

Calculadora de Carregamento de Veículos Elétricos com Geração Fotovoltaica

Documentação Técnica e Guia de Uso

Herick Betin Tiburski — IoTEC LAB - UNIVALI

14 de agosto de 2025

Sumário

1	Introdução	3
2	Objetivo	3
3	Visão Geral da Interface	3
4	Campos e Parâmetros da Interface	3
4.1	Carros	3
4.2	Placas/Arrays FV	4
4.3	Parâmetros Gerais	4
5	Fundamentos Teóricos e Fórmulas	5
5.1	Energia útil na bateria (SOC)	5
5.2	Energia FV bruta necessária	5
5.3	Geração diária de cada array	5
5.4	Agregação dos arrays	5
5.5	Dias e horas equivalentes	5
5.6	Potência efetiva e limite teórico	5
5.7	Saldo diário	6
5.8	Resumo das Principais Fórmulas	6
6	KPIs e Resultados	6
7	Helpers e Mini-Calculadoras	6
8	Fluxo Prático de Uso	7
9	Persistência (localStorage)	7
10	Cenários de Exemplo	7
10.1	Cenário 1: Frota Pequena	7
10.2	Cenário 2: Ajustando Potência	7
11	Limitações e Próximos Passos	8

12 Boas Práticas de Entrada de Dados	8
13 Referências	8

1 Introdução

Esta aplicação web (`calc.html`) auxilia na análise de carregamento de múltiplos veículos elétricos (VEs) frente à geração fotovoltaica (FV) disponível (um ou mais conjuntos de placas) e parâmetros de desempenho. Permite:

- Inserir vários carros com perfis distintos de bateria e uso diário.
- Inserir diversos conjuntos de placas (arrays) fotovoltaicas.
- Aplicar modelos (templates) salvos para agilizar cadastros.
- Calcular energia necessária, energia gerada, tempo de carga estimado e indicadores (KPIs).
- Persistir configurações no navegador (`localStorage`) sem backend.
- Usar “helpers” para derivar parâmetros críticos (PR, eficiência global, capacidade utilizável, potência do array).
- Exportar e importar cenários em formato JSON.
- Salvar modelos de carros e placas para reutilizar.
- Visualizar detalhamento por carro e por array.

2 Objetivo

Fornecer ferramenta exploratória rápida para dimensionamento preliminar ou comparação de cenários de carregamento de VEs alimentados parcial ou totalmente por geração FV.

3 Visão Geral da Interface

A interface da aplicação é dividida em duas colunas principais:

- **Esquerda:** Cartões dinâmicos para entrada de especificações dos carros e das placas FV, além de parâmetros gerais (pontos de carga simultâneos, taper, tarifa, modo de cálculo).
- **Direita:** KPIs e resultados consolidados, incluindo painel de saldos, tempo de carga, dias equivalentes, detalhamento por carro, alertas e notas.

Há um modal centralizado para salvar/carregar modelos e configurações, além de helpers expansíveis em cada cartão para cálculos rápidos.

4 Campos e Parâmetros da Interface

4.1 Carros

Cada cartão de carro contém:

- Nome do carro
- Capacidade da bateria (kWh)
- Capacidade utilizável (%)
- Helper para calcular a capacidade utilizável em %
- SOC inicial (%)
- SOC final (%)
- Eficiência global FV→bateria (%)
- Helper para calcular eficiência global
- Potência máxima do carregador onboard (kW)
- Botões para duplicar, remover e minimizar o cartão

4.2 Placas/Arrays FV

Cada cartão de placa contém:

- Nome da placa
- Potência do array (kWp)
- Helper para calcular potência do array (módulo \times quantidade)
- Performance Ratio (PR) (%)
- Helper para calcular PR
- Eficiência adicional do array (%)
- Horas de Sol Pleno (PSH) (h/dia)
- Observação (orientação, inclinação, sombreamento, etc.)
- Botões para duplicar, remover e minimizar o cartão

4.3 Parâmetros Gerais

- Pontos de carga simultâneos (#)
- Fator médio taper para SOC elevado (0-1)
- Tarifa de energia (R\$/kWh)
- Modo de cálculo (manual/auto)
- Modo debug (logs no console)
- Botões para calcular, limpar, exportar/importar JSON, abrir modal de modelos

5 Fundamentos Teóricos e Fórmulas

5.1 Energia útil na bateria (SOC)

$$E_{bat} = Cap_{nominal} \times \%Utilizável \times (SOC_{final} - SOC_{inicial})/100$$

Helper: calcula $\%Utilizável = \text{Capacidade utilizável} / \text{Capacidade nominal}$

5.2 Energia FV bruta necessária

$$E_{PV} = E_{bat} / \eta_{global}$$

Onde η_{global} é a eficiência da cadeia FV→carro

5.3 Geração diária de cada array

$$E_{dia,i} = kWp_i \times PSH_i \times PR_i \times \eta_{array,i}$$

PR contempla perdas térmicas, mismatch, sujeira, conversão. η_{array} cobre perdas não incluídas no PR.

