CONEM 2022
CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
TERESINA - PI

ABCM

XI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
DE 07 A 11 DE AGOSTO DE 2022, TERESINA-PI, BRASIL

DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA HÍBRIDA EM RESIDÊNCIAS: UMA ALTERNATIVA PARA COMUNIDADES AFASTADAS NA REGIÃO AMAZÔNICA

Vera Carlice Lopes Pereira dos Reis, veracarlicedosreis@gmail.com[1]
Ana Paula Mattos, anapmattos@ufpa.br[2]
Lucas Antonio Silva Costa, lucas.costa@ananindeua.ufpa.br[3]

[1,2] Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01- Guama. CEP 66075-110. Belém – Pará – Brasil
[3] Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará-UFPA

Resumo: A utilização de energia solar ou sistemas híbridos, solar e eólica, solar e biogás, dentre outros, para geração de eletricidade vem progressivamente se apresentando como uma alternativa economicamente viável. Sobretudo no meio rural ou regiões isoladas, onde os custos para instalação de sistemas convencionais são relativamente altos, e ainda se tem a problemática de transmissão em determinadas regiões demasiadamente isoladas. Nas comunidades afastadas na região amazônica a geração é por meio de geradores a diesel, tornando a logística de fornecimento deste combustível bem complexa para atender as inúmeras comunidades, a um custo muito alto e com serviços de baixa qualidade. O desenvolvimento sustentável é uma necessidade, e a partir dos mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) tem aumentado de forma de se obter bioenergia no Brasil. Neste mesmo caminho a ONU determinou alguns objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), os quais auxiliam projetos que possam: assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos (ODS 7), e tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis (ODS 11). Mediante ao exposto o objetivo deste artigo é propor um projeto de geração solar ou híbrida: solar e biogás, analisou-se uma comunidade no estado Pará. O projeto visa projetar um sistema que possa suprir as necessidades desta comunidade, ampliando a microgeração distribuída proveniente de fontes renováveis. Estimou-se uma quantidade de energia necessária de 540 kWh/mês para cada residência, baseada em eletrodomésticos residenciais. Mediante este valor selecionou-se 7 módulos fotovoltaicos de potência 0,285KWh cada. A estimativa da geração de biogás é realizada utilizando um reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA), utilizando a metodologia do Chenicharo. O volume gerado de biogás proveniente do esgoto e de resíduos orgânicos da Vila Palheta é de 481 m^3. O qual proporciona a capacidade de produzir 745KWh/mês de energia elétrica, permitindo o abastecimento de 4 a 5 casas, ou ainda a produção de 44 botijões de 13 Kg de biogás por mês. Desta maneira almeja-se contribuir para o desenvolvimento sustentável na região amazônica, proporcionando a ampliação da bioenergia e aumentando lugares de geração de energia descentralizada. Estes sistemas: solar e híbrido, podem reduzir os custos de geração e aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia para esta região.

Palavras-chave: *Energia Híbrida, Energia Solar, Biogás, Amazônia, Energias Renováveis*.

1. INTRODUÇÃO

A região Amazônica configura um grande exportador de energia elétrica, majoritariamente hídrica, para o resto do país, no entanto, na própria região, o fornecimento de eletricidade para a sua população é extremamente precário, principalmente nos sistemas isolados. Os custos de geração elétrica nos sistemas isolados estão entre os mais altos do país, muito em função do custo do combustível e do seu transporte (da Cunha, Soares, e da Silva 2018).

A Lei 12.111/2009 dispõe sobre o fornecimento de eletricidade nos sistemas isolados e mostra de forma clara que o acesso à energia é um direito de qualquer pessoa que queira obter esse serviço. Segundo o Dec. 7.246/2010, art.2º, que regulamenta essa lei, considera-se regiões remotas como pequenos agrupamentos de consumidores situados em sistemas isolados, afastados das sedes municipais e caracterizados pela ausência de economias de escala ou de densidade. Sistemas isolados são sistemas elétricos de serviço público de distribuição de energia elétrica que, não estejam eletricamente conectados, em sua configuração normal ao Sistema Interligado Nacional (SIN), por razões técnicas ou econômicas (Decreto nr. 7246, 2010).

Na Operação Nacional do Sistema Elétrico atualmente existem 212 localizadas isoladas no Brasil e a maior parte se concentra na região norte. O consumo de energia de elétrica desses lugares são de menos 1% da carga total do país. Contabilizando, um total de aproximadamente 990.103 mil brasileiros vivem em situações de sistema isolado de energia (ONS, 2017).

O fornecimento de eletricidade nos sistemas isolados é feito, em sua maioria, por pequenas e médias usinas termelétricas movidas a diesel. Além das altas emissões de gases de efeito estufa (GEE) há que se preocupar com os altos preços dos combustíveis e ainda incluir o transporte dos mesmos. O acesso à energia elétrica só é possível durante poucas

horas durante o seu dia, o que faz com que a população dessas localidades não tenha o acesso digno a comunicação e a educação de qualidade (da Cunha *et al*. 2018).

O emprego da microgeração de energia se torna viável quando se trata de benefícios financeiros e de sustentabilidade, pois está-se a falar na geração de energia elétrica a partir de pequenas centrais de fontes renováveis conectadas a rede de distribuição, com potências de até 75 kW (ANEEL, 2016). O investimento em fontes de energia renovável de geração local e descentralizada para essas regiões isoladas, permite o incentivo a economias locais sustentáveis. A expansão do acesso à energia elétrica de uma maior eficiência e a redução dos impactos socioambientais, redução da emissão dos GEE e a minimização do contato da população com a poluição provocada. Os custos de investimentos iniciais são maiores do que um investimento a diesel, mas há a redução de custos de manutenção e operação e um certo retorno quando se trata de energias renováveis solar e biomassa, tanto que já existem algum investimento em algumas dessas regiões do norte em energias renováveis como solar fotovoltaico, biomassa para essas localidades, mas ainda em pequeníssimas percentagens (da Cunha *et al*. 2018) . A Figura 1 apresenta a distribuição de fontes de energias usadas nas regiões isoladas do norte brasileiro.

