



# ***13º SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA***

## **Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor**

Denilson Mendes de Moraes  
Luis Alexandre da Cruz  
Rodrigo Coura Oliveira





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- **Objetivos:**  
Utilização da energia disponibilizada na frenagem e dissipada no banco de resistores dos trens.
- **Motivação:**
  - Redução de custos operacionais.
  - Diminuição da carga térmica (importante para sistemas subterrâneos).





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Tecnologias disponíveis:

- Armazenador magnético
- Bateria
- Ultracapacitor
- Volante de inércia
- Inversor

Ultracapacitor, inversor e volante de inércia apresentam características adequadas ao regime típico da tração elétrica metroferroviária.

**VALORES ELEVADOS DE CORRENTE EM PERÍODOS CURTOS DE TEMPO.**





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Nos armazenadores (capacitivo e volante de inércia) o fluxo de energia fica restrito ao sistema de tração (rede CC), enquanto que no inversor a energia é recuperada para a rede CA.
- Nos armazenadores a energia pode ser utilizada em instante futuro, enquanto que no inversor esta deve ser utilizada no mesmo instante em que é gerada.





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

## ● Processo de Recuperação de Energia

Custo x benefício da utilização dos equipamentos:

- Necessidade de simulações e/ou medições experimentais para determinação do local adequado de instalação do(s) equipamento(s).
- *Headway* elevado = maior porcentagem de energia reaproveitada (linha menos receptiva).





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Medidas experimentais na Linha 3 (01/03/07)

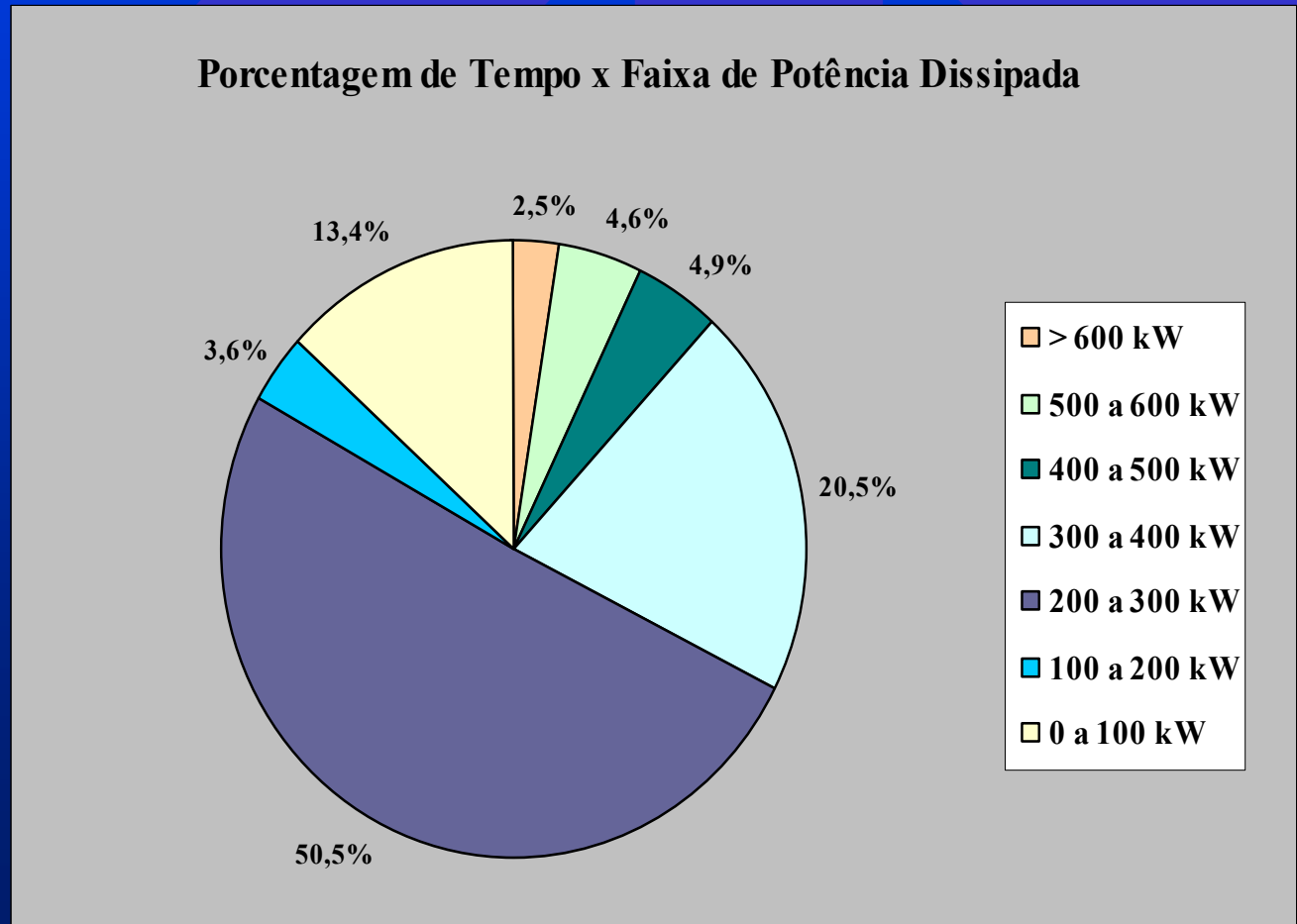
Descrição	Período	
	Pico	Vale
Quantidade de trens (unidades)	43	27
Intervalo total (minutos)	165	1.065
Tempo por volta (minutos)	73,7	68,7
Quantidade de voltas por trem	2,24	15,50
Consumo reostático por trem em uma volta (kWh)	5,13	29,94
Consumo reostático no período (MWh)	0,5	12,5
Consumo total na Linha 3 (MWh)	589	
Consumo total na tração elétrica (MWh)	471	
Consumo reostático total (MWh)	13	
Consumo reostático percentual (%)	2,77	





