

Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPIRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## Projeto PNUD BRA/99/G32

Ônibus a célula a  
combustível hidrogênio  
para transporte urbano no Brasil



Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPIRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTES URBANOS DE SÃO PAULO S.A. – EMTU/SP

- Escopo de atuação: **gestão, regulação e fiscalização do serviço metropolitano de ônibus** nas Regiões Metropolitanas do Estado de São Paulo
- Atuação em quatro RM's – São Paulo, Baixada Santista, Campinas e Vale do Paraíba e Litoral Norte - 106 municípios atendidos
- Frota vinculada: Sistema Regular  $\approx$  6.000 veículos  
Sistema Fretamento  $\approx$  16.000 veículos
- Passageiros transportados no Sistema Regular:  $\approx$  2,3 milhões passageiros/dia útil
- Quilometragem percorrida no Sistema Regular:  $\approx$  40 milhões km/mês

Ministério da  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPR2

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## ESTÁGIO ATUAL DO PROJETO

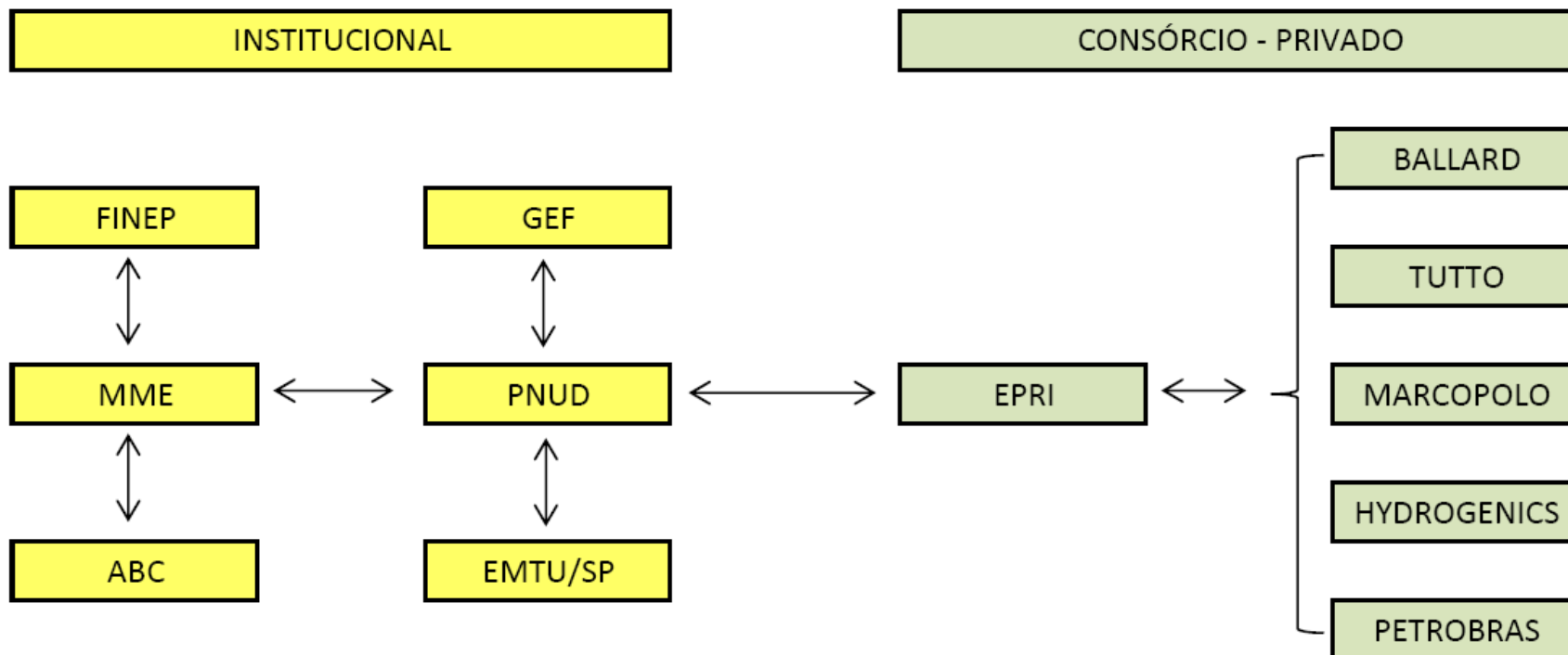


- 1 ônibus em operação;
- 3 ônibus em aquisição.

