

Tema XI - 123 Aproveitamento de Barragens para Geração de Energia Solar – Estudo de Caso Usina Solar Flutuante Açude do Xaréu Fernando de Noronha-PE.

Palavras-chaves (até 5): Geração, energia, solar, flutuante, barragens.

Autores:

1 - Jadiel Mendonça de Vasconcelos, Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). MBA em Gestão e Engenharia de Sistemas Elétricos (IPOG). Especialização em Comercialização de Energia Elétrica pelo Centro (UNINASSAU). Analista de Saneamento na Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). jadielvasconcelos@compesa.com.br.

Coautores:

2 - Milton Tavares de Melo Neto, Engenheiro Eletricista e Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor Universidade Estadual de Pernambuco (UPE). Gerente de Gestão Energética e Analista de Saneamento na Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). milton.meloneto@upe.br.

3 - Vinnycius Fernandes Silva Luz, Engenheiro Mecânico pela Universidade de Pernambuco (UPE). Especialização em Engenharia de Sistemas Automotivos pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Técnico Operacional em Eletrotécnica na Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). vinnyciusluz@compesa.com.br.

4 - Renan Fernandes da Silva Torres, Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Analista de Saneamento na Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), renantorres@compesa.com.br.

5 - Artur Ricardo Macedo Dos Santos, Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Analista de Saneamento na Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) artursantos@compesa.com.br.

Endereço: Av. Cruz Cabugá, 1387 - Santo Amaro - Recife - PE - CEP: 50040-905 - Brasil - Tel.: +55 (81) 3412-9731.

Resumo

Neste artigo detalharemos as características do projeto da Usina Solar Flutuante na Barragem do Xaréu bem como a realização de uma simulação computacional para verificar o desempenho da usina frente ao perfil de carga e histórico de consumo das 19 operacionais da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Será utilizado uma ferramenta de Business Intelligence – BI - QlikView[5] para coleta e tratamento dos dados de consumo das unidades e um software de simulação computacional PVsol[4] para modelagem em 3 dimensões da usina, verificação do desempenho da geração e rendimento da usina solar flutuante frente ao perfil de carga e condições ambientais da instalação do projeto.

Introdução

O Estado de Pernambuco está localizado na região nordeste brasileiro e tem uma população de aproximadamente 9.058.931 habitantes, é composto por 186 municípios e o distrito estadual denominado de Fernando de Noronha. O arquipélago de Fernando de Noronha está localizado no oceano atlântico a 540 km de Recife com uma extensão territorial de 26km² e tem como principal atividade econômica o turismo. De acordo com o censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE 2023[1] a Ilha de Fernando de Noronha tem uma população de 3.167 habitantes que na época da alta estação pode chegar população flutuante média de 4.725/mês.

De acordo com os indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SINS ano de 2022[2] a ilha tem 100% de atendimento urbano com consumo de água de 401 l/hab./dia.

O principal sistema produtor de água da ilha é o dessalinizador instalado na Estação de Tratamento de Água – ETA Boldró, localizado no bairro de mesmo nome e como forma complementar existem uma série de poços tubulares e um manancial superficial denominada barragem açude do Xaréu com uma área de espelho d'água de aproximadamente 70mil m².

De acordo com a Base de Dados Governo do Estado de Pernambuco [9], no ano de 2022 o consumo total de energia da Ilha foi 26.730MWh dos quais 10% foram consumidos nas unidades operacionais do sistema de saneamento da ilha.

Para realizar a captação, tratamento, distribuição da água, coleta e tratamento do esgoto no arquipélago a Companhia de Saneamento [7] opera e mantém 19 unidades que consumiram cerca 2.698MWh de energia a um custo aproximado de R\$1.400.000 no ano de 2022.

Eletricamente a ilha está em um sistema isolado e de acordo com a Distribuidora [10] no ano 2019, a matriz energética da ilha era 90% oriunda de geração termelétrica na Usina de Tubarão e o restante da geração complementada por usinas solares instaladas em telhado de residências e usinas de solo.

Como forma de mitigar a dependência de combustíveis fósseis, emissão de gases de efeito estufa e redução dos custos com energia elétrica foi realizado um convênio entre a Distribuidora de Energia local[6] e a Companhia de Saneamento[7] para implantação e operação de uma usina solar flutuante no espelho d'água do açude Xaréu com recursos oriundo do Programa de Eficiência Energética - PEE da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. O projeto e execução da Usina Solar Flutuante está sendo desenvolvido por uma renomada empresa de engenharia sediada cidade de Jaraguá do Sul, Santa Catarina [8] e a posterior operação e manutenção ficará a cargo da Companhia de Saneamento [7].

