



A Evolução da Sinalização para Ferrovias no Mundo

Caio Luchesi

Rail Control Solutions



História da Sinalização e a Necessidade da Padronização

História da Sinalização e a Necessidade da Padronização

- Início das ferrovias (1825): a sinalização era feita individualmente por oficiais nas estações ou placas fixas; Em 1841, surgem os Semáforos – não havia controle centralizado nem atuação remota
- Pouco depois, sinais e máquinas de chave passaram a ser controlados mecanicamente por conjuntos de alavancas na **Signal Box**



Signal Box – Estação Corfe Castle, Dorset –UK



Intertravamento mecânico; Signal Box - Bishops Bridge

- Surge o conceito de **Intertravamento** – configurações mecânicas que impediam os sinais de entrarem em estado não-seguro e travavam suas posições
- Em 1890, a utilização de Intertravamento já era um requisito para todas as ferrovias do Reino Unido

História da Sinalização e a Necessidade da Padronização

- No mesmo período, também foram desenvolvidas as **telecomunicações** entre estações (inicialmente, por telégrafo)
- Até o fim do séc. XIX, surge também o **sistema de ocupação de blocos**, automatizado através da adoção dos **circuitos de via**
- O desenvolvimento de sinais e máquinas de chave elétricas permitiu um salto na automação das ferrovias, que puderam adotar **intertravamentos eletromecânicos**



- Com o avanço da eletrônica, foram implementados centros de controle, sistemas de bordo, comunicação terra-trem etc.
- 1984, primeiro intertravamento totalmente eletrônico do mundo (**EBI Lock 850**), Suécia

História da Sinalização e a Necessidade da Padronização

Resultado da evolução paralela por vários fabricantes, em diferentes países:

- Apenas na Europa, operam atualmente **mais de 20 diferentes sistemas** de sinalização e controle de velocidade (além de bitola, tensão elétrica etc.)
- Essas diferenças criaram **barreiras técnicas** que dificultavam o desenvolvimento ferroviário e integração entre países e regiões, por conta de custos e problemas operacionais (e.g. o trem de Paris a Bruxelas carrega 7 diferentes sistemas de bordo)

Para resolver essas incompatibilidades e permitir uma integração ferroviária regional mais eficiente, o mundo começou a buscar **PADRÕES** (*técnicos, funcionais e operacionais*)



Introdução ao ERTMS –

*European Rail Traffic
Management System*

O **ERTMS** - *European Rail Traffic Management System* é um padrão que vem sendo desenvolvido há décadas pela comunidade europeia, e mais recentemente por outros continentes.



Além de promover **segurança** e **eficiência** na operação ferroviária, um dos principais objetivos do ERMTS desde a sua concepção foi garantir a **interoperabilidade** entre diferentes companhias, países e fabricantes:

INTEROPERABILIDADE

TÉCNICA

FUNCIONAL

OPERACIONAL

ERTMS

A História

1980

A padronização de um único sistema começou a ser discutida no início dos anos 80



1989

Projeto para analisar os problemas relacionados com a sinalização e controle de trens



1990

ERRI criou um grupo de peritos em transporte ferroviário (A200) para desenvolver os requisitos do ETCS

ERTMS

A História

1991



Indústria (EUROSIG), juntamente com UIC e ERRI / A200 definem a estrutura do projeto: equipamento de bordo (**EUROCAB**), sistema descontínuo de transmissão de dados (**EUROBALISE**) e sistema contínuo de Transmissão de Dados (**EUORADIO**)

1995

CE definiu uma estratégia global para o desenvolvimento do ERTMS com o objetivo de preparar a sua futura implementação na Rede Ferroviária Europeia - Plano Mestre de Atividades - França, Alemanha e Itália

1997

UIC inicia o projeto ERTMS de “custo reduzido”, para baixa densidade de tráfego, conhecido mais tarde como **ERTMS Regional**

ERTMS

A História

1998

Criação da **UNISIG**, consórcio industrial composto por 8 empresas de sinalização para desenvolver as especificações técnicas do ERTMS / ETCS, em cooperação com a Comunidade Europeia, operadores de Redes Ferroviárias e a indústria de GSM-R

2000

Assinatura das **especificações finais do ERTMS - Classe 1**

2004

Início da operação do ERTMS nível 1, na linha de alta velocidade Zaragoza – Huesca, Espanha

2005

Início da operação do ERTMS nível 2, na linha de alta velocidade Nápoles – Roma, Itália



2007

Início do projeto **piloto do ERTMS Regional**, encomendado pela Administração Ferroviária Sueca (*Trafikverket*) da **Bombardier**, baseado na especificação da UIC

2009

Adoção do ERTMS em uma série de linhas na Europa (os seis corredores prioritários e linhas de transporte de carga) torna-se obrigatória, com prazos de implantação de 2015 a 2020

2010



Entra em operação assistida na linha Västerdalbanan (134 km) o primeiro **ERTMS Regional**, com **funcionalidades nível 3**

2011

A Bombardier inicia o **primeiro projeto de ERTMS da América do Sul**, para implantar o nível 1 nos cinco ramais da **Supervia**, Rio de Janeiro

Em 2013, a empresa também assina um contrato no Chile (2º da América do Sul)



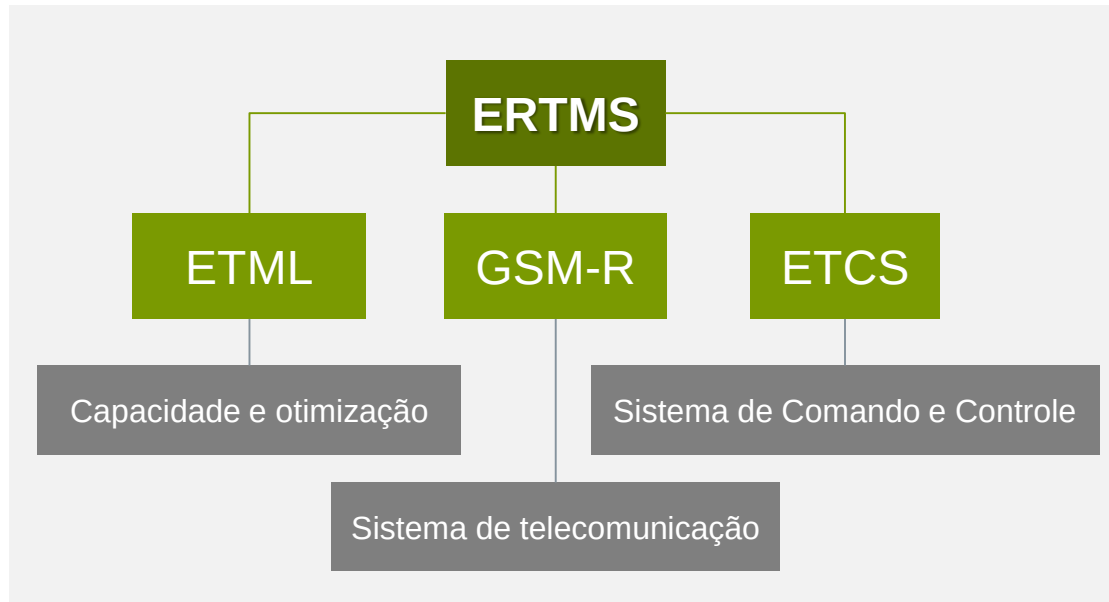
Diversos países como China, Taiwan, Coreia do Sul, Índia, Argélia, Líbia, Arábia Saudita, México, Nova Zelândia e Austrália lançam programas de investimentos em ERTMS

