

# SISTEMA MONOTRILHO DA LINHA 15 – PRATA



METRÔ



AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

NOVAÇÃO TECNOLÓGICA NOS TRENS DO MONOTRILHO DA LINHA 15 – PRATA”



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



Apresentar as principais inovações tecnológicas que desembarcaram junto à concepção deste novo modal de transporte, bem como, demonstrar o estágio atual da fabricação dos Trens do Sistema do Monotrilho da Linha 15 – Prata.



AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013



## PRINCIPAIS INOVAÇÕES

- Sinalização e Controle
- Nível de ruído
- Construção / peso
- Bateria
- Sistema de Propulsão Motor



# SISTEMA DE SINALIZAÇÃO E CONTROLE



METRÔ

O Sistema Monotrilho da Linha 15 – Prata será o primeiro a ser implantado na América Latina utilizando um sistema de controle através de operação não assistida UTO - Unattended Train Operation e Controle de Trem Baseado em Comunicação CTBC - Communications-Based Train Control, conhecido como bloco móvel.

Atualmente o headway definido para a Linha 15 – Prata é para um intervalo de 90 segundos, podendo chegar a 75 segundos conforme especificado pelas diretrizes técnicas de projeto.

Com a adoção dessa tecnologia podemos verificar algumas melhorias para todo sistema onde podemos destacar o aumento da confiabilidade, capacidade de transporte, redução de tempo de espera por parte dos usuários.



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility

# SISTEMA DE SINALIZAÇÃO E CONTROLE



METRÔ

O Sistema Monotrilho da Linha 15 – Prata será o primeiro a ser implantado na América Latina utilizando um sistema de controle através de operação não assistida UTO - Unattended Train Operation e Controle de Trem Baseado em Comunicação CTBC - Communications-Based Train Control, conhecido como bloco móvel.

Atualmente o headway definido para a Linha 15 – Prata é para um intervalo de 90 segundos, podendo chegar a 75 segundos conforme especificado pelas diretrizes técnicas de projeto.

Com a adoção dessa tecnologia podemos verificar algumas melhorias para todo sistema onde podemos destacar o aumento da confiabilidade, capacidade de transporte, redução de tempo de espera por parte dos usuários.



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility

# SISTEMA DE SINALIZAÇÃO E CONTROLE



**METRÔ**

Item	Linha 1 Azul	Linha 2 Verde	Linha 3 Vermelha	Linha 5 Lilás	Linha 15 Prata
Extensão (km)	20,2	14,7	22	8,4	26,2
Estações	23	14	18	6	18
Oferta nos picos					
Número de trens (pico)	41	22	40	7	45
Intervalo entre trens (pico)	113	132	104	222	90



AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



Outra característica apresentada por esse modal é referente ao baixo nível e ruído que deverá ser implementado para assegurar que o veículo do Sistema Monotrilho atenda aos requisitos da Norma Brasileira de Ruído - NBR 13068 referentes aos níveis de ruído interior e exterior. Ele abrange somente o ruído conduzido pelo ar gerado pelo veículo, da seguinte maneira:

- Identificando todas as fontes potenciais de ruído e vibração no veículo.
- Criando projeções para ruídos de subsistemas individuais.
- Estabelecendo aos fornecedores limites para ruídos de subsistemas.
- Empregando todas as medidas necessárias de controle de ruído e vibração durante o projeto,

Realizando testes de qualificação para assegurar que todos os subsistemas e o veículo atendam aos requisitos definidos



O Plano de controle de ruído do veículo incorpora os seguintes elementos:

## 1. Planejamento avançado

- a. Modelagem e previsão dos níveis de ruído do veículo.
- b. Desenvolvimento de projeções para ruído de subsistemas.
- c. Inclusão de limites de ruído nas especificações de subsistema entregues aos fornecedores.

## 2. Projeto Detalhado de Subsistema

- a. Estudos de previsão de ruídos de subsistemas.
- b. Testes de equipamentos/componentes.
- c. Implementação das medidas necessárias para controle de ruído.