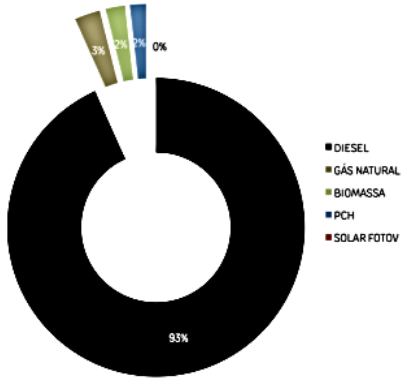


Figura 1. **Percentagem das fontes de energia utilizadas nas regiões isoladas do Norte (da Cunha *et al*. 2018).**

O objetivo proposto para este trabalho é realizar o dimensionamento da produção de energia solar, utilizando um sistema off-grid, para suprir as necessidades de energia elétrica e dimensionar a produção de biogás direcionada a produção de eletricidade e/ou cocção de uma comunidade afastada na região amazônica.

2. ENERGIA SOLAR

De todas as opções de energias renováveis aplicáveis na região amazônica, a opção mais rápida e econômica parece ser a energia solar fotovoltaica (Mathyas, 2020).

A obtenção da eletricidade por meio da energia fotovoltaica se dá pela transformação direta da radiação solar em energia elétrica utilizando módulos fotovoltaicos reunidos em série e em paralelo formando os painéis fotovoltaicas. Essas células são materiais semicondutores e quase sempre de silício (di Lascio e Barreto, 2009).

O Brasil apresenta um alto potencial para a captação da energia solar uma vez que se encontra próxima à linha do Equador. A região Nordeste é a que representa maior disponibilidade energética solar. A região Norte também apresenta uma grande potencialidade por conta do seu posicionamento, mas a incidência dos raios solares é menor devido a característica climáticas e geográficas. Na Amazônia, devido à grande extensão territorial e dificuldade de acesso provoca a falta de dados sobre a radiação solar na superfície, torna impreciso o planejamento dos sistemas fotovoltaicos no que tange principalmente as quantidades e prazo de atuação principalmente do conjunto painel-bateria (di Lascio e Barreto, 2009). A Figura 2 apresenta o potencial anual médio da energia solar no território brasileiro.

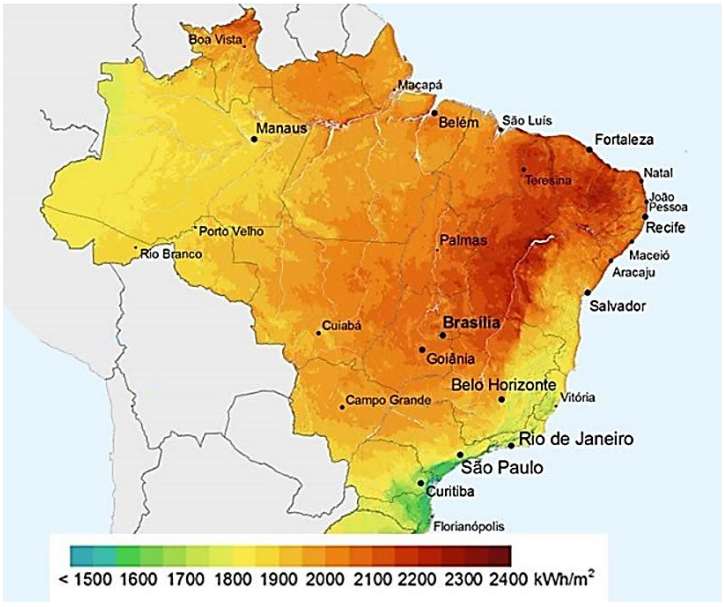


Figura 2. **Disposição da capacidade de energia solar no Brasil (Jesus, F. 2021).**

Os sistemas de operação de energia solar podem ser de 3 tipos: os sistemas *On-Grid*, *Off-grid* e híbrido. Os sistemas *on-grid* são conectados diretamente à rede elétrica, estes que recebem o excedente de energia gerada pelo sistema e que funcionam como uma bateria para o armazenamento de energia e posterior fornecimento da mesma em casos de baixa produção. Já os sistemas *off-grid* trabalham de forma autônoma e são conhecidos como sistemas isolados porque não estão conectados à rede elétrica (Alves, 2019).

1.1. Sistema Fotovoltaica off-grid

Os sistemas *off-grid* são os mais utilizados em regiões remotas e onde o abastecimento de energia elétrica é precário, por serem sistemas isolados não dependem da rede da concessionária para gerar energia elétrica durante a noite ou períodos com menos sol, por isso, esse sistema é configurado com o sistema de armazenamento de energia por meio de baterias (Alves, 2019). Esse sistema completo, é composto por:

-Painéis solares: converte a radiação solar em energia elétrica, tensão contínua;

-Baterias: responsáveis pela alimentação dos consumos de energia elétrica nos períodos sem recurso solar (durante a noite ou dias mais nublados);

-Controlador de carga: efetua a gestão de cargas das baterias, ou seja, regula o processo de carga e descarga;

-Inversor: converte a tensão contínua em alternada, com a frequência e amplitude da rede, caso necessário (Carneiro, J. 2009).