2014



Comissionado no Cazaquistão projeto piloto **ETCS nível 3** (bloco móvel), na linha Uzen - Boloshak (140 km), utilizando **comunicação por rádio Tetra**.

As principais partes que compõe o ERTMS são:



- ✓ European Train Control System (**ETCS**)
- ✓ Euroradio (Global System for Mobile Communications - Railway, **GSM-R**)
- ✓ European Traffic Management Layer (**ETML**)
- ✓ European Operating Rules (EOR)

- Aumento da capacidade nas linhas existentes - mais de 40%
- Alta velocidade: Velocidade máxima de até 500 km/h (padrão adotado para as HSL)
- Altas taxas de confiabilidade e segurança no transporte de passageiros e cargas
- Baixos custos de manutenção: ERTMS Níveis 2 e 3 possuem poucos elementos de via
- Padronização de eqtos e protocolos abertos
- Funcionalidades avançadas (seleção de rotas pela carga do trem, infos para manutenção, restrição de velocidade temporária etc.)



ERTMS

Níveis de Aplicação

O nível de aplicação do ERTMS varia de acordo com o tipo de comunicação entre trem, via e CTC, além de suas funcionalidades:

INTERFLO 250

Nível 1: Comunicação pontual via / trem, sinalização visual presente

INTERFLO 450

Nível 2: Comunicação contínua “Radio Block Center - RBC” / trem

INTERFLO 150 / 550

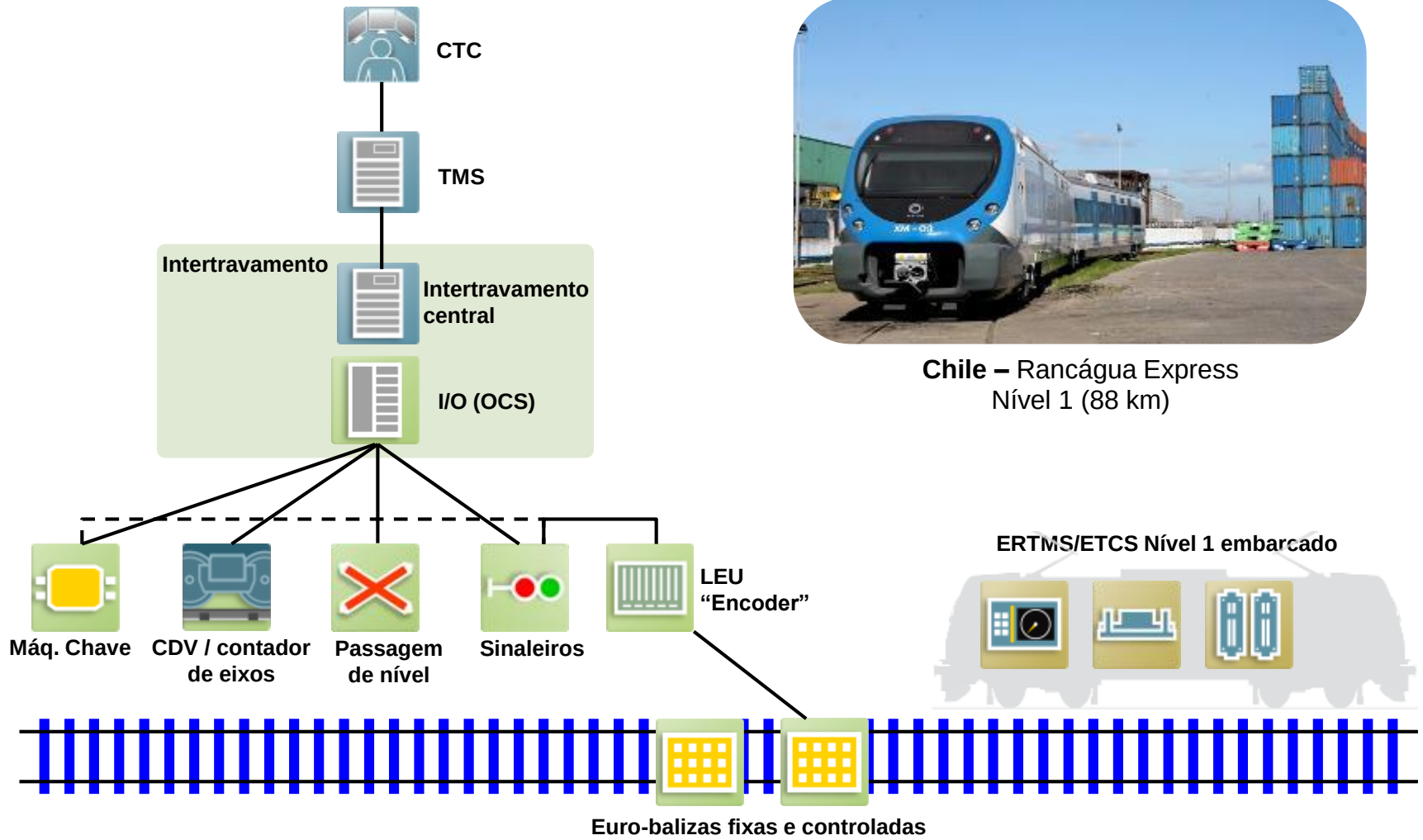
Nível 3: Comunicação contínua “RBC” – trem, controle de integridade

