

ILHA DA TRINDADE – MAIOR SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO DO BRASIL

Marco Antônio Galdino – marcoag@cepel.br

Lauro Barde Bezerra – laurobb@cepel.br

Ricardo Marques Dutra – dutra@cepel.br

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), Eletrobrás, Rio de Janeiro-RJ

Resumo. A Ilha da Trindade é uma parte do território brasileiro localizada a cerca de 1.100 km de distância do litoral, aproximadamente na latitude de Vitória-ES, e é ocupada permanentemente pela Marinha do Brasil desde 1957. O presente trabalho descreve o Projeto Básico de um Sistema Híbrido Fotovoltaico-Diesel, efetuado pelo Cepel para suprimento de energia elétrica às instalações da Marinha do Brasil na Ilha da Trindade, visando a substituição da usina termoelétrica atual, que opera com óleo Diesel. Trata-se do maior sistema fotovoltaico isolado (com baterias) do Brasil, compreendendo um painel fotovoltaico de 216 kWp e um banco de baterias Chumbo-ácido de 487 kWh. As soluções adotadas são adequadas ao ambiente local e visam garantir alta confiabilidade ao sistema.

Palavras-chave: Ilha da Trindade, sistemas fotovoltaicos isolados, sistemas híbridos fotovoltaico-diesel.

1. INTRODUÇÃO

A Ilha da Trindade é uma ilha oceânica, situada entre os paralelos de 20° 29' e 20° 32'S e entre os meridianos de 29° 17' e 29° 21'O, distante cerca de 1.148 km (620 milhas náuticas) de Vitória-ES e cerca de 1.481 km (800 milhas náuticas) do Rio de Janeiro-RJ. A ilha possui uma área em torno de 10,2 km² e é fortemente acidentada, com elevações que atingem 600 m (Pico Desejado) de altitude. A ilha é uma área sob jurisdição federal permanentemente ocupada pela Marinha do Brasil desde 1957, quando, foi implantado o Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade (POIT).

A energia elétrica para o POIT é proveniente de uma UTE Diesel operando 24h/dia, que consome cerca de 60 mil litros/ano e provê iluminação, conforto humano e comunicação com o continente, além de conservação de alimentos e medicamentos, uma vez que o reabastecimento desses insumos só é realizado pelos navios da Marinha do Brasil a cada 60 dias.

O artigo descreve o projeto de um Sistema Híbrido FV-Diesel visando substituir a UTE Diesel existente e proporcionando a redução significativa do atual consumo de Diesel, implicando na redução de emissões e ainda na redução dos riscos ambientais associados ao desembarque desse combustível na ilha, dentro de uma concepção de sustentabilidade ambiental local.

Este projeto foi objeto de convênio de cooperação técnica entre o MME – Ministério de Minas e Energia e o Cepel, além de também atender a uma solicitação da Marinha do Brasil à Eletrobras e ao Cepel, por intermédio da SECIRM – Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar.

2. LEVANTAMENTO DE DADOS

Foram efetuadas pelo Cepel diversas campanhas técnicas na Ilha da Trindade para levantamento dos dados necessários ao projeto e para instalação de uma estação meteorológica e um sistema para monitoração do consumo de energia e dos demais parâmetros elétricos do POIT. O consumo anual de energia elétrica observado durante campanha de medição do Cepel foi da ordem de 130 MWh/ano, ou cerca de 358 kWh/dia. A demanda média horária foi de cerca de 15 kW, com valor máximo de aproximadamente 20 kW, conforme pode ser observado na Fig. 1, que apresenta a curva de carga média diária anual do POIT.

Nas medições do Cepel, também foram registrados vários picos de demanda de curta duração (da ordem de minutos) com valores médios da ordem de 40 kW, além de outros, menos frequentes, acima desse valor, que chegaram a atingir cerca de 50 kW, em horários entre 17h30m e 20h20m, com maior concentração por volta das 19h. Analisando-se os horários e os valores registrados, pode-se inferir que estas demandas mais elevadas provavelmente se devem ao uso de chuveiros elétricos simultaneamente aos aparelhos de ar condicionado. O Sistema Híbrido foi dimensionado de forma a atender a tais picos de demanda esporádicos.

