



ENCONTRO **ANTF** DE
FERROVIAS

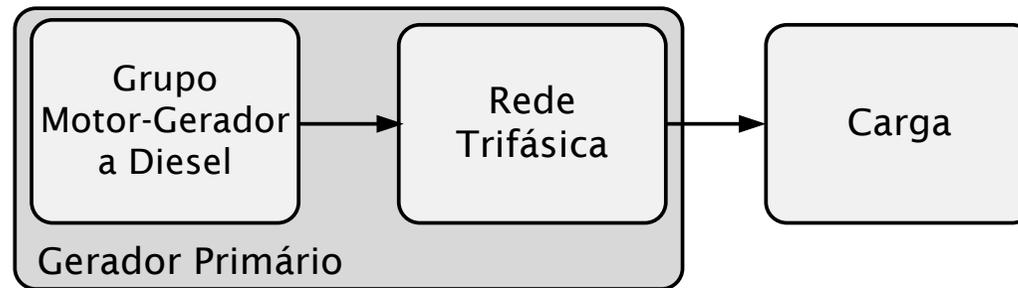
NOVAS IDEIAS **P/**
NOVOS DESAFIOS

Estudo de Viabilidade do Uso de Energia Solar em Trens de Passageiro

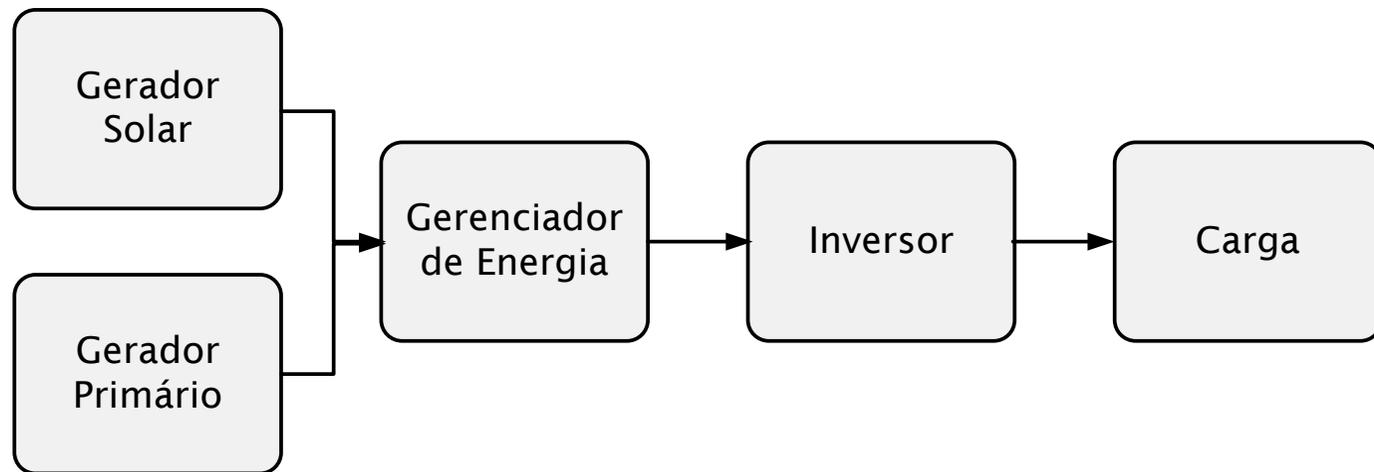