A figura 3 apresenta os equipamentos referentes a implementação do sistema *off-grid.*

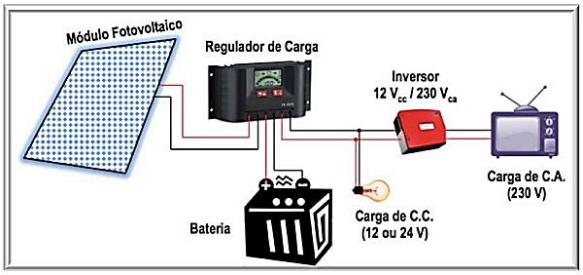


Figura 3**. Componentes essenciais num sistema fotovoltaico off-grid (Carneiro, J. 2009).**

3. BIOGÁS

A produção do biogás emprega tecnologia simples e barata, portanto se trata de uma excelente alternativa de energia a ser aproveitada para o abastecimento da energia elétrica nas regiões de sistema isolado (Mito *et al.*, 2021)

Aproveitando anualmente os resíduos sólidos urbanos, os resíduos de piscicultura e da produção de farinha de mandioca, atividades relevantes na bioeconomia da Amazônica, é possível a produção de 537 milhões de metros cúbicos de biogás, permitindo a geração de 1,1TWh de eletricidade, o que atenderia 556 mil residências e beneficiariam 2,2

milhões de pessoas em toda a Amazônia. Essa quantidade de energia atenderia 38%da eletricidade consumida nos sistemas elétricos (Mito *et al.*, 2021).

O biogás é uma mistura gasosa proveniente da digestão anaeróbica de matérias orgânicos, de origem animal ou vegetal, composto por 55-70% de metano, 30-45% de dióxido de carbono e quantidade de ácido sulfídrico, amônia, hidrogênio, monóxido de carbono, carboidratos e oxigênio, (Araújo, 2017). Essa resultante é apresentada na equação 1.

$$C_cH_hO_oN_nS_s + {}_yH_2O \iff {}_xCH_4 + {}_nNH_3 + {}_sH_2S + (c-x)CO_2 \quad (1)$$

A digestão anaeróbia (DA) se trata de um processo de fermentação que acontece normalmente em pântanos, mas também pode acontecer num tanque biodigestor ou reatores, os quais são equipamentos que possibilitam a decomposição de resíduos orgânicos sem a presença de oxigênio com maior eficiência (Reis, 2020). A DA é dividida em 4 fases a nível bacteriano, sendo elas hidrólise, fermentação, oxidação anaeróbica e formação de metano para finalmente obter o biogás (Araújo 2017). Um biodigestor com o devido encanamento, pode direcionar o biogás produzido para a cocção de alimentos ou o aquecimento de água ou de habitações, e os resíduos sólidos podem ser aproveitados como fertilizante (Mathyas, 2020).

Existem outras diversas tecnologias de conversão da energia do biogás. A sua energia química pode ser convertida em energia mecânica por meio de um processo de combustão controlada e a partir de um alternador pode ser convertido energia elétrica. As turbinas a gás e os motores de combustão interna são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética (Coelho *et al*., 2006).

O biogás pode operar como combustível em microturbinas a gás, estas que são máquinas térmicas, com dimensões reduzidas, que trabalham em ciclo Brayton ou em ciclo de ar, com potências entre 20 kW a 1 MW, onde ocorre a combustão do biogás e expansão de gases quentes gerando a energia elétrica (Coelho et al. 2018). O biogás ainda pode ser utilizado como combustível de geração de vapor nas caldeiras que serão direcionadas para turbinas a vapor que geralmente são acopladas a geradores para a geração da eletricidade (Coelho et al. 2018).

A conversão da energia térmica do biogás em energia mecânica realizada pelos motores de combustão interna, se dá por meio de acionamento de pistões confinados em cilindros, sendo os ciclos de operação do tipo Otto e Diesel os mais comumente utilizados (da Costa, 2006). Na geração de energia elétrica, os motores Otto apresentam um rendimento térmico inferior ao dos motores de ciclo Diesel. Porém os grupos geradores diesel precisam de tecnologias como a "Ottorização" e a conversão de biocombustível Diesel/gás, para que haja essa introdução de conversão do biogás (Pereira *et al.*, 2004).

A figura 4 mostra um esquema de produção de energia elétrica partir do biogás.

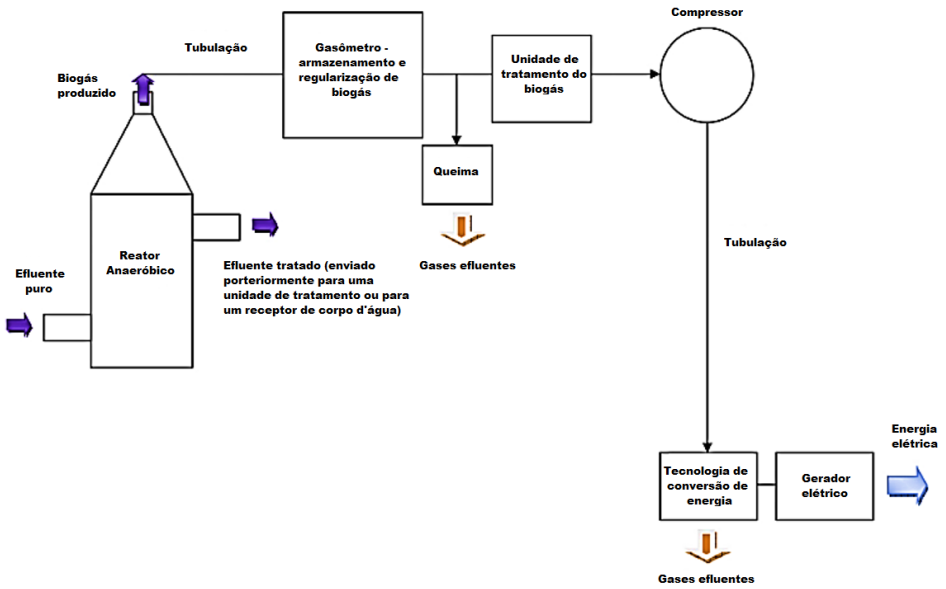


Figura 4 - **Planta esquemático de produção de eletricidade a partir do biogás (Bernal *et al.* 2017).**