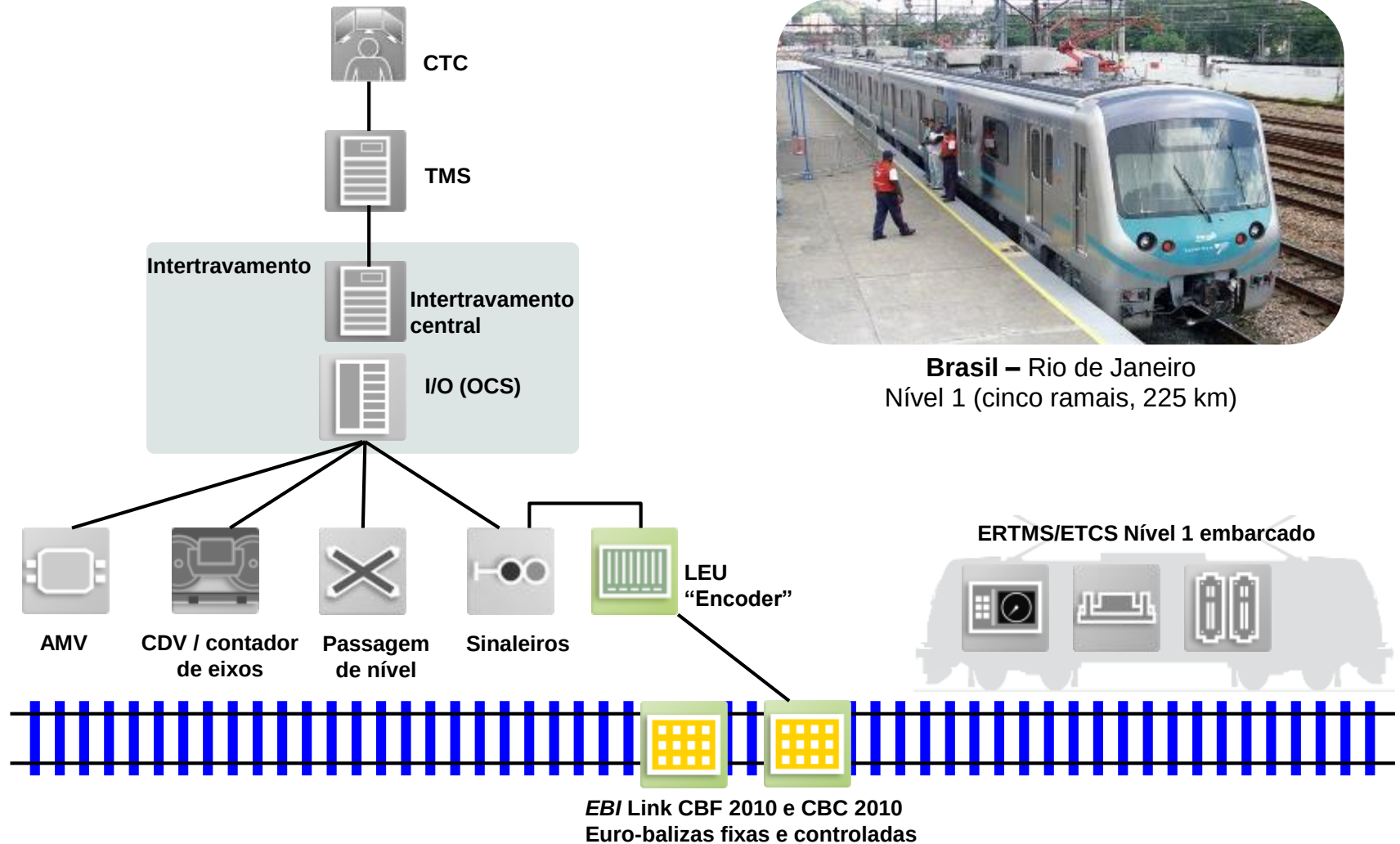
→ Introdução do conceito de Bloco Móvel

Nível 1

- Transmissão das informações de rotas (*Movement Authority* - MA) pelas unidades LEU (*Lineside Electronics Unit*) e balizas controladas; verificação de posição por balizas passivas
- Detecção de trens com circuitos de via ou contadores de eixo
- Pode ser instalado como *overlay* sobre um sistema convencional existente
- O computador de bordo monitora continuamente os dados recebidos, e calcula a velocidade máxima permitida de acordo com a curva de frenagem
- Normalmente são adotam sinais laterais para orientação do condutor