Sistemas fotovoltaicos para trens de passageiros

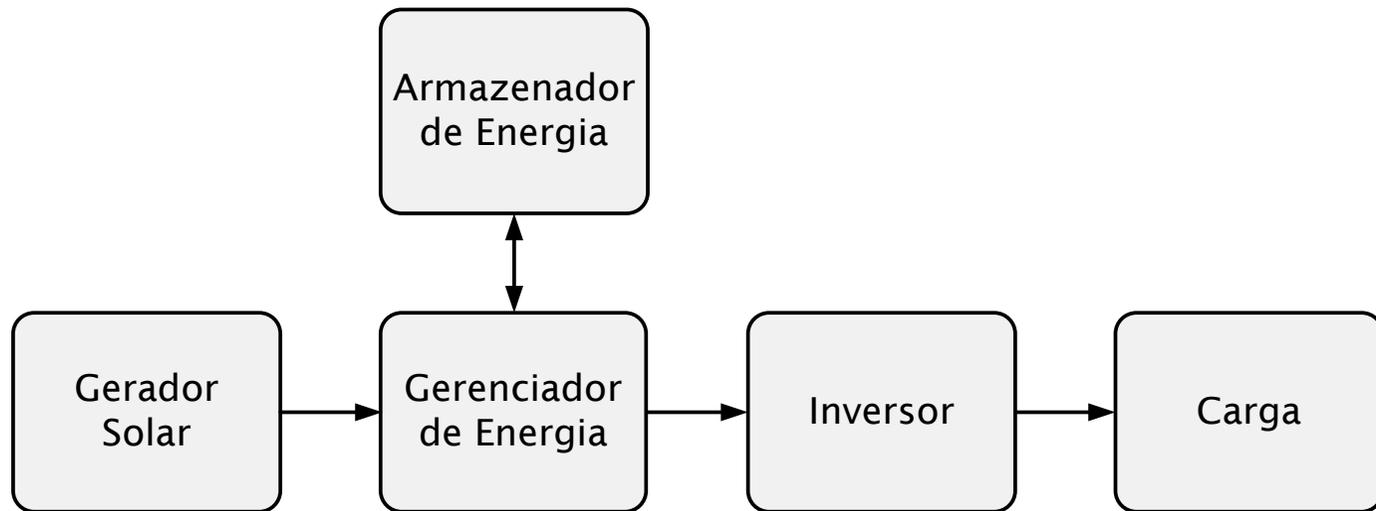
Alimentação dos trens de passageiro com gerador primário



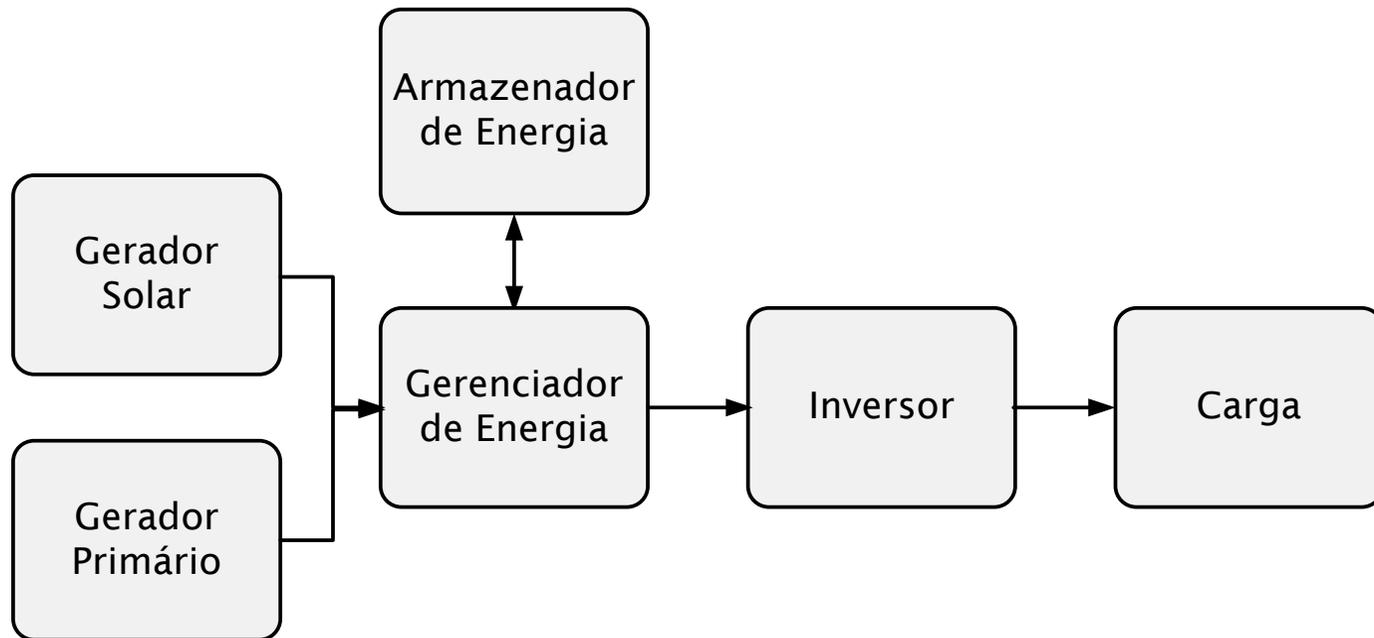
Alimentação dos trens de passageiro com gerador solar