5.4 Agregação dos arrays

$$\begin{aligned} kWp_{total} &= \sum_i kWp_i \\ PR \times \eta_{pond} &= \frac{\sum (PR_i \times \eta_{array,i} \times kWp_i)}{\sum kWp_i} \\ PSH_{pond} &= \frac{\sum (PSH_i \times kWp_i)}{\sum kWp_i} \\ E_{dia,total} &= kWp_{total} \times PSH_{pond} \times (PR \times \eta)_{pond} \end{aligned}$$

5.5 Dias e horas equivalentes

$$\begin{aligned} Dias &= \frac{E_{PV,total}}{E_{dia,total}} \\ Horas_{equiv} &= \frac{E_{PV,total}}{kWp_{total} \times (PR \times \eta)_{pond}} \end{aligned}$$

5.6 Potência efetiva e limite teórico

$$\begin{aligned} P_{FV,efetiva} &\approx kWp_{total} \times (PR \times \eta)_{pond} \\ P_{lim} &= \min(\sum P_{onboard}, P_{FV,efetiva}) \\ t_{min} &\approx \frac{E_{bat,total}}{P_{lim}} \end{aligned}$$

5.7 Saldo diário

$$Saldo = E_{dia,total} - E_{PV,total}$$

Positivo: excedente; Negativo: déficit.

5.8 Resumo das Principais Fórmulas

$$P_{array,total} = \sum_j \frac{P_{módulo,j} N_j}{1000}$$

$$EDC = P_{array,total} \times H$$

$$E_{entregue} = P_{array,total} \times H \times PR \times \eta_{glob}$$

$$C_{util} = C_{nom} \times \eta_{util}$$

$$Ed_{total} = \sum_i Ed_i$$

$$\Delta E = E_{entregue} - Ed_{total}$$

$$P_{array,req} = \frac{Ed_{total}}{H \times PR \times \eta_{glob}}$$

6 KPIs e Resultados

O painel de resultados exibe:

- Energia para a bateria (E_bat) — efetiva para carga (kWh)
- Energia FV necessária (E_PV) — antes das perdas (kWh)
- Geração diária estimada (E_dia) — sistema FV (kWh/dia)
- Dias para gerar energia (dias)
- Horas de sol pleno equivalentes
- Tempo mínimo teórico para carregamento (t_min)
- Saldo diário FV (excedente/déficit)
- Alertas e notas de limitação
- Detalhamento por carro: energia útil, energia FV, participação, horas FV eq., tempo limite

7 Helpers e Mini-Calculadoras

Cada cartão oferece:

- Potência do Array: converte módulos para kWp
- PR: calcula performance ratio a partir de geração real, potência instalada e irradiação
- Eficiência Global: estima perdas FV→bateria
- Capacidade Utilizável: converte kWh para porcentagem utilizável

8 Fluxo Prático de Uso

1. Adicione ou ajuste veículos (carros), preenchendo todos os campos relevantes.
2. Adicione ou ajuste conjuntos fotovoltaicos (placas/arrays), com os parâmetros necessários.
3. Use os helpers para cálculos rápidos de campos críticos.
4. Ajuste parâmetros gerais conforme o cenário (pontos de carga, taper, tarifa).
5. Clique em “Calcular” para ver os KPIs, ou selecione modo “Auto” para recalcular em tempo real.
6. Analise KPIs, alertas e detalhamento por carro.
7. Salve cenário ou modelos de carro/placa para uso futuro.
8. Exporte/importe cenários em JSON conforme necessidade.

9 Persistência (localStorage)

Chaves usadas:

- **evConfigs**: configurações salvas (JSON)
- **carModels**: modelos de carros
- **placaModels**: modelos de placas
- **evLastConfig**: última configuração carregada

10 Cenários de Exemplo

10.1 Cenário 1: Frota Pequena

Dois veículos (20 e 15 kWh/dia); array FV de 5 kWp; $H = 5$ h; $PR = 0,78$; $\eta_{glob} = 0,88$.

$$E_{entregue} = 5 \times 5 \times 0,78 \times 0,88 = 17,16 \text{ kWh/dia}$$

Demanda total: 35 kWh/dia. Déficit de 17,84 kWh/dia.

10.2 Cenário 2: Ajustando Potência

Objetivo: suprir 35 kWh/dia.

$$P_{array,req} = \frac{35}{5 \times 0,78 \times 0,88} \approx 10,18 \text{ kWp}$$

Exemplo: 26 módulos de 390 W $\approx 10,14$ kWp.

11 Limitações e Próximos Passos

- Perfis de carga simplificados (não modela curvas horárias)
- Não modela armazenamento intermediário (baterias estacionárias)
- PR e eficiência global tratados como escalares
- Possíveis melhorias: import/export de JSON externo, duplicar entidades, validação granular, perfil horário, integração com tarifas
- O tempo mínimo teórico assume potência constante e condições ideais (ignora taper real do BMS)
- Valores de PR e PSH são médias; clima e estação alteram bastante

12 Boas Práticas de Entrada de Dados

- PR realista: 0,65–0,85
- Eficiência global típica: 0,80–0,92
- Usar média anual de Horas de Sol Pleno ou irradiação mensal para estudos sazonais
- Validar dados dos helpers para evitar duplicação de perdas
- Ajustar taper conforme a característica do EV

13 Referências

1. IEC 61724: Photovoltaic system performance monitoring.
2. Duffie, J. A., Beckman, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes.
3. Huld, T. et al. A power-rating model for crystalline silicon PV modules. Solar Energy.
4. Pesaran, A. Battery thermal models for hybrid vehicle simulations. NREL.
5. Documentação técnica de fabricantes de EV e inversores.