



Smart Grid Electrification

# Sistemas de Recuperação de Energia Tecnologias e Benefícios

Apresentação:

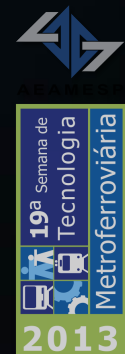
**Caio Luchesi**

**Marcio Prado Teixeira**

**SIEMENS**

[siemens.com/answers](http://siemens.com/answers)

# Video – Soluções Eficientes para Eletrificação



# Conteúdo



- Tendências Globais
- Visão Geral dos Sistemas de Eletrificação Ferroviária
- Sistemas de Armazenamento
- Sistemas de Regeneração
- Experiência dos Operadores
- Evolução das Tecnologias

# Conteúdo



- Tendências Globais
- Visão Geral dos Sistemas de Eletrificação Ferroviária
- Sistemas de Armazenamento
- Sistemas de Regeneração
- Experiência dos Operadores
- Evolução das Tecnologias

# Dois novos habitantes de cidades a cada segundo! Entramos no “Milênio Urbano”



# Conteúdo



- Tendências Globais
- Visão Geral dos Sistemas de Eletrificação Ferroviária
- Sistemas de Armazenamento
- Sistemas de Regeneração
- Experiência dos Operadores
- Evolução das Tecnologias