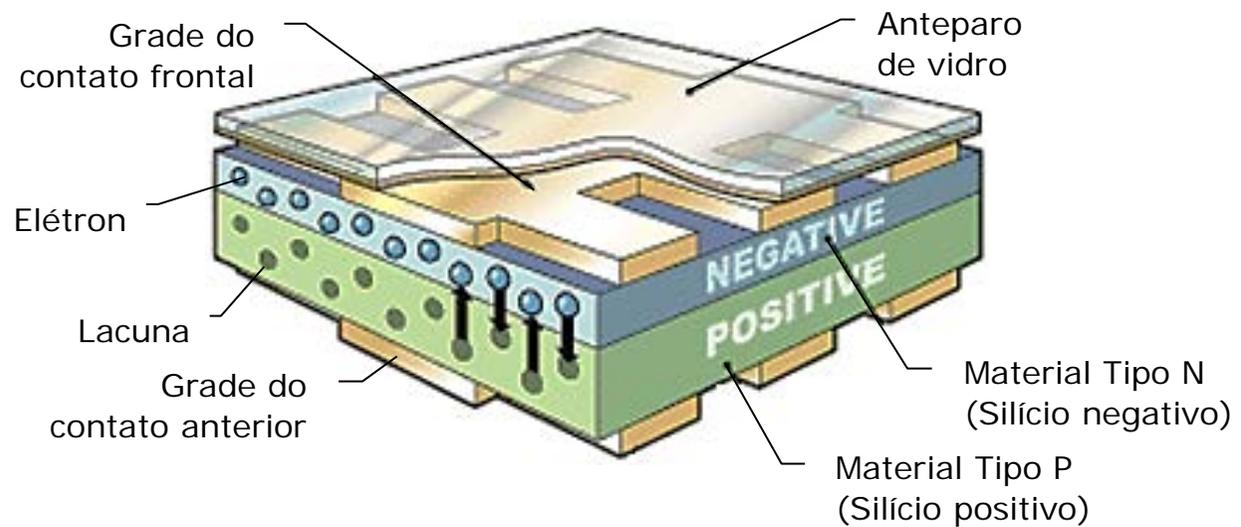
Alimentação dos trens de passageiro com armazenamento de energia



Alimentação dos trens de passageiro com sistema híbrido



Célula fotovoltaica



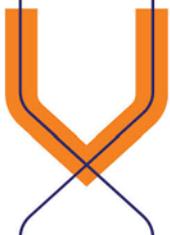
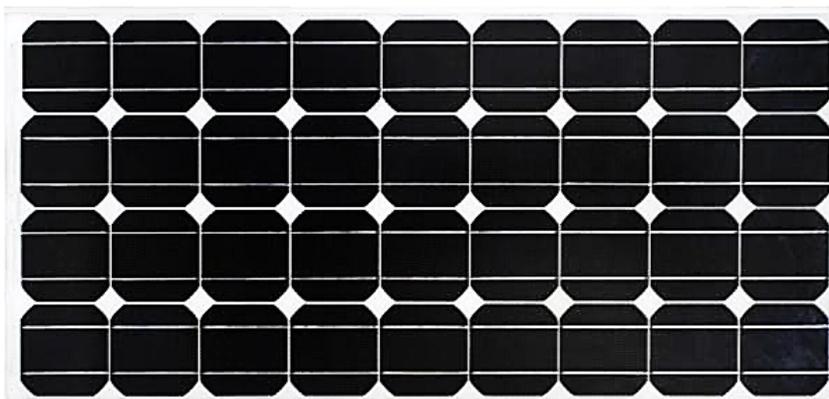
ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Painéis solares