4. METODOLOGIA

A metodologia empregada nesse trabalho dividiu-se em três (3) etapas. Inicialmente localizou-se uma comunidade que fornecesse as condições ideais para a implementação do estudo e elaborou-se um questionário destinado a comunidade residente. Em seguida pesquisou-se na literatura métodos de dimensionamento de um sistema solar *off-grid*

e foi adaptado para esse projeto. E por último, investigou-se o dimensionamento de um biodigestor para a produção de biogás e aplicou-se também a esse trabalho.

4.1. Local de estudo

O Pará é o segundo maior estado brasileiro, comportando uma boa parte da área amazônica, o que faz com que o clima predominante seja o equatorial e com uma população estimada em 8.777.124 pessoas. A média de consumo de energia elétrica residencial apresentada de janeiro/2021 até novembro/2021, segundo a EPE (2022), é de 356.160.000 kWh por mês.

A Vila Palheta é uma pequena vila, com 48 famílias e 187 pessoas, localizada na Ilha de Palheta, no município de Muaná no Pará, latitude: -1.51667, 1° 31’ 0” Sul e longitude: -49.1667, 49° 10’ 0” (25) (Cidade-Brasil, 2012). Segundo um questionário feito à comunidade, informou-se que vila não é atendida pela distribuidora de energia do estado do Pará, Equatorial Energia Pará, então a energia elétrica nas casas é fornecida por motores a diesel individuais, que oferecem até 4 horas de energia por dia (Autor). A Vila Palheta apresenta fatores que se adequam ao estudo que se pretende realizar, oferecendo dados aplicáveis ao projeto de geração de energia híbrida em residências de comunidades afastadas da região amazônica. A fim de se ter um dimensionamento mais abrangente, adotou-se 400 habitantes para o estudo, prevendo também o crescimento da vila tanto em número de pessoas e/ou de demanda de energia.

4.2. Dimensionamento solar

No intuito de realizar o dimensionamento do projeto fotovoltaico, utilizou-se a planilha de dimensionamento fotovoltaico para sistemas isolados disponibilizada pela ENERGÊS, A Linguagem da Energia. A
Figura apresenta a interface da planilha.

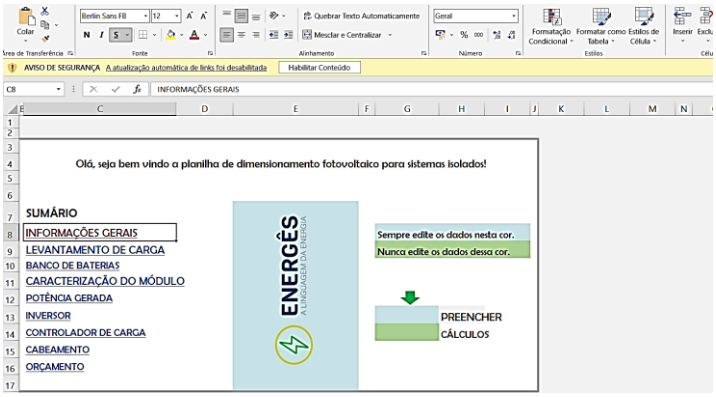


Figura 5**. Interface da planilha utilizada para o dimensionamento fotovoltaico, (Energês)**

4.2.1 Avaliação da radiação solar incidente

Uma vez que a incidência da radiação solar é variável, torna-se preciso conhecer os valores da intensidade da radiação solar incidente nos últimos meses (w). O Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) permitiu obter dados sobre a irradiação solar da região, a partir das suas coordenadas geográficas da ilha Muaná, onde se situa a Vila Palheta, que estão são apresentados na tabela 1.

Tabela 1**. Irradiação solar dos últimos meses na vila Palheta, (CRESESB, 2022)**

Dados Solarimétricos		**Irradiação solar diária média mensal (kWh/m². dia)**															
Local	Muaná	Mês	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	**Min**	**Máx**	**Méd**
Distância	2,6 km																
Latitude:	1,501° S	Inclinação 24°	4,58	4,43	4,53	4,55	4,82	4,97	5,1	5,38	5,49	5,31	5,19	4,76	4,43	4,92	5,49
Longitude:	49,149° O																

4.2.2 Energia diária a fornecer aos consumos

Realizou-se um levantamento de equipamentos que necessitam da energia elétrica para o seu funcionamento em uma residência comum da Vila Palheta. Parametrizou-se de acordo com a tensão (V), a potência (P), a quantidade, o tempo de uso diário (t), a fim de calcular o valor do consumo diário (C). A tabela 2 apresenta esses equipamentos e os respectivos parâmetros citados.