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Medidas experimentais na Linha 3 (01/03/07)





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Armazenador capacitivo

- Ultracapacitor.

$$E = 1/2 * C * V^2$$

- Ideais para o regime de tração – eficientes para ciclos de carga e descarga rápidas.

- Capacitância até 3.000 F para tensão nominal de 2,7 V.

- Energia = 10.935 J.

- Massa = 0,55 Kg e volume = 0,450 l.

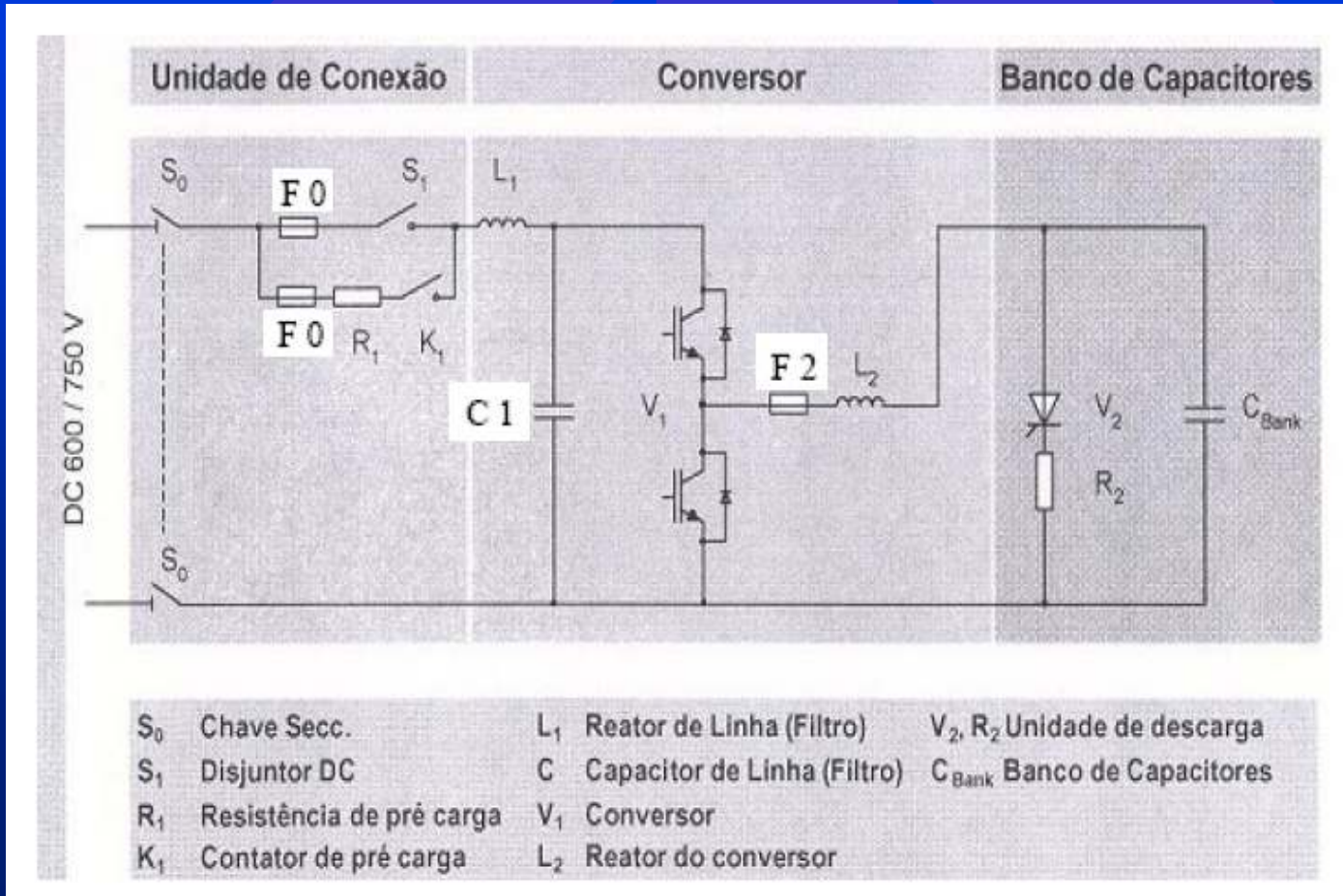






# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Armazenador capacitivo





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- **Volante de Inércia**

$$E = 1/2 * I * \omega^2$$

- **Potência nominal: 500 kW;**
- **Duração da Carga e Descarga: 12 s;**
- **Energia armazenada disponível: 6 000 kJ;**
- **Velocidade de rotação: 7 000 a 9 000 rpm;**
- **Dimensões (mm): 2007(A) x 1981(L) x 864(P);**
- **Massa: 3402 Kg.**