- Estação de produção e abastecimento de hidrogênio prestes a ser inaugurada.



## PARTÍCIPIES DO PROJETO - FASE II.3



Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPR2

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## DESENVOLVIMENTO EM PARCERIA INTERNACIONAL

**PNUD** - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - Agência Implementadora do GEF - apoio técnico e administrativo do Projeto;

**GEF** - **Global Environment Facility** - Financiadora multilateral; os recursos disponibilizados são administrados pelo PNUD;

**MME** - **Ministério de Minas e Energia** - Direção Nacional do Projeto;

**FINEP** – **Agência Brasileira de Inovação** - Agência Financiadora Nacional, órgão ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia. Seus recursos são encaminhados ao MME, que os repassa ao PNUD, administrador destes recursos;

**EMTU/SP** - **Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo S.A.** - Agência Implementadora e Gerenciadora do Projeto;

**Consórcio internacional** - Construtores e fornecedores.

Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## PARTÍCIPIES DO PROJETO - GERENCIAMENTO

### COMPONENTES DO CONSÓRCIO E FUNÇÕES



EPRI INTERNATIONAL



Braço internacional do Electric Power Research Institute, instituição americana de pesquisa sem fins lucrativos, com ampla experiência na implementação e gerenciamento de grandes projetos cooperativos de tecnologia, faz o **gerenciamento do projeto e lidera o consórcio**, trazendo a experiência adquirida em projetos similares, coordenando os testes de durabilidade e avaliação, e realizando simulações que determinarão um conceito híbrido otimizado, de acordo com o ciclo de operação no corredor da EMTU.

Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPR2

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## PARTÍCIPIES DO PROJETO - CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

### COMPONENTES DO CONSÓRCIO E FUNÇÕES

# BALLARD®

## BALLARD POWER SYSTEMS



Líder mundial no design, desenvolvimento e fabricação de células a combustível emissão zero do tipo PEM, **fornece os módulos de célula a combustível** para aplicação automotiva, trazendo e disseminando sua ampla experiência em projetos de demonstração de ônibus ao redor do mundo.

Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPIRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## PARTÍCIPIES DO PROJETO - CHASSIS E INTEGRAÇÃO

### COMPONENTES DO CONSÓRCIO E FUNÇÕES



Empresa brasileira com ampla experiência no desenvolvimento, produção e modificação de chassis e em sistemas de propulsão alternativos, é **a integradora do ônibus completo** e combina sua experiência com fornecedores líderes internacionalmente. A integração veicular incluiu documentação técnica, integração do sistema de célula a combustível e componentes eletroeletrônicos, testes e certificação.



Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPIRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## PARTÍCIPES DO PROJETO - CARROÇARIA

### COMPONENTES DO CONSÓRCIO E FUNÇÕES



Empresa brasileira, maior encarroçadora de ônibus das Américas, é a **fornecedora da carroçaria e seus componentes**. Sua alta capacidade e infraestrutura de produção no Brasil facilitará a continuidade da produção e exportação de ônibus movidos a célula a combustível.

Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPR2

HYDROGENICS



Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## PARTÍCIPIES DO PROJETO - UNIDADE DE PRODUÇÃO H<sub>2</sub>

### COMPONENTES DO CONSÓRCIO E FUNÇÕES



Empresa canadense, líder mundial no desenvolvimento, produção de hidrogênio por eletrólise e estações de abastecimento, **fornece equipamentos e competência técnica**. A Hydrogenics trabalha junto com a Petrobras Distribuidora na preparação e instalação da estação de produção e abastecimento, no comissionamento e treinamento, garantindo uma operação segura e de qualidade.



Ministério de  
Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## PARTÍCIPIES DO PROJETO - OPERAÇÃO U. P. H<sub>2</sub>

### COMPONENTES DO CONSÓRCIO E FUNÇÕES



**PETROBRAS DISTRIBUIDORA**



Maior companhia distribuidora de combustível do Brasil com mais de 7.000 estações de serviço, **é a integradora e operadora da estação de produção e abastecimento de hidrogênio**, trazendo experiência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento CENPES. Há 40 anos, a PETROBRAS tem sido líder na distribuição de sub-produtos de petróleo no Brasil, e uma das 20 maiores empresas de petróleo no ranking internacional.

Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPR2

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## OBJETIVOS ESTRATÉGICOS DO PROJETO

- Desenvolver meios de **transporte coletivo com emissão zero de poluentes**, que contribuam na redução dos níveis de emissão dos gases causadores do efeito estufa e dos poluentes locais;
- Demonstrar a **viabilidade e sustentabilidade dos ônibus e de sua infraestrutura** de produção de hidrogênio e abastecimento;
- Desenvolver uma **especificação para ônibus** com célula a combustível baseado nos chassis e carroçarias brasileiros;
- **Adquirir e disseminar cultura técnica** (de fabricação, operação e manutenção).



Ministério de  
Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## LINHA DE TRABALHO DO PROJETO DO ÔNIBUS

- Uso módulos compactos de célula a combustível desenvolvidos para para veículos pesados.

Características típicas do módulo Ballard® HD6:

Temperatura

(nominal): 63°C

Pressão do Combustível

(nominal): 17 bar

Potência de Saída: 150 kW

Corrente (máx.): 325 A

Tensão (DC): 440 - 800 V





Ministério de Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

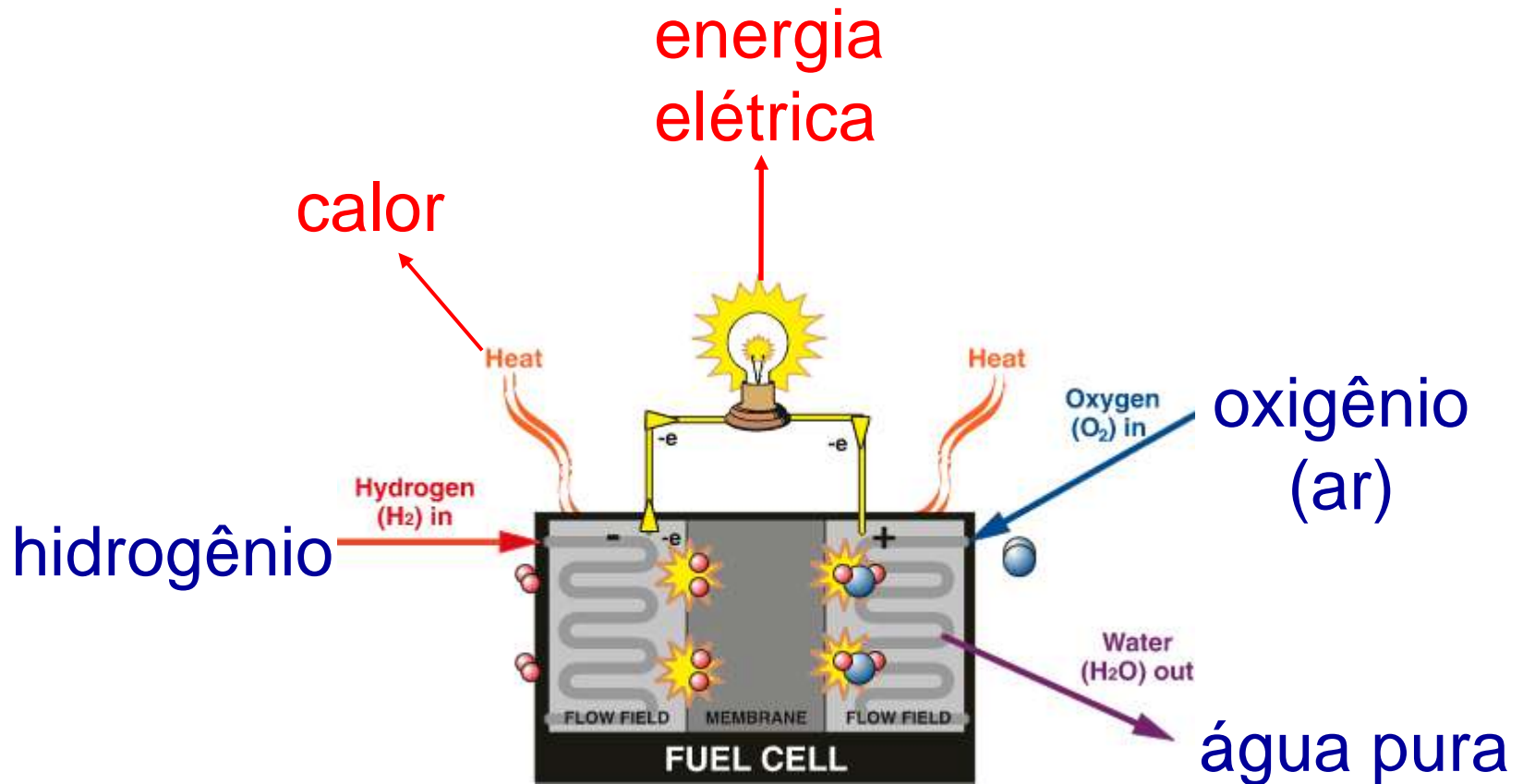
HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti



Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPI21

HYDROGENICS

Marcopolo

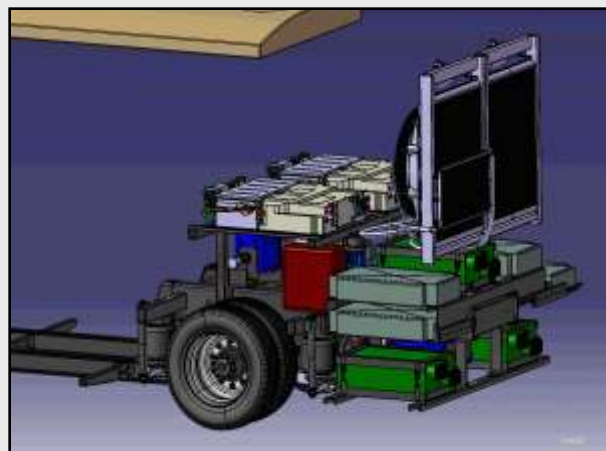
NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## LINHA DE TRABALHO DO PROJETO DO ÔNIBUS

- A **configuração híbrida** consiste em um sistema de geração de eletricidade (**célula a combustível**) e um sistema de armazenamento de energia (**baterias**).



- A hibridização combina o sistema de célula a combustível com baterias de tração, com gerenciamento de energia, permitindo **operação eficiente, maior durabilidade e confiabilidade**.

Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPIRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## LINHA DE TRABALHO DO PROJETO DO ÔNIBUS

### Sistema de Gerenciamento de Energia



- Permite **recuperação de energia de frenagem**, redundância e operação independente do sistema;
- Maior eficiência - **Menor consumo de combustível**;
  - Meta: 15 kg/100 km; Resultado: < 13 kg/100 km
- **Desenvolvido integralmente no Brasil.**



Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPR2

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## LINHA DE TRABALHO DO PROJETO DA INFRAESTRUTURA

### CONCEITO DA ESTAÇÃO DE HIDROGÊNIO

A estação de produção e abastecimento de hidrogênio é operada pela Petrobras, com apoio técnico da Hydrogenics:

- Estação modular com possibilidade de ampliação futura;
- Obtenção de hidrogênio por eletrólise – nenhuma emissão local de poluentes na atmosfera.





Ministério da  
Minas e Energia



AES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

Energia  
Elétrica - AC  
(480 Volts)



Água

(120 litros/hora)

Oxigênio  
(Dispensado na  
atmosfera)

Hidrogênio  
(6 kg/hora)

Água (Resíduo do  
processo)  
(60 litros/hora)

H<sub>2</sub> (10 atm)

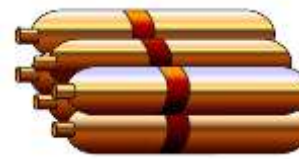


Filtro  
Purificador



Unidade de  
Compressão

H<sub>2</sub>  
(430 atm)



Tanques de  
Armazenagem (72 kg H<sub>2</sub>)



Abastecedor

H<sub>2</sub> (350  
atm)  
99,998 %  
de pureza

250 - 280 km  
percorridos / 31 kg  
H<sub>2</sub>





Ministério de  
Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS



Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## LOCAL DE CIRCULAÇÃO DO ÔNIBUS A HIDROGÊNIO - CORREDOR METROPOLITANO ABD - RMSP