Um resumo de alguns dos parâmetros medidos pelo Cepel para o dimensionamento do Sistema Híbrido FV-Diesel é listado a seguir.

- Consumo diário médio de energia: 358 kWh/dia;
- Consumo diário máximo de energia: 398 kWh/dia;
- Demanda horária média: 15 kW;
- Demanda máxima: 50 kW;
- Fator de potência médio: 0,88 (variando entre e 0,82 e 0,94);

- THD da tensão: na maior parte do tempo acima de 10% em ambas as 3 fases, atingindo um pico de mais de 19% em uma das fases;
- Fator de carga referente a todo o período de medição: 46,2%;
- Irradiação global diária (valor médio do período de medição): 4,45 kWh/m².dia;
- Velocidade média do vento: 6,41 m/s;
- Velocidade máxima do vento: 34,49 m/s;
- Temperatura média anual: 24,0°C;
- Temperatura mínima anual: 16,6°C;
- Temperatura máxima anual: 33,0°C;
- Pressão atmosférica média anual: 993,25 hPa
- Pressão atmosférica mínima anual: 972 hPa
- Pressão atmosférica máxima anual: 1004 hPa
- Umidade média anual: 75,73%
- Umidade mínima anual: 31,34%
- Umidade máxima anual: 99,99%

Os dados medidos pelo Cepel para os valores médios mensais dos recursos solar e eólico na Ilha da Trindade são apresentados na Tab. 1. Deve-se ressaltar que os dados foram medidos numa estação meteorológica instalada na encosta da elevação acima do POIT (próximo ao ponto previsto para instalação do painel fotovoltaico), de forma que o piranômetro estava sujeito a sombreamento durante alguns períodos, causado pelas elevações próximas (ver item 3.1). Assim, não podem ser considerados dados de irradiação solar medidos com uma estação instalada de acordo com as recomendações da OMM, embora sejam dados reais e adequados ao projeto.

Tabela 1 – Recursos solar e eólico na Ilha da Trindade (ver ressalva no texto)

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
irradiação solar (kWh/m ² .dia)	6,30	5,91	5,14	4,35	3,54	3,02	3,23	3,85	4,19	4,36	4,19	5,67
velocidade do vento a 24 m (m/s)	6,29	6,01	5,63	7,06	5,58	5,52	5,89	5,45	5,87	8,09	7,96	7,40

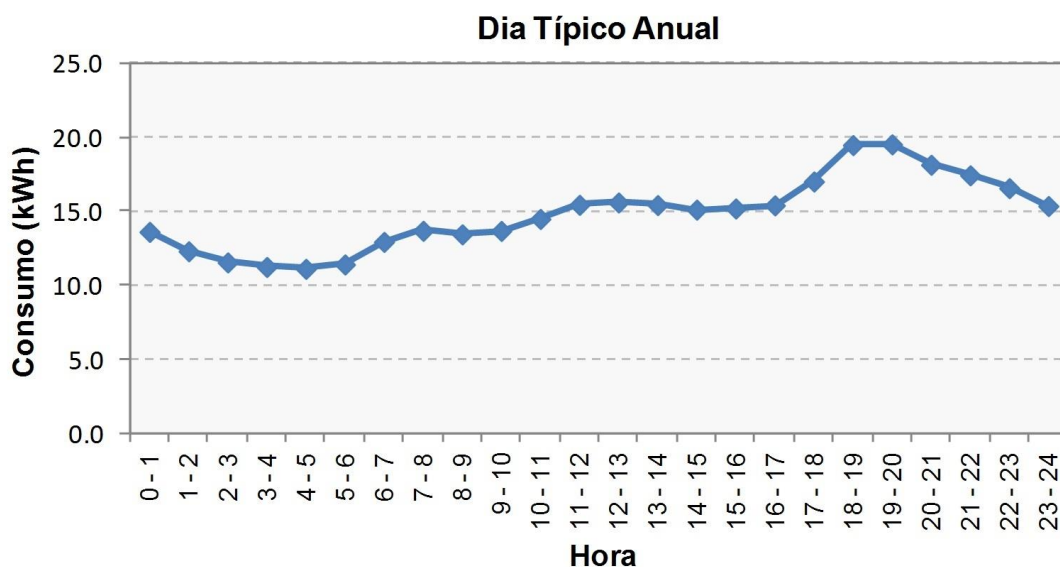


Figura 1 – Dia médio anual – consumo de energia elétrica do POIT medido pelo Cepel

Também foram efetuadas pelo Cepel medidas de resistividade do solo (método de Wenner) da região de interesse na ilha e o posterior modelamento do solo para fins de projeto do sistema de aterramento. Além disso, foi ainda realizado um estudo da corrosividade do ambiente (instalação de uma bancada de corrosão na ilha) para definição dos materiais e técnicas mais adequados ao projeto.