# Cadeia de Energia

## Eficiência da Geração ao Consumidor Final



Geração

Fábrica / Conversão

Transmissão

Alta / Média Tensão

Distribuição

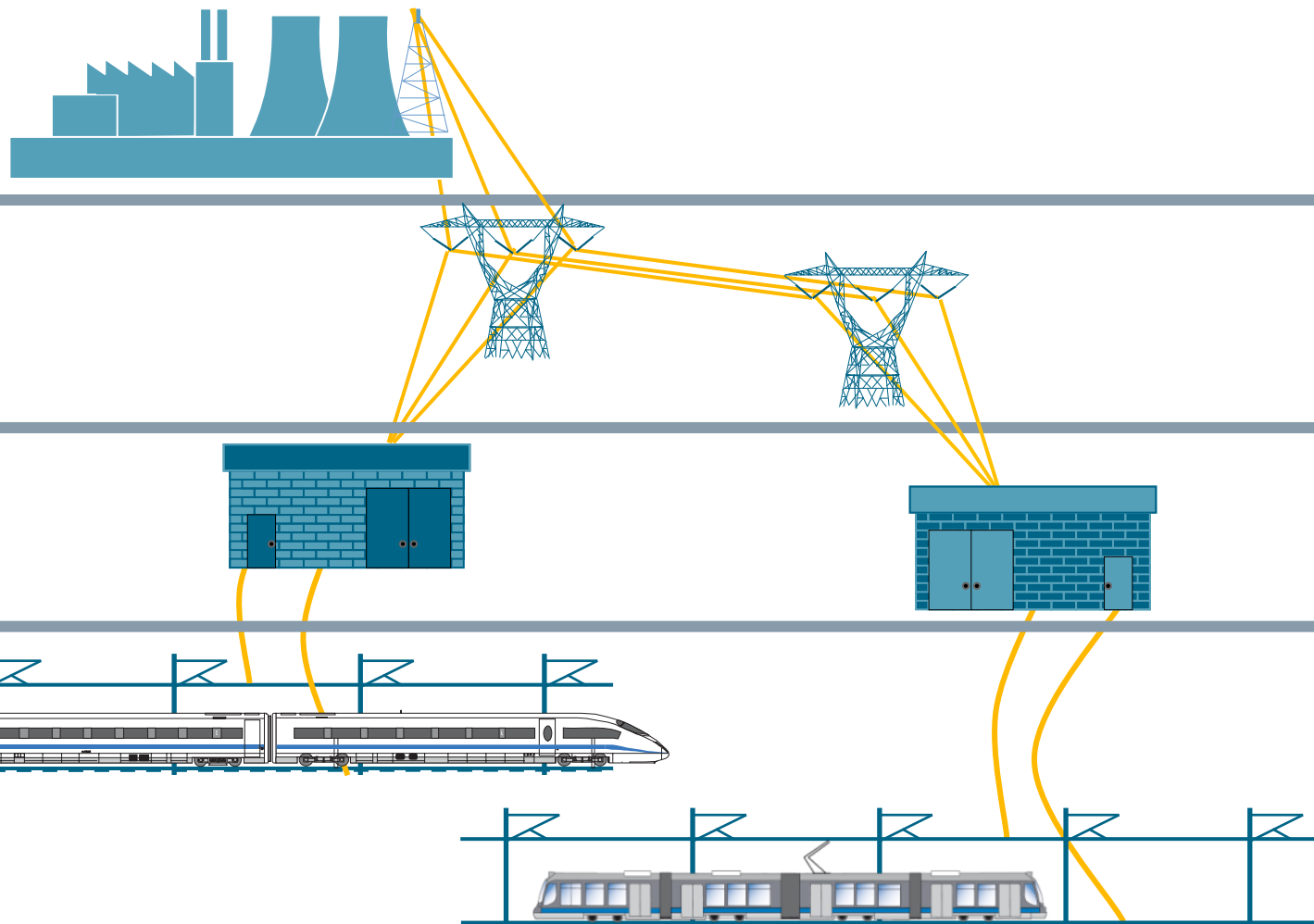
Subestação de Tração

Alimentação

Linha de Contato

Linha de Retorno

Trilhos e outros



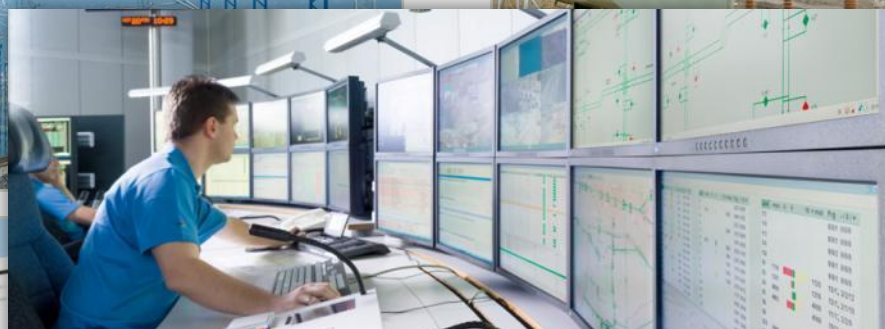
# Rail Electrification

## Soluções para Todo o Segmento Metroferroviário

**Rede Aérea para Ferrovias**



**Alimentação de Tração AC**



**Sistemas de Controle**



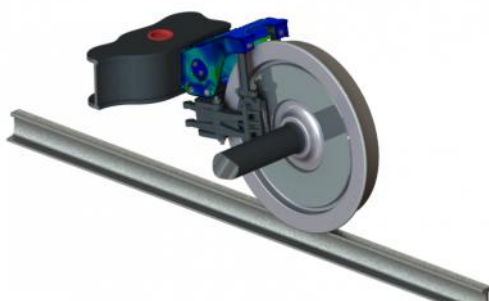
**Alimentação de Tração DC**



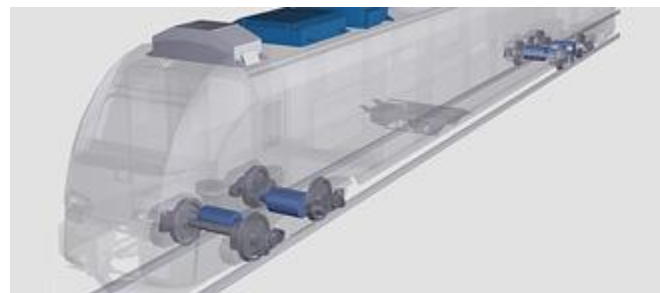
**Rede de Alimentação - Sist. Urbanos**

# Frenagem Regenerativa

## Freio de Atrito



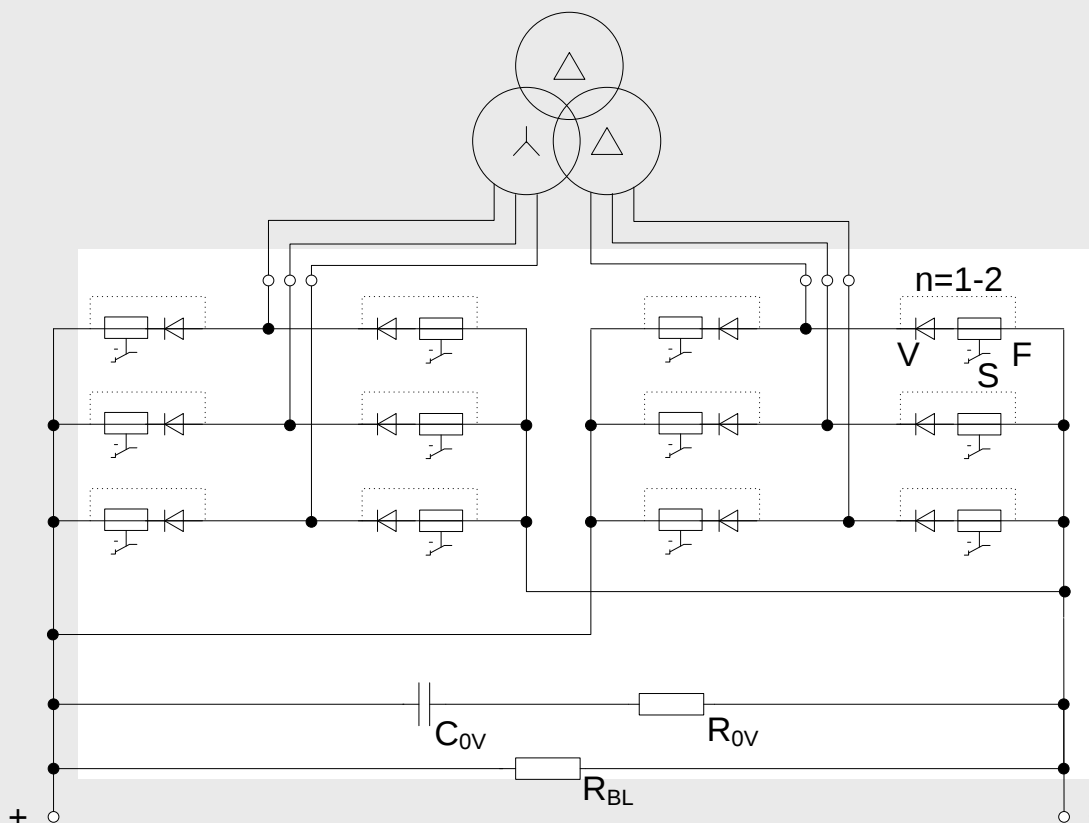