Tabela 2**. Consumo diário de energia, de uma residência da Vila Palheta.**

Equipamentos	**Tensão (V)**	**Potência (P) (W)**	**Quantidade de equipamento**	**Tempo de uso (t) (h/dia)**	**Consumo (C) (Wh/dia)**
Lâmpada	127	40	5	5	1.000
Geladeira	127	250	1	24	6 .000
Televisão	127	200	1	6	1.200
Celular	127	5	1	2	10
Ventilador	127	200	2	24	9.600
TOTAL		$\Sigma P_i = 695$	10	61 h/dia	**17.810Wh/dia**

4.2.3 Estimativas de perdas

As perdas são medidas inevitáveis que devem ser levadas em conta na hora de fazer um dimensionamento. Neste caso, as perdas de maior expressão são referentes aos cabos (3%), e ao controlador de carga e inversor (15%). Conscientes dessas perdas, o rendimento apresentado nos cabos (K_{cabo}) é de 0,97 e o rendimento no controlador de cargas mais inversor ($K_{cont+inv}$)é de 0,85.

4.2.4 Equacionamentos e parâmetros para o dimensionamento fotovoltaico.

O uso de um *software* específico para o dimensionamento de sistemas autónomos pode ser dispensável quando se trata de um pequeno número de variáveis. Nestas situações, a utilização de um conjunto de equações matemáticas permite executar cálculos de dimensionamento de forma mais ou menos precisa e simplificada.

O gerador fotovoltaico deve suprir as necessidades do consumo diário que constam na Tabela 0, isso torna necessário o cálculo da potência de um painel fotovoltaico (P_{FV}) (KWh/mês), pela Eq.2.

A bateria é essencial para sistemas fotovoltaicos off-grid, pois é única fonte de energia para situações em que não há sol, para isso é importante saber qual a sua eficiência, o tempo de descarga e principalmente a capacidade da quantidade de energia fornecida da bateria ($C_{(Ah)}$) (Ah), o que pode ser calculado a partir da eq.3.

Quando há a associação dos módulos em série, as tensões são mais elevadas, mas a corrente mantém-se a mesma. O número de módulos por série (N_S), deve ser maior ou igual que a razão entre a tensão da bateria (V_{bat}) e a tensão máxima do módulo (V_{max}), como demostrado na Eq.4. Já a associação dos módulos em paralelo permite correntes mais elevadas e a tensão é a do módulo. O número de fileiras (N_F), é calculado pela eq.5.

A corrente máxima do controlador de carga (I_{maxDC}) (V), deve ser maior que a corrente total (I_T), que sai do gerador fotovoltaico e é a partir desse critério, mostrado na eq. (6) que se faz a seleção do controlador de carga.

O inversor é selecionado a partir da sua potência (P_{inv}), que deverá ser maior do que a soma das potências de todos os aparelhos (P_i), Eq. (7).

$$P_{FV} = \frac{C}{K_{cont.+inv} x H_S} \quad (2)$$

$$C_{(Ah)} = \frac{C(Ah) x N_d}{V_{bat} x K_{Bat} x K_D} \quad (3)$$

$$N_s > \frac{V_{bat}}{V_{max}} \quad (4)$$

$$N_F = \frac{P_{FV}}{N_S x V_{max} x I_{max}} \quad (5)$$

$$I_{maxDC} > I_T \Leftrightarrow I_{maxDC} > (N_F x I_{max}) \quad (6)$$

$$P_{inv} > \Sigma P_i \quad (7)$$

Os parâmetros adotados para o dimensionamento fotovoltaico são apresentados na tab.3

Tabela 1. Parâmetros para o dimensionamento fotovoltaico.

Nomenclatura	Parâmetros	Valores	Referência
C	Consumo diário de uma residência - (Wh/dia)	18.000	Autor
H_S	Horas de sol referente ao menor mês (KWh/m^2.dia)	4,43	(CRESESB, 2022)
Kcont+inv	Eficiência do controlador e do inversor	0,85	(Carneiro, J. 2009)
$A_{média}$	Área média dos telhados - (m^2)	74,2	Autor
N_d	Número de dias de autonomia - (dias)	3	Adotado - (Energês)
V_{bat}	Tensão da bateria - (V)	12	(Moura)
K_{bat}	Eficiência da bateria - (%)	86	Adotado - (Energês)
K_D	Capacidade de descarga - (%)	20	(Moura)
V_{max}	Tensão máxima do módulo - (V)	38,6	(Amerisolar, 2021)
I_{max}	Corrente máxima do módulo - (A)	9,31	(Amerisolar, 2021)

4.3. Dimensionamento de um biodigestor

Realizou-se um projeto de dimensionamento de um reator anaerôbico de fluxo ascendente (RAFA) para geração de biogás proveniente de resíduos sólidos orgânicos (RSO) e do esgoto. Mediante o volume de biogás gerado será analisado qual melhor aplicação, podendo ser direcionado para cocção e/ou produção de energia elétrica.
Caso o biogás seja utilizado para gerar energia é necessário realizar uma purificação.

A NBR 7229 – ABNT estima que em casas populares a uma contribuição de esgoto é de 150 l/ pessoa.dia. Portanto pode-se estimar o volume do esgoto, Q_{esgoto}, pela eq. 8:

$$Q_{esgoto} = \frac{150\ l}{dia\ .hab}\ x\ \frac{nr\ de\ dias}{mês}\ x\ nr\ de\ hab. \tag{8}$$

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), para a região norte brasileira é de 0,898 kg_{RSU}/hab.dia (ABRELPE, 2021), e a quantidade de resíduos sólidos orgânicos (RSO), nos RSU é cerca de 50% ($\%RSO_{RSU}$), a partir dessa informação obteve-se o volume de RSO (Q_{RSO}), pela eq.9.

$$Q_{RSO} = \frac{\left[RSU\left(\frac{Kg}{dia\ .hab}\right)\ x\ \frac{nr\ de\ dias}{mês}\ x\ nr\ de\ hab/\right]}{d_m\ \left(\frac{Kg}{m^3}\right)}.\%RSO_{RSU} \tag{9}$$