Painel com células de silício monocristalino



ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Painéis com células de silício policristalino



ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Painel com células de silício amorfo



ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Baterias

- Baterias Chumbo-ácidas
- Níquel-Cádmio (Ni-Cd)



ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Inversores

- **PWM (Pulse Width Modulator) - Modulador de Largura de Pulso**
- **MPPT (Maximum Power Point Tracking) - Acompanhamento do Ponto de Potência Máxima**



ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Gerenciador de energia

O gerenciador de energia é o dispositivo que, através do mapeamento da alimentação recebida em seus terminais de entrada, configuram os parâmetros de saída de acordo com uma ou especificação prévia, para garantir parâmetros ideais de funcionamento do sistema.

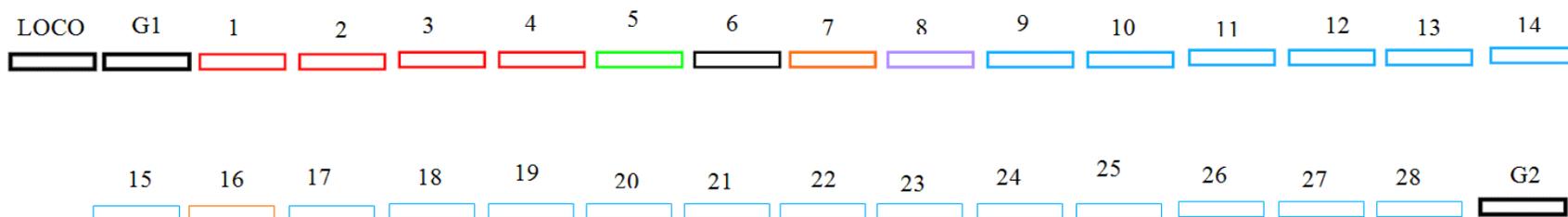


ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



O trem de passageiros da EFVM



- 1 - Locomotiva, responsável pela força motriz;
- 1 - Vagão gerador, do tipo diesel elétrico, responsável pela alimentação primária do sistema;
- 4 - Vagões classe executiva para passageiros;
- 1 - Vagão especial;
- 1 - Vagão para armazenamento de bagagens;

- 1 - Vagão lanchonete;
- 1 - Vagão restaurante;
- 7 - Vagões classe econômica para acomodação de passageiros;
- 1 - Vagão lanchonete;
- 12 - Vagões classe econômica para acomodação de passageiros;
- 1 - Vagão gerador, do tipo diesel elétrico, responsável pela alimentação primária do sistema.