## Freio Eletrodinâmico



# Sitras REC

## Retificador de Tração a Diodo

### Circuito variante do Retificador a Diodo – versão 12 pulsos



#### Legenda:

n: No. de diodos em paralelo

$C_{0V}$ : Capacitor

F: Fusivel

$R_{0V}$ : Resistor

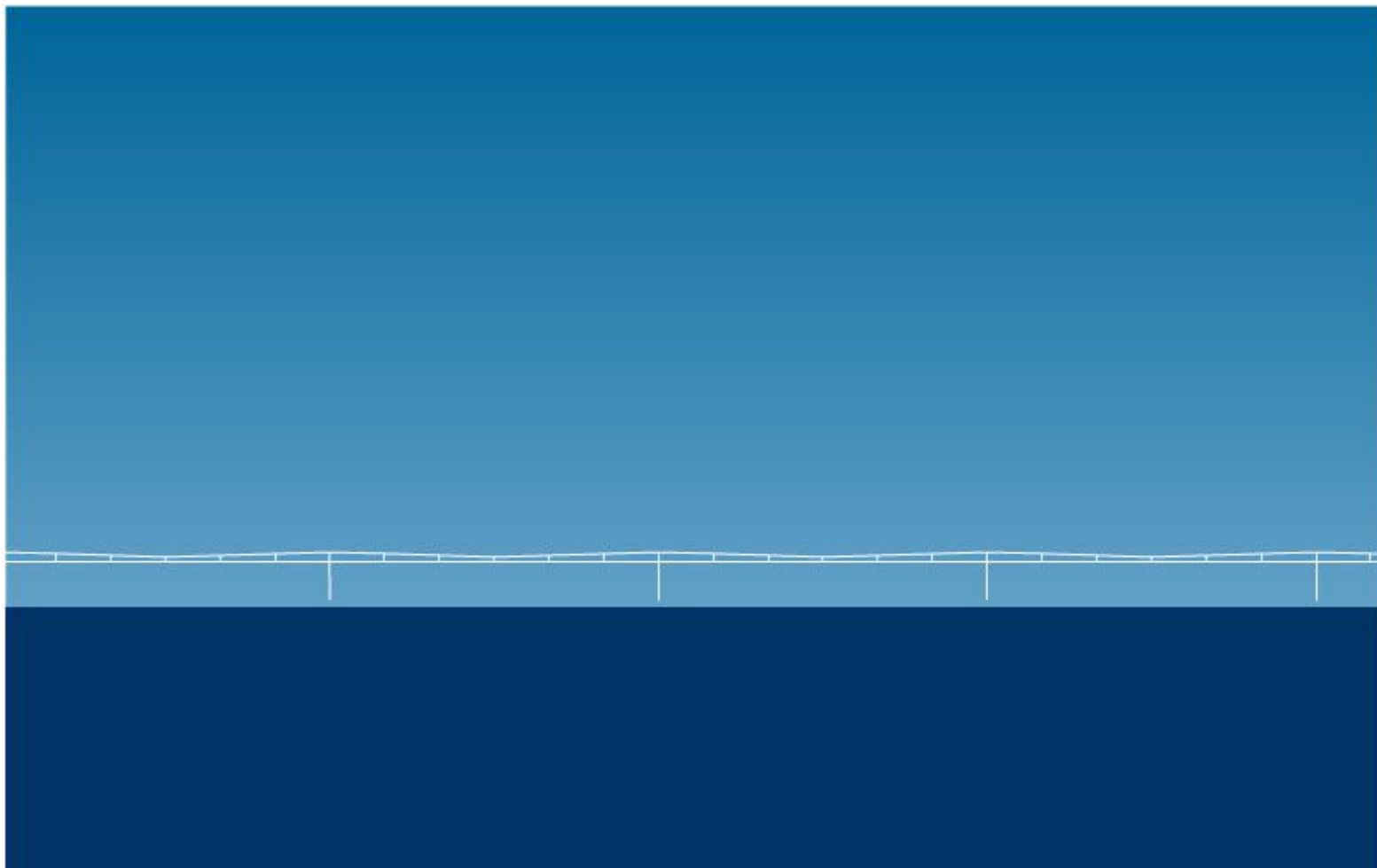
$R_{BL}$ : Resistor

S: Microswitch

V: Diodo de disco

# Retificador a Diodo – Sitras REC

## Recuperação da Energia de Frenagem



# Conteúdo



- Tendências Globais
- Visão Geral dos Sistemas de Eletrificação Ferroviária
- Sistemas de Armazenamento
- Sistemas de Regeneração
- Experiência dos Operadores
- Evolução das Tecnologias

# Sitras SES – Static Energy Storage

## Unidade Estacionária de Armazenamento de Energia



### Sitras SES

**S1: Entrada de Energia**

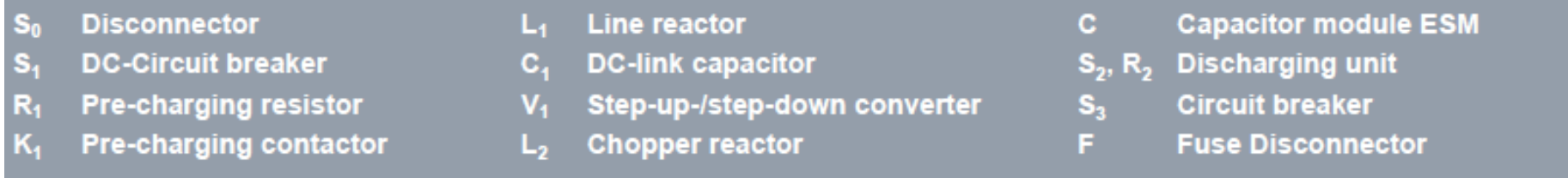
