ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UMA MICRORREDE ISOLADA BASEADA EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – O CASO DA ILHA GRANDE

Leonilson dos Santos Veras

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Saavedra
Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio de Souza Ribeiro

Índice

01 Introdução

02 Microrredes com Geração Solar Fotovoltaica

03 Modelagem da operação

04 Microrrede de Ilha Grande

05 Resultados e discussões

06 Conclusões

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1

Introdução

- Em 2017, cerca de 840 milhões de pessoas ainda viviam sem energia elétrica (Banco Mundial) [População do Brasil: 211 mi];
- Dessas, 732 milhões localizam-se em áreas rurais;
- Dificuldades na implantação da rede convencional a essas áreas;
- Necessidade de realizar uma operação econômica e confiável;
- Busca por estratégias para reduzir o consumo de combustíveis fósseis, otimizar o uso da geração renovável e preservar a vida útil do sistema de armazenamento de energia.

Introdução

- Maranhão: Ilha Grande (Humberto de Campos), Ilha dos Lençóis (Cururupu)
  - Acesso somente por via marítima
  - Disponibilidade de barcos pequenos
  - Restrições ambientais

Objetivos

- Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de uma microrrede isolada baseada em energia solar FV e propor estratégias para melhoria de desempenho. Como estudo de caso será considerada a microrrede isolada de Ilha Grande, localizada na região Norte do estado do Maranhão.

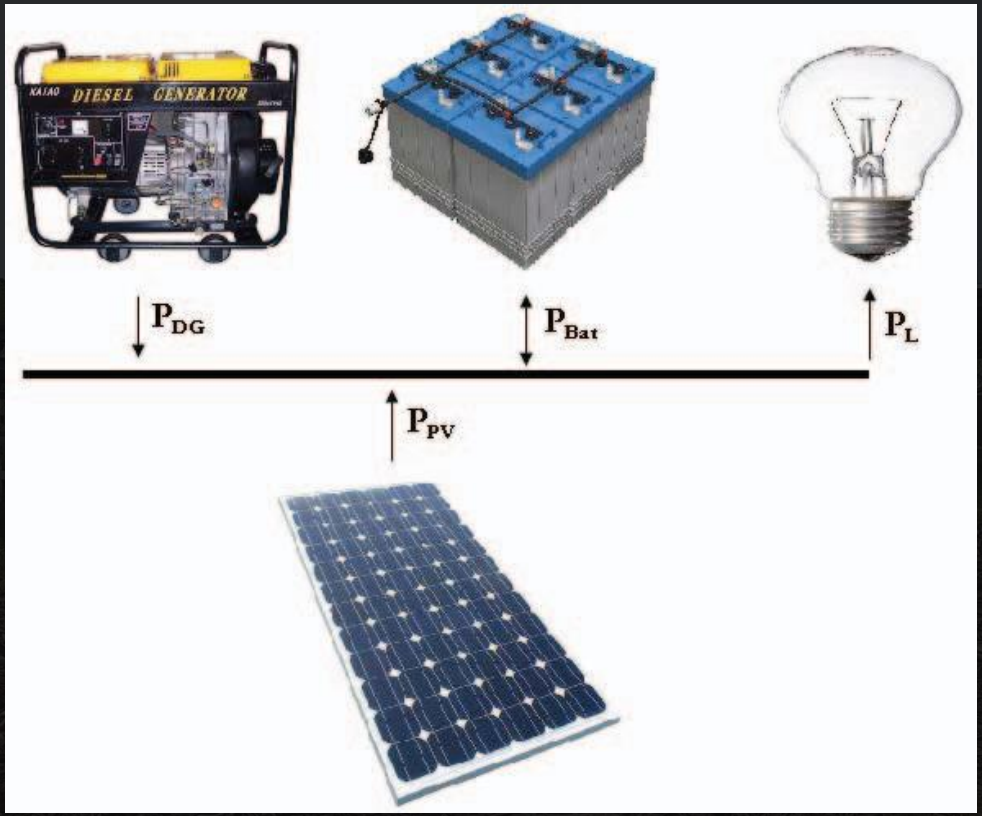
Objetivos

- Objetivos Específicos
  - Estudar e simular o fluxo de energia nos elementos da microrrede;
  - Identificar oportunidades de aperfeiçoamento no gerenciamento de energia;
  - Identificar oportunidades de ganhos de eficiência de operação no sistema existente da Ilha Grande;
  - Identificar aspectos críticos na operação de bancos de baterias em sistemas isolados;
  - Identificar estratégias operacionais que preservem a vida útil dos bancos de baterias;
  - Identificar estratégias operacionais que reduzam o consumo de combustível em geradores à diesel.

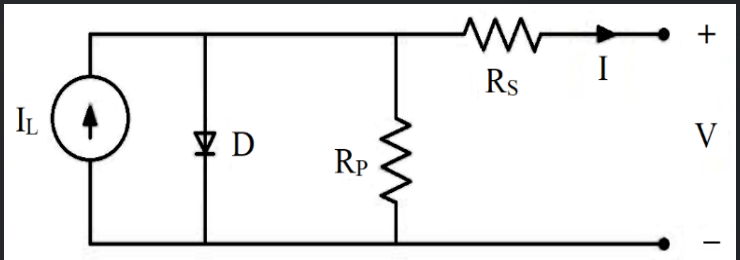
MICRORREDES COM GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