Em função de suas próprias características geográficas, o meio ambiente da Ilha da Trindade é caracterizado por uma alta umidade e por elevada corrosividade devido à presença da névoa salina produzida pela arrebentação das ondas e transportada pelo vento. A dificuldade de acesso e as dificuldades logísticas para desembarque de material na ilha são também pontos relevantes que tiveram de ser levados em conta no projeto.

Para fins do presente Projeto Básico, o Cepel adotou modelos de inversores e outros equipamentos fabricados pela empresa SMA Solar Technology AG (Alemanha), considerada líder mundial na área de sistemas de geração fotovoltaica, o que, aliado à excelência técnica, qualidade e confiabilidade dos equipamentos, motivou o Cepel a utilizar esta linha de produtos. Além disso, estes inversores permitem uma arquitetura no sistema que proporciona ampla

redundância e resiliência a falhas, um dos requisitos mais importantes para este sistema. Os equipamentos do fabricante SMA já vêm sendo usados no sistema fotovoltaico isolado da Estação Científica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, em condições similares à Ilha da Trindade, com bom desempenho (Galdino, 2009).

3. PROJETO DO SISTEMA HÍBRIDO

Para fins de Projeto Básico utilizou-se a ferramenta computacional Homer v2.81 (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*, software originalmente desenvolvido pelo NREL - *National Renewable Energy Laboratory*, centro de pesquisas do *US DoE - Department of Energy*) (Homer, 2015) para dimensionamento do arranjo fotovoltaico e do banco de baterias, além da estimação do consumo anual de óleo Diesel do sistema. Para o trabalho, foi utilizada a série de dados da irradiação solar medidos, a curva de consumo medida ao longo de um ano e as especificações técnicas dos equipamentos selecionados (baterias, módulos etc). Foi considerado o consumo de 398 kWh/dia, correspondente ao maior valor diário observado pelo Cepel. Os resultados desta simulação computacional estão sumarizados na Tab. 2.

Tabela 2 – Resultados da simulação no Homer

Consumo diário	398 kWh/dia
Potência FV Total	210 kW _p
Quantidade de Baterias (Hoppecke 2 V, 2.500 Ah @ C ₁₀)	144 baterias
Grupo gerador Diesel	78 kVA (62 kW)
Produção de Energia	271.225 kWh/ano
Fração do Sistema FV	97%
Fração do Gerador Diesel	3%
Consumo Total de Diesel	3.739 L/ano
Excedente de Energia	91.633 kWh/ano
Fração de Excedente de Energia	33,8%
Expectativa de Vida da Bateria	12,9 anos

O dimensionamento dos cabos elétricos foi realizado também com auxílio de uma ferramenta computacional, admitindo uma queda de tensão máxima de 3% para os cabos com comprimento superior a 10 m e 0,5% para aqueles de comprimentos inferiores. Todas as perdas foram consideradas no dimensionamento feito no Homer.

A simulação permitiu obter uma configuração de Sistema Híbrido que proporciona redução superior a 90% no consumo de óleo Diesel (o consumo anual de combustível nesta configuração foi estimado pelo Homer em 3.740 L/ano), mantendo adequado atendimento à carga do POIT. O diagrama em blocos do Sistema Híbrido FV-Diesel é apresentado na Fig. 2.