**S2: Unid. Controle**

**S3: Conversor DC/DC**

**S4: Filtro**

**S5: Unidade de Armaz.**

**S6: Unidade de Armaz.**



# Sitras SES – Static Energy Storage

## Unidade Estacionária de Armazenamento de Energia

AEAMESP  
19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013



**Sitras SES - Nuremberg**



**Sitras SES - Rotterdam**

# Sitras SES – Static Energy Storage

## Unidade Estacionária de Armazenamento de Energia



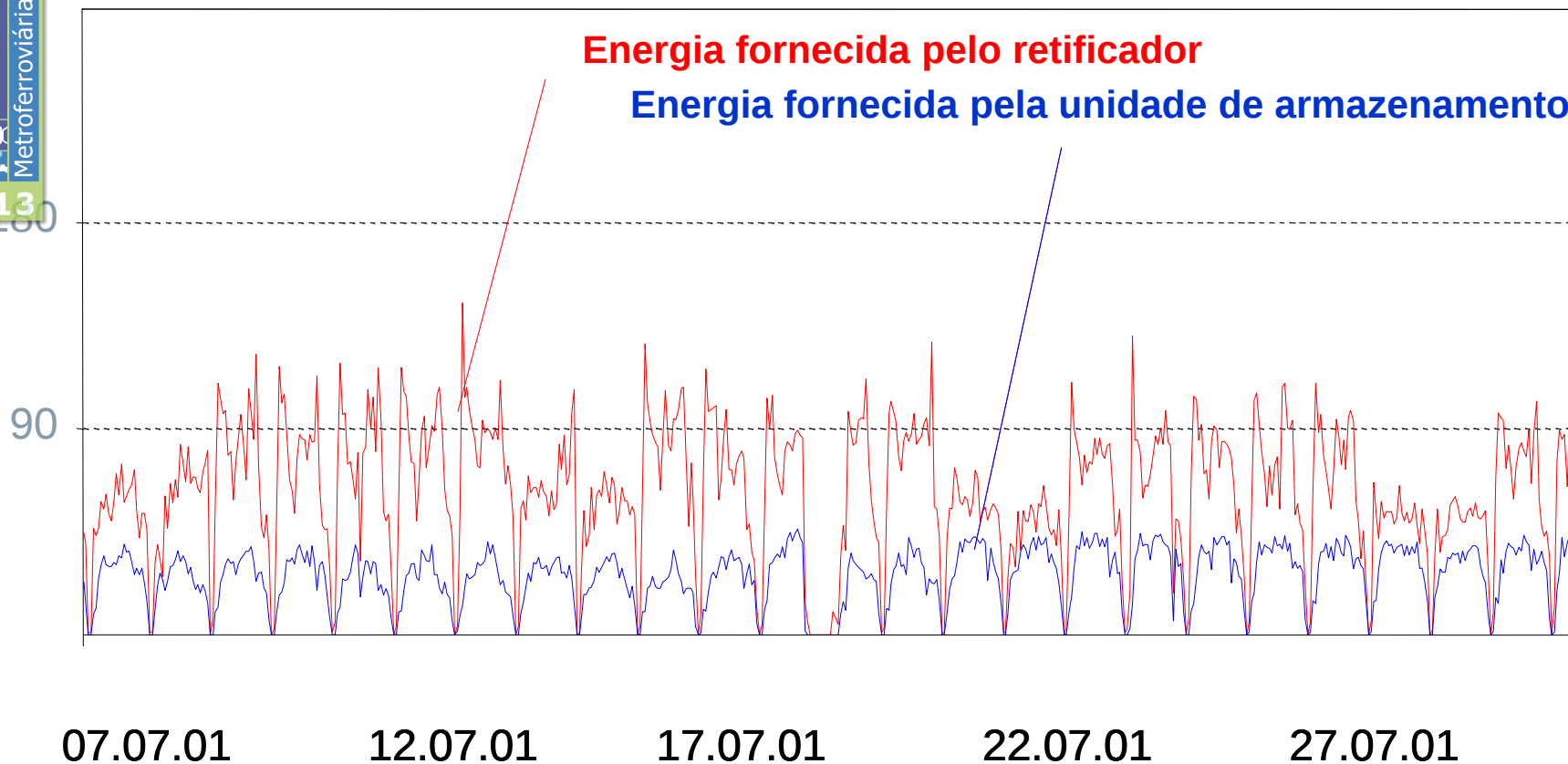
AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

$$P = W/t / \text{kWh/h}$$

Energia fornecida pelo retificador

Energia fornecida pela unidade de armazenamento



Medições na linha de bonde em Colônia, 2001 (Colônia-Brueck)