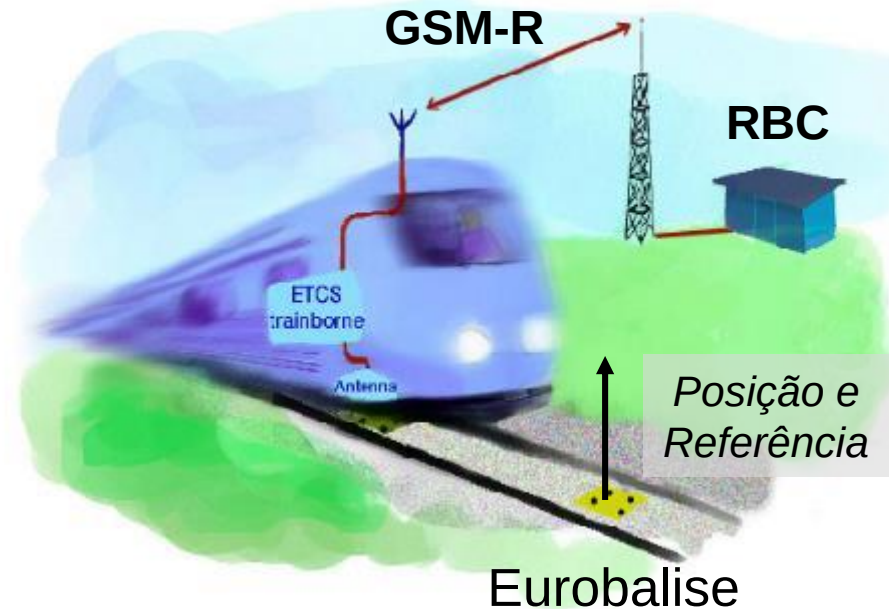


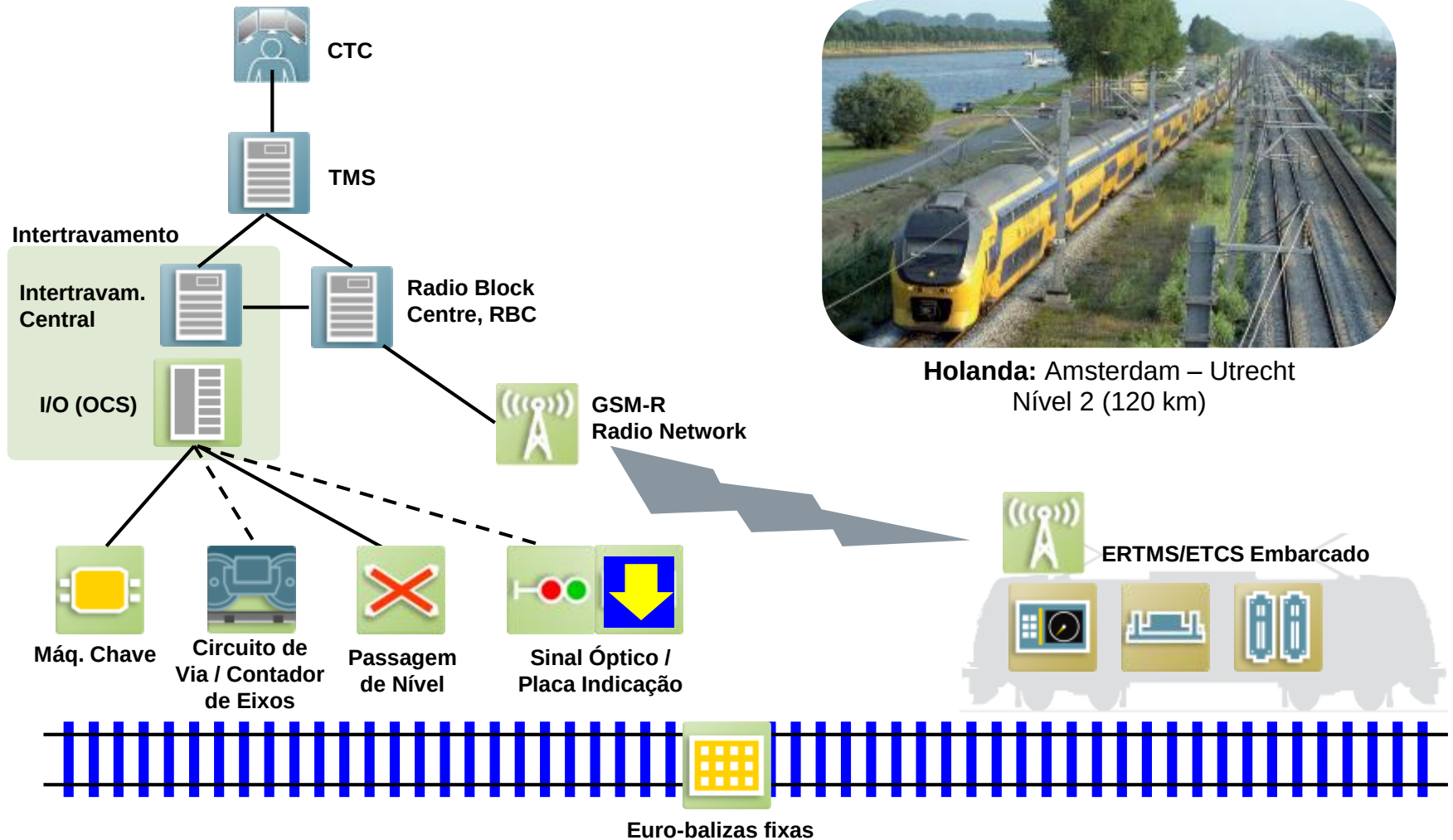




Nível 2

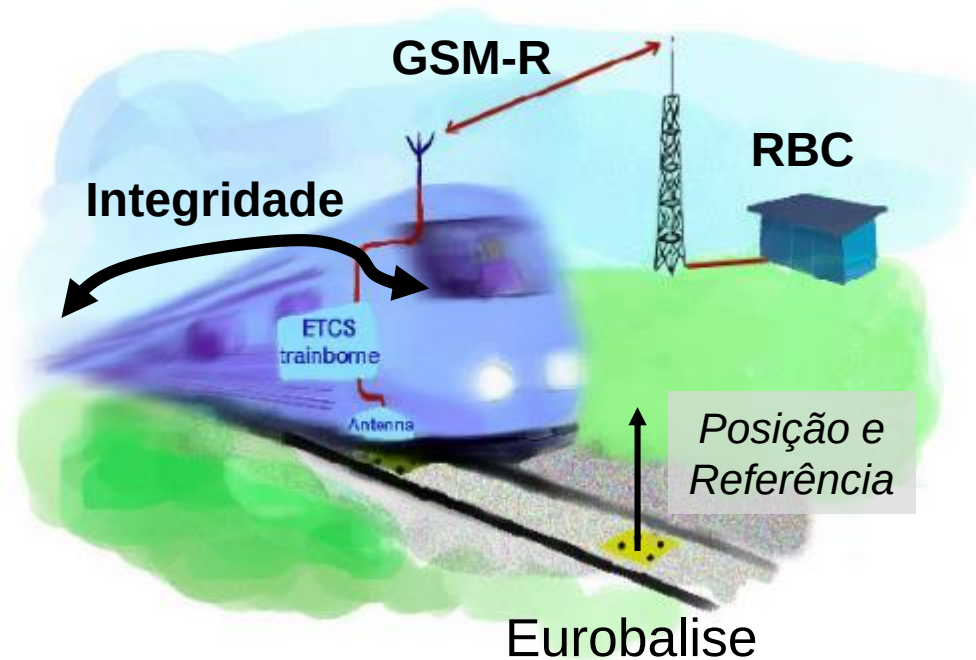
- Transmissão das informações de Rotas (*Movement Authority* - MA) e controle de condução pelo RBC, via GSM-R, e exibidos no sistema de bordo
- Sinais laterais são dispensáveis
- Balizas passivas, com a função de atualizar a referência de posição do trem que passa por elas
- Transmissão da posição do trem para a central de rádio
- Detecção de trens através de circuitos de via ou contadores de eixo





Nível 3

- Transmissão das informações de Rotas (*Movement Authority* - MA) e controle de condução pelo RBC, via GSM-R, e exibidos no bordo
- Sinais laterais e elementos de detecção (circuitos de via, contadores de eixo) não são necessários
- Transmissão da posição e da integridade do trem para o RBC
- A via não é mais dividida em segmentos fixos - operação do tipo **BLOCO MÓVEL**