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

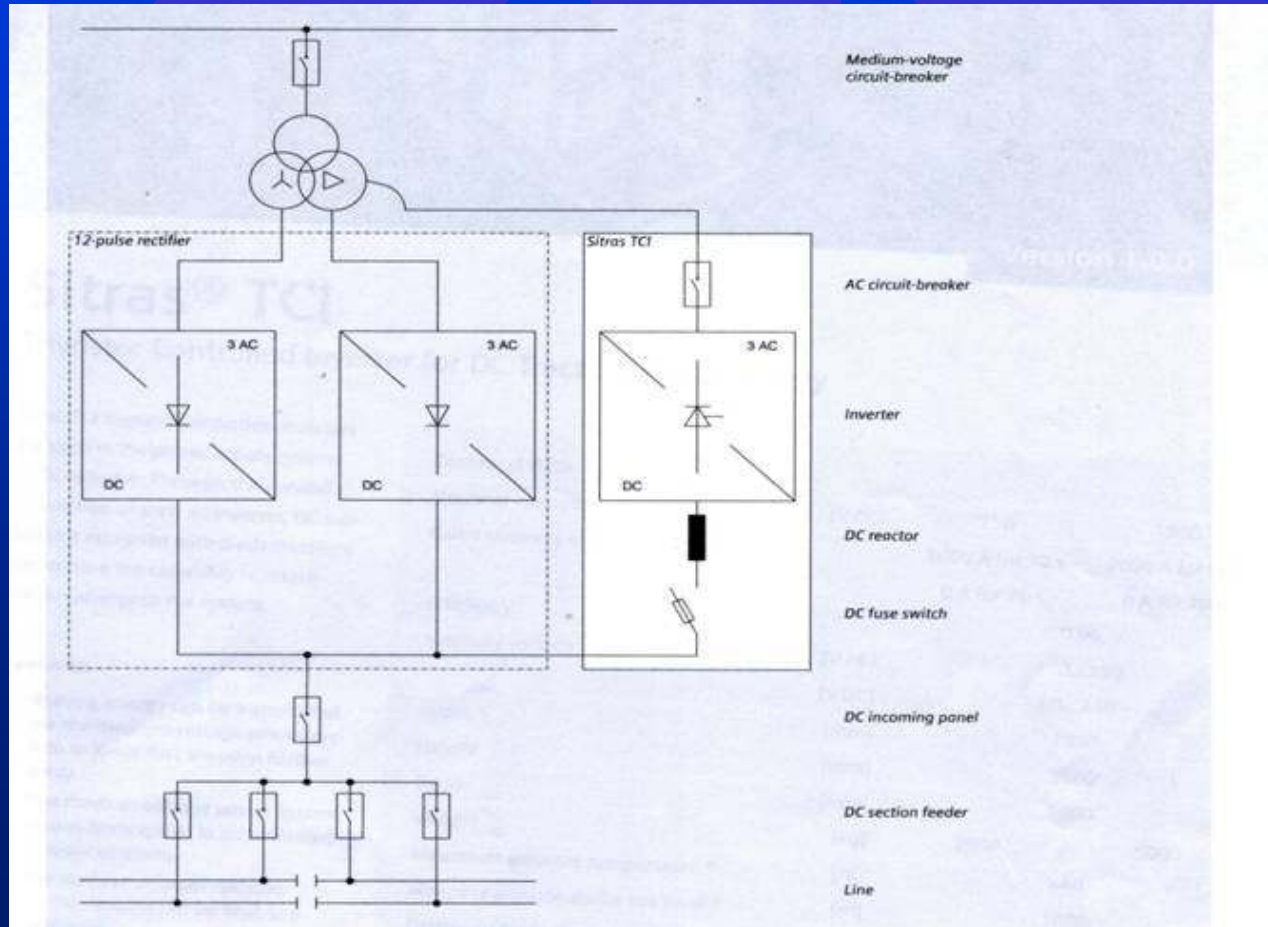
- Volante de Inércia





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Inversor





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Comparação entre equipamentos (dimensões)

EQUIPAMENTOS	Pot. (MW)	L (m)	P (m)	A (m)	V (m <sup>3</sup> )
Armazenador capacitivo	0,50	3,2	2,9	3,2	29,7
Armazenador cinético	0,50	2,0	0,8	2,0	3,2
Inversor	2,25	1,8	1,0	2,3	4,1





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Comparação (densidade de energia)

EQUIPAMENTOS	Potência (MW)	Massa (kg)	Densidade de energia (Wh/kg)
Armazenador capacitivo	0,50	5.500	0,57
Armazenador cinético	0,50	3.402	0,49
Inversor	2,25	2.601	-







# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

- Comparação (densidade de potência)

EQUIPAMENTOS	Potência (MW)	Massa (kg)	Densidade de potência (W/kg)
Armazenador capacitivo	0,50	5.500	91
Armazenador cinético	0,50	3.402	147
Inversor	2,25	2.601	865



# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

## • Comparação entre equipamentos

Características	Armazenador Capacitivo	Armazenador Cinético	Inversor
Eficiência	90-95%	90-95%	96%
Segurança	Média	Média	Média / Alta
Maturidade tecnológica	Média	Média	Média / Alta
Geração de harmônicas na rede CA	Não	Não	Sim
Geração de harmônicas na rede CC	Sim	Sim	Sim
Influência no fator de potência da rede CA	Não	Não	Sim
Vida útil	Baixa	Média	Alta
Requisitos de manutenção	Médio	Médio	Baixo
Utilização para estabilização da tensão CC	Sim	Sim	Não
Necessidade de sala exclusiva para instalação	Sim	Sim	Não







# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

## ● Conclusões

- Consumo reostático na Linha 03: 2,8% do total consumido pelos trens em um dia útil
- Potência nominal 500 kW (93% das ocorrências)
- Necessidade de simulações e/ou medições experimentais anteriormente à aquisição de equipamentos
- Inversores possuem dimensões menores e maior densidade de potência quando comparados aos armazenadores. Entretanto, provocam interferências indesejadas na rede de média tensão
- Armazenadores são utilizados também para estabilização da tensão CC





# Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor

Grato pela atenção !