## 3. Qualificação

- a. Testes de subsistemas.
- b. Testes do veículo.





# NÍVEL DE RUÍDO



METRÔ

As projeções para ruídos dos subsistemas do veículo são usadas para determinar aos fornecedores um nível máximo permissível de pressão do som para seus equipamentos ou um valor de isolamento de ruído no caso de elementos da caixa do carro. Esses requisitos são incluídos nas especificações dos subsistemas (TRD's) entregues aos fornecedores. Os subsistemas incluem:

1. Unidade HVAC
2. PCS
3. Propulsão (motor elétrico e transmissão)
4. APU
5. EHM
6. Ruído de rolagem (pneus)
7. Sistema de refrigeração a líquido
8. Portas
9. Windows
10. Piso da caixa do carro
11. Parede lateral da caixa do carro
12. Caixa de roda
13. Passagem entre carros.



A seguir, há uma lista de medidas de controle de ruído e vibração que deverão ser implementadas para assegurar a conformidade com este plano de controle de ruído do veículo e com a especificação do veículo da plataforma:

1. Seleção de componentes de baixo ruído durante a fase do projeto básico.
2. Uso de materiais absorvedores e isoladores de som no projeto do subsistema e veículo.
3. Uso de fixações resilientes nas interfaces entre o subsistema e o veículo para reduzir os níveis de ruído ocasionados pela estrutura.
4. Seleção de projetos de ventiladores que minimizem as intensidades dos tons.
5. Uso de algoritmos de controle de PCS que minimizem as qualidades dos tons onde possível.

A implementação dessas medidas deverá ser verificada ao longo de todos os estágios do processo de projeto.



## Testes de Qualificação de Ruído de Subsistema

Cada fornecedor de subsistema deverá efetuar um teste de qualificação de ruído em uma câmara semi-aneecóica ou ambiente de campo livre em seu sistema completo com todos os componentes funcionando de acordo com documento de norma de teste de ruído de subsistema de veículo (documento da Bombardier 420-V00-BRA-030002).

Os critérios de aprovação/reprovação deverão ser o nível máximo de pressão do som permissível definidos na especificação do subsistema. Os resultados desta qualificação também deverão ser usados para refinamento posterior da previsão do nível de ruído do veículo



# NÍVEL DE RUÍDO



METRÔ

## Requisitos de Nível de Ruído do Veículo

Tipo		Requisito de nível de ruído do veículo	Condições	Referência de especificação de desempenho	Norma Referência
Interior	Estática	70 dB(A)	Medido 1,6 m acima do piso conforme NBR 13067	NBR 13068	NBR 13068
	Dinâmico	75 dB(A)		Seção 5.1.1	
Exterior	Estática	80 dB(A)	Medido 7,5 m da linha central do veículo, 1,5 m acima do boleto do trilho conforme NBR 13067	NBR 13068 Seção 5.2	NBR 13068
	Dinâmico	90 dB(A)	Medido 3 m da linha central do veículo, 1,5 m acima do boleto do trilho conforme NBR 13067		
	Estações de entrada ou saída dinâmica	85 dB(A)	Medido 3 m acima da linha central do veículo, 1,5 m acima da plataforma conforme NBR 13067		



19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária  
2013



# NÍVEL DE RUÍDO



METRÔ

## Projeção para Ruído de Subistema - Fontes Internas

A fim de minimizar o ruído interior do veículo e atender aos requisitos gerais de nível de ruído do veículo, os níveis de pressão do som do equipamento interno não devem exceder os valores

a seguir quando medidos nas localizações indicadas na tabela abaixo.

Subsistema	$L_p$ (dBA)	Local de medição
Iluminação e difusores de ar	58	1,6 m acima do piso do veículo, em qualquer local ao longo do comprimento do veículo
HVAC	65	1,6 m acima do piso do veículo sob a grelha do ar de retorno



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

## Provisões para Ruído de Subsistema - Fontes Externas

A fim de minimizar o ruído exterior do veículo e atender aos requisitos gerais de ruído do veículo, o nível de pressão do som para cada subsistema do veículo não deve exceder os valores que constam da Tabela 2 e Tabela 3 quando medidos a céu aberto em sua condição instalada.