Objetivo do Trabalho

Neste artigo detalharemos as características do projeto da Usina Solar Flutuante do Açude do Xaréu bem como a realização de uma simulação computacional para verificar o desempenho da usina frente ao perfil de carga e histórico de consumo das 19 operacionais da Companhia de Saneamento. Para tanto usaremos uma ferramenta de *Business Intelligence* – BI - QlikView[5] para coleta e tratamento dos dados de consumo das unidades e um software de simulação computacional PVsol[4] para modelagem em 3 dimensões da usina, verificação do desempenho da geração e rendimento da usina solar flutuante frente ao perfil de carga das 19 unidades operacionais destacadas na Tabela 1.

Nº Unidade	Nome da Unidade	Nº Unidade	Nome da Unidade
01	EEE DO CACHORRO-FERNANDO DE NORONHA	11	ETE BOLDRÓ-FERNANDO DE NORONHA
02	EEE PRAIA CACHORRO - FERNANDO DE NORONHA COMPESA	12	FLUTUANTE DO XARÉU - FERNANDO DE NORONHA
03	ELEV. BOLDRÓ/ CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO MAR- FERNANDO DE NORONHA	13	POÇO 07 NORONHA POCO P 07 NORONHA
04	ELEV. TV - GOLFINHO - FERNANDO DE NORONHA	14	POÇO DE CHICÓ - FERNANDO DE NORONHA COMPESA
05	ELEV.DO XARÉU - F. NORONHA	15	POÇO SUESTE-FERNANDO DE NORONHA
06	ELEV.QUIXABA - FERNANDO DE NORONHA	16	POÇO VIDAL 1 - FERNANDO DE NORONHA
07	ELEV.VACARIA - F. NORONHA COMPESA	17	RESERVATÓRIO DA TV GOLFINHO-FERNANDO DE NORONHA
08	ELEV.VIDAL 1 + POÇO-F. NORONHA	18	RESERVATÓRIO DO COLÉGIO - FERNANDO DE NORONHA
09	ELEVATÓRIA / DESALINZADOR LIGAÇÃO SE 225 KVA	19	DESSALINIZADOR/CHAFARIZ-VILA DO TRINTA-F. DE NORONHA (UFV FN I - 1kWp)
10	ETA /ELEVATÓRIA / DESSALINIZADOR-FERNANDO DE NORONHA		

Tabela 1 – Relação de Unidades Operacionais da Companhia de Saneamento localizadas na ilha de Fernando de Noronha.

Foram levantados os dados de histórico de consumo e faturas de energia dos 12 meses do ano 2022 das 19 unidades operacionais destacadas na Tabela 1, posteriormente foi realizada a classificação tarifária bem como por tipo de aplicação no processo de produção, tratamento, distribuição da água e tratamento do esgoto.

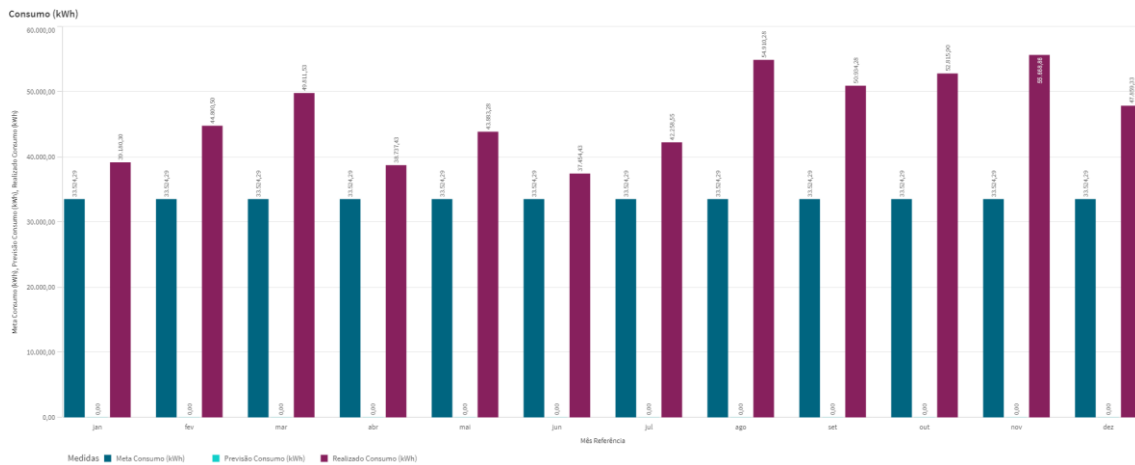


Gráfico 1 – Perfil de Carga e histórico de Consumo das 19 unidades ano 2022. Fonte: Faturas de Energia.

Do Gráfico 1 foi verificado que o consumo total no ano de 2022 das 19 unidades foi de 2.697.766,24 kWh e que os meses de maior consumo de energia foram janeiro, fevereiro, março, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro que coincidem com os meses de aumento da população flutuante devido à alta estação.