# Sitras SES – Static Energy Storage

## Conceito de Funcionamento



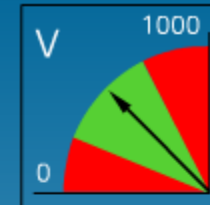
Energy exchange between vehicles through energy storage unit



# Sitras SES – Static Energy Storage

## Conceito de Funcionamento

Static energy voltage



# Sitras SES – Static Energy Storage

## Benefícios



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

### Economia de Energia

- Absorção da energia dos veículos em frenagem
- Armazenamento desta energia
- Reaproveitamento nos veículos em aceleração

**Benefício:** redução no custo operacional por diminuir o consumo nas subestações em até 30%

### Estabilização da Tensão

- Evita que a energia de frenagem não aproveitada diretamente por outro trem sobrecarregue a rede
- A partida de diversos trens simultaneamente por ser suportada sem que haja queda excessiva da tensão

**Benefício:** estabilização da tensão na rede e aumento da vida útil dos sistemas

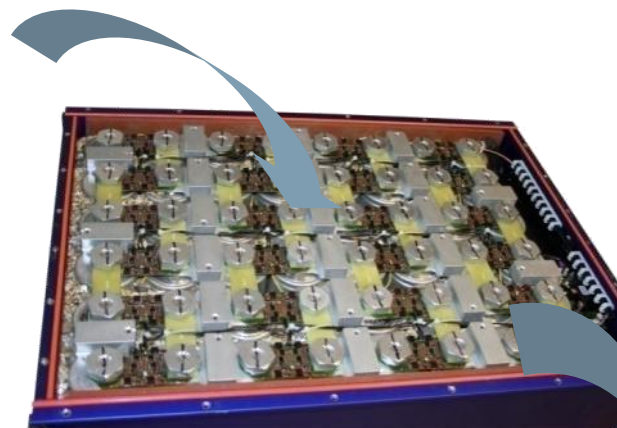
# Sistemas de Armazenamento de Bordo Sitras MES – Mobile Energy Storage



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013



Capacitores  
(DLC)



Conjunto com dissipador de calor



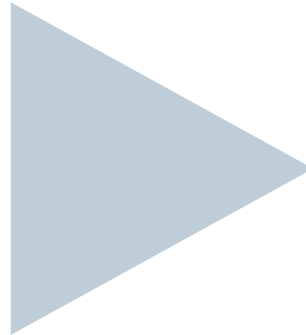
Aparência final – Unidade de Bordo

- ✓ Armazenamento de Energia baseado em Capacitores de Dupla Camada (DLC)
- ✓ Alta densidade de energia e potência (rápida carga e descarga)
- ✓ O sistema é modular e de fácil manutenção

# Sitras MES – Mobile Energy Storage

## Animação

SIEMENS



# Sistemas de Armazenamento de Bordo

## Sitras HES – Hybrid Energy Storage

Módulo de Capacitores (DLC)



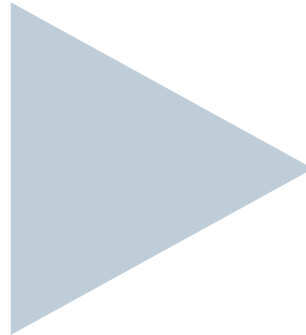
Baterias de Tração (NiMH)

- ✓ Módulo de Capacitores absorve rapidamente energia da frenagem e libera na aceleração
- ✓ Permite a operação sem catenária (*NVC – Non Visible Contact-line*)
- ✓ Baterias podem ser usadas para manter velocidade em regime
- ✓ Em caso de imprevistos (e.g. obstáculos), as baterias garantem maior autonomia

# Sitras HES – Hybrid Energy Storage

## Animação

SIEMENS



# Conteúdo



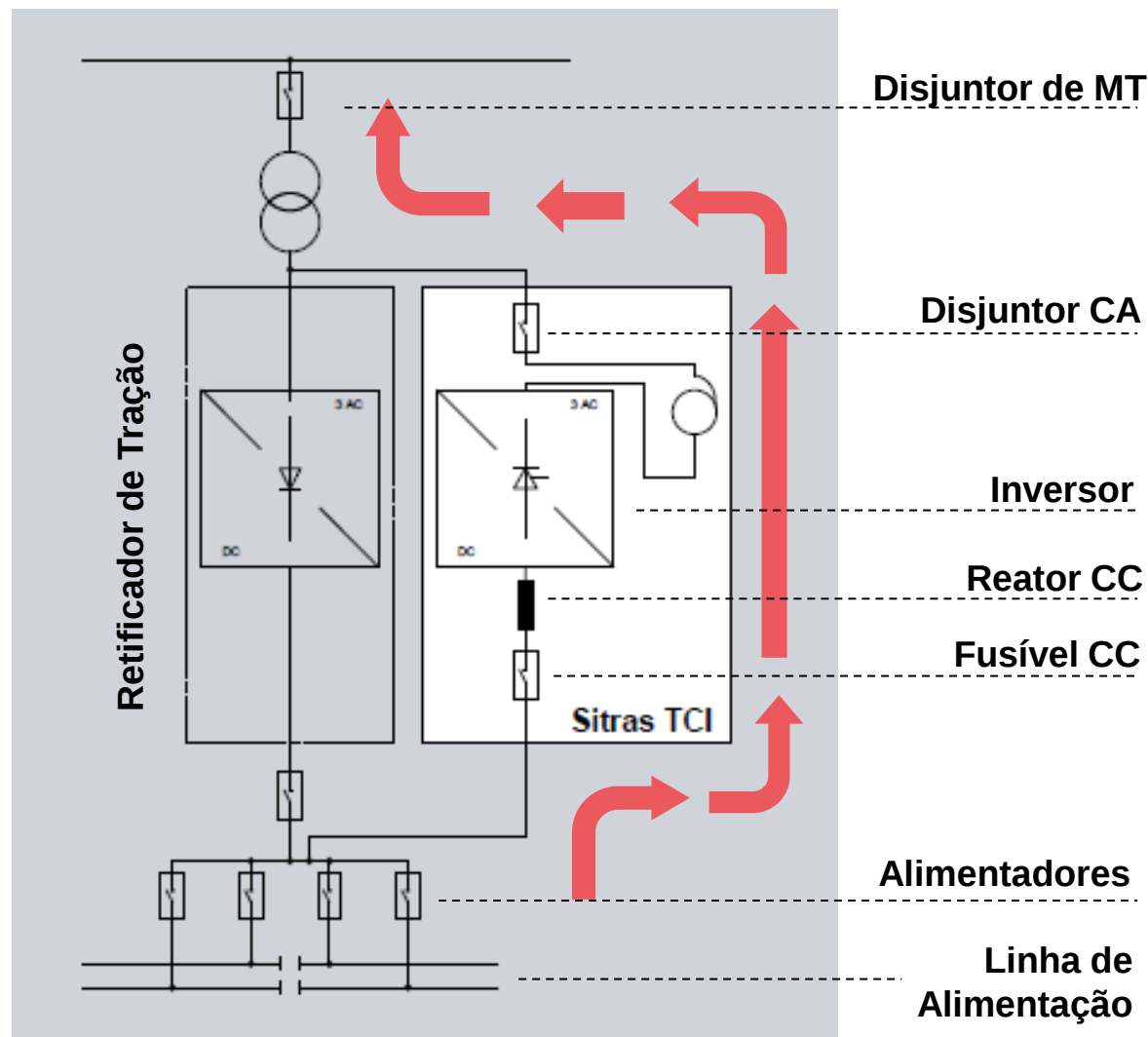
- Tendências Globais
- Visão Geral dos Sistemas de Eletrificação Ferroviária
- Sistemas de Armazenamento
- Sistemas de Regeneração
- Experiência dos Operadores
- Evolução das Tecnologias

