigestor para garantir o tempo de retenção

Juntamente com o biodigestor foi montado um sistema de aquisição de dados com sensores de temperatura e vazão de biogás para que o funcionamento do biodigestor seja todo monitorado, gerando dados reais do desempenho do sistema.

Os resultados deste projeto demonstrativo como eficiência, qualidade, custo e outros itens será de fundamental importância para que o modelo possa ser aplicado considerando informações reais.

IX. CONCLUSÕES

O Modelo de Gestão Integrada de Recursos Energéticos desenvolvido neste trabalho pode ser aplicado em qualquer sistema isolado. Diferentemente do que ocorre atualmente em sistemas isolados onde a primeira idéia é solucionar pontualmente cada problema, o modelo permite que as soluções possam ser pensadas e implantadas de forma integrada, podendo maximizar os recursos energéticos existentes na região.

X. AGRADECIMENTOS

A equipe executora deste projeto agradece aos profissionais da Pousada Zé Maria, localizada na Ilha Fernando de Noronha, pela disponibilização de local para implantação do sistema piloto.

XI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Periódicos:

- S. Ashok, "Optimised model for community-based hybrid energy system", *Renewable Energy* 32 (2007) 1155–1164;
- [1] T. Nakata, K. Kubo and A., Lamont, "Design for renewable energy systems with application to rural areas in Japan. *Energy Policy*, Great Britain, v.33, n.2, p.209-19, 2005.
 - [2] D. Cartes, J. Ordóñez, J. Harrington, D.I Cox, and R. Meeker, "Novel Integrated Energy Systems and Control Methods with Economic Analysis for Integrated Community Based Energy Systems" IEEE

Livros:

- [3] G. M Jannuzzi e J. N. Swisher, "Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis", Editora Autores Associados, 1997 Campinas SP.
- [4] R. S. Custódio, "Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica", Eletrobrás 2009.
- R. M. G. Castro, "Energias Renováveis e Produção Descentralizada - Introdução a energia eólica", DEEC / Área Científica de Energia, Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

Relatórios Técnicos:

- [5] L. C. Cardoso, "Dimensionamento de Sistemas de Aquecimento Solar", ABRAVA, 2008.
- [6] S. V. Amorim e D. J. A. Pereira "Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial", *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun. 2008.
- [7] P. A. C. Rosas, *Práticas Recomendadas Para Turbinas Eólicas - Estimando custos de geração de energia a partir de conversores eólicos*, Documento Traduzido, Universidade Federal de Pernambuco, 2004.
- [8] Estudo e Determinação da Capacidade de Suporte e seus Indicadores de Sustentabilidade com Vistas à Implantação do Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Arquipélago de Fernando de Noronha. ICMBio, 2008.

- [9] K. VIJAYARAGHAVAN, A. R. M. SHARIFF, A. M. M. S. MOHD, “Conversão do lixo urbano em energia por meio da digestão anaeróbia”. Revista Agricultura Urbana, n. 10, 2003.

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

- [10] C. E. C. Nogueira and H.S H. Zürn, “Modelo de Dimensionamento Otimizado para Sistemas Energéticos Renováveis em Ambientes Rurais”, Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.2, p.341-348, maio/ago. 2005
- [11] S. T. COELHO, S. M. S. G. VELÁZQUEZ, V. PECORA, F. C. ABREU, “Geração de Energia Elétrica A Partir Do Biogás Proveniente Do Tratamento De Esgoto”. XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE), 2006.

Dissertações e Teses:

- [12] I. L. A. Trigo “The Impact of Energy Efficiency Solutions and Renewable Electricity Generation in Three Rural Communities in Scotland.” MSc Energy Systems and the Environment. Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, 2007.
- [13] J. C. Brondoni “Biodigestor e Biogás: Balanço Energético, Possibilidade de Utilização e Mitigação do Efeito Estufa”, Dissertação de Mestrado, Dep. de Engenharia de Produção, Univ. Federal de Santa Maria, 2010.
- [14] A. G. L. Souza, “Desenvolvimento de software para projeto de sistemas centralizados de aquecimento solar de água.”, Dissertação de Mestrado, Dep. De Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2019

Normas:

- [15] ABNT NBR 15527, Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas – Diretrizes, 2007

Site:

- [16] <http://www.akatu.org.br>