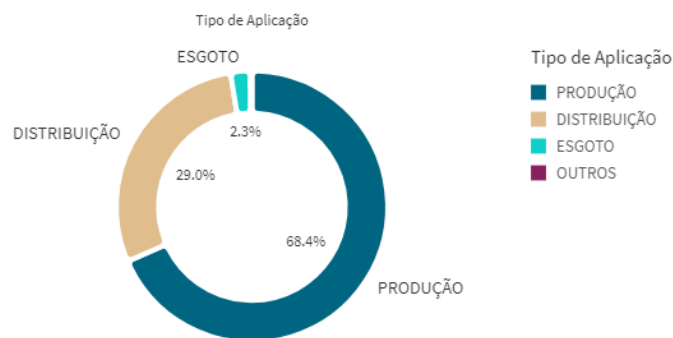


Gráfico 2 – Representativa do consumo por tipo de aplicação; Fonte: Faturas de Energia.

Conforme aprenstado no Gráfico 2, Cerca de 68% de toda energia consumida nas unidades operacionais de saneamento da ilha do ano de 2022 foi demanda para produção e tratamento de água no Dessalinizador e Estação de Tratamento de água. O tratamento de Esgoto consumiu apenas 2,3% da energia e as Elevatórias de Água tratada absorveram 29% de todo o consumo de energia demandado pelas atividades de saneamento da ilha.

Como forma de reduzir o custo de energia das 19 unidades operacionais e diminuir emissão dos gases do efeito estufa foi projetada a implantação de uma usina fotovoltaica que será montada no Açude do Xaréu (Coordenadas 3,865713° Sul e 32,429146° Oeste) próximo baía do Sueste e a BR-363 na Ilha de Fernando de Noronha, sendo o gerador fotovoltaico instalado em uma ilha flutuadores dispostos diretamente sob o espelho d'água do açude e os equipamentos de conversão com inversores, quadros de proteção e

transformadores ficaram localizados na margem do açude próximo ao barramento, abrigados em uma sala elétrica.



Figura 1 - Vista superior onde será instalada a Usina Solar Fotovoltaica, Fonte: Google maps.

A instalação ocupará aproximadamente **3.000,00 m²** (área dos módulos), a área aproximada do açude do Xaréu é de 70.000,00 m² no período de cheia e pode entender-se por menos de 5.000,00 m² durante os períodos mais secos.



Figura 2 – Açude Xaréu período de cheia.



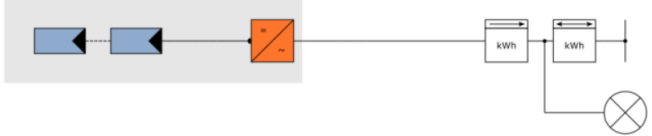
Figura 3 - Açude Xaréu período de seca.

Metodologia Utilizada

Com base nos dados de consumo de energia das 19 unidades operacionais da companhia de saneamento ano de 2022 e dados de projeto do sistema solar flutuante do açude Xaréu, irá se propor a realização de simulação computacional usando o software PVsol para realizar a modelagem em 3 dimensões da usina, verificar o desempenho do sistema a ser instalado na barragem e confrontar com o consumo de energia das unidades responsáveis pelo sistema de produção, tratamento, distribuição de água da Ilha de Fernando de Noronha.

Os parâmetros utilizados na simulação da Usina do Xaréu no software PVsol foram baseados nos dados climáticos do Metonorm 7.2.c3 em Fernando de Noronha entre os anos de 1991 a 2010 com temperatura média anual de 27°C e irradiação global anual de 2076kWh/m². O método de cálculo irradiação difusa no plano horizontal é o Hofmann e o método irradiação no plano inclinado Hay e Davies com intervalo de simulação de 1h para os 12 meses do ano conforme demonstrado na Figura 4.

Tipo de sistema
3D, Sistema fv conectado à rede com consumo



Tipo de modelagem
 Modelar sistema em 3D

Intervalo da simulação
 1 hora (simulação mais rápida)
 1 minuto (simulação mais precisa)

Dados climáticos

País: Local:

Latitude: -3° 51' 0" (-3,85°) Soma anual da irradiação global: 2076 kWh/m²
 Longitude: -32° 25' 1" (-32,42°) Média anual da temperatura: 27,3 °C
 Fuso horário: UTC-1
 Período: 1991 - 2010

Rede c.a.