Subsistema	Lp (dBA) a 7,5 m	Comentários
APU	52.5	Refrigerado a água, sem ventiladores de arrefecimento
Unidades de freio	51.5	Bomba dentro de um invólucro
HVAC	56.5	Instalado no centro do teto do carro montado
Filtro PCS, Inversor	58.5	Refrigerado a água, sem ventiladores de arrefecimento
Sistema de refrigeração a líquido	61.5	Ventilador axial simples de duas velocidades



AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013



# NÍVEL DE RUÍDO



METRÔ

## Fontes Exteriores (Operação Dinâmica)

Subsistema	$L_p$ (dBA) a 3 m	Comentários
Motor do PCS/ Caixa de Engrenagem	85	Dois conjuntos por carro
Pneus de carga com ruído de rolagem	85,5 (70 km/h)	Dois pneus de carga em cada extremidade
Pneus-guia com ruído de rolagem	71,5 (70 km/h)	Três pneus-guia em cada lado de uma extremidade



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013



Garantir um excelente desempenho com utilização racional dos recursos é um dos alicerces dos trens do Sistema Monotrilho da Linha 15 – Prata do Metrô de São Paulo.

Como exemplo, pode-se analisar as características construtivas, principalmente relacionadas ao peso. A estrutura dos carros pode ser dividida em 3 módulos: teto, laterais e estrado. Os dois primeiros são fabricados em Alumínio Extrudado e o último em Aço (Carbono e Inox).

E onde está a inovação?

É comum a utilização de Aço Carbono ou Aço Inox na construção das “caixas” dos trens, porém para a Linha 15 o Alumínio foi escolhido. E temos como principal característica a redução do peso total da estrutura.

Para uma análise rápida, temos nas laterais e teto uma massa total de aproximadamente 1.500kg.

Considerando a relação de densidade entre os materiais:

Aço Inox:  $7,9\text{g/cm}^3$

Alumínio:  $2,7\text{g/cm}^3$





Assumindo um mesmo volume de material, se as laterais e o teto fossem de aço inox teríamos um conjunto 3 vezes mais pesado. Uma estrutura mais leve permite menor consumo de energia, facilidade no processo produtivo, economia de material, etc.

## FONTE:

DE-2.96.51.11/620-005-R01-EN = Desenho estrado = peso total 300,4kg (confirmar)

DE-2.96.51.11/620-010-R01-EN = Desenho laterais = peso total 88,2kg (6 laterais)

DE-2.96.51.11/630-005-R01-EM = Desenho cobertura = peso total 613kg

Porém no documento MC-2.96.51.11/600-001-R01-PT a caixa do carro é de 3538kg.



# BATERIA



METRÔ

O sistema de bateria tem a função de fornecer energia de emergência para as cargas essenciais (ventilação do VAC, iluminação de emergência, funções de proteção do ATC, alarmes, etc).

Comumente são utilizadas baterias Níquel-Cadmio, porém para os trens da Linha 15 optou-se por sistemas de Sódio-Níquel. Com isso se ganha em dimensões, manutenção e reduzido peso.

BUSCAR COMPARATIVO BATERIAS NA APRESENTAÇÃO DA FIAMM.

ESPECIFICAÇÃO	VALORES
Capacidade Nominal	80Ah
Dimensões	526 x 615 x 378 (c x l x a)
Peso	104kg
Tensão de Saída	113V



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



# SISTEMA DE PROPULSÃO – MOTOR



METRÔ

Cada carro tem uma bateria e a recarga dela é feita através da APU (Unidade de Alimentação Auxiliar). Existe um sistema de redundância, pois a cada dois ou três carros as baterias estão em paralelo.