# Sistemas de Regeneração de Energia DC

## Sitras TCI – Thyristor Controlled Inverter



**Painel – Sitras TCI**





# Sitras TCI – Thyristor Controlled Inverter Operação Comercial em Zugspitze, Alemanha

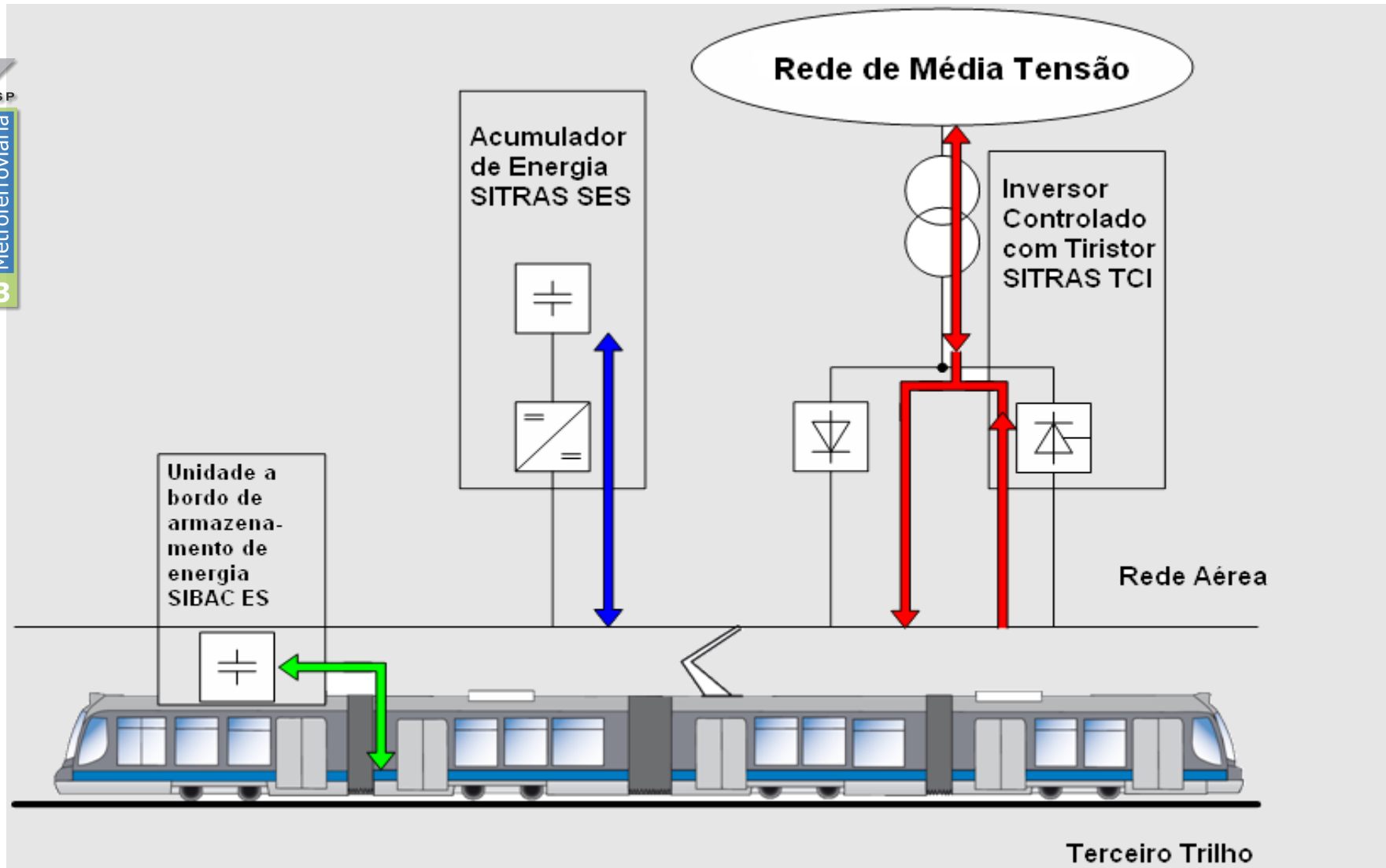


**Trem que opera no ponto mais alto da Alemanha!!!**

**A regeneração através do TCI alimenta as atividades no topo da montanha**

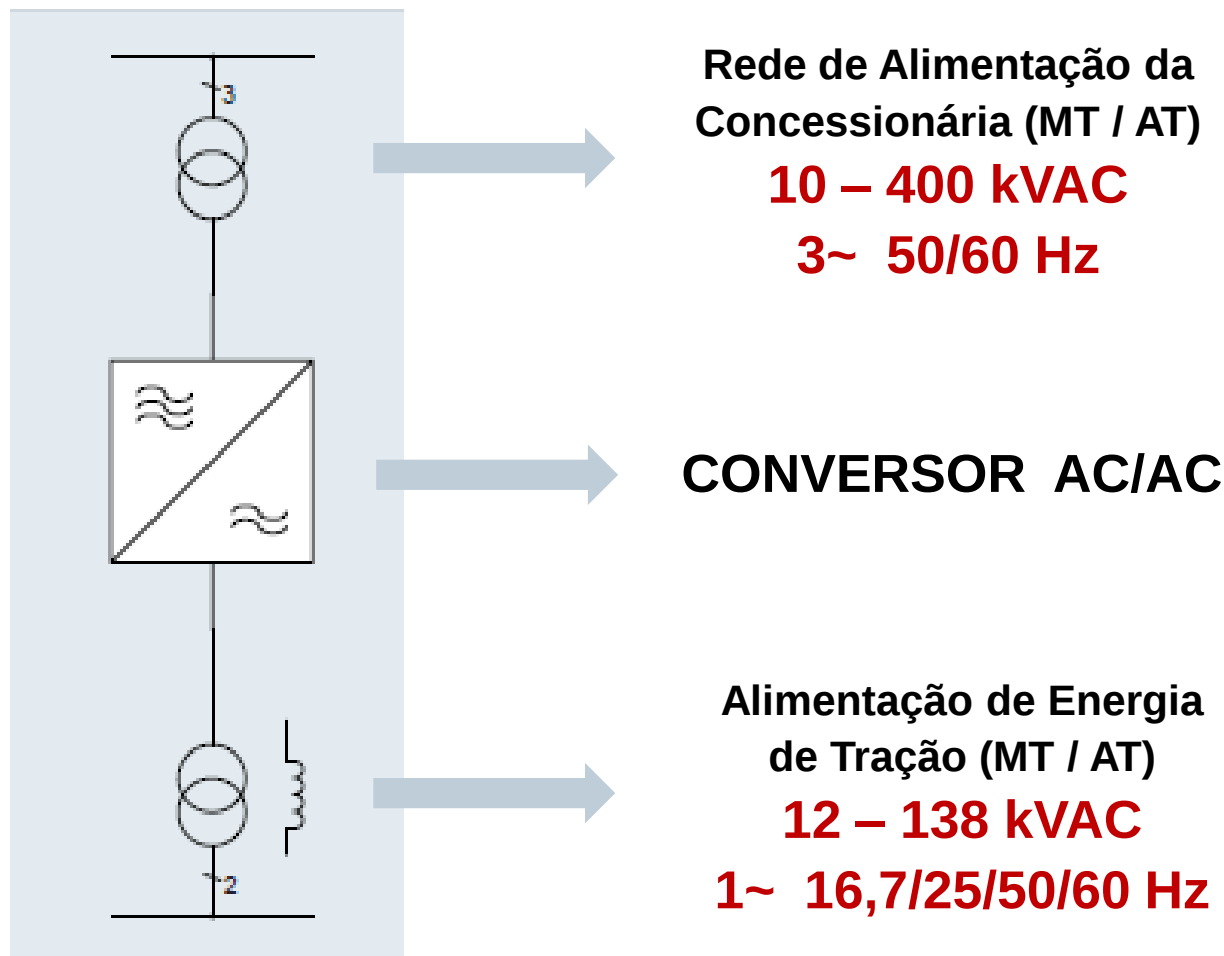


# Sistemas de Regeneração e Armazenamento de Energia



# Sistemas de Regeneração de Energia AC

## Sitras SCF – Static Frequency Converter



# Sistemas de Regeneração de Energia AC Sitras SCF – Static Frequency Converter



**Conversor Multi-Camada Modular**



**Transformador de Tração**



# Conteúdo



- Tendências Globais
- Visão Geral dos Sistemas de Eletrificação Ferroviária
- Sistemas de Armazenamento
- Sistemas de Regeneração
- Experiência dos Operadores
- Evolução das Tecnologias

# Sitras SES - Experiência dos Operadores

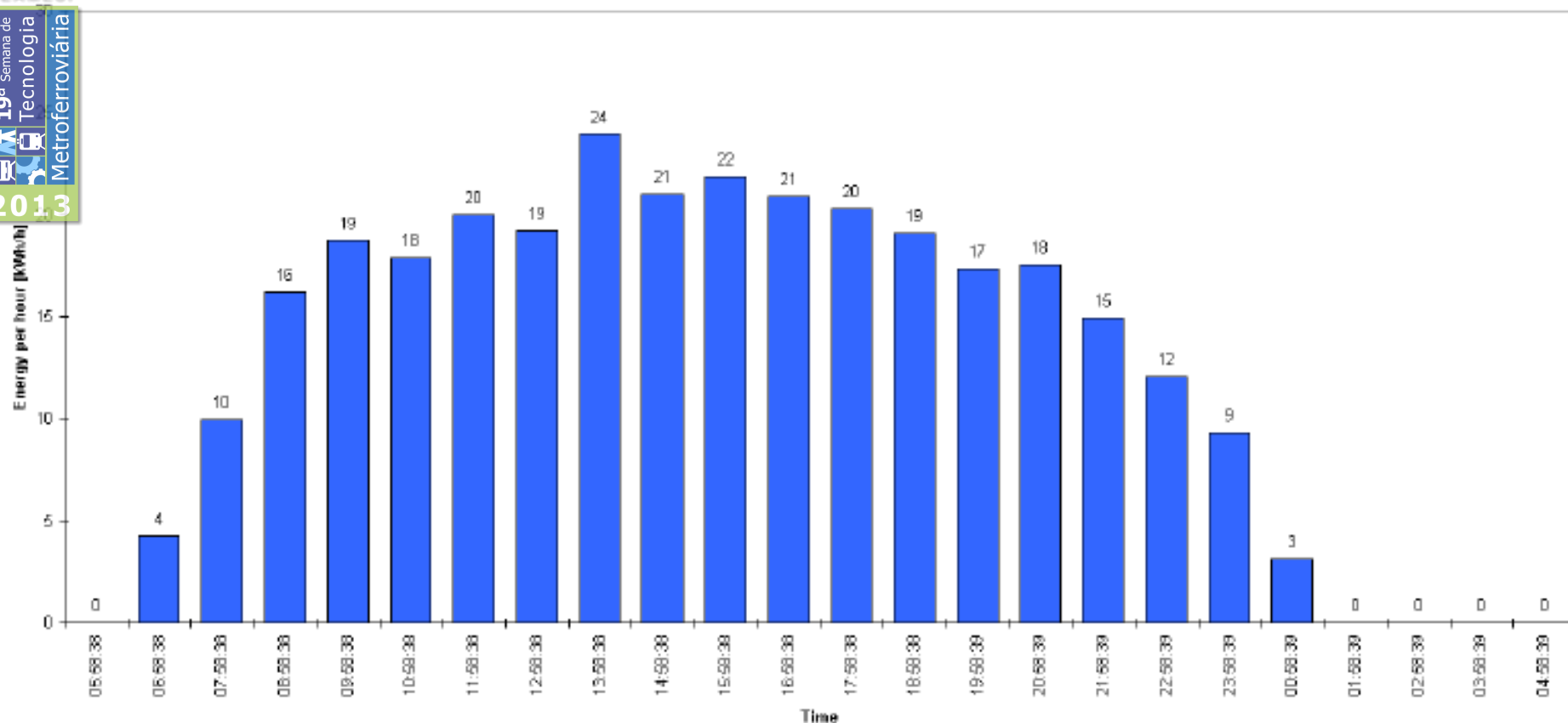
## RET Rotterdam: Energia Recuperada / hora

Average of recovered energy per hour [kWh/h]