CAPÍTULO 2

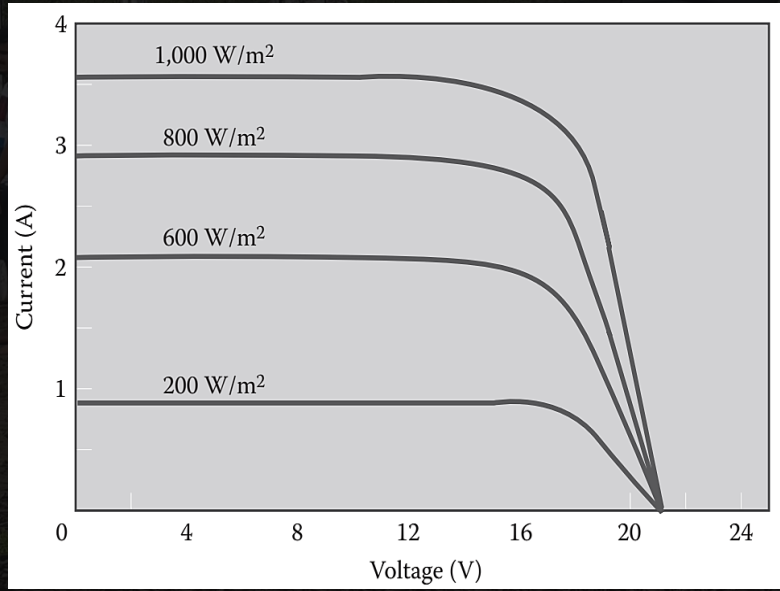
Microrredes FV



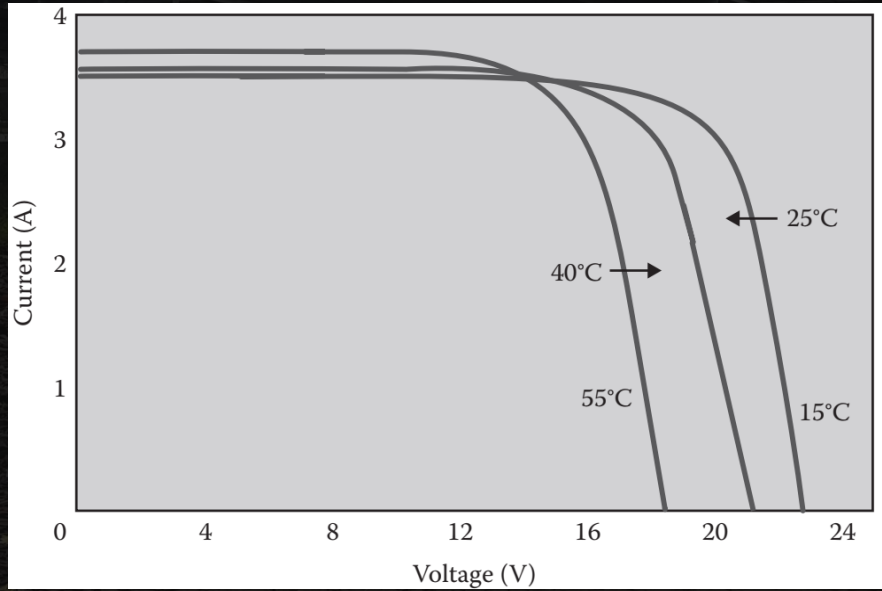
Geração Solar Fotovoltaica



Influência da variação da irradiância solar



Influência da variação da temperatura



Baterias de Chumbo-Ácido

- Aplicações com fontes renováveis submetem o SAB a condições diferentes daquelas de laboratório.
- Compreensão dos processos de envelhecimento e fatores de estresse a eles associados;
- Processos de envelhecimento são relacionados a alterações na composição físico-química das baterias.

Processos Físico-Químicos

- Mudanças que ocorrem na composição físico-química das baterias e afetam o seu desempenho, bem como têm impacto direto no tempo de vida útil (processos de envelhecimento).

  - ***Corrosão*** *(aumento da resistência)*
  - ***Estratificação*** *(potenciais diferentes)*
  - ***Gaseificação*** *(tensão e temperatura altas)*
  - ***Sulfatação*** *(Sulfato de chumbo $PbSO_4$)*
  - ***Degradação da matéria ativa*** *(estresse mecânico)*

Fatores de Estresse

- Parâmetros estatísticos derivados das séries temporais de tensão, corrente, temperatura e SOC, e que refletem as condições operacionais geralmente usadas e aceitas como relevantes para a vida útil de uma bateria

  - *Fator de carga*
  - *Quantidade de Ah extraído*
  - *Maior Taxa de Descarga*
  - *Tempo entre Cargas Completas*
  - *Tempo em Baixo SOC*
  - *Ciclagem Parcial*