As baterias são compostas de células individuais (2 blocos em paralelo com 44 células em série), todas contidas numa estrutura metálica isolada termicamente e com sistema de gerenciamento integrado (BMS). O sistema para carga e funcionamento deve estar com temperatura interna de 265°C, alcançada através de resistores internos. Mesmo com uma temperatura interna alta, externamente a bateria sempre apresenta uma temperatura, no máximo, 15°C maior que o ambiente.

Não existem ventiladores ou qualquer outra peça móvel e a vida útil do conjunto é superior a 20 anos.

FONTE: MD-2.96.51.65/620-001 – Sistema de Bateria



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



# SISTEMA DE PROPULSÃO – MOTOR



METRÔ

O quadro acima, mostra a evolução dos motores de indução trifásicos, 1cv (numa relação de peso/potência) ao longo da história. Atualmente, os fabricantes de material rodante têm adotado a solução de motor de indução trifásico AC com o uso do conversor de frequência. Isso já é um avanço em relação aos “famosos” motores DC!

Para a Linha 15 – Prata, todavia, o motor de tração é resultado de um sistema compacto onde a engenharia se destaca e traz o que há de mais moderno no mundo.

Trata-se de um conjunto único, totalmente integrado: motor de ímãs permanentes e redutor sistema planetário. O cubo da roda está no mesmo eixo de saída do redutor e o disco de freio no lado de alta rotação do sistema de propulsão.