**Extensão: 45 km em operação;**  
**Segregado e em parte eletrificado;**  
**Frota: ≈ 280 ônibus;**  
**Linhas: 13;**  
**Terminais: 9.**

Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPR2

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## POSIÇÃO ATUAL

### Cronograma

- Os equipamentos de produção e abastecimento de hidrogênio estão em fase final de instalação. A Estação de Produção e Abastecimento de Hidrogênio deverá entrar em operação até o final de 2013.
- O protótipo está em operação no Corredor ABD (São Mateus-Jabaquara) desde dezembro de 2010.
- Os próximos 3 veículos deverão começar os testes no Corredor ABD em março/maio de 2014.



Ministério de  
Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## Do Protótipo aos novos veículos: o que muda?

	Protótipo	Novos veículos	Comentário
<b>Passageiros</b>	63 (29 sentados)	75 (32 sentados)	Veículo mais leve permite mais passageiros
<b>Portas</b>	3 à direita	2 em cada lado	Para poder operar em corredores centrais
<b>Piso</b>	Baixo total	Entrada baixa (2/3 da área)	Para permitir uma melhor distribuição dos componentes, aumentando a área de passageiros
<b>Peso (veículo vazio)</b>	15.050 kg	14.100 kg	-



Ministério de  
Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPIRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## Do Protótipo aos novos veículos: o que muda?

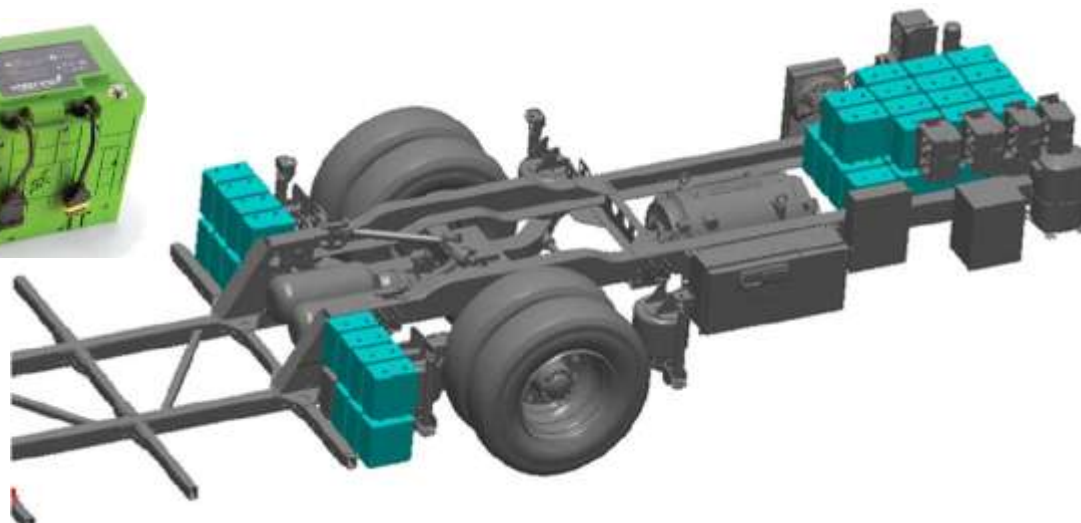
Célula a hidrogênio	Protótipo	Novos veículos
Configuração	2 módulos desenvolvidos para carros de passeio	1 módulo próprio para ônibus
Potência total	130 kW	150 kW





## Do Protótipo aos novos veículos: o que muda?

Baterias	Protótipo	Novos veículos	Comentário
Configuração	3 unidades grandes	46 unidades pequenas	As novas funcionam à temperatura ambiente (Zebra: 250°C); manutenção e substituição facilitadas; distribuição dos módulos em diferentes espaços do veículo
Composição	Na-NiCl <sub>2</sub> (sal fundido)	LiFeMgPO <sub>2</sub> (lítio)	
Potência total	106,5 kW	105 kW	
Capacidade de energia	59,4 kWh	61 kWh	





Ministério da  
Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## Do Protótipo aos novos veículos: o que muda?