AEAMESP

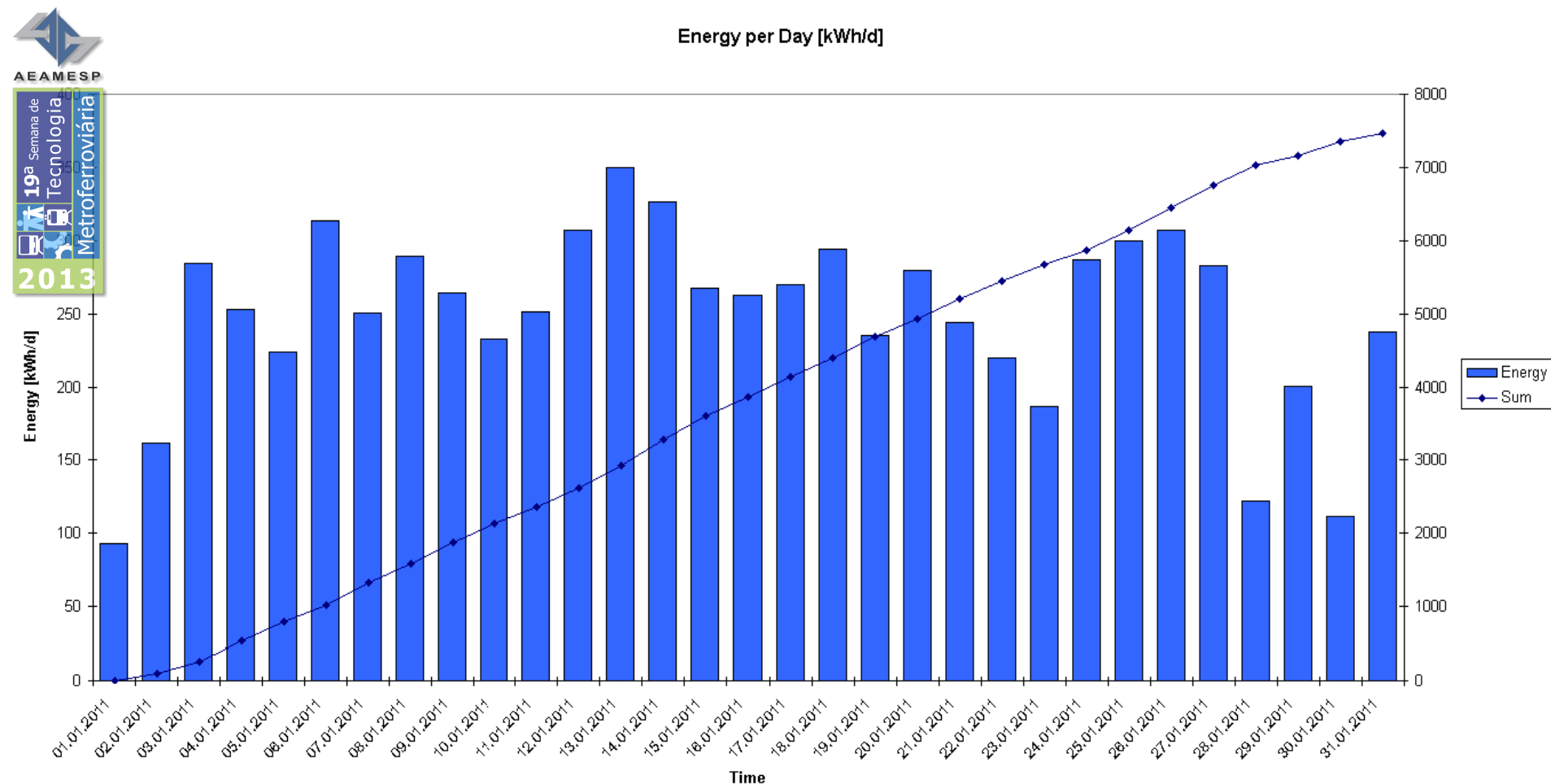
19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013



# Sitras SES - Experiência dos Operadores

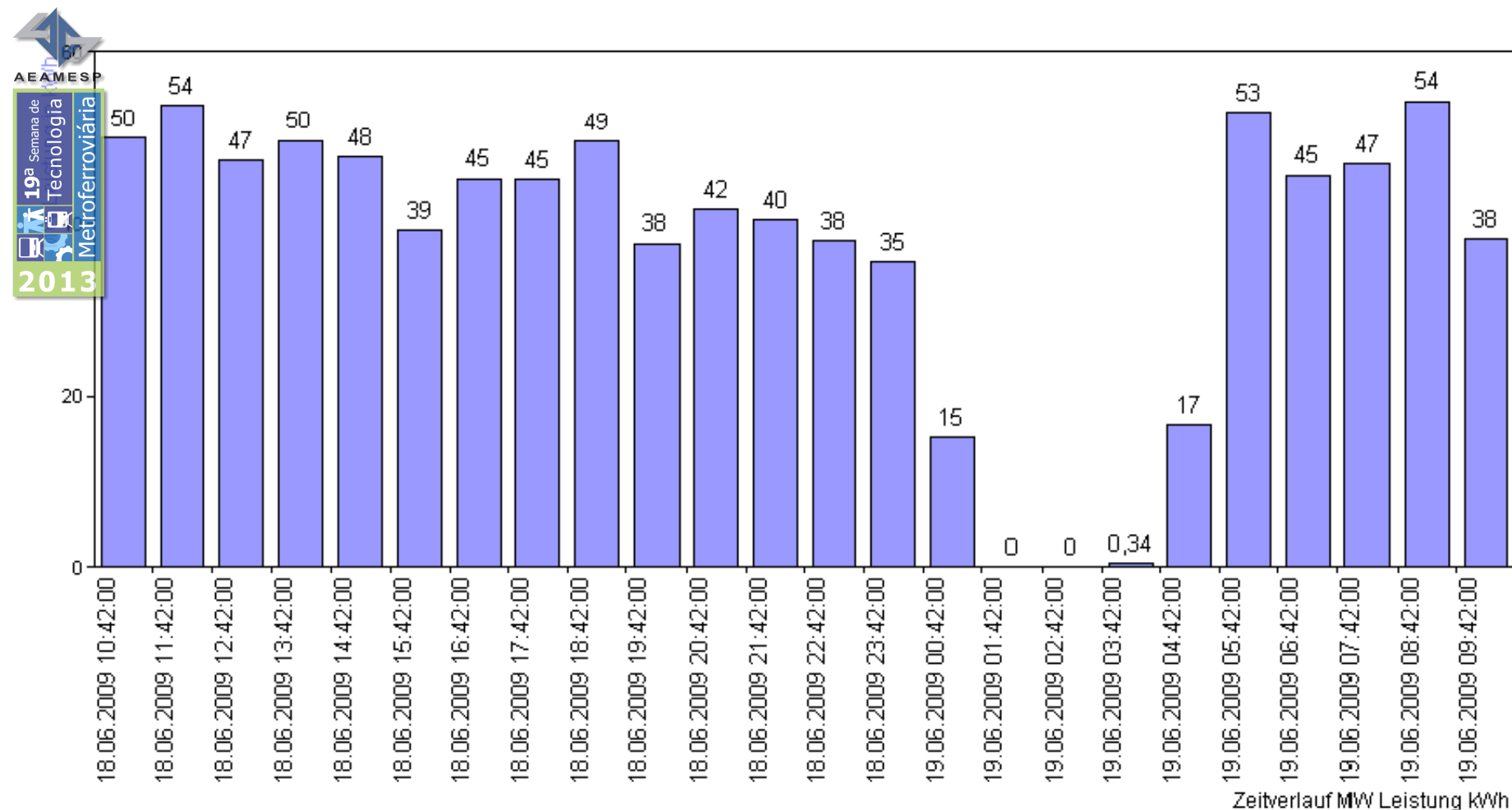
## RET Rotterdam: Energia Recuperada / dia