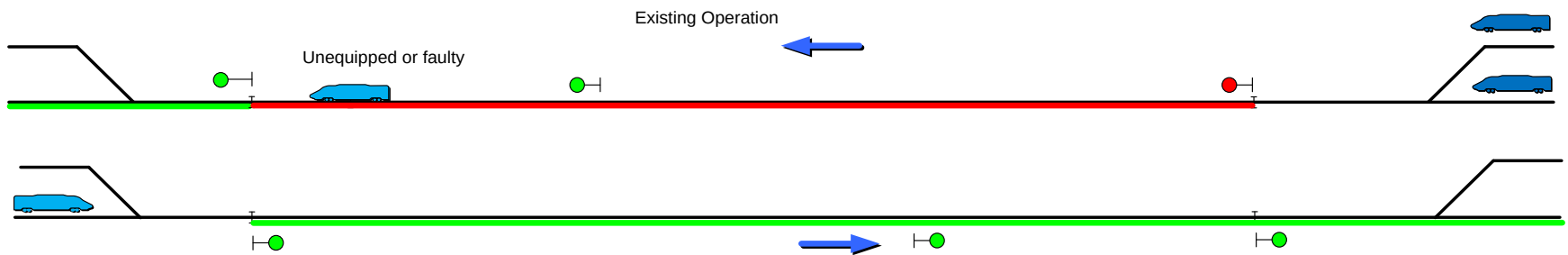


Primeiro ETCS nível 3 do mundo implantado pela Bombardier

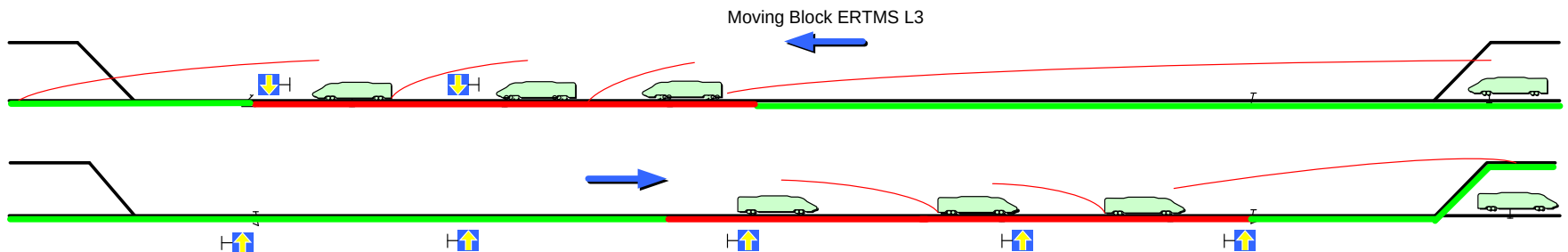
ERTMS

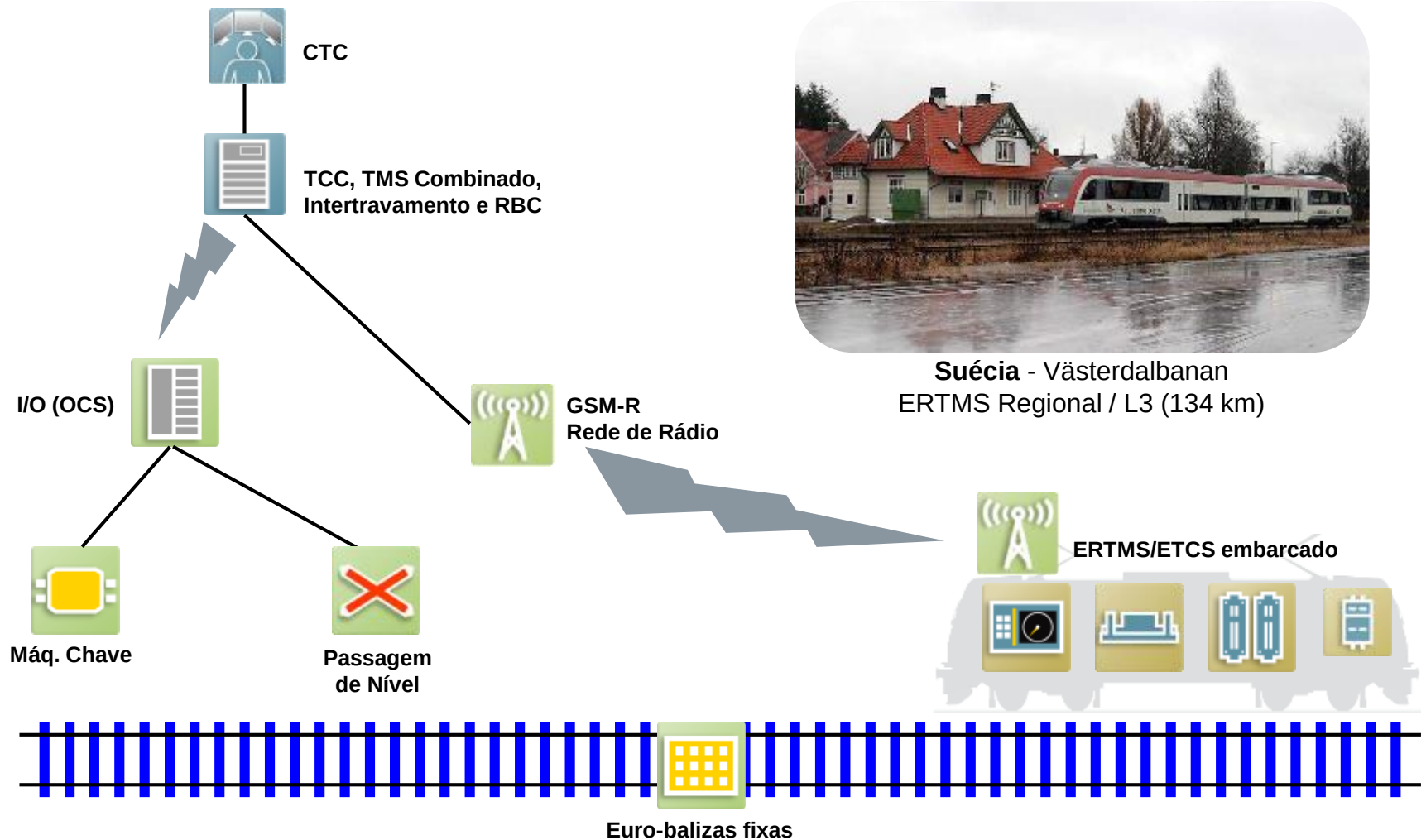
Nível 3 – Conceito Bloco Móvel

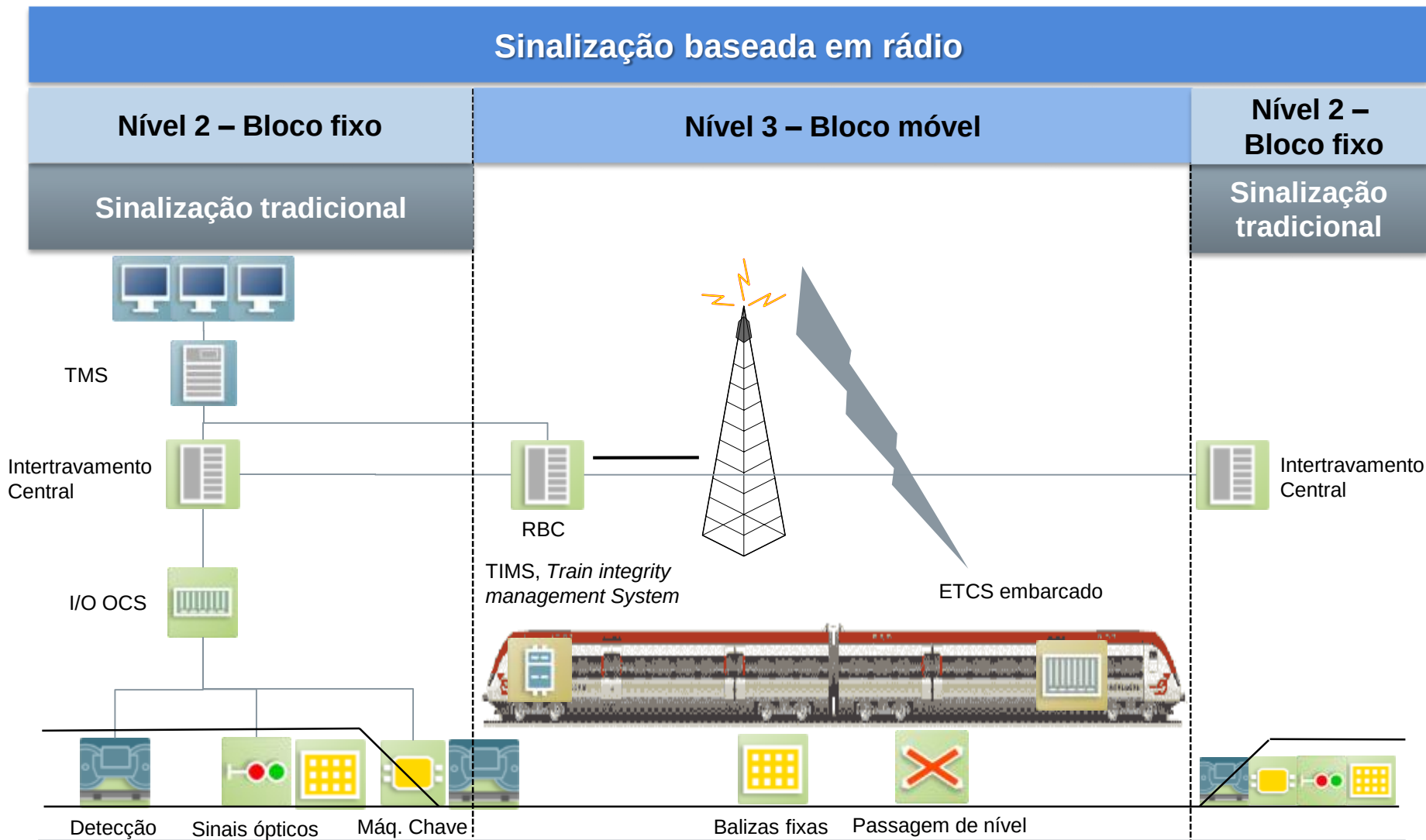
Tecnologia do tipo Bloco Fixo



Tecnologia do tipo Bloco Móvel





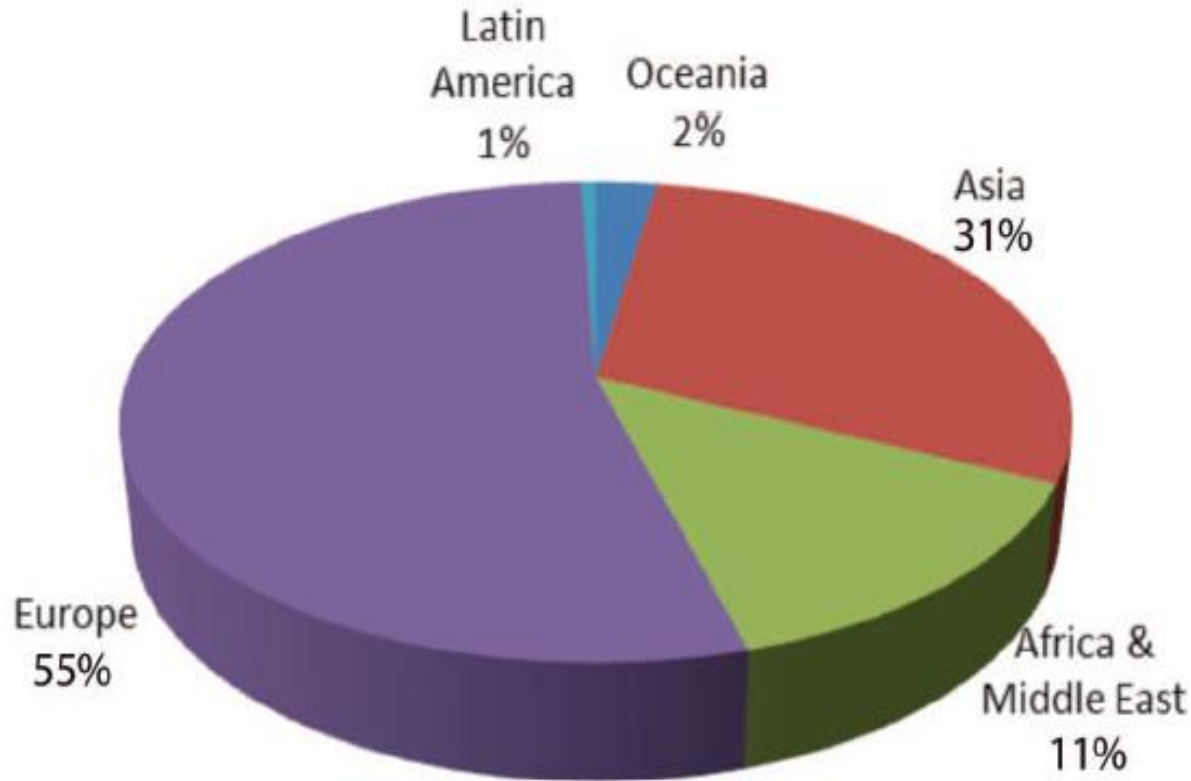


- Total de linhas: **76.100 km**
- Número total de veículos: **9462**
- **42 países** estão usando ETCS
 - *A China lidera a implantação de ERTMS*
 - *Planos de investimento significativos foram contratados nos países do Maghreb (Norte de África)*
 - *Novas regiões, como a América do Sul, estão implantando ERTMS*
 - *A rede convencional de Taiwan é totalmente equipada com ERTMS*
 - *Investimentos em ERTMS **fora da Europa** representam apenas **45%** do total em investimentos na tecnologia ERTMS mundial*