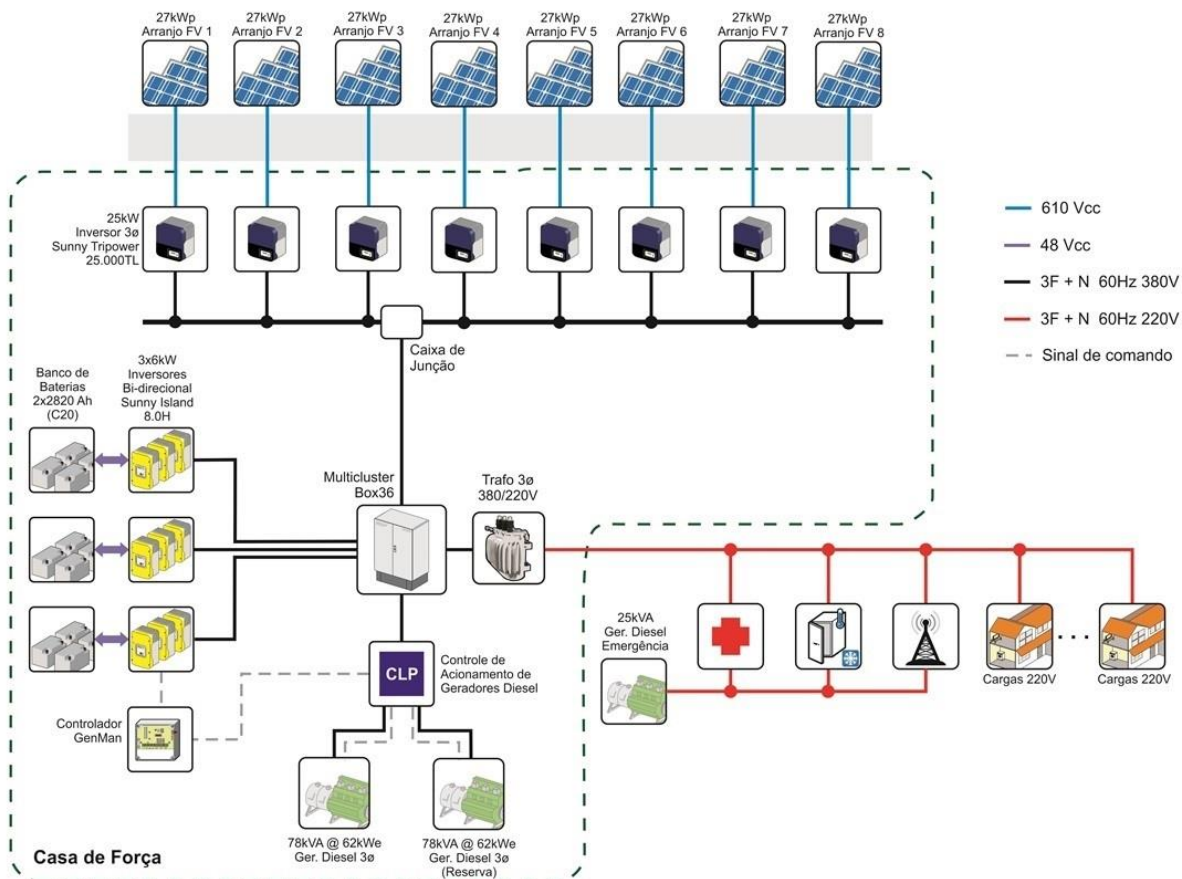


Figura 2 – Diagrama esquemático do Sistema Híbrido

3.1 Painel Fotovoltaico

O dimensionamento por meio do programa Homer resultou numa potência de 210 kWp de painel fotovoltaico. Adotando-se módulos de Silício cristalino (c-Si), com 60 células em série e potência de 270Wp, juntamente com inversores trifásicos SMA Sunny Tripower 25000TL (STP 25000TL), de 25 kWca, o painel fotovoltaico consiste em 8 oito arranjos fotovoltaicos de 27 kWp, perfazendo uma potência total de 216 kWp, sendo cada arranjo composto por 100 módulos fotovoltaicos de 270Wp e conectado a um inversor STP 25000TL.

Cada arranjo de 100 módulos será subdividido em cinco subarranjos constituídos por 20 módulos em série (associação 20s * 5p), sendo utilizadas, assim, apenas cinco das seis entradas disponíveis no inversor. Os cinco subarranjos serão conectados a uma Caixa de Junção, que contém componentes de proteção e chaveamento e da qual partem os pares de condutores c.c. (+/-) para conexão na Casa de Força, onde se localizará o respectivo inversor. Assim, a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos será transmitida através de fiação c.c. de comprimento médio de 375 m, com tensão (Voc) de 780 Vcc e corrente (Isc) de 9,43 A, abrigada em canaletas de concreto semi-enterradas.