Tensão (N-L1): 220 V
 Quantidade de fases: 3-fásico
 cos φ: 1
 Limitação da potência de injeção: Não

[Parâmetros da simulação](#)

Figura 4 - Parâmetros de simulação utilizados na simulação da usina Xaréu no PVsol

O sistema fotovoltaico a ser instalado no açude do Xaréu em questão será composto pelos componentes destacados na Tabela 2:

Tabela 2 – Principais Componentes utilizados na simulação

#	Tipo	Nome	Quantidade	Unidade
1	Módulo fotovoltaico	VERTEX TSM-655-DEG21C.20	945	Peça
2	Inversor	SUN2000-100KTL-M1 (480Vac)	5	Peça
3	Componentes	Disjuntor	1	Peça
4	Componentes	Medidor de injeção	1	Peça
5	Componentes	DPS com aterramento 20kA/275V	1	Peça
6	Componentes	Disjuntor 3F - 50A	1	Peça

Os 945 módulos foram divididos em 5 arranjos fotovoltaico de 189 módulos, cada arranjo será ligado a um inversor através de 10 strings de módulos e a interligação nos inversores seguirá a disposição indicada na Tabela 3 e no diagrama unifilar simplificado indicado na Figura 5.

Tabela 3 – Configuração do Arranjo fotovoltaico da usina.

Área do módulo	Objeto 3D aleatório 01-Área de montagem Nordeste
Inversor 1	
Modelo	SUN2000-100KTL-M1 (480Vac) (v5)
Fabricante	Huawei Technologies
Quantidade	5
Fator dimensionamento	112,5 %
Configuração	PMP 1: 1 x 19
	PMP 2: 1 x 19
	PMP 3: 1 x 19
	PMP 4: 1 x 19
	PMP 5: 1 x 19
	PMP 6: 1 x 19
	PMP 7: 1 x 19
	PMP 8: 1 x 19
	PMP 9: 1 x 19
	PMP 10: 1 x 18

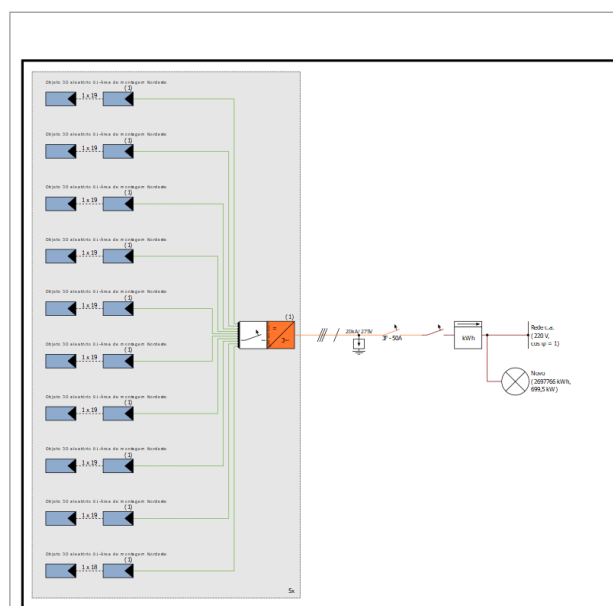


Figura 5 – Diagrama unifilar simulação. Fonte: Simulação PVsol

Todo o sistema será conectado à rede de corrente alternada – CA em baixa tensão e será modelado em rede trifásica de baixa tensão 380/220V com fator de potência unitário 1.0.

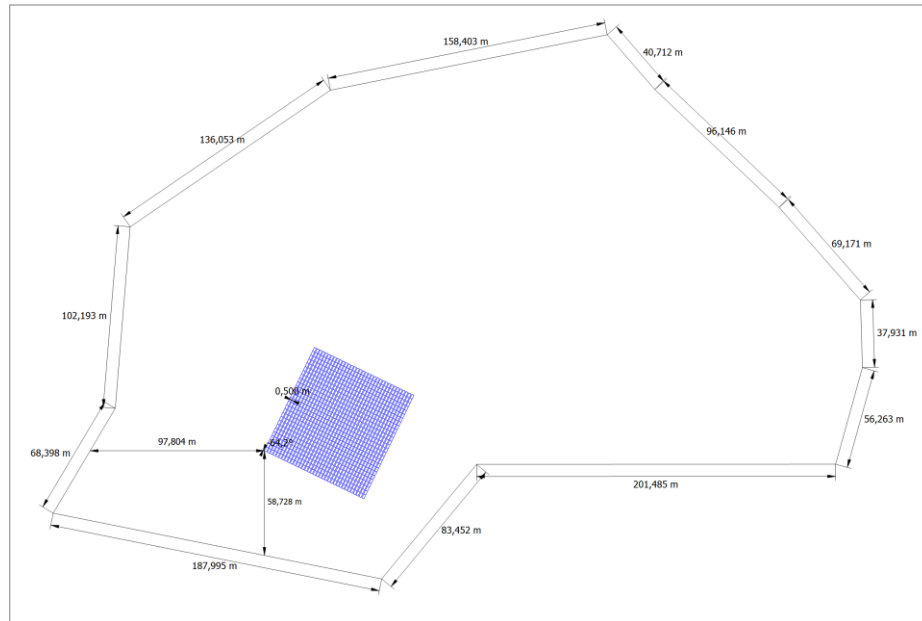


Figura 6 – Localização da Ilha do arranjo fotovoltaico no açude do Xaréu.