Trajeto do trem de passageiros da EFVM

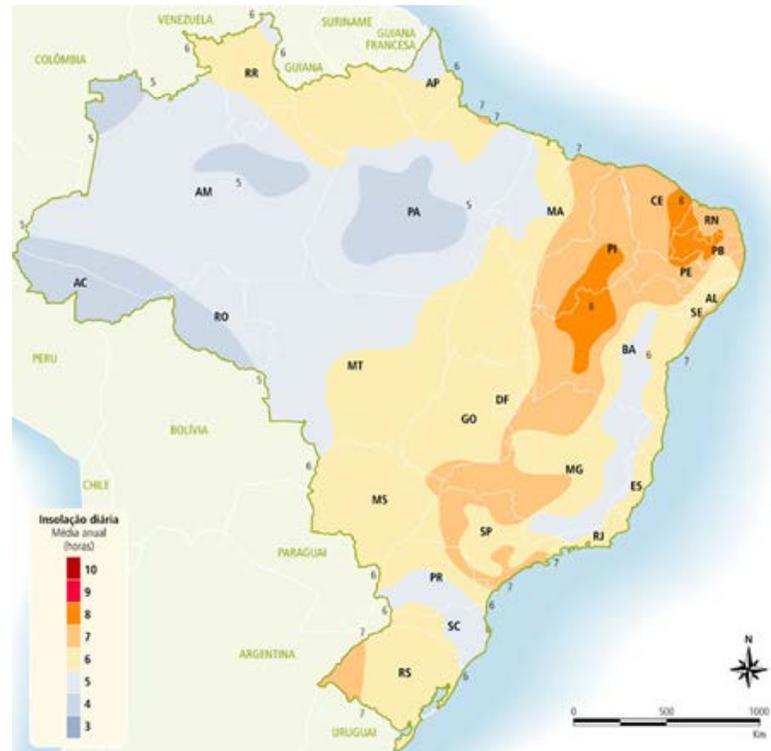


ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Média anual de insolação diária no Brasil

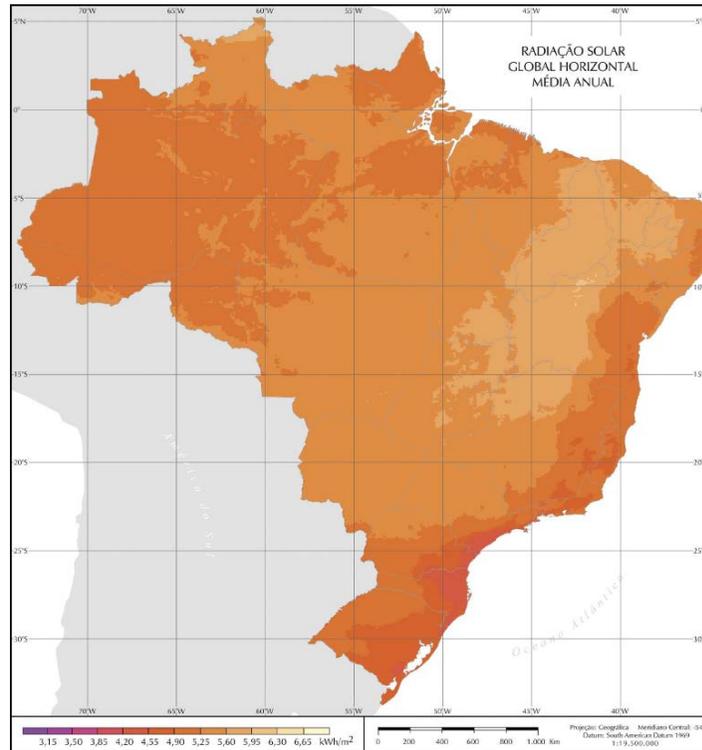


ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Média anual da radiação solar global no território brasileiro



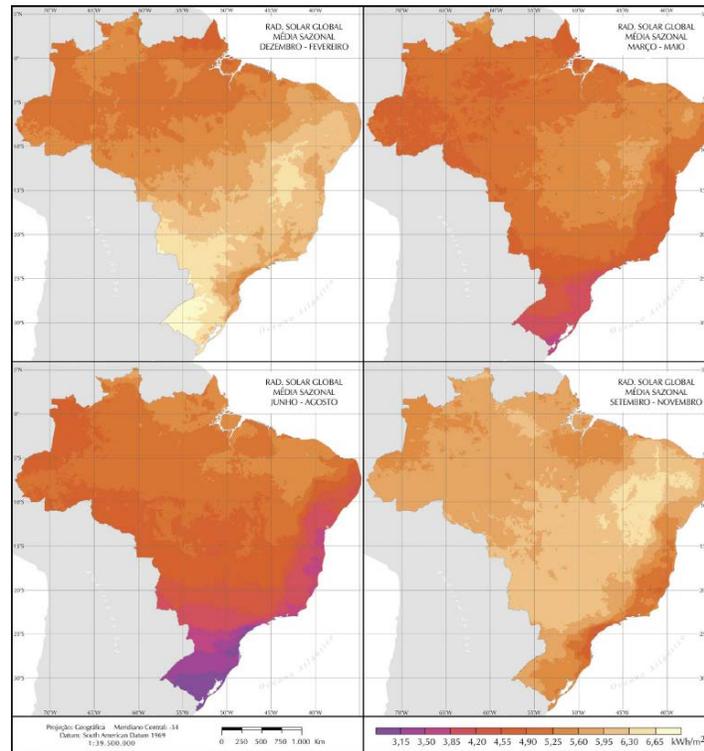
O trajeto do trem está situado nas duas áreas correspondentes a 5 e 6 horas de média solar por dia.

ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS

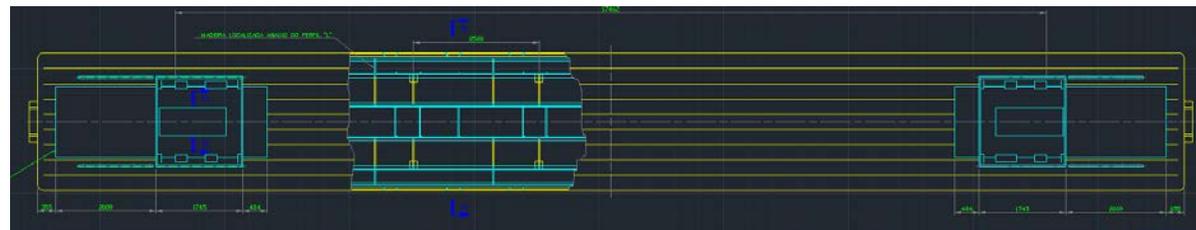
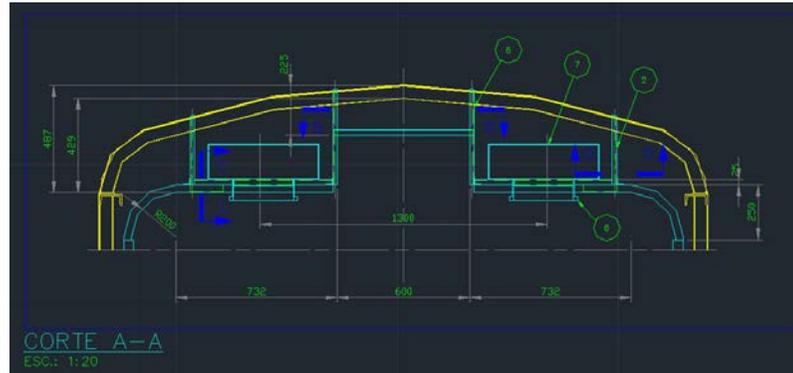


Médias sazonais da irradiação global diária por estação do ano



No trajeto do trem temos cerca de 4,90 a 5,25 kWh/m² de média de radiação solar durante o ano.

Teto do trem



ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS





ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Painel KD245GH-4FB - Kyocera

$$\text{Número de painéis/face} = \frac{14,5}{1,662} = 8$$

Potência real =

= Potência nominal

$$\frac{\text{Potência nominal} \cdot \text{Coeficiente de temperatura} \cdot \text{Variação térmica}}{100}$$

$$\text{Potência real} = 245,254 - \frac{245,254 \cdot 0,46 \cdot (45 - 25)}{100} = 222,69 \text{ W/painel}$$

Energia gerada =

= Potência real \cdot Quantidade de painéis \cdot Horas de insolação

$$\text{Energia gerada} = 222,69 \cdot 16 \cdot 5 = 17.815,25 \text{ Wh/dia}$$



Painel X21-345 - Sunpower Corp

$$\text{Número de painéis/face} = \frac{14,5}{1,559} = 9$$

Potência real =

= Potência nominal

$$- \frac{\text{Potência nominal} \cdot \text{Coeficiente de temperatura} \cdot \text{Variação térmica}}{100}$$

$$\text{Potência real} = 324,3 - \frac{324,3 \cdot 0,46 \cdot (45 - 25)}{100} = 294,46 \text{ W/painel}$$