4.3.1 Equacionamentos e parâmetros para o dimensionamento do biodigestor UASB

O dimensionamento do biodigestor RAFA para essa pesquisa, partiu da proposta de Chernicharo (2007), e da apresentação de Mensah (2019). O volume do reator (V) (m^3), a concentração de efluentes (S) (kg/m^3), a carga DQO do afluente (DQO_{aflu}) (kg_{DQO}/d), a produção volumétrica do metano (Q_{CH4}) (m^3/d), o volume do biogás ($V_{biogás}$) (m_3/mês) e a potência gerada (P_g) (W/dia) são calculados pelas Eqs. 10 a 15 respectivamente.

$$V = Q_{Afluente} * t \tag{10}$$

$$S = S_0 - \left(\frac{\eta_{rem}.S_0}{100}\right) \tag{11}$$

$$DQO_{aflu} = Q_{aflu}.[(S_o - S) - Y_{abs}.Q_{aflu}.S_o] \tag{12}$$

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)} = \frac{DQO_{CH_4}}{\frac{Pa.K_{DQO}}{R.T}} \tag{13}$$

$$V_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{\%\ CH_4} \tag{14}$$

$$P_g = \frac{Q_{CH_4}.\ \eta_{motor} PCI_{CH4}}{86400} \tag{15}$$

OBS: $Q_{afluente}$ é referente ao Q_{esgoto} ou ao $Q_{RSO.}$

A apresenta os parâmetros para os cálculos da geração de biogás e do metano.

Tabela 2**. Dados dos parâmetros utilizados para os cálculos de geração de biogás e metano.**

Nomenclatura	Parâmetros - unidades	Valores	OBS
T	Temperatura de operação do reator – (K)	308	Valor adotado – mesofílico
Pa	Pressão atmosférica – (Atmosfera)	1	Pressão adotada
Y_{abs}	Coeficiente de produção de sólidos no sistema – (Kg_{lodo}/kg_{DQO})	0,11-0,23	Utilizou-se valor médio (Chernicharo, 2007)
K_{DQO}	DQO de um mol de CH_4 – (g_{DQO}/mol)	64	(Chernicharo, 2007)
d_m	Densidade média RSO – (kg/m^3)	1213	(Chagas e Oliveira, 2010)
S_o	DQO média do esgoto – (kg/m^3)	0,572	(Silva e Mattos, 2020)
S_o	DQO média do RSO – (g/kg)	0,271	(Silva e Mattos, 2020)
S_o	DQO média de RSO+esgoto – (kg/m^3)	1,140	Valor médio (Figueiras, 2016)
η_{rem}	Eficiência de remoção do processo – (%)	81	(Silva e Mattos, 2020)
RSO	Concentração de CH_4 no biogás – (%)	63,6	(Silva e Mattos, 2020)
ETE	Concentração de CH_4 no biogás – (%)	63,0	(Silva e Mattos, 2020)
	Número de habitantes na vila – (Hab.)	400	Autor
PCI_{CH4}	Poder calorífico do metano – ($kj.m^{-3}$)	35751	(Silva e Mattos, 2020)
η_{motor}	Rendimento motor – (%)	33	(Silva e Mattos, 2020)
t	Tempo de detenção hidráulica – (horas)	8	Adotado – (Mesah, 2019)

*DQO: demanda química orgânica

5. RESULTADOS

O trabalho propôs a realização de um estudo para o aproveitamento solar na produção de eletricidade em sistema isolado e a conciliação com a produção de biogás para a cocção, destinadas a uma residência de uma comunidade afastada na região amazônica. A figura 7 demonstra o esquema aplicado a esse projeto.

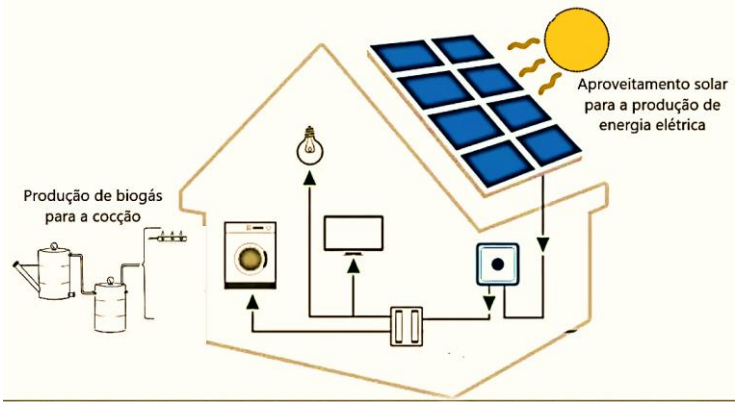


Figura 6**. Esquema de sistemas hibrido, solar e biogás, para abastecimento de uma residência (Adaptado, 2022).**

5.1. Resultados do dimensionamento solar fotovoltaico.

As residências das regiões isoladas o consumo de energia elétrica costuma ser baixo ter um consumo menor quando comparado a uma residência do centro urbano (Mathyas, 2020), e isso justifica o valor de consumo mensal de energia elétrica ser mais menor em comunidades isoladas. Tendo em vista a margem de aumento de demanda de energia o valor de consumo de energia elétrica mensal calculado para uma residência da Vila Palheta, na tab.2, de 17.810 Wh/dia, foi ajustado, na tab. 3, para 18 KWh/ m^2, contabilizando um total 540 KWh/m^2. mês.