Na simulação no software PVSol foi utilizado o modo de modelagem 3D com a locação e posicionamento da ilha de módulos para o norte geográfico e inclinação 10° dos módulos em relação ao espelho d'água. Toda a ilha de módulos ocupou uma área de aproximadamente 3000m^2 conforme apresentado na Figura 6, Figura 7 e Figura 8.

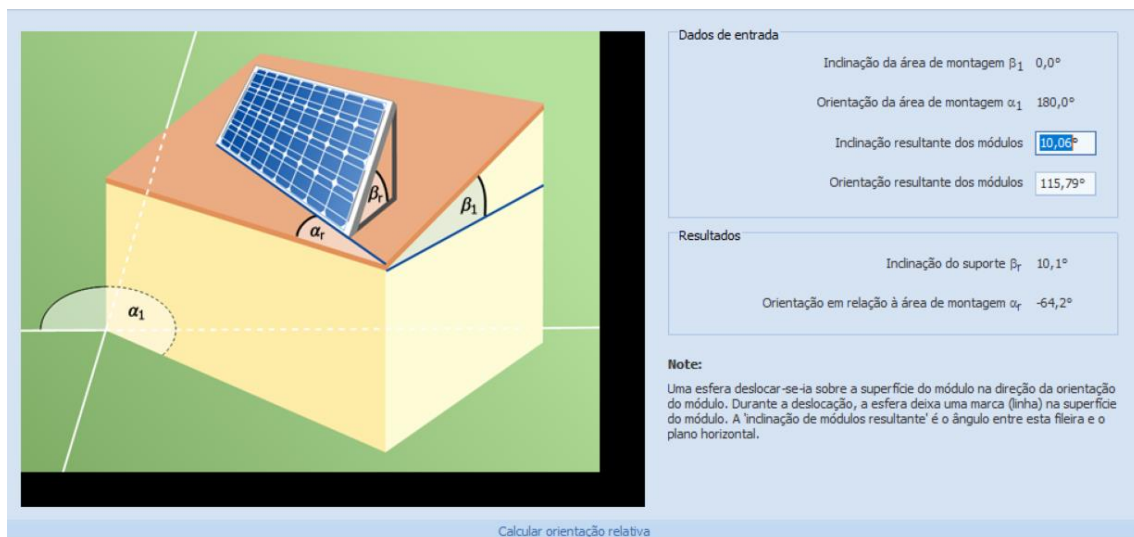


Figura 7 - Inclinação dos módulos em relação ao espelho d'água.

Tabela 4 – Dados da modelagem 3D da usina. Fonte; Simulação PVsol

Nome	Objeto 3D aleatório 01-Área de montagem Nordeste
Módulos fotovoltaicos	945 x VERTEX TSM-655-DEG21C.20 (v1)
Fabricante	Trina Solar
Inclinação	10 °
Orientação	Norte 360 °
Situação de montagem	Floating PV
Area do gerador fotovoltaico	2.935,5 m ²

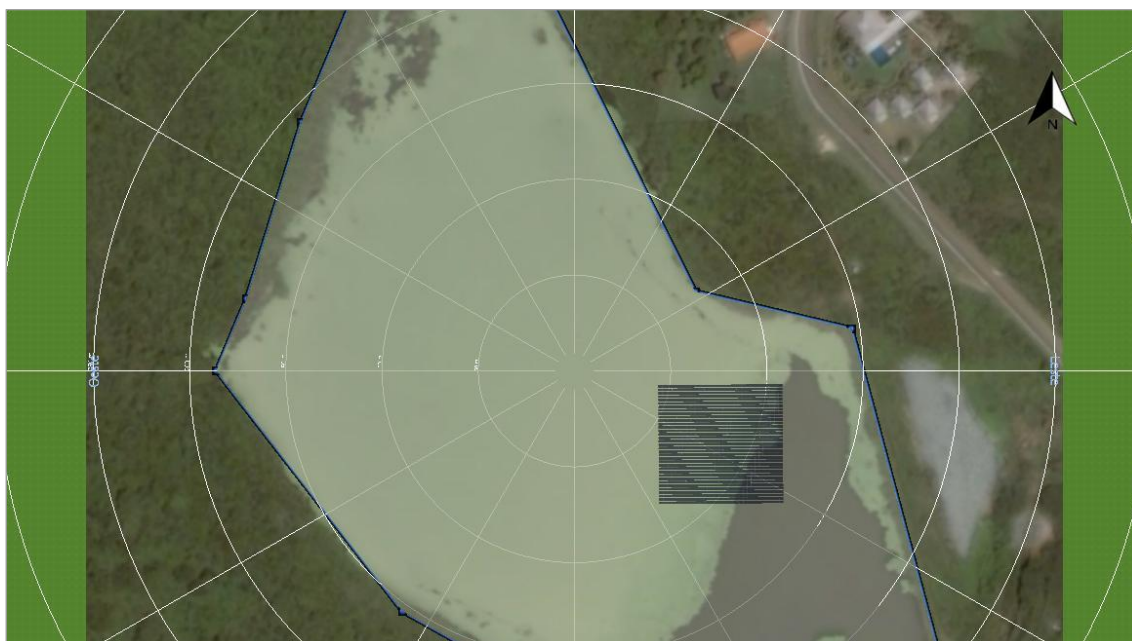


Figura 8 – Ilha de módulos. Fonte: Simulação 3D PVsol

Resultados Obtidos.