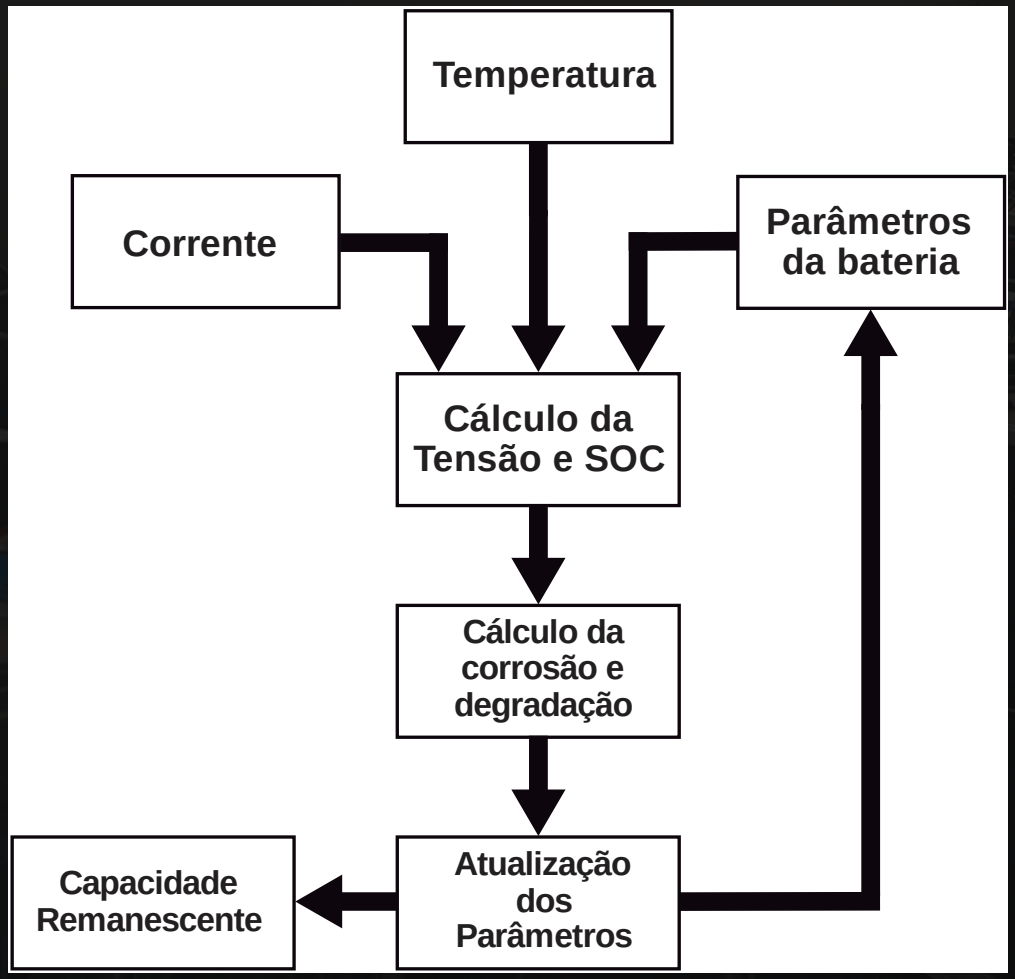
Modelo de Schiffer

- Modelo de previsão da vida útil de baterias de chumbo ácido baseado na taxa de transferência de Ah ponderado

- Assume que as condições de operação reais são tipicamente mais severas que aquelas usadas em testes padrões de ciclagem e vida útil em flutuação.

- Considera que o desgaste das baterias depende da profundidade de descarga, da taxa de corrente, da estratificação e do tempo desde a última carga completa.

Modelo de Schiffer



Parâmetros dependentes do tipo de bateria

Parâmetros que podem ser adaptados

Parâmetros que não devem ser alterados

MODELAGEM DA OPERAÇÃO

CAPÍTULO 3

Modelagem da Operação

Premissas

Todos os elementos são considerados para operar em sua capacidade nominal, exceto o gerador à diesel (regime *Prime Power*).

Stand-By

Prime Power

Contínuo

Arranjo Fotovoltaico:
Vida útil = 20 anos, fator de degradação = 95%.

Gerador à Diesel:
Vida útil = 15 mil horas de operação.
Custo do litro de diesel = 4 reais, incluído transporte.
Custo de O&M é considerado.

Temperatura média local = 27 °C.

Plataforma *Matlab*.

Geração FV

Modelagem da geração Fotovoltaica:

$$P_{PV}(t) = P_{PV,N} f_{PV}\left(\frac{G(t)}{1\ kW/m^2}\right)$$

Modelo de Schiffer

Cálculo do estado de carga:

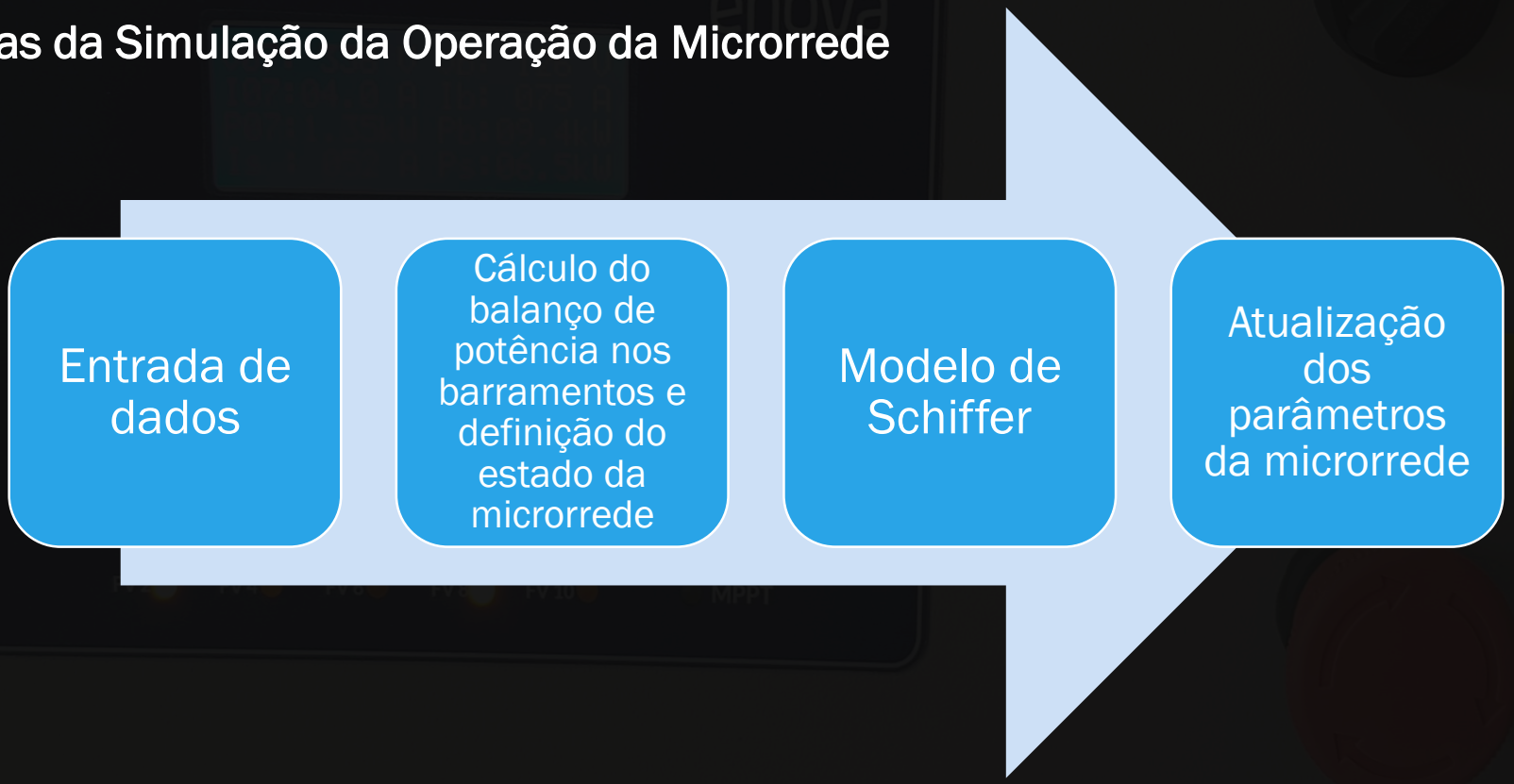
$$SOC(t) = SOC(0) + \int_0^t \frac{I(\tau) - I_{gas}(\tau)}{C_N} d\tau$$