A saída c.a. trifásica dos inversores STP 25000TL será conectada ao quadro elétrico da Casa de Força, cujo barramento interno opera na tensão 380 Vca fase-fase e 220 Vca fase-neutro. Automaticamente, parte da energia que chega a este barramento interno atenderá à carga instantânea do POIT, enquanto que o excedente será utilizado pelos inversores bidirecionais Sunny Island (ver item 3.2) para carregar o banco de baterias.

Uma vez que a topografia bastante complexa da ilha projeta sombras na área ao redor do POIT, em especial aquela montanha denominada de Pico da Bandeira, fez-se necessário identificar o local mais adequado para a montagem do painel fotovoltaico, buscando um maior período de insolação, o que foi feito por meio de trabalhos de campo para levantamento *in situ* das linhas de sombra ao longo do ano na encosta da elevação acima do POIT. Com isso, foi possível identificar uma área que não apresenta sobreposição além das 15h30m (horário de Brasília), a qual é representada na Fig. 3, perfazendo uma área de 28.000 m², com altitude de cerca de 80 m.

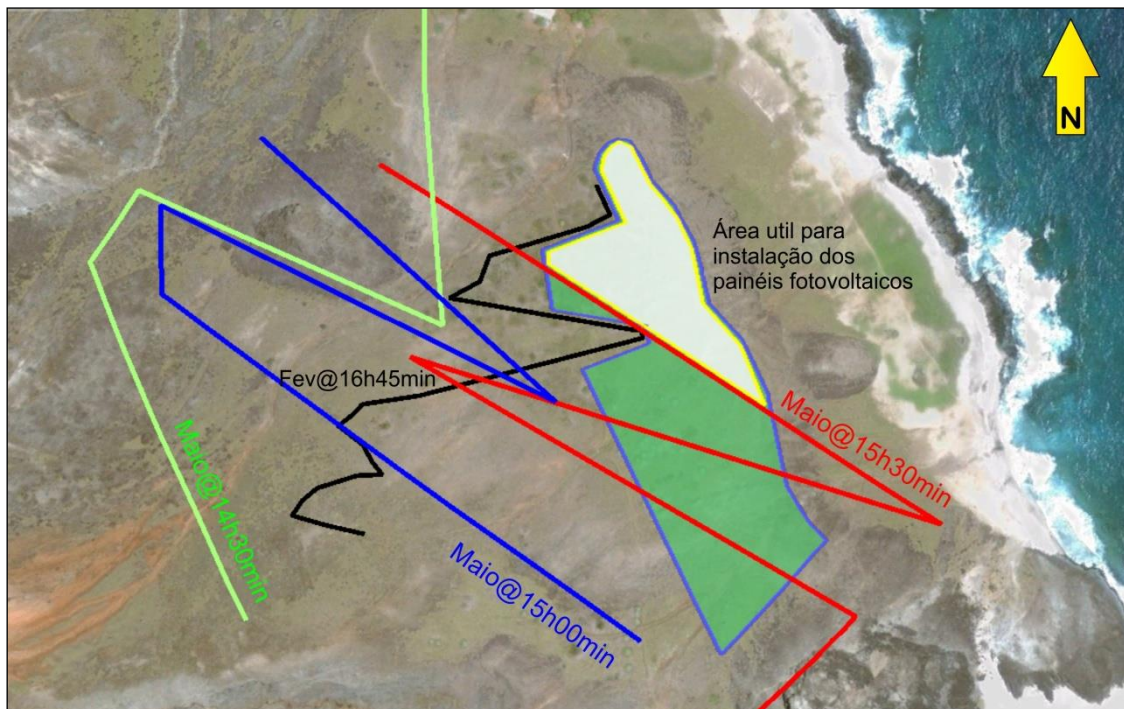


Figura 3 – Levantamento das linhas de sombra ao longo do ano para definição da área de montagem do Painel fotovoltaico na Ilha da Trindade

3.2 Banco de Baterias

O armazenamento de energia será realizado por meio de um banco de baterias estacionárias Chumbo-ácido (Pb-H₂SO₄), abertas, do tipo OPzS, com energia útil de cerca de 487 kWh @C₂₀. Para o Projeto Básico foi considerada uma profundidade de descarga máxima do banco de baterias de 60%, o que resulta numa autonomia para suprir o consumo de energia do POIT por um período de aproximadamente 32 horas. Este tipo de bateria requer reposição periódica de água destilada.