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility

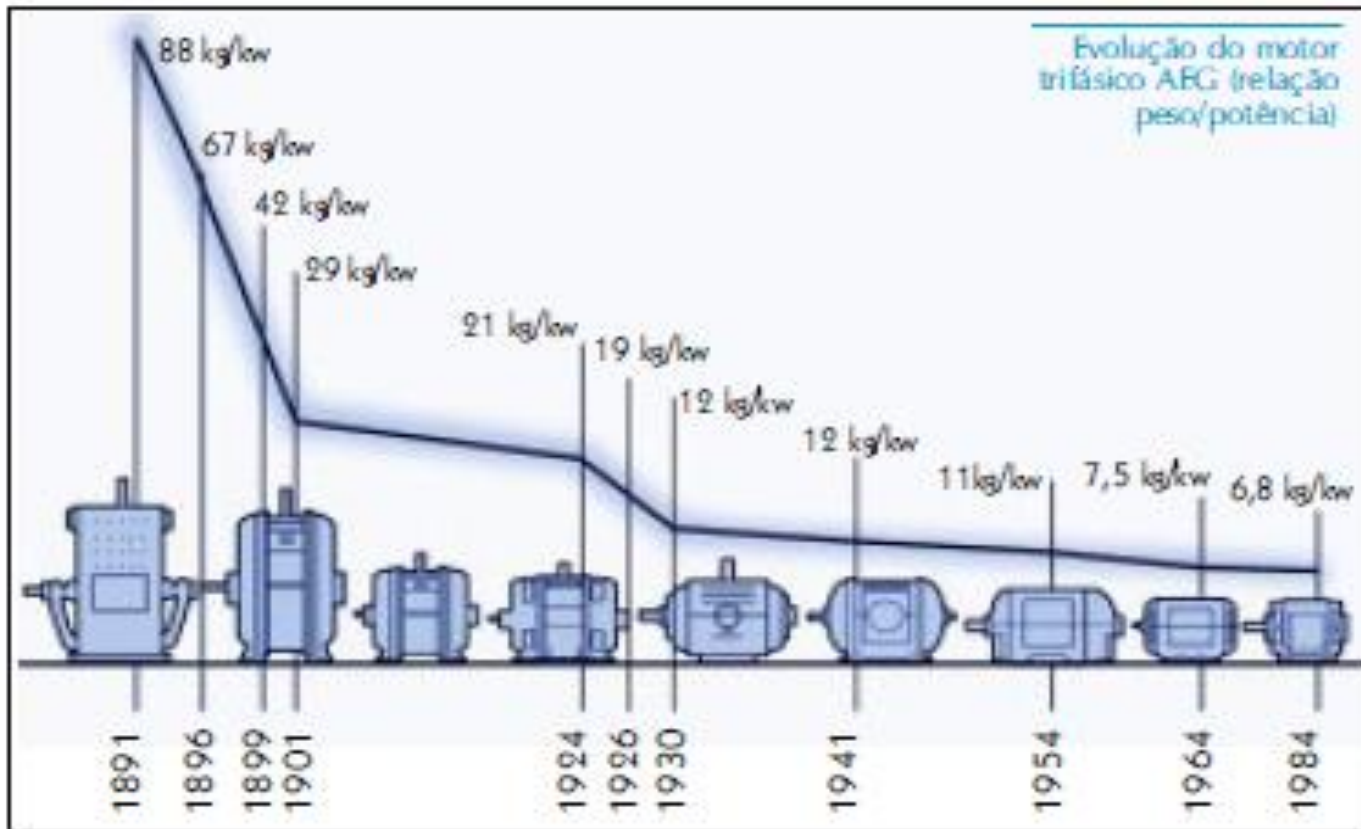


AEAMESP  
19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# SISTEMA DE PROPULSÃO – MOTOR



METRÔ



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# SISTEMA DE PROPULSÃO – MOTOR



METRÔ

O sistema é bidirecional e equipado com diversos sensores para constante verificação de temperatura, nível de óleo, velocidade em tempo real, etc

INSERIR FOTO DO CONJUNTO

Para cada carro serão duas unidades ligadas em série, com aproximadamente 488kg cada uma. Seguem dados nominais de cada motor:

Os motores de ímãs permanentes são controlados por uma PCU (Unidade de conversão de energia) e são refrigerados à água. Isto garante alta eficiência, dimensões compactas e baixo nível de ruído (não há ventilador externo).

Tensão	365V
Corrente	163A rms
Potência útil	96kW
Torque	560Nm
Velocidade	1638rpm
Frequência	109,2Hz
Pólos	8



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# SISTEMA DE PROPULSÃO – MOTOR



METRÔ

Para motores AC, indução, trifásico, 60Hz, com potências similares, auto-refrigerados a partir de ventilação externa, temos os seguintes dados para comparar.

Fonte: catálogo WEG

(1) É importante ressaltar que para o motor de tração da Linha 15, no peso declarado já está incluso o conjunto redutor planetário e cubo da roda.

(2) Linha WMagnett (Weg Motores)

Informações adicionais dos motores da Linha 15 - Prata:

- operam entre 600V e 900Vcc com potência nominal
- entre 525V e 600Vcc há redução de potência para preservar a subestação de energia.

	4 pólos	6 pólos	8 pólos	Motor Linha 15	Motor Imã Permanente, comercial (2)
Corrente [Arms] (365V)	177	181	193	163	158
Potência útil [kW]	90	90	90	96	90
Peso [kg]	658	686	875	488	562
Peso/potência	7,3	7,6	9,7	5,08 (1)	6,24



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



## ESTÁGIO ATUAL DA FABRICAÇÃO DOS TRENS

## PLANTA BOMBARDIER HORTOLÂNDIA







O sistema adotado pela Bombardier para produção dos carros do Monotrilho da Linha 15 – Prata é baseado em uma abordagem modular, onde cada módulo é trabalhado separadamente, estágio por estágio, conhecido como CKD - Complete Knock Down que propicia uma melhora nos resultados da fabricação tais como:

- Veículos mais resistentes;
- Maior qualidade do acabamento;
- Redução dos tempos de montagem;
- Um ambiente de trabalho mais ergonômico, confortável e produtivo para os trabalhadores.

O processo de manufatura utilizando o CKD gera diversos benefícios como redução do tempo de produção, aumento na qualidade, redução do número de acidentes de trabalho, aumento de disponibilidade de fabricação e redução de custo e tempo de reparo de colisões e acidentes.



# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 01- Obras de implantação da fábrica de Hortolândia.