Motores	Protótipo	Novos veículos
Configuração	2 unidades	1 unidade
Potência total	170 kW	165 kW
Origem	Estrangeira	Nacional







Ministério de  
Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

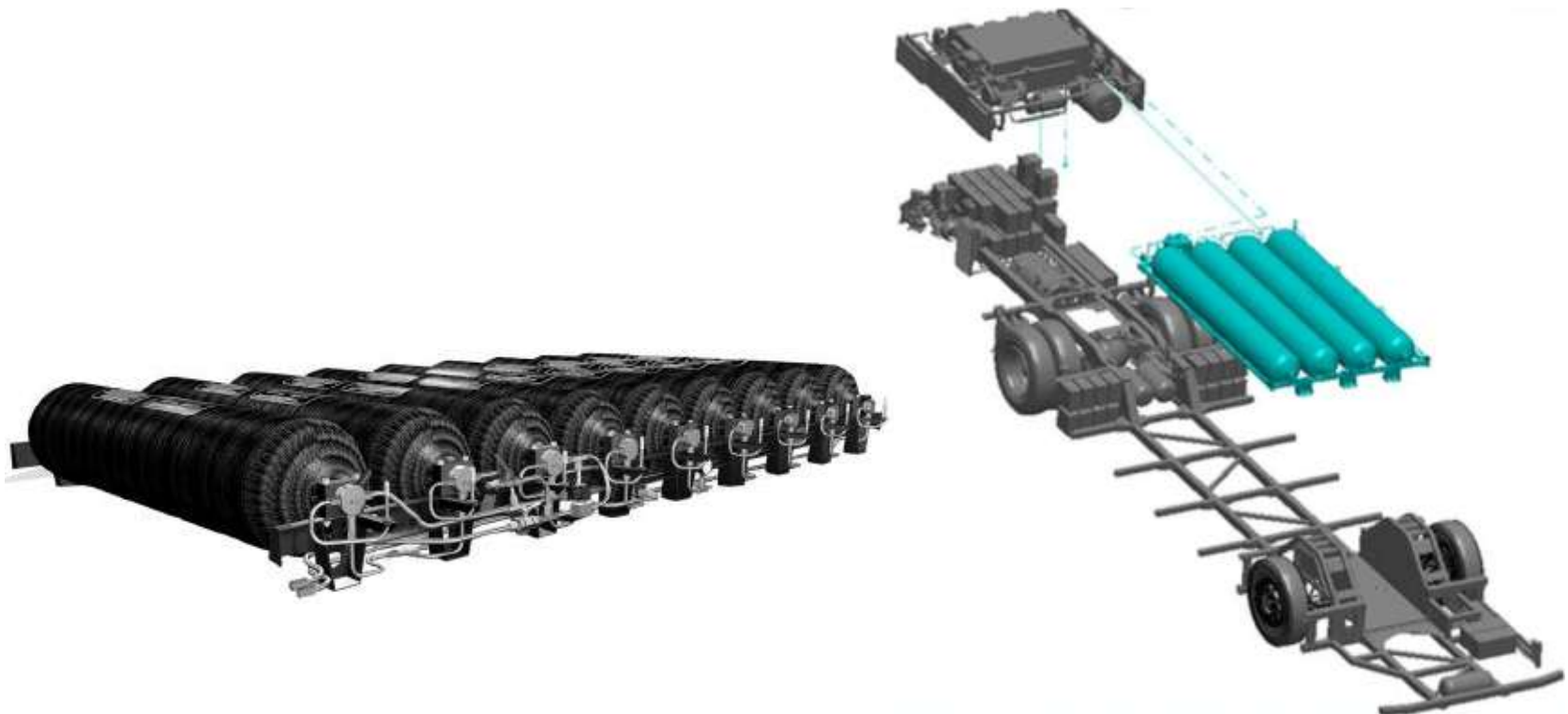
NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## Do Protótipo aos novos veículos: o que muda?