Após a modelagem do sistema no software PVsol onde foi realizado a locação do arranjo no espelho d'água, configurações e interligação dos módulos, strings e inversores foi realizada a simulação do sistema fotovoltaico no software de simulação.

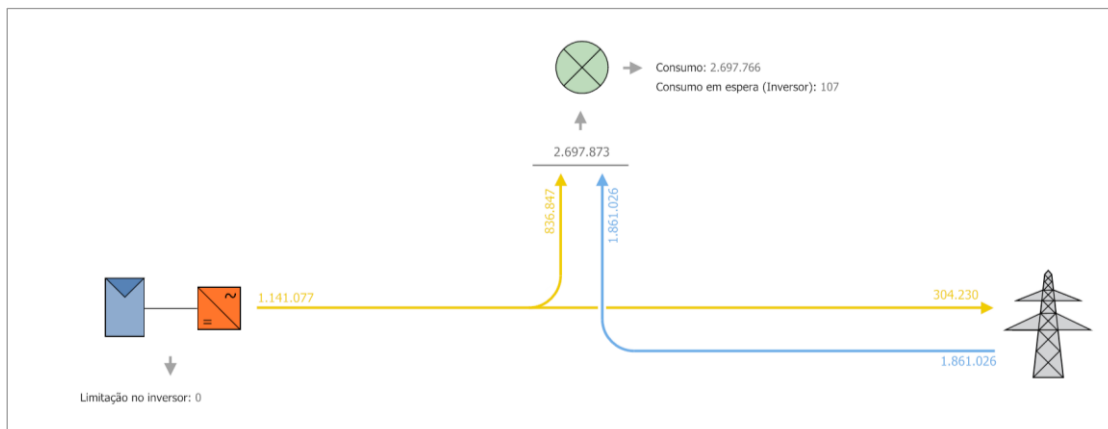


Figura 9 – Comportamento fluxo de energia usina e rede. Fonte: Simulação PVsol

A Figura 9 demonstra o fluxo de energia da usina e rede para suprimento do consumo das cargas, o sistema simulado é de 619kWp com rendimento anual específico de 1843kWh/KWp com um desempenho do sistema de 87,5% que se traduziu em uma geração anual de 1.141.077kWh o que corresponde a uma fração de 42,3% de toda a energia anual consumida pelas 19 unidades operacionais da Companhia de Saneamento.

Tabela 5 – Resumo dos dados resultado da simulação.

Potência do gerador fotovoltaico	619 kWp
Rendimento anual específico	1.843,32 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	87,5 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	0,7 %/Ano
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	1.141.077 kWh/Ano
Limitação no ponto de injeção	0 kWh/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	536.256 kg/ano
Consumidores	2.697.766 kWh/Ano
Consumo em espera (Inversor)	107 kWh/Ano
Consumo total	2.697.873 kWh/Ano
Consumo da rede	1.556.796,4 kWh
Fração solar	42,3 %

Análise dos resultados:

Após simulação dos dados podemos observar que a Usina Solar Flutuante Xaréu atenderá apenas uma parcela de 42,3% de toda carga das 19 unidades consumidoras responsáveis pelo saneamento básico da ilha de Fernando de Noronha. O balanço energético anual aponta que a usina irá gerar 1.141.077kWh/ano e os demais 1.556.796kWh/ano que corresponde a fração de 57,7% do consumo das unidades serão supridos pela concessionária de energia.