O projeto adota elementos com tensão nominal de 2 V e capacidade nominal de 2.500 Ah @C₁₀ (2.820 Ah @C₂₀), do fabricante Hoppecke Batterien (Alemanha), que é considerado mundialmente um dos melhores fabricantes de baterias. São previstas válvulas de recombinação catalítica de gases (H₂ e O₂) para redução do consumo de água e carcaças transparentes para permitir a inspeção visual de seu estado interno. Catálogos dos fabricantes nacionais EnerSystem e Saturnia oferecem elementos de modelo equivalente ao Hoppecke, atendendo à premissa de que o material de reposição seja disponível no país.

O banco de baterias prevê uma capacidade total de armazenamento de 16.920 Ah @C₂₀, empregando-se, para isso, 144 baterias OPzS2500, associadas 24s * 6p, ou seja, 6 conjuntos de 24 baterias conectadas em série, resultando numa tensão nominal de 48 Vcc. Cada grupo de baterias, formado por dois destes conjuntos associados em paralelo (24s * 2p), será conectado a um grupo de 3 inversores bidirecionais SMA Sunny Island SI 8.0H (6 kW), cujas respectivas saídas c.a. monofásicas serão conectadas em estrela ao sistema c.a. trifásico interno da Casa de Força.

Deste modo, o sistema de armazenamento e conversão c.c./c.a. será composto por um total de 9 inversores Sunny Island SI 8.0H divididos em 3 grupos. Deve-se lembrar que o funcionamento destes inversores é independente e redundante, de forma a proporcionar alta segurança em relação a possíveis falhas de inversores e/ou baterias.

3.3 Geração Diesel

Para o sistema de geração Diesel foram necessários 2 grupos geradores de 78 kVA. Na simulação foi empregado um gerador do fabricante nacional Stemac, modelo ND65000ES3, com potência elétrica ativa da ordem de 62 kW em modo contínuo (prime). Os geradores deverão ser dotados de sistemas eletrônicos próprios de regulação de tensão e de partida/parada automática. Cada grupo é capaz de atender sozinho à carga do POIT simultaneamente à recarga do banco de baterias, sendo previsto um sistema, manual ou automático, para possibilitar um revezamento da operação dos dois grupos.

De forma a permitir o controle e a partida automática dos grupos geradores diesel, será necessário um controlador eletrônico comandado pelo inversor Sunny Island SI 8.0H para executar o procedimento de partida, sincronização e conexão do gerador ao barramento c.a. do Sistema Híbrido.

De acordo com as especificações adotadas, o grupo gerador será capaz de carregar o banco de baterias em cerca de 11 h, atendendo simultaneamente à carga média do POIT de 15 kW, considerando que o banco estaria inicialmente 60% descarregado e que os geradores iriam operar durante todo o período em sua potência nominal. Os grupos geradores deverão ser carenados, para uma maior proteção contra o ambiente agressivo da ilha, e dotados de atenuação de ruído.

Para garantir segurança adicional, existirá uma chave de reversão manual que desconecta totalmente a geração diesel do Sistema Híbrido e permite que as cargas do POIT sejam alimentadas diretamente pelos grupos geradores, comandados de forma totalmente manual. Faz-se ainda necessário um terceiro grupo gerador diesel de emergência, com cerca de 25 kVA, a fim de suprir apenas as cargas absolutamente essenciais do POIT (câmara frigorífica, sistema de comunicação e enfermaria), para o caso de emergência ou de pane geral do Sistema Híbrido.

3.4 Monitoração

O sistema fotovoltaico deverá ter um posto de monitoração/supervisão local, implementado por meio de um computador tipo PC dedicado, localizado no interior da Casa de Força (ver item 3.5), sendo que praticamente todos os inversores atualmente disponíveis no mercado de sistemas fotovoltaicos já incorporam recursos para isso, incluindo aquisição interna de dados e interfaces de comunicação.