Cilindros de H <sub>2</sub>	Protótipo	Novos veículos	Comentário
Configuração	9 cilindros transversais	4 cilindros longitudinais	Redução de peso e de capacidade; mantida a autonomia suficiente para um dia de operação
Capacidade	45 kg	30,9 kg	





Ministério da  
Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS



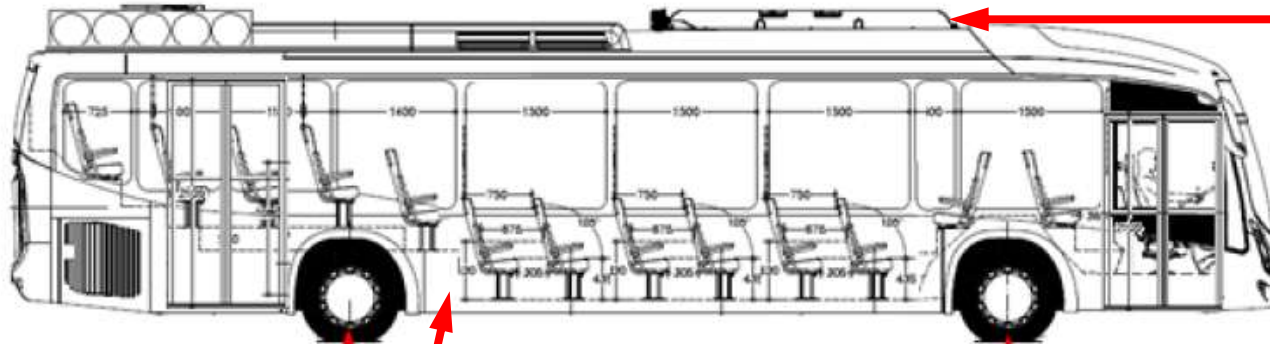
Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## Origem dos componentes nos novos veículos



Cilindros de  
hidrogênio



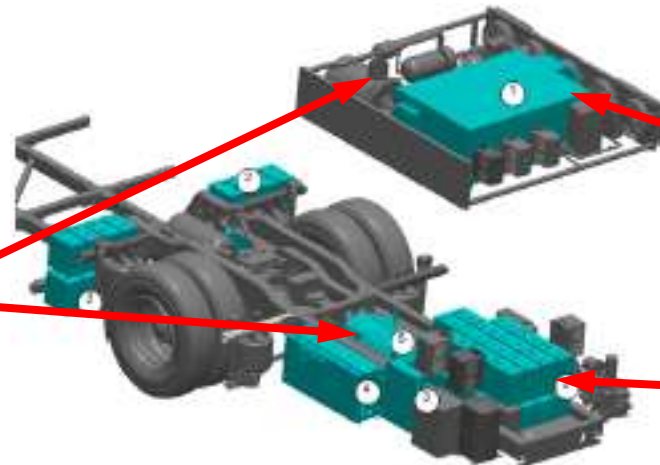
Carroçaria e  
chassis



Gerenciamento do  
Projeto, Integração  
dos sistemas e  
software de controle



Sistemas elétricos,  
sistemas auxiliares e  
motores de tração



Sistema de célula  
a combustível



Baterias  
de tração



Ministério de  
Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

## Desenvolvimento de tecnologia nacional

### O QUE FOI NACIONALIZADO

Sistema de tração (motores de tração e auxiliares, inversores etc.)



Sistema de arrefecimento



### O QUE PERMANECE IMPORTADO

Células a combustível



Cilindros de hidrogênio



Baterias de tração





Ministério de Minas e Energia



AES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti



Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPIRI

HYDROGENICS



Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti





Ministério de Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti





Ministério de Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti





Ministério de Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti







Ministério de Minas e Energia





Ministério de Minas e Energia





Ministério de Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPIRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti





Ministério de Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti





Ministério de Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS



Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti





Ministério de Minas e Energia



ES Eletropaulo

BALLARD

EPRI

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti



# MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA SECRETARIA DE ENERGIA



Financiadora  
de Estudos e  
Projetos



United Nation  
Development  
Programme



GEF  
Global  
Environment  
Facility



SECRETARIA DOS  
TRANSPORTES METROPOLITANOS



Ministério de  
Minas e Energia

AES Eletropaulo

BALLARD

EPR2

HYDROGENICS

Marcopolo

NUCELLSYS

PETROBRAS

tuttotrasporti

**Obrigado pela atenção!**

**EMTU/SP - [www.emtu.sp.gov.br](http://www.emtu.sp.gov.br)**

GDP - Gerência de Desenvolvimento e Planejamento

[gdp@emtus.gov.br](mailto:gdp@emtus.gov.br)

Tel.: (11) 3113-4876



**Ônibus Brasileiro a Hidrogênio**