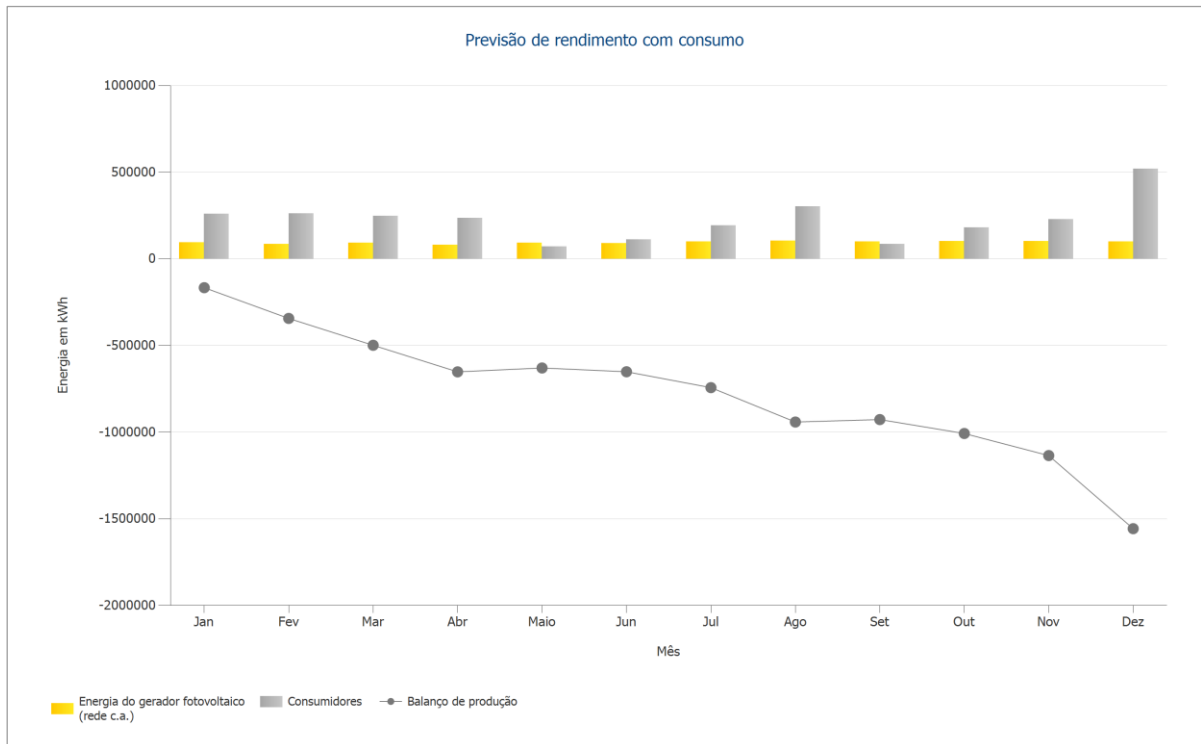


Gráfico 3 - Previsão de geração X consumo. Fonte: Simulação PVsol

O Gráfico 3 demonstra ainda que a previsão de geração e consumo do sistema onde fica evidente que apenas nos meses de maio e setembro a geração de energia do sistema será superior ao consumo, sendo os demais meses do ano com consumo suprido pela concessionária com destaque para o mês de dezembro que teve um expressivo aumento de consumo de energia coincidindo com o início do mês de férias e alta temporal de turismo no arquipélago.

Os limites operacionais de operação do inversor também foram verificados na simulação, o Fator de Dimensionamento (FDI) de 112,5% ficou dentro do limite operacional assim como os limites individuais dos parâmetros de tensão de circuito aberto, tensão no ponto de máxima potência, corrente e potência de cada conjunto de string conforme pode ser observado nas Figura 10 e Figura 11.

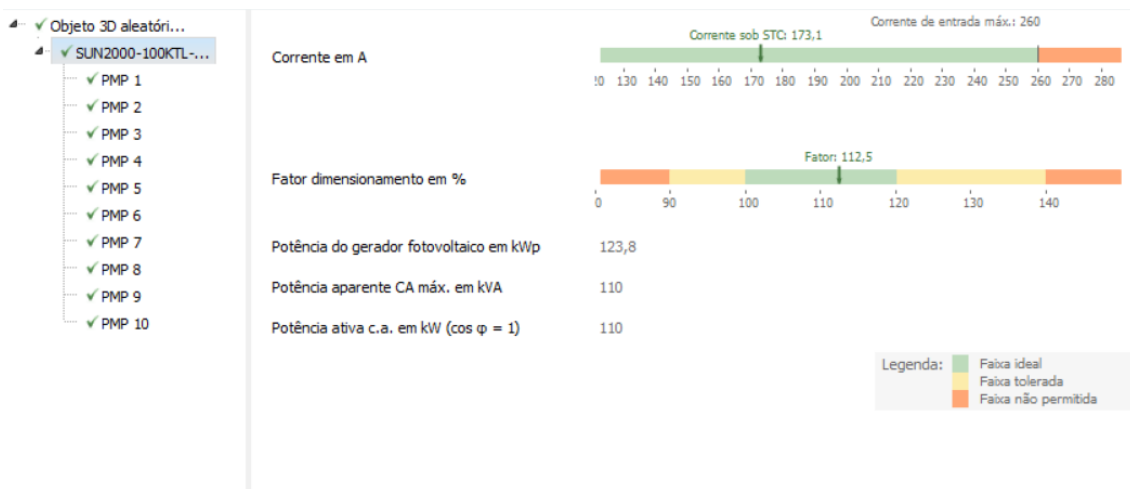


Figura 10 – Limites operacionais saída do Inversor. Fonte: Simulação PVsol.