De acordo com os dados fornecidos na secção 2.2, obteve-se os resultados para o dimensionamento fotovoltaico, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. **Resultados de parâmetros calculados para o dimensionamento fotovoltaico.**

Parâmetros	Resultados
Potência do gerador fotovoltaico - P_{FV} (kWh/mês)	1,93
Capacidade de bateria - C(Ah)	468,20
Corrente máxima do controlador de carga ImaxDC – (V)	37,2
Potência mínima do inversor – Pinv (W)	1055

Calculou-se um valor aproximado da PFV de 1,93Kwh por mês. Sugeriu-se a utilização de placas solares de potência unitária 0,280 KWh para esse estudo. Prevê-se que no mínimo 7 painéis solares fotovoltaicos consigam suprir a necessidade de uma residência da Vila Palheta.

5.2. Resultados biogás

Mediante os cálculos realizados para o dimensionamento do reator UASB, o volume de esgoto de 400 habitantes, cerca de 70% a mais que o atual número de moradores da vila, seria 1800 m^3/mês e o volume de RSO de 4,44 m^3/mês. Sendo assim o volume do reator UASB será de cerca de 481 m^3, adotando um tempo de retenção hídrica de 8 horas. A tabela 6 apresenta os resultados referentes a produção de metano que possibilitaram o cálculo da potência gerada.

Tabela 6 **– Resultados da produção de metano e do potencial energético.**

Parâmetros	Valores
$Q_{ch4\ esgoto}$ (m^3/mês)	260,00
$V_{biogás}$ (m^3/mês)	412,75
$Q_{CH4\ RSO}$ (m^3/mês)	9,12
$V_{biogás}$ (m^3/mês)	14,34
Energia gerada (W/dia)	1176,27
Energia Elétrica (kWh/mês)	719,87

Observou-se que o volume do RSO calculado é muito baixo em comparação com o volume do esgoto, dessa forma a potência gerada seria também baixíssima A solução proposta é que essa produção seja adicionada simultaneamente a produção de energia fornecida pelo esgoto, que já nos apresenta uma potência relevante. Considerando que uma residência consuma 152 kWh/mês de energia elétrica, logo um reator que produza aproximadamente 745 kWh/mês de energia elétrica, já com a quantidade fornecida pela RSO adicionada, conseguiria abastecer entre 4 a 5 casas. Considerando que a densidade do GLP é 2,2kg/m^3, um botijão de gás possui 13kg, portanto cerca de 5,9m^3, a produção de biogás é cerca de 44 botijões no mês. Se cada família gasta 1 botijão por mês o biogás produzido atenderia cerca de 44 famílias.

Mediante os resultados observou-se que o projeto não contemplaria todas as famílias, porém melhoraria a gestão e tratamentos dos resíduos e contribuiria para uma menor dependência de geradores a diesel.

6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho possibilitou analisar a problemática energética que assola comunidades afastadas na região amazônica, como é o caso da Vila Palheta no Pará, a qual não tem a possibilidade de ser atendida pela central elétrica da região norte brasileira, assim como tantas outras. O projeto demonstra que o aproveitamento energético da decomposição dos RSO e esgoto pode auxiliar a sanar a problemática da utilização de lenha nestas comunidades, pois a utilização de botijões por muitas vezes é inviável, pelo custo e pelo transporte.

A implementação de energia renovável, tais como: a energia solar e a biomassa, foram abordadas nesse trabalho e mostraram ser alternativas viáveis para conseguir suprir as necessidades elétricas abastecendo as residências dessa área. O aproveitamento de resíduos orgânicos e esgoto em comunidades afastadas também auxilia no problema de gestão e tratamentos destes. Desta maneira o projeto concilia desenvolvimento de comunidades afastadas e adere as ODS 7 e 11.

Tal estudo realizado, especificamente para a Vila Palheta, poderá ser replicado para as mais diversas localidades afastadas da mesma região, é necessário realizar também um estudo sobre a viabilidade econômica para a implementação desses recursos.

7. AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos são direcionados a PROPESP, por ter confiado nesse estudo e fornecido uma bolsa para realizar essa pesquisa.

8. REFERÊNCIAS

Alves, M. de O. L. 2019. "Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid" *Universidade Federal de Ouro Preto Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas Departamento de Engenharia Elétrica,* João Monlevade, Minas Gerais, Brasil. pp. 34- 45.

Amerisolar, N. E. N. World., 2021. "Módulo solar amerisolar as-6p30 280w 60 células". São Paulo, Brasil.

ANEEL. 2016. "Micro e Minigeração Distribuída - Sistema de Compensação de Energia Elétrica". *Agência Nacional de Energia Elétrica***.** Ed.2, Brasília DF, Brasil, p. 9.

Araújo, A. P., 2017. "Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico". *Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química*, Uberlândia, Brasil, pp 8 - 10.

Bernal, A. P., dos Santos, I. F. S., Moni Silva, A. P., Barros, R. M., e Ribeiro, E. M. 2017. "Vinasse biogas for energy generation in Brazil An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions". *Journal of Cleaner Production,* p. 264.

Boreal Solar. 2016. "Potencial de Energia Solar: Quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar". *Blog Boreal Solar,* Brasil.

Carneiro, J., 2009. "Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos - sistemas ligados à rede e sistemas autónomos". *Universidade do Minho,* Azurém Guimarães, Portugal, pp. 20, 30-36.

Chagas, Michele, and Gemmelle Oliveira. 2010. "Densidade Aparente de Resíduos Sólidos Recém Coletados."

Chernicharo, C. A. de L. 2007. "Reatores Anaeróbios". Ed. 2. *UFMG.* Belo Horizonte, Brasil.

Cidade-Brasil., 2012-2022, "Ilha de Palhêta Fechar de Muaná- Município de Muaná e a Cidade, Pará". *Cidade-Brasil.com.br.* Brasil.