Capacidade remanescente das baterias

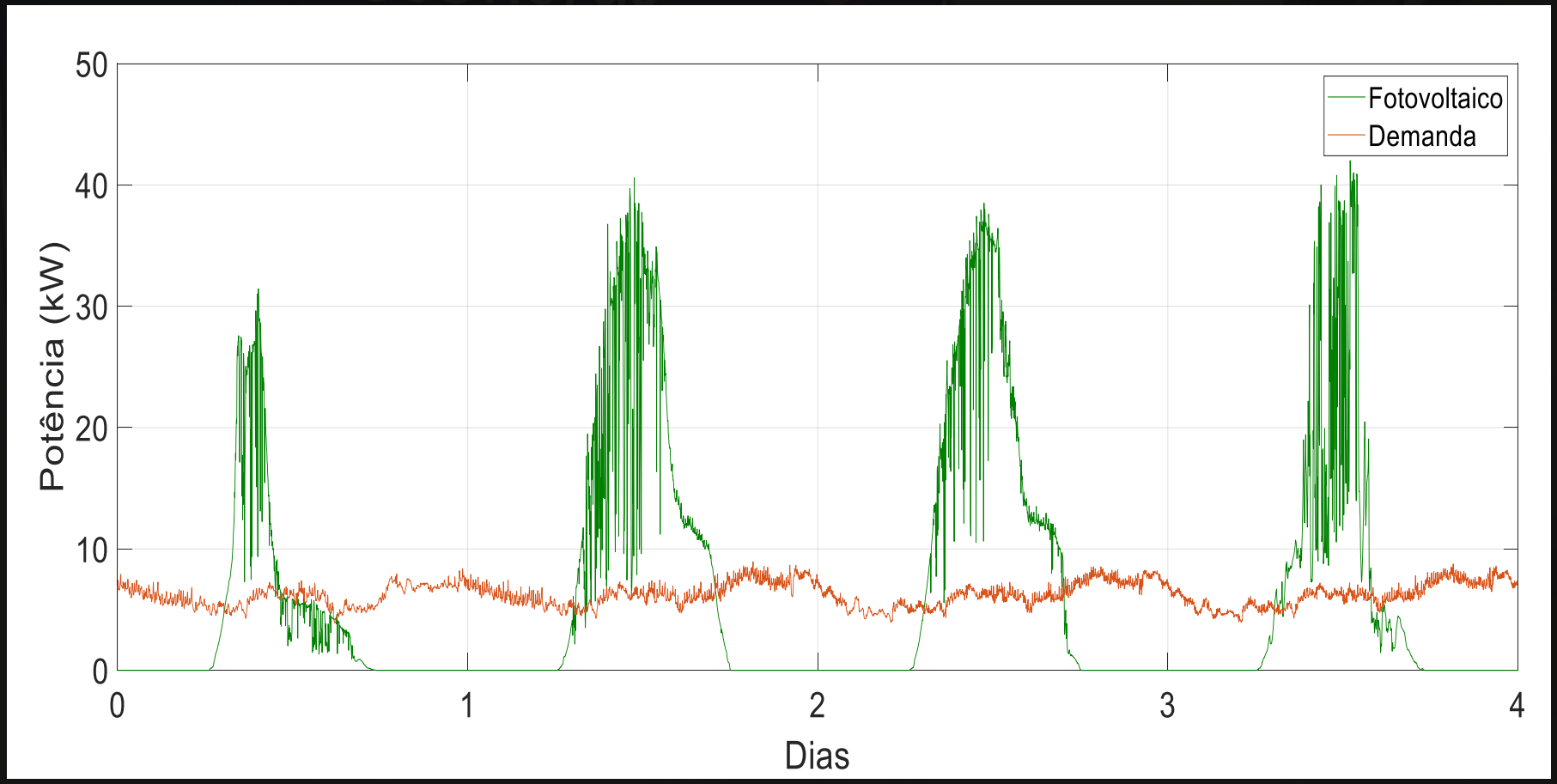
$$C_{remaining} = C_d(t) = C_d(0) - C_{corr}(t) - C_{deg}(t)$$

Modelagem da Operação

Etapas da Simulação da Operação da Microrrede



Modelagem da Operação



ESTUDO DE CASO: MICRORREDE DE ILHA GRANDE

CAPÍTULO 4

MICRORREDE DE ILHA GRANDE

Localizada em Humberto de Campos, no estado do Maranhão, na região Nordeste do Brasil.