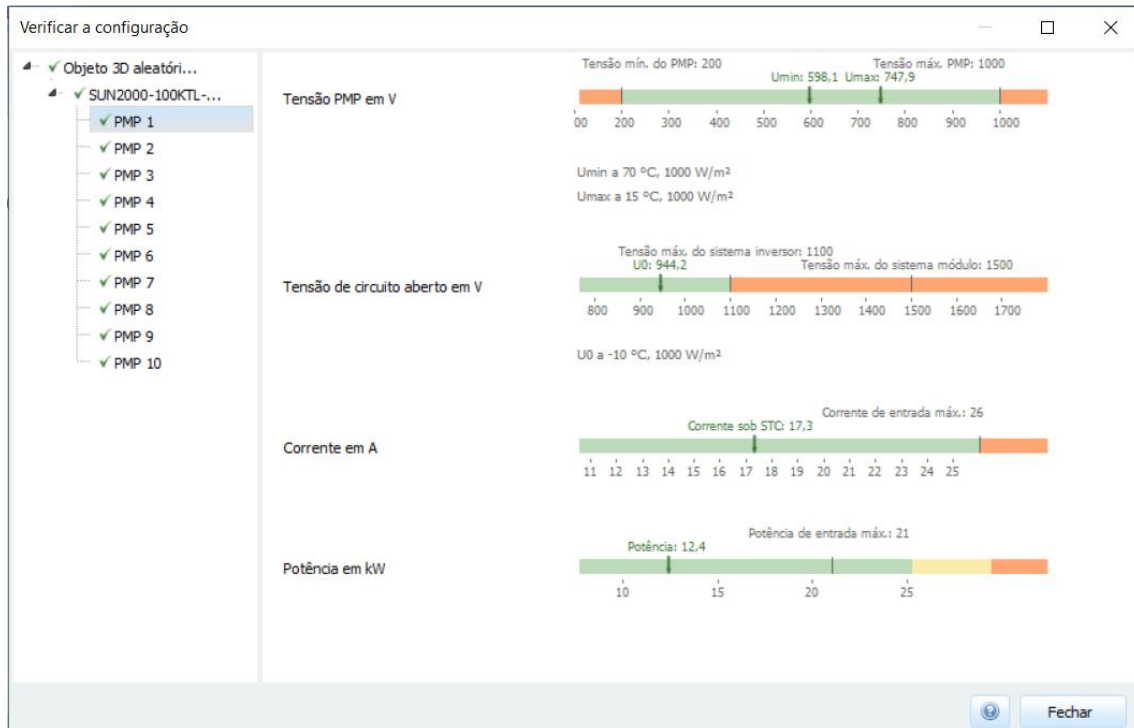


Figura 11 – Limites operacionais entrada por entrada de corrente contínua do inversor. Fonte: Simulação PVsol.

Conclusões/Recomendações.

Como conclusões deste trabalho, verificamos que após a implantação, a usina solar do xaréu poderá gerar até 1.141.077kWh/ano o que representa 42,3% do consumo de toda carga das 19 unidades consumidoras responsáveis pelo saneamento básico da ilha de Fernando de Noronha. Como benefício adicional a Companhia de Saneamento deu uma utilização mais nobre a uma área já degradada, terá redução dos custos operacionais e contribuirá para redução de 536 toneladas/ano de emissão de gases de efeito estufa CO₂ lançados na atmosfera oriundo da geração termelétrica diesel na ilha de Fernando de Noronha. Como recomendação para trabalhos futuros seria a simulação deste sistema de energia solar junto a um sistema de armazenamento de energia para que se compense a intermitência da fonte solar e possa contribuir na estabilidade da rede de distribuição de energia da ilha em momento de pico de consumo.



Referências bibliográficas.

1. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/37734-relacao-da-populacao-dos-municipios-para-publicacao-no-dou.html> acessado em 03/01/2023.
2. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SINS. Disponível em: http://appsniis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-agua acessado em 03/01/2024.
3. ABASTECIMENTO HÍDRICO NO ARQUIPÉLAGO FERNANDO DE NORONHA – PE
4. PVsol. Disponível em: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>
5. <https://www.qlik.com/pt-br/>
6. Neoenergia Pernambuco - NEOPE. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/web/pernambuco>
7. Companhia Pernambucana de Saneamento - Compesa. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/>
8. Weg. Disponível em: <https://www.weg.net/institutional/BR/pt/>
9. Banco de Dados do Governo do Estado de Pernambuco. Disponível em: http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=416&Cod=3
10. CELPE, 2019. Fernando de Noronha - Ilha de Inovação. Slides. Celpe, 2019. Disponível em: https://www.cinase.com.br/wp-content/uploads/2019/10/Caso-Fernando-de-Noronha_CELPE_compressed-2.pdf