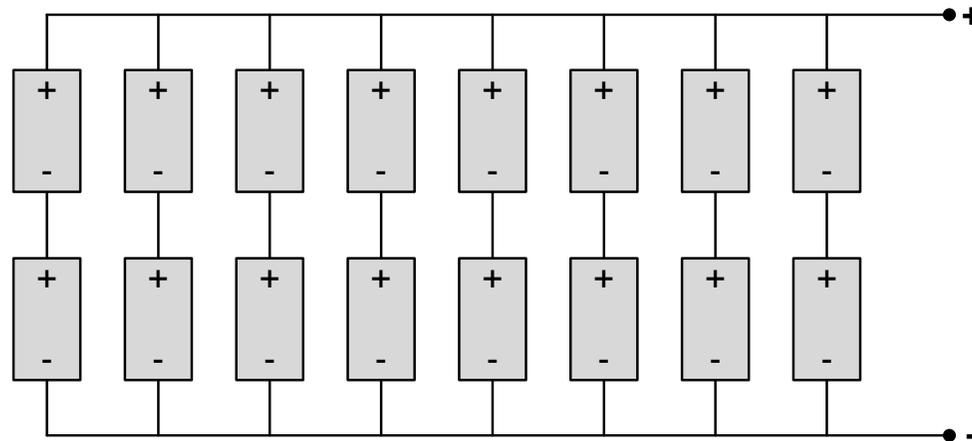
Energia gerada =

= Potência real \cdot Quantidade de painéis \cdot Horas de insolação

$$\text{Energia gerada} = 294,46 \cdot 18 \cdot 5 = 26.501,40 \text{ Wh/dia}$$



Ligação dos painéis



ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

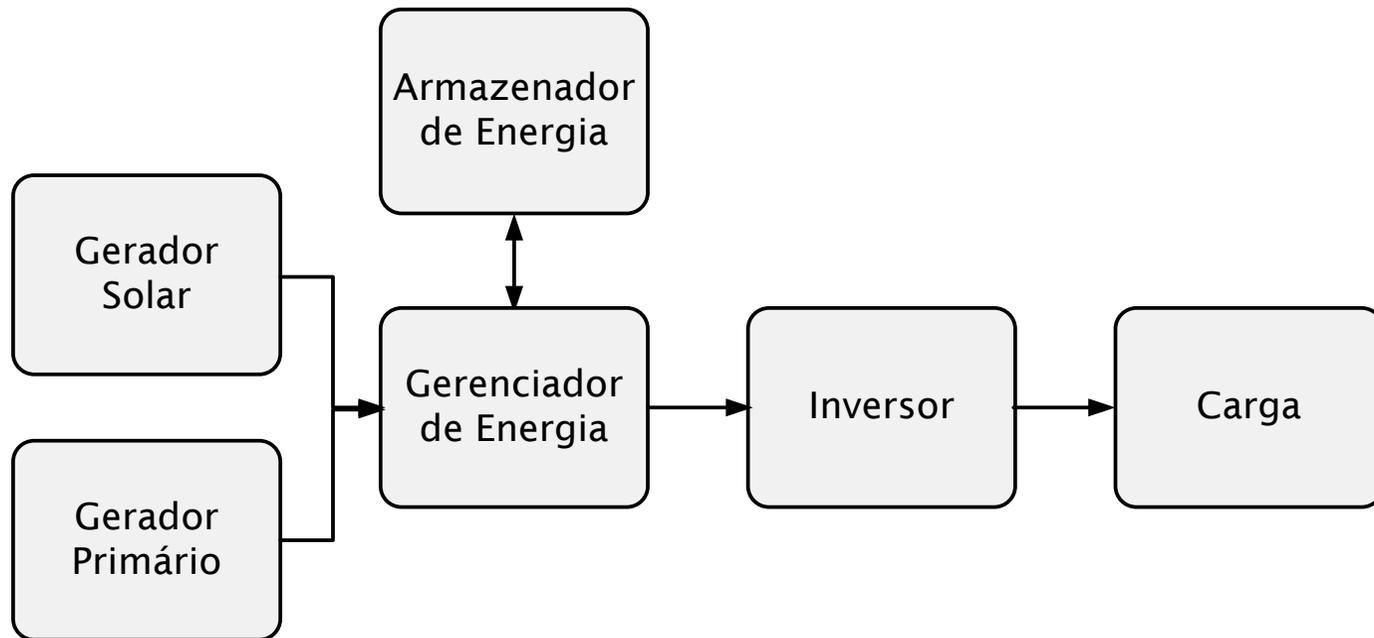
NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS



Consumo total em [kWh]

Vagão (posição)	Quantidade	Circuito de iluminação		Tomadas de uso geral	Carregador de notebook	TV de LED	Ar condicionado	Forno elétrico	Forno de micro-ondas	Refrigerador	[kWh] / vagão	[kWh] total
		0,630 kW	0,900 kW	1,800 kW	0,054 kW	0,007 kW	20,600 kW	13,500 kW	3,000 kW	0,290 kW		
		13 h	13 h	2 h	2h	13 h	6,5	3 h	2 h	5,5 h		
Lanchonete (7 e 16)	2	1					2	4	2	4	913,17	1.826,34
Classe executiva (1 a 4)	4		1	1	60	60	2				577,18	2.308,72
Classe econômica (9 a 15 e 17 a 28)	19		1	1	80	80	2				579,34	11.007,46
Restaurante (8)	1		1				2				548,14	548,14
Bagagens (6)	1		1				2				548,42	548,42
Especial (5)	1		1	1	60	60	2				577,18	577,18
Total											16.816,32	

Alimentação dos trens de passageiro com sistema híbrido



Redução de consumo de diesel pelo gerador primário

O gerador solar composto por painéis KD245GH-4FB da Kyocera terá uma capacidade de geração diária de $28 \cdot 17,815 = 498,827 \text{ kWh}$.

Desta forma, podemos ter uma redução no consumo de diesel de $0,3 \times 498,827 = 149,65 \text{ litros/dia}$.

O gerador solar composto por painéis X21-345 da Sunpower Corp terá uma capacidade de geração diária de $28 \cdot 26,501 = 742,028 \text{ kWh}$.

Desta forma, podemos ter uma redução no consumo de diesel de $0,3 \times 742,028 = 222,61 \text{ litros/dia}$.



Conclusões

- Cabe ressaltar que o direcionador desse estudo foi o aspecto tecnológico e não o econômico.
- Portanto, o objetivo do estudo não é de demonstrar a viabilidade do modelo de aplicação, mas sim, a importância de se buscar formas de energia alternativa para substituição, ainda que por um pequeno percentual, do consumo de diesel pelos geradores primários.
- Os painéis utilizados no estudo estão baseados no estágio atual tecnologia disponíveis comercialmente, vendidos para pequenos/médio projetos, e possuem sua eficiência limitada.

- Entretanto, é importante ressaltar que as especificações aqui citadas não são estacionárias e estão evoluindo com muita rapidez.
- Neste caso em específico, podem ser fabricados painéis sob encomenda e com tecnologias mais evoluídas, inclusive as que ainda estão presentes no ambiente de pesquisa, que atingem níveis de eficiência muito superiores.
- Outra forma de aplicar os painéis solares seria nas laterais do vagão, mas inviável por conta de limitações de espaço e por atos de vandalismo.



- **Por se tratar de um vagão de passageiros, as janelas cobrem o pouco espaço que poderia ser destinado à aplicação.**
- **Do ponto de vista da carga atendida, podemos convertê-la em economia de diesel para o sistema de geração primária e garantir o projeto como uma excelente opção de um trem verde, que tem no seu processo de geração de energia, a redução do consumo de combustível fóssil, além da redução nas emissões de particulados.**



ENCONTRO ANTF DE
FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/
NOVOS DESAFIOS





WWW.ANTF.ORG.BR