A ilha possui 50 unidades consumidoras;

Aproximadamente 200 habitantes, a maioria pescadores.

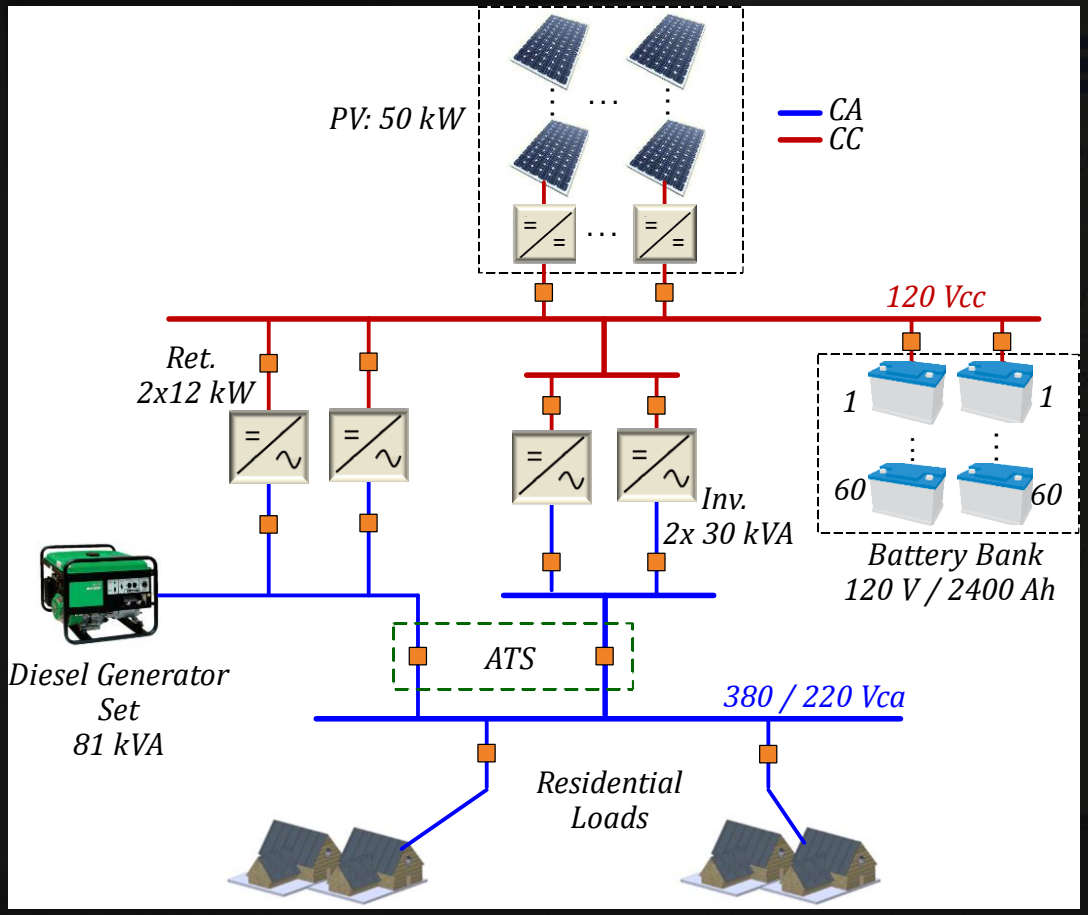
Na comunidade há uma escola e uma igreja, além de vários comércios.

O consumo médio diário é de aproximadamente 115 kWh.

A carga é majoritariamente doméstica.