No caso do fabricante SMA, os inversores são conectados, via interface RS485, a um *datalogger* que permite a monitoração do sistema a partir de um computador local ou através da internet, com acesso a partir de qualquer navegador. O sistema deverá também ser dotado de sensores de parâmetros ambientais (temperatura ambiente, radiação solar e velocidade do vento), de forma a permitir uma avaliação do desempenho do sistema e a detecção rápida de falhas.

O software deste computador deverá efetuar o armazenamento em arquivos do histórico de todas as grandezas monitoradas em intervalos máximos de 5 minutos, juntamente com históricos de alarmes, falhas etc. A lista de grandezas a serem monitoradas e o conjunto de telas do sistema de supervisão, assim como o respectivo *layout*, deverão ser definidos posteriormente. O sistema de monitoração deverá ser dotado de sistema *nobreak* (UPS) com autonomia mínima de 2 horas.

3.5 Casa de Força

A Casa de Força (Fig. 4) é a edificação que alojará os equipamentos do Sistema Híbrido, sendo composta por quatro compartimentos principais: um compartimento para o banco de baterias; um compartimento para os geradores Diesel, um cubículo para o transformador e dispositivos associados; e um compartimento para os equipamentos eletrônicos (inversores e monitoração).

O projeto da Casa de Força foi adaptado às características ambientais da Ilha da Trindade, empregando, entre outros, recursos de arquitetura bioclimática:

- A orientação da edificação privilegiará a ventilação natural, para remoção de gases e para controle da temperatura interna (remoção de calor), sendo que, para isso, a parede da parte mais baixa do telhado será orientada segundo a direção do vento predominante, ou seja, na direção Nordeste-Leste;
- A edificação ficará abrigada do Sol por meio de uma cobertura elevada (colchão de ar ventilado), adotando telhas metálicas de lâmina dupla com isolamento, estendidas além das fachadas da edificação com comprimento suficiente de forma a evitar a incidência direta de radiação solar na maior parte do dia;
- O projeto prevê esta edificação com pé direito elevado e o uso de material de alta capacidade de condução térmica no forro, para proporcionar a dissipação do calor produzido no interior da Casa de Força,

- O compartimento das baterias será dotado de paredes com tijolos vazados, com áreas de abertura dimensionadas de forma a prover ventilação natural e evitar a necessidade de ventilação forçada para remoção do gás H_2 formado durante a operação das baterias;
- O compartimento dos grupos geradores, também deverá ter paredes com tijolos vazados de forma a possibilitar a remoção, através da ventilação natural, de vapores inflamáveis (e/ou tóxicos) eventualmente liberados durante a operação;
- O compartimento de equipamentos eletrônicos proporcionará o máximo de isolamento em relação à atmosfera, local (caracterizada por uma alta salinidade-com névoa salina), por meio de antecâmaras de passagem, ausência de janelas/aberturas e estanqueidade nas passagens de cabos;
- O *layout* atende aos espaçamentos recomendados pelos fabricantes dos equipamentos, além de prover espaço para deslocamento de pessoal e material para operação e manutenção, sem necessidade de desmontagem ou remoção de outros itens;