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ

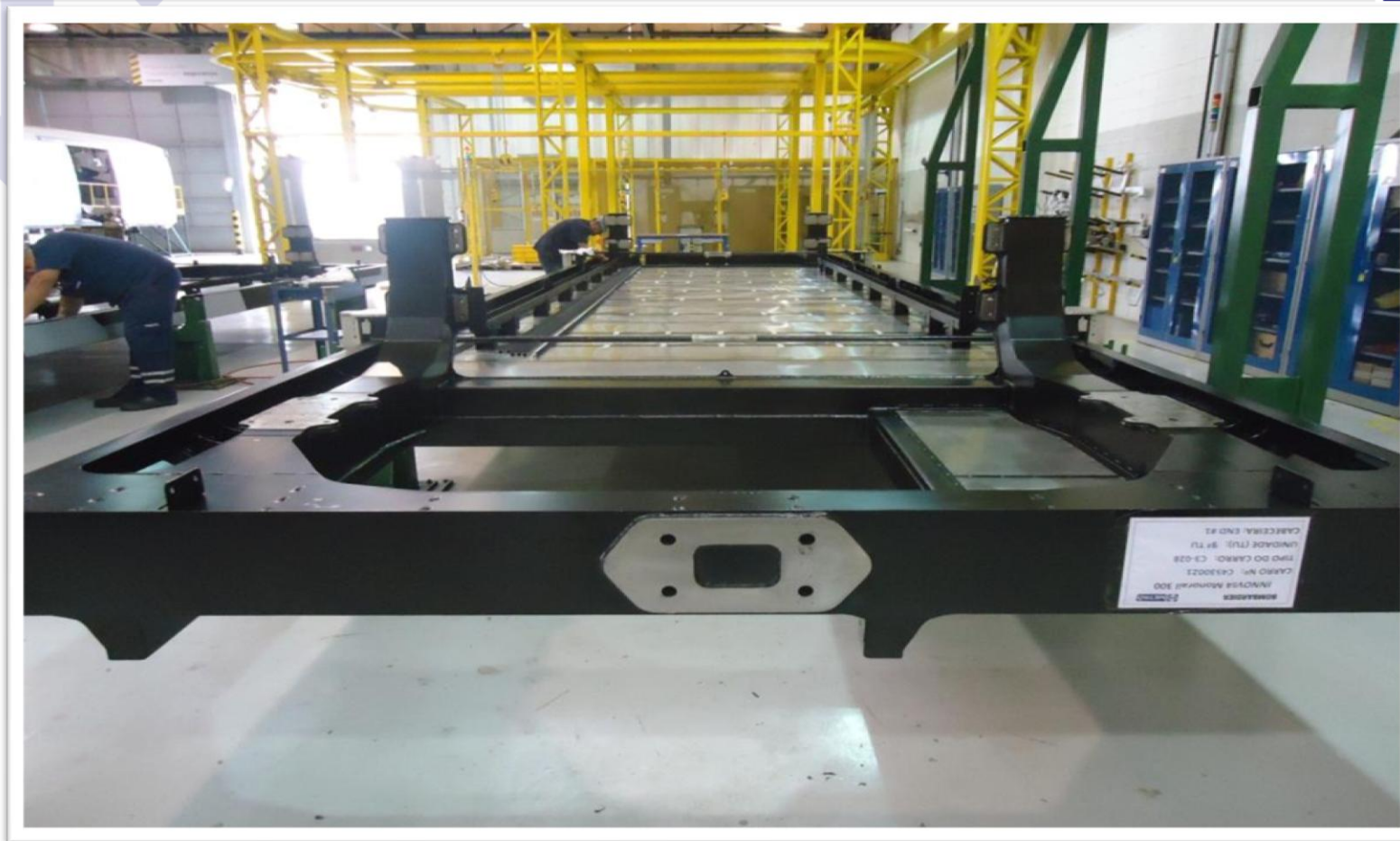


Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ

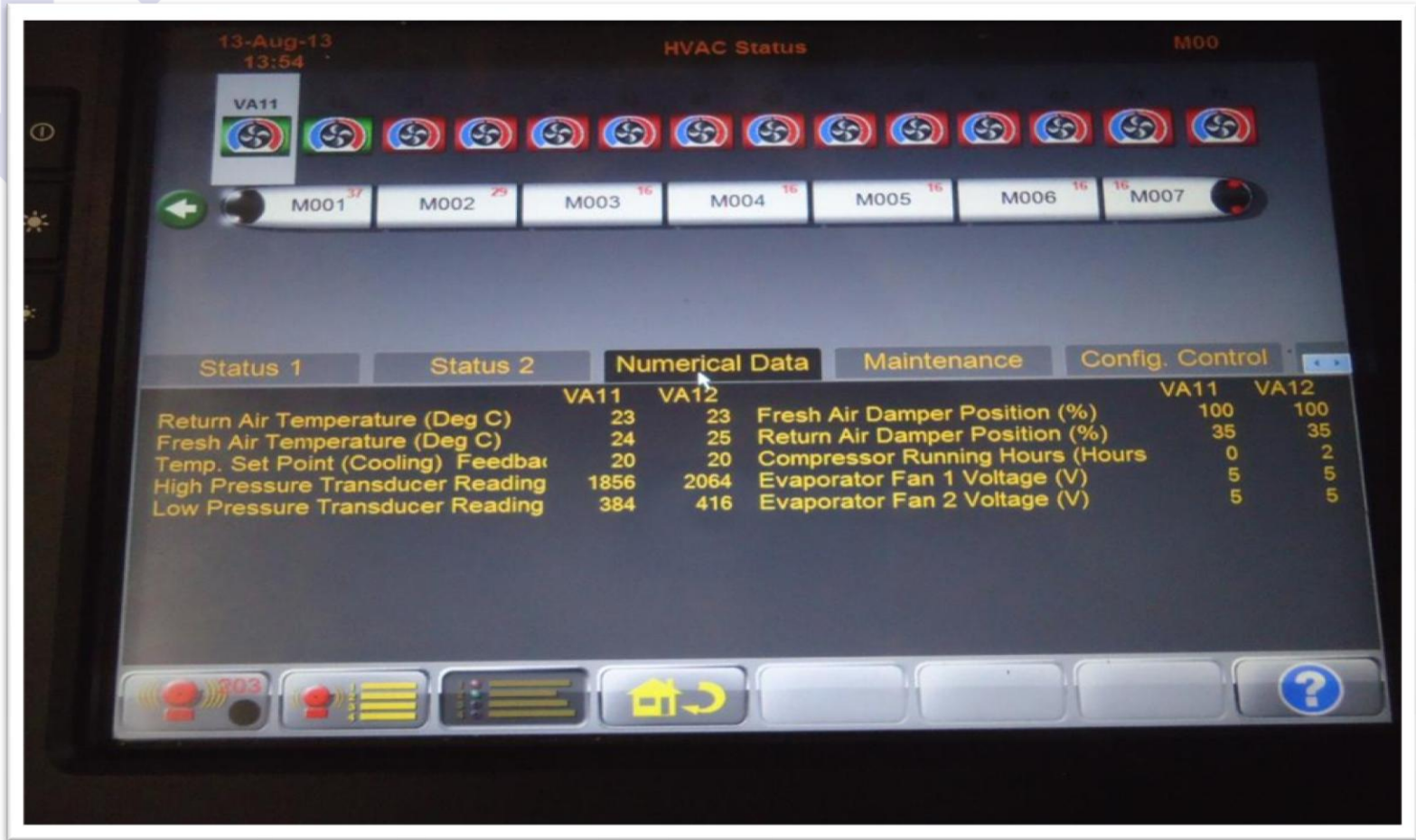


Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013



# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ

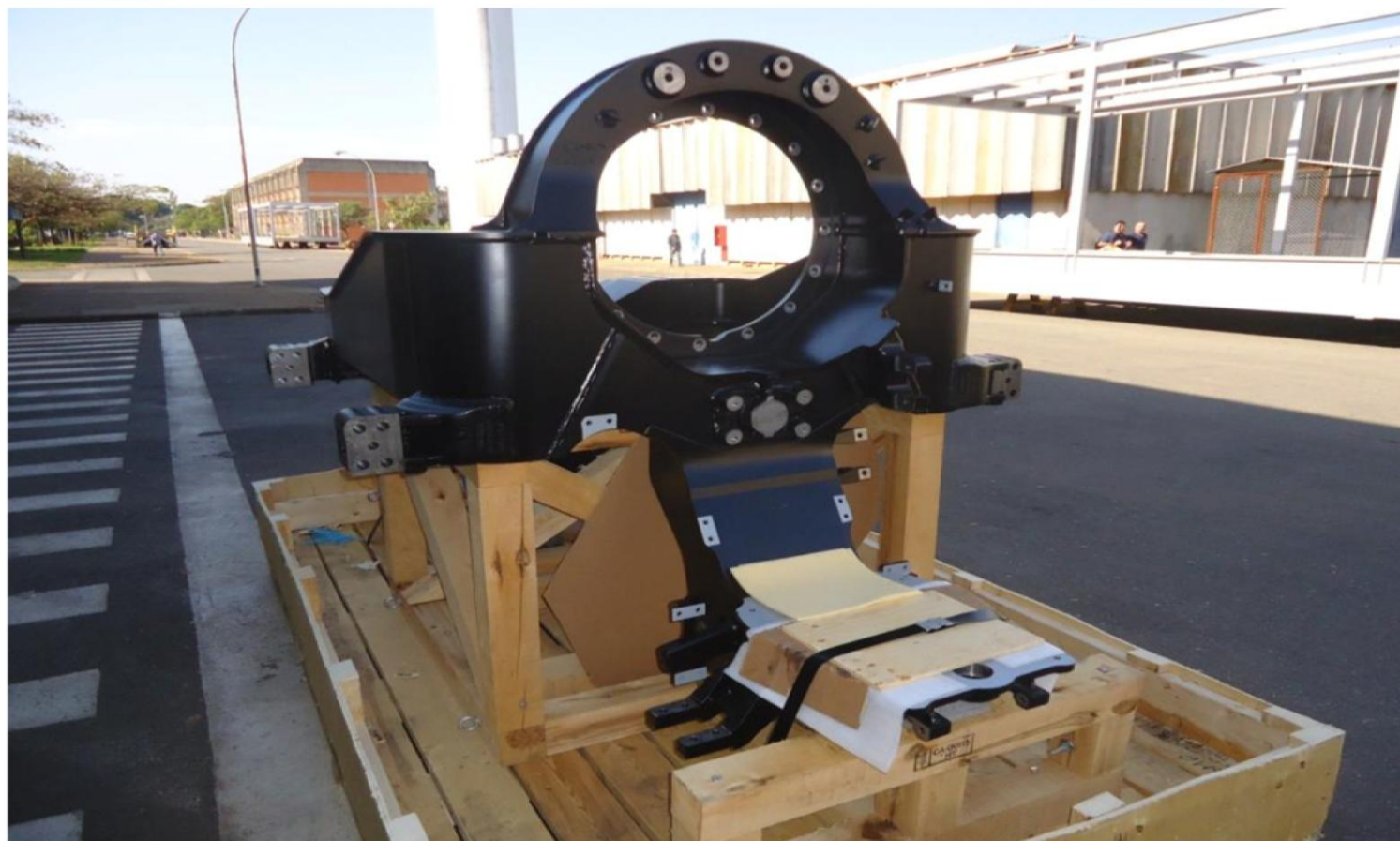


Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária

2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# BOMBARDIER – FÁBRICA DE HORTOLÂNDIA



METRÔ



Figura 0 -



**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility



19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

# CONCLUSÃO



METRÔ



AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

**BOMBARDIER**  
the evolution of mobility