MICRORREDE DE ILHA GRANDE

MICRORREDE DE ILHA GRANDE



MICRORREDE DE ILHA GRANDE

MICRORREDE DE ILHA GRANDE

Cenário Atual

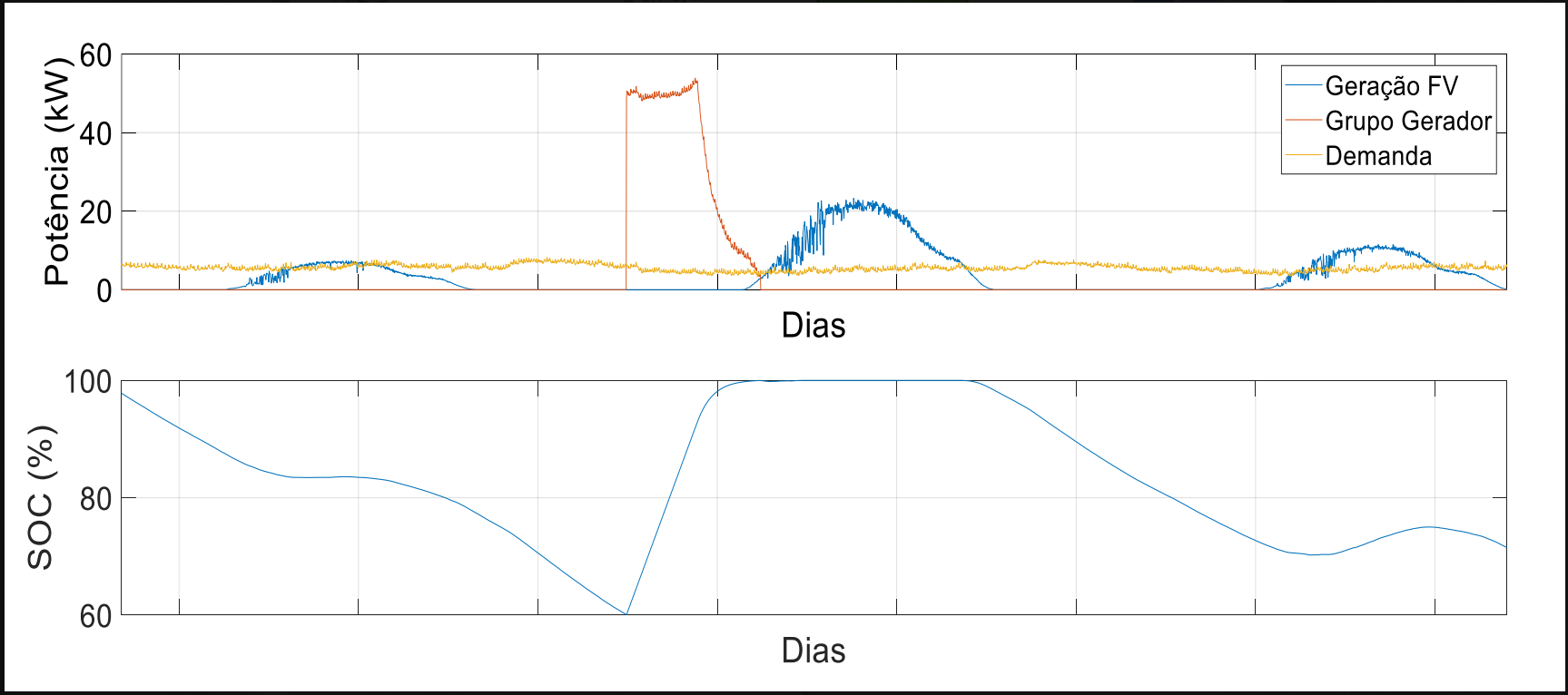
Vida Útil SAB	3,01 anos
Consumo de diesel	7.057,33 litros
Período de Equalização	10 dias
DOD	40%

Cenário Atual

Resumo Energético do sistema

Descrição	Energia Gerada (kWh)	(%)
Geração Fotovoltaica	55.769,43	70,86
Geração à Diesel	22.938,24	29,14
Total	78.707,67	100
Descrição	**Energia Consumida (kWh)**	**(%)**
Demanda	49.765,86	63,23
Perdas	17.856,24	22,69
Energia Vertida	11.019,55	14,08
Total	78.641,65	100
Penetração de Fontes Renováveis	28.176,93	56,62

Cenário Atual



Resultados

- Avaliação dos impactos da variação de determinados parâmetros do sistema sobre:
  - Vida útil do SAB
  - Consumo anual de combustível fóssil
  - Custo global do sistema

- Por conveniência, o VPL é apresentado em módulo nos gráficos para facilitar a apresentação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

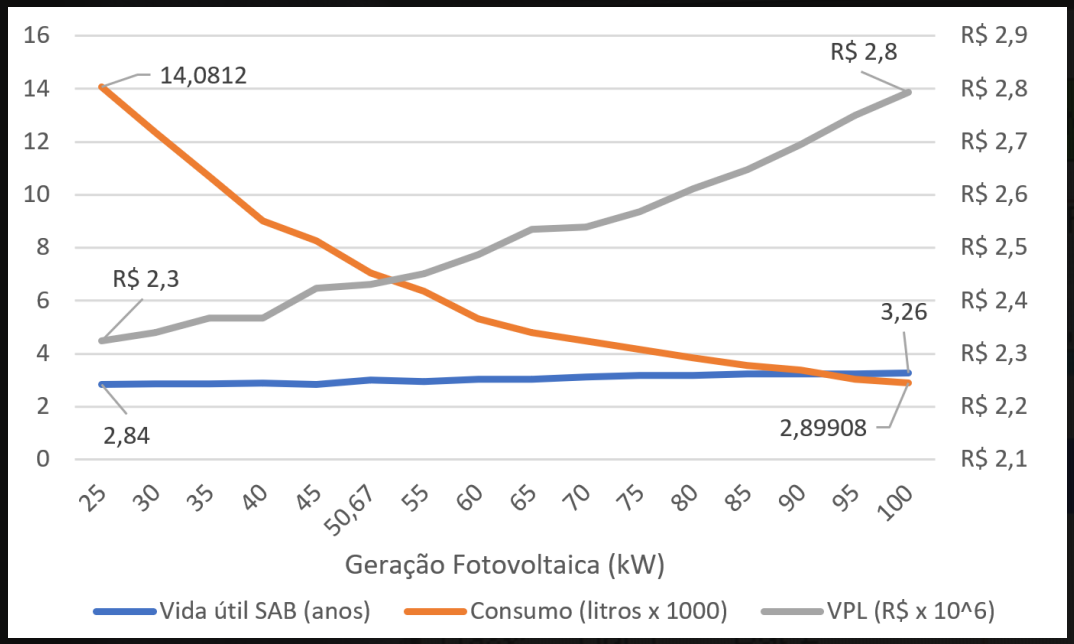
CAPÍTULO 5

Resultados

- Avaliação dos impactos da variação de determinados parâmetros do sistema sobre:
  - Vida útil do SAB
  - Consumo anual de combustível fóssil
  - Custo global do sistema

- Por conveniência, o VPL é apresentado em módulo nos gráficos para facilitar a apresentação dos resultados.

Resultados



VARIAÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Melhor relação *consumo* x *custo:*
PV = 52,5 kW (Geração atual = 50,67 kW)
Vida útil SAB = 3,08 anos

Aumentar a capacidade de geração significa, em última instância, optar por uma economia em curto prazo, baseada na redução de gastos com consumo de combustível fóssil.