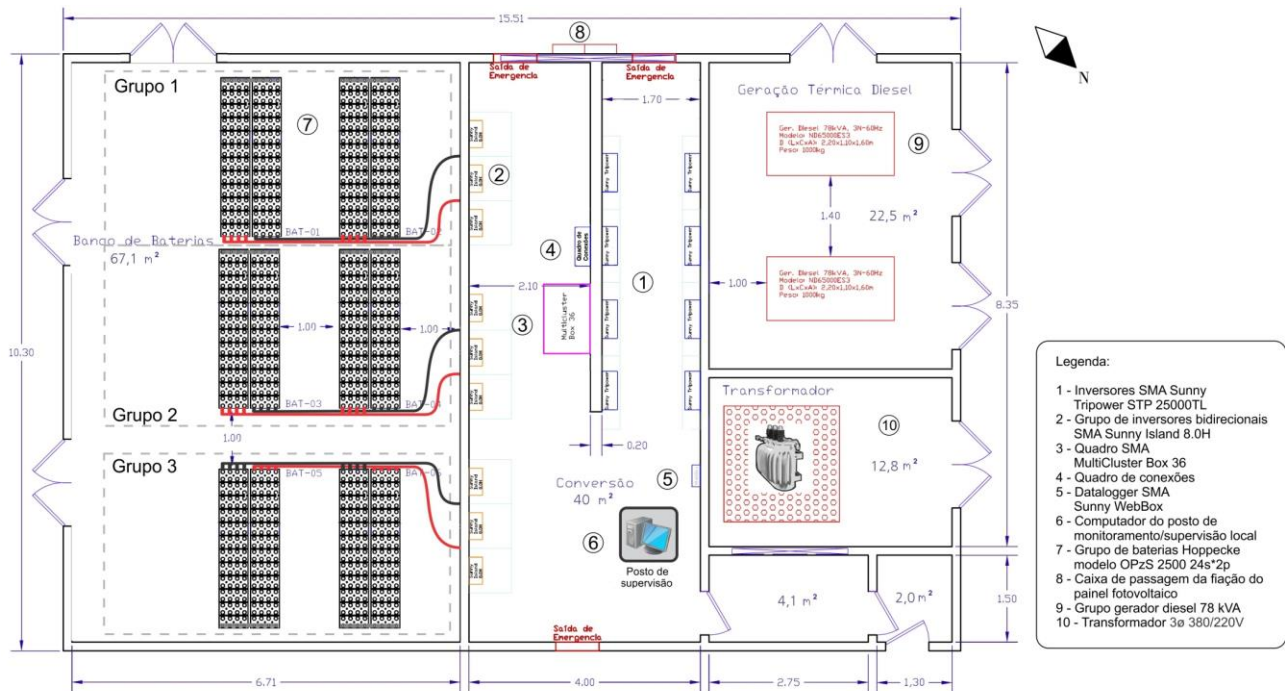


Figura 4 – Planta Baixa da Casa de Força

4. CONCLUSÕES

O artigo apresenta o projeto do Sistema Híbrido Fotovoltaico-Diesel para suprimento de energia elétrica às instalações da Marinha do Brasil situadas na Ilha da Trindade. As simulações efetuadas a partir de dados levantados em campanhas executadas *in loco* pelo Cepel indicam que o sistema irá reduzir em cerca de 90% o atual consumo de óleo Diesel. As soluções adotadas são adequadas ao ambiente hostil da ilha e visam garantir alta redundância e tolerância a falhas no sistema.

REFERÊNCIAS

- Marco Antonio Galdino, Patricia de Castro da Silva, Marco Antonio Carvalho de Souza. The Implantation of a PV Electric Energy Generation System at the Saint Peter and Saint Paul Islands. RIO 9 - World Climate & Energy Event - Book of Proceedings; pg 83-88. March, 16th-19th, 2009. Rio de Janeiro, Brazil.
- Homer. Homer Energy. Informações e manuais do Homer - *Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources* encontram-se disponíveis em www.homerenergy.com (em inglês). 2015.
- SMA. SMA Solar Technology AG. Manuais de diversos equipamentos, como os inversores STP 25000TL e SI 8.0H, entre outros. Disponível em www.sma.de/en.html (em inglês). 2015.

ILHA DA TRINDADE – THE LARGEST STAND ALONE PV SYSTEM IN BRASIL

Abstract. Ilha da Trindade (Trinity Island) is located at a distance of about 1,100 kilometers from the Brazilian coast, approximately at the latitude of the City of Vitória (ES), and is a part of Brazilian territory permanently occupied by Brazilian Navy since 1957. This paper describes the basic design of a PV-Diesel hybrid system, developed by Cepel for supply electricity to the installations of the Trindade Island, aiming to replace the current power plant, which operates with diesel oil. This will be the largest stand-alone photovoltaic system (with batteries) of Brazil, comprising a

photovoltaic panel of 216 kWp and a bank of lead-acid batteries with 487 kWh. The solutions adopted are appropriate to the local environment and aim to ensure high system reliability.

Key words: *Trindade Island; Stand-alone PV systems; PV-diesel hybrid systems.*