ERTMS

Mercado Global

- Investimentos no ERTMS em todo o mundo, por área geográfica (em quilômetros implantados):



Fonte: UNIFE, Julho 2014

ERTMS

Mercado Global

- Taiwan: 1200 km de vias equipadas com ERTMS
- Coréia do Sul: 1500 km estão operando com o ERTMS
- China: ERTMS Nível 2 implementado linhas de alta velocidade - Linha Dedicada a Passageiros (DPL) Wuhan e Guangzhou (1000 km) - Operação comercial em 2009
- Índia: linhas Chennai-Gummidipundi e Delhi-Agra (que conduz ao Taj Mahal) ambas em operação
- México: linha suburbana de Cuautitlan-Buenavista (70km)



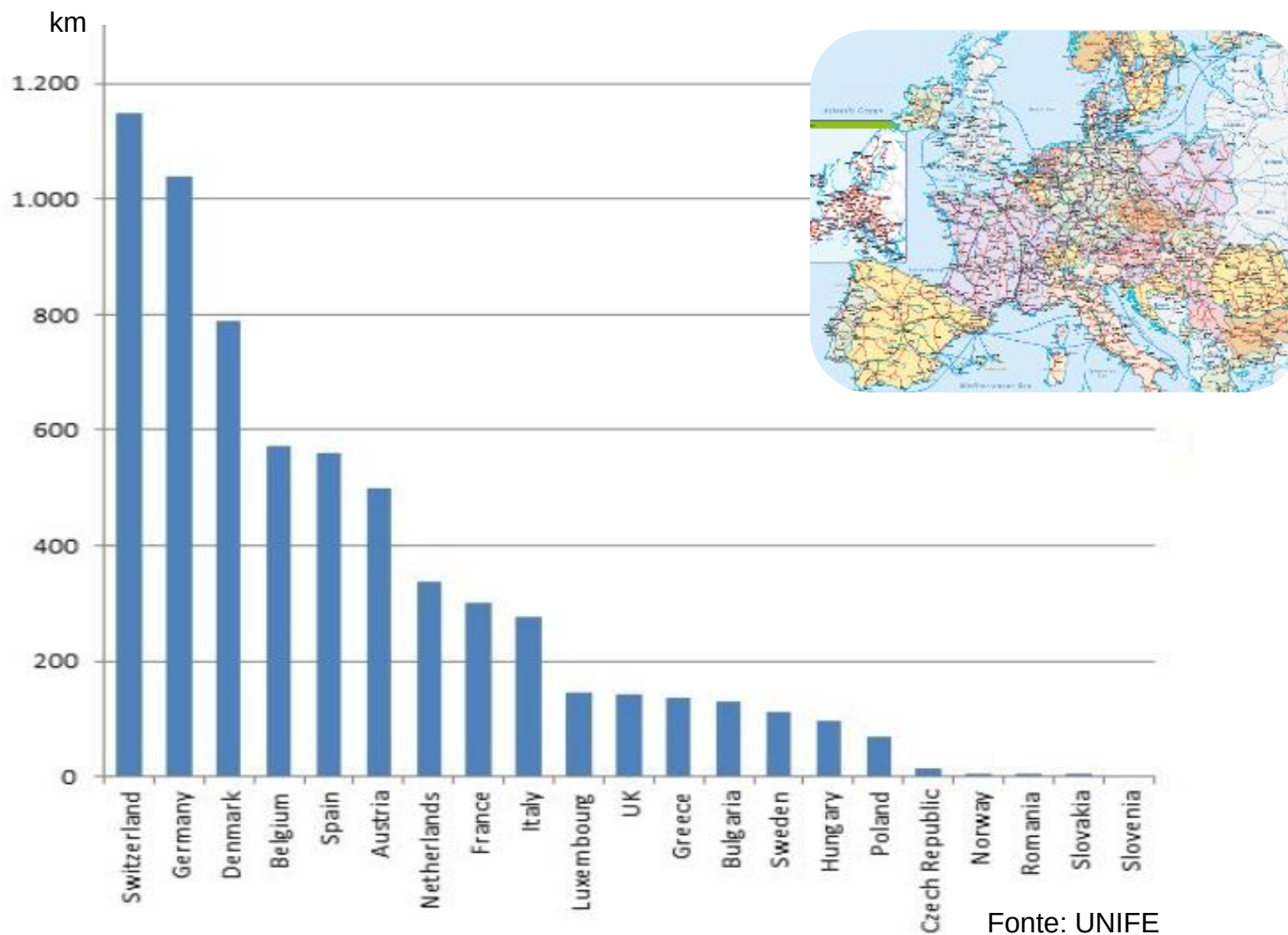
Linha Wuhan e Guangzhou - China



Linha Cuautitlan-Buenavista - Mexico

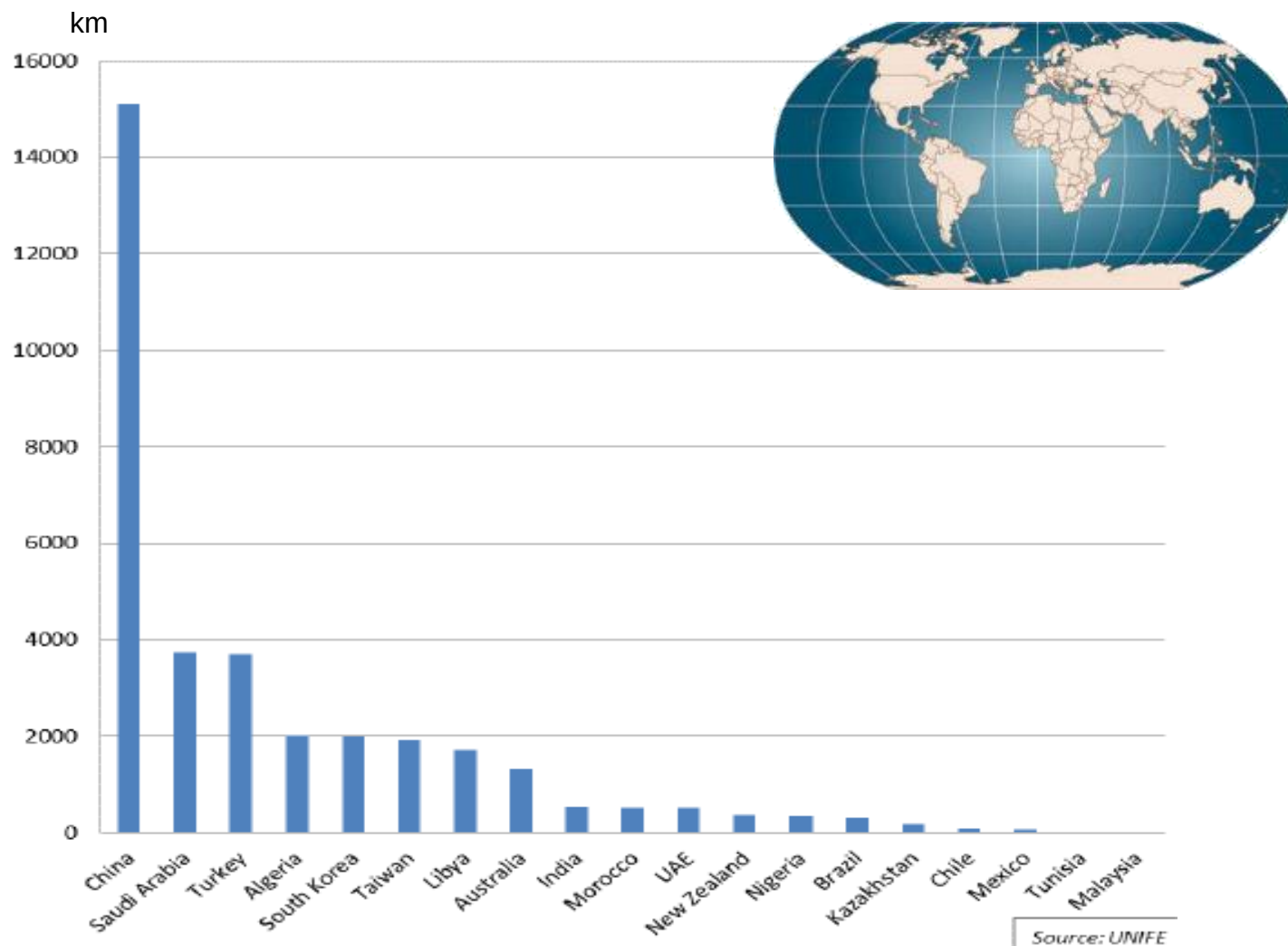
ERTMS

Aplicação na Europa



ERTMS

Aplicação Fora da Europa



ERTMS

Algumas Referências

■ Linhas de alta velocidade:

- ✓ China (programa de alta velocidade)
- ✓ Arábia Saudita (Meca, alta velocidade)
- ✓ Perspectivas: EUA, América Latina, Ásia
- ✓ Europa: Itália, Espanha, Bélgica, Países Baixos



■ Linhas de transporte de carga:

- ✓ Golfo e Oriente Médio - Líbia, Arábia Saudita, Emirados Árabes, Índia
- ✓ Indonésia
- ✓ Europa: Suíça, Países Baixos, etc.



■ Linhas de transporte suburbano:

- ✓ Brasil (Rio de Janeiro)
- ✓ México (México)
- ✓ Austrália (Sidney)
- ✓ Nova Zelândia (Auckland)
- ✓ Europa (Madrid)



Referências Bombardier – Níveis 1, 2 e 3

Nível 1

Nível 3 / Regional

Nível 2

Norway

Østfoldbanen
Østre Linje,
Level 2, 80 (80) km
4 vehicles

Sweden

Västerdalbanan
ERTMS Regional / L3
134 (134) km

Netherlands

Amsterdam - Utrecht,
30 (120) km, 150 vehicles

Switzerland

Olten - Lucerne, Level 2
35 (70) km, 79 vehicles
Eurobalise supply