Aumento da capacidade de geração FV em 10%

Geração FV (kW)	Vida útil SAB (anos)	Consumo (litros)	VPL
50,67	3,01	7.057,33	R$ -2.430.097,93
55,74	2,98	6.216,81	R$ -2.447.581,66
Acréscimo de 10%	0,99% menor	11,91% menor	0,72% maior

Resultados

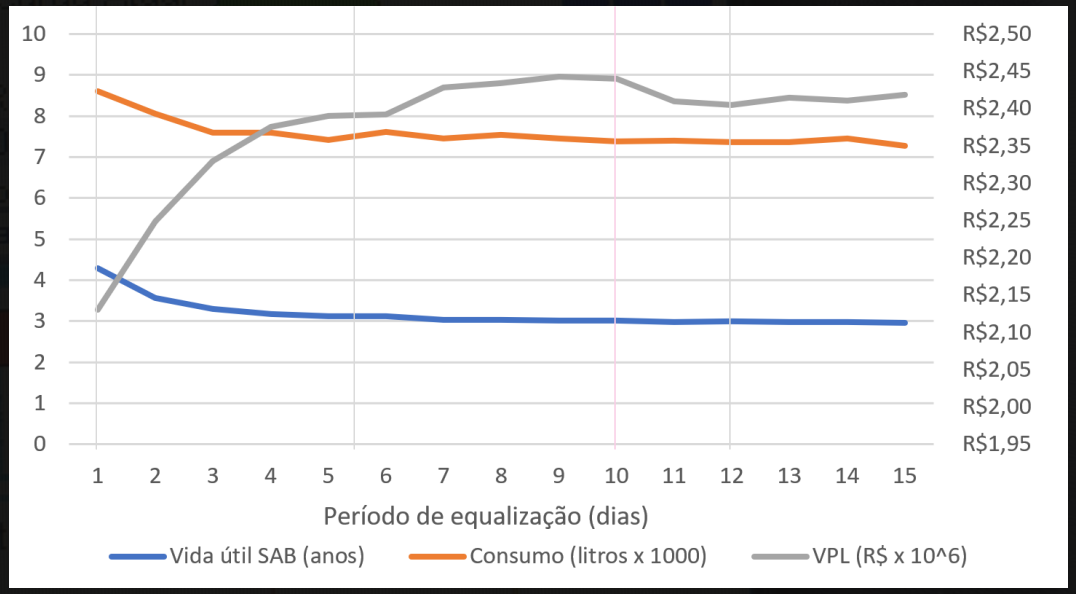
VARIAÇÃO DO PERÍODO DE EQUALIZAÇÃO

A configuração atual possui custo elevado;

Menor custo global: equalização diária
[VPL: 12% menor que o atual]
[Consumo: 16% maior que o atual]

No longo prazo: 5 dias
[VPL: 2% menor / Consumo: 0,3% maior]

No curto prazo: 12 dias
[VPL: 1,4% menor / Consumo: 0,3% menor]