Coelho, S. T., Garcilasso, V., Ferraz Junior, A., Santos, M., e Joppert, C., 2018. "Tecnologias de produção e uso de biogás e biometano". São Paulo, Brasil. pp. 39,40-42.

Coelho, S. T., Velázquez, S. M., Martins, O., e Abreu, F., 2006. "A conversão da fonte renovável biogás em energia". *Congresso Brasileiro de planejamento energético.* CBPE, Vol 5. Brasília – DF, Brasil.

CRESESB. 2022. "CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica". Rio de Janeiro, Brasil.

da Costa, D. F., 2006. "Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto". *Universidade de São Paulo – USP*. São Paulo, Brasil. p. 62.

da Cunha, K., Soares, M., e da Silva, A. (2018). "Acesso aos serviços de energia elétrica nas comunidades isoladas da Amazônia: mapeamento jurídico-institucional". *Instituição da Energia e Meio Ambiente*, São Paulo, Brasil. pp. 6, 7. 14, 20-21.

Decreto nº 7246. 2010. "Decreto Nº 7246.". *Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos,* Brasília, Brasil.

di Lascio, M. A., e Fagundes Barreto, E. J. 2009. Energia e Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia Rural Brasileira: Eletrificação de Comunidades Isoladas. *Ministério de Minas e Energia,* Ed.1. Brasília, Brasil. pp. 71-75.

ENERGÊS, A Linguagem da Energia EPE. 2022. "EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - Consumo Mensal de Energia Elétrica Por Classe (Regiões e Subsistemas)."

Figueiras, Manuella Lopes., 2016. "Efeito Da Adição de Resíduos Alimentares Triturados No Tratamento de Esgoto Doméstico Em Reator UASB." *Universidade Federal do Pernambuco.* Pernambuco, Brasil.

Jesus, F., 2021." Energia solar fotovoltaica cresce no Brasil quase 50%". *Portal energia: energias renováveis*. Brasil.

Mathyas, A., 2020. "Acesso à energia com fontes renováveis em regiões remotas no Brasil: lições aprendidas e recomendações". *Relatório WWF 2020*, Brasil. p.5, 25-49.

Mensah, J. H. R., Souza, A. R. de, Ribeiro, N. de S., Freitas, L. C. F., Silva, A. T. Y. L., e Barros, R. M., 2019. "Potencial de aproveitamento energético de biogás através de reatores UASB". *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade,* Itaúna, Minas Gerais, Brasil. pp. 611-618.

Mito, J., Penteado, M., e Freddo, A. (CIBiogás)., 2021. "Biogás: energia limpa para Amazônia". *Instituto Escolhas*, São Paulo, Brasil, pp. 3-8.

Moura. 2021. "Solar Estacionária - Catálogo de Produtos". *Grupo Moura.*

ONS. 2017. "Sistemas Isolados". *Organização Nacional de Sistema Elétrico*, Brasil.

Pereira, R. H., Braga, S. L., M Braga, C. v, e Freire, L. G., 2004. "Geração distribuída de energia elétrica-aplicação de motores bicombustível diesel/gás natural". *3° Congresso Brasileiro P&D em Petróleo e Gás, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP,* Salvador, Brasil.

Silva, C., e Mattos, A. P., 2020. "Aproveitamento de resíduos orgânicos e esgoto na UFPA: uma alternativa sustentável de gestão e tratamento visando a geração de biogás e bioenergia". *I Congresso Nacional de Energias Renováveis, Exergia e Sustentabilidade – CERES 2020*, Natal, Brasil.

9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

HYBRID ENERGY GENERATION IN RESIDENCES: AN ALTERNATIVE FOR REMOTE COMMUNITIES IN THE AMAZON REGION.

Vera Carlice Lopes Pereira dos Reis, veracarlicedosreis@gmail.com[1]
Ana Paula Mattos, anapmattos@ufpa.br[2]

[1,2] Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01- Guama. CEP 66075-110. Belém – Pará – Brasil

Abstract*. The use of solar energy or hybrid systems for electricity generation has been progressively presenting itself as an economically viable alternative, especially in rural areas or isolated regions, where the costs for installing conventional systems are relatively high. However, in remote communities in the Amazon region, the energy generation is through diesel generators, making the logistics of supplying this fuel very complex to serve the countless communities, at a very high cost and with low-quality services. Sustainable development is a necessity, and from the clean development mechanisms (CDM) there has been an increase in the way of obtaining bioenergy in Brazil. Along the same path, the UN has determined some sustainable development objectives (SDGs), which support projects that can: ensure reliable, sustainable, modern, and affordable access to energy for all (SDG 7), and make cities and settlements human inclusive, safe, resilient and sustainable (SDG 11). Based on the above, the objective of this article is to propose a solar or hybrid generation project: solar and biogas, a community in the state of Pará was analyzed. The project aims to design a system that can meet the needs of this community, expanding distributed microgeneration from renewable sources. An amount of energy required of 540 kWh/month was estimated for each residence, based on household appliances. Based on this value, 7 photovoltaic modules with a power of 0.285KWh each were selected. The estimation of the biogas generation is carried out using an Upflow anaerobic sludge blanke (UASB), using the Chenicharo methodology. The volume of biogas generated from sewage and organic waste from Vila Palheta is 481 m^3. Which provides the capacity to produce 745KWh/month of electric energy, allowing the supply of 4 to 5 houses, or even the production of 44 cylinders of 13 Kg of biogas per month. In this way, we aim to contribute to sustainable development in the Amazon region, providing the expansion of bioenergy and increasing places for decentralized energy generation. These systems: solar and hybrid, can reduce generation costs and increase the reliability of energy supply to this region.*
Keywords: *Solar energy, Wind energy, Hybrid systems, Amazon Region, Sustainable Development*.