Energy per Day [kWh/d]



# Sitras SES - Experiência dos Operadores

## VAG Nuremberg: Energia Recuperada / hora





|                          |   |                             |
|--------------------------|---|-----------------------------|
| ▪ Madrid / Spain         | - | 2 units installed 2003      |
| ▪ Cologne / Germany      | - | 4 units installed 2003/2006 |
| ▪ Bochum / Germany       | - | 2 units installed 2004/2008 |
| ▪ Beijing / China        | - | 4 units installed 2006/2008 |
| ▪ Fuerth / Germany       | - | 2 units installed 2007      |
| ▪ Rotterdam / Netherland | - | 1 unit installed 2010       |
| ▪ Nuremberg / Germany    | - | 1 unit under commissioning  |
| ▪ Toronto / Canada       | - | 1 unit in dispatch          |

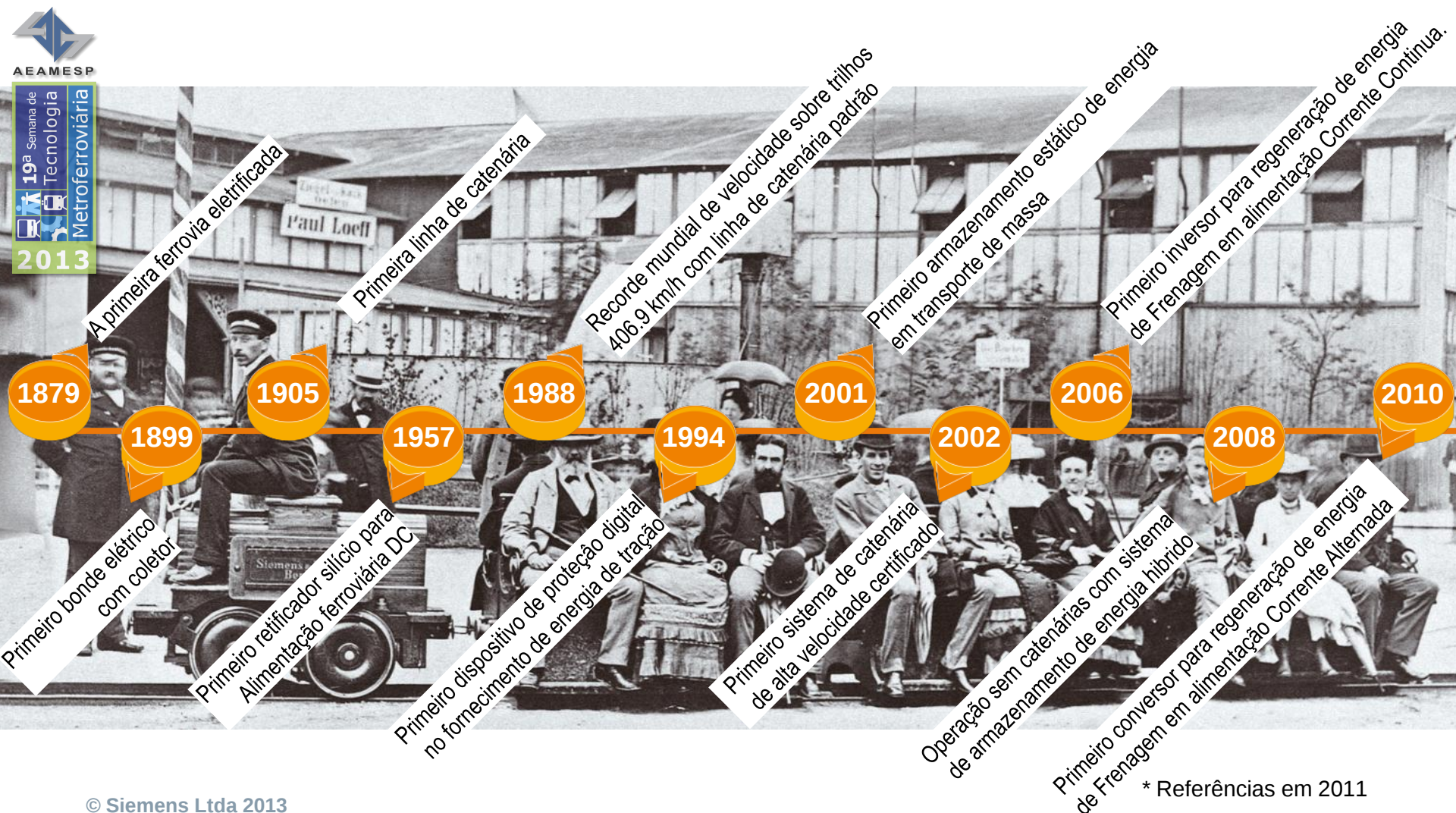
# Conteúdo



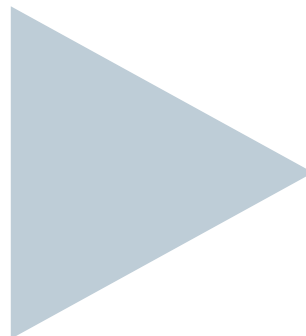
- Tendências Globais
- Visão Geral dos Sistemas de Eletrificação Ferroviária
- Sistemas de Armazenamento
- Sistemas de Regeneração
- Experiência dos Operadores
- Evolução das Tecnologias

# Sistemas de Armazenamento e Regeneração

## Evolução Tecnológica – Linha do Tempo



# Video – Sistemas de Armazenamento e Regeneração



# Contato



## Caio Luchesi

Telefone: +55 11 3833 4355

E-mail: [caio.luchesi@siemens.com](mailto:caio.luchesi@siemens.com)

## Marcio Prado Teixeira

Telefone: +55 11 3833 4386

E-mail: [marcio.prado@siemens.com](mailto:marcio.prado@siemens.com)

[siemens.com/answers](http://siemens.com/answers)