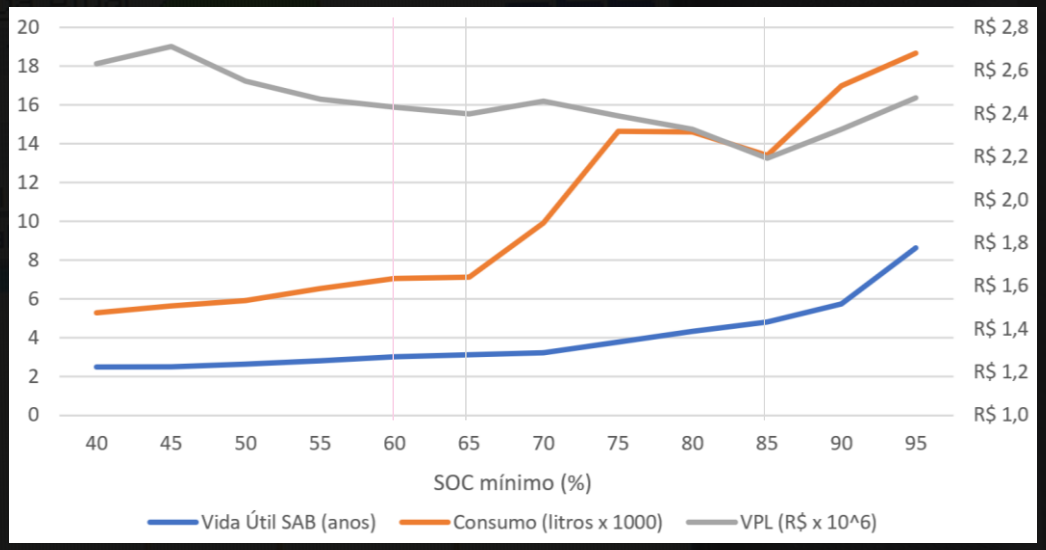
Resultados

VARIAÇÃO DO SOC MÍNIMO

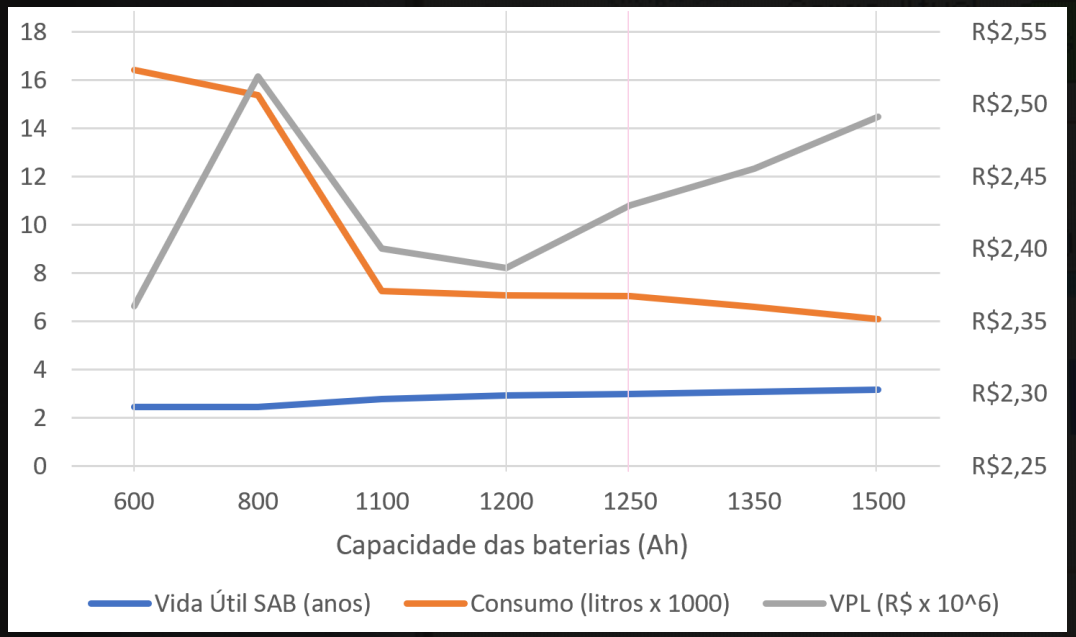
Menor custo: SOC = 85% (9,8% menor)
[Vida útil: 60% maior / Consumo: 90% maior]

SOC inferior a 60%: economicamente inviável.

Alternativamente: SOCmin = 65%
[Vida útil: 3,3% maior]
[Consumo: 1,17% menor]
[VPL: 1,2% menor]



Resultados



VARIAÇÃO DA CAPACIDADE DAS BATERIAS

Menor custo: 600 Ah

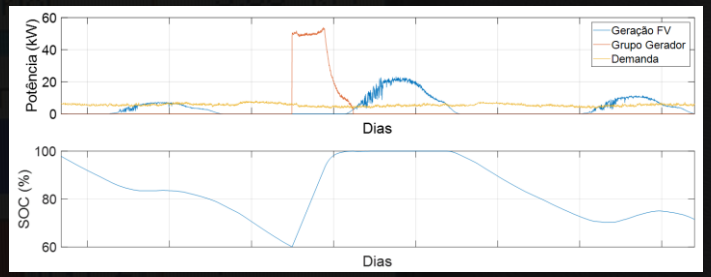
Maior capacidade ≠ Maior eficiência
1500 Ah = 59% do VPL

1200 Ah:
[VPL: 1,8% menor]
[Consumo: 0,4% maior]

Resultados

SOCmax (%)	Vida útil SAB (Anos)	Consumo (Litros)	Custo (R$)
100	3,01	7.057,33	2.430.097,93
95	2,01 (33% menor)	5.981,77 (15,24% menor)	3.014.124,61 (24% maior)
90	**2,63 (12,6% menor)**	**5.579,98 (20,9% menor)**	**2.550.463,59 (5% maior)**
85	2,58	5.350,84 (24% menor)	2.569.401,58 (5,7% maior)
80	2,48	4.913,67 (30% menor)	2.624.980,61 (8% maior)
75	2,57	4.799,05 (32% menor)	2.567.048,10 (5,6% maior)
70	2,43	4.532,06 (3,6% menor)	2.648.618,38 (9% maior)
0	3,17 (5,3% maior)	6.965,61 (1,3% menor)	2.371.302,52 (2,4% menor)

VARIAÇÃO DO SOC MAXIMO PELO GMG



Resultados

Resumo Energético
$SOC_{max} = 0$

Descrição	Energia Gerada (kWh)	(%)	Comparação
Geração Fotovoltaica	55.769,43	81,40	
Geração à Diesel	12.747,03	18,60	10,5% menor
Total	68.516,46	100	

Descrição	Energia Consumida (kWh)	(%)	Comparação
Demanda	49.765,86	72,63	
Perdas	13.569,29	19,98	2,7% menor
Energia Vertida	5.061,30	7,39	6,7% menor
Total	68.396,45	100	
Penetração da Fonte Renovável	37.018,83	74,39	17,77% maior

Resultados

Adição de uma Turbina Eólica

Nº de Turbinas	Vida útil SAB (anos)	Consumo (l)	Custo (R$)
0	3,01	7.057,33	R$ 2.430.097,93
1	3,92	2.536,64	R$ 2.184.009,91
-	30,23% maior	64,05% menor	10,12% menor

CONLCLUSÕES

CAPÍTULO 6

Conclusões

As melhorias associadas a ganhos de eficiência dependem da ***conjuntura econômica*** presente, e podem ser definidos a partir da escolha pela economia a longo prazo ou a curto prazo.

Benefícios de ***longo prazo*** -> redução dos custos com substituição do SAB.
Impacto no custo com consumo anual de combustível.

Benefícios de ***curto prazo*** -> redução do consumo de combustível.
Impacto na vida útil das baterias.

Configurações onde há maior participação do grupo gerador tendem a ser mais baratas ao longo do período de análise.

Benefícios advindos da complementariedade entre fontes são observados na preservação da vida útil do sistema de armazenamento e no consumo de combustível fóssil.

Trabalhos Futuros

Aplicação de outras formas promissoras de armazenamento de energia, como por exemplo em baterias de fluxo redox de vanádio;

Estudo do impacto da diversificação de fontes renováveis, como por exemplo a maremotriz.

OBRIGADO!