(countrywide)

Italy

SCMT
1,574 (3,148) km
Level 1 + Radio Infill

Spain

Albacete - Villar deChinchilla
90 (180) km, 45 vehicles
Mediterranean Corridor
Tbd km

Spain

Valladolid, - Leon – Burgos
Level 2
66 (66) km,

Croatia

Vinkovci - Tovarnik, Level 1
33 (67) km
Okucani - Novska
20 (40) km

Sweden

Malmö C,
6 (12) km
Frame Agreement
Level 1, 2 Regionla
wayside onboard

Sweden

Botniabanan, Level 2
190 (190) km
Ådalsbanan, Level 2
180 (180) km
Malmö, Citytunneln
Level 2, 17 (31) km

Poland

E30 Legnica - Opole
Level 1, 127 (254) km

Poland

Legnica - Wegliniec -
Bielawa Dolna, Level 2
86 (172) km, 8 vehicles
E65 Warsaw – Gdynia
Level 2, 340 (680) km

Kazakhstan

Uzen - Boloshak, Level 3*
154 (154) km
Khargos - Zhetygen, Level 3*
298 (298) km
41 vehicles

Turkey

Irmak - Zonguldak
415 (830) km
20 vehicles

China - Level 2

Wuhan - Guangzhou
1,069 (2,138) km
Shanghai - Nanjing
301 (602) km
Shanghai - Hangzhou
202 (404) km
Beijing - Shanghai
1,318 (2,636) km
Harbin - Dalian
921 (1,842) km
Beijing - Shijiazhuang -
Wuhan
1,229 (2,458) km
Hefei - Bengbu
132 (264) km
Nanjing-Hangzhou
249 (498) km
Hangzhou-Ningbo
150 (300) km

Eurobalise supply

330 vehicles

Taiwan

Total network
1,200 (1,800) km
916 vehicles

South Korea

Gyeongbu - Honam,
771 (1,542) km, 421
vehicles
Jeolla Line, Level 1, 96
(192) km

Australia

Wentworth - Katoomba,
10 (20) km
1 vehicle

Brazil

Rio de Janeiro
155 (310) km, 156 vehicles

Chile

Rancagua Express
22 (88) km, 12 vehicles

Morocco

Casablanca-Rabat-Kenitra
Ras R'Mel – Sidid Yahya

Zambia

Chingola - Livingstone
980 (980) km 38 vehicles
ERTMS Regional

Algeria

Saida - Moulay Slissen
120 (120) km
Saida - Tiaret,
153 (153) km





Introdução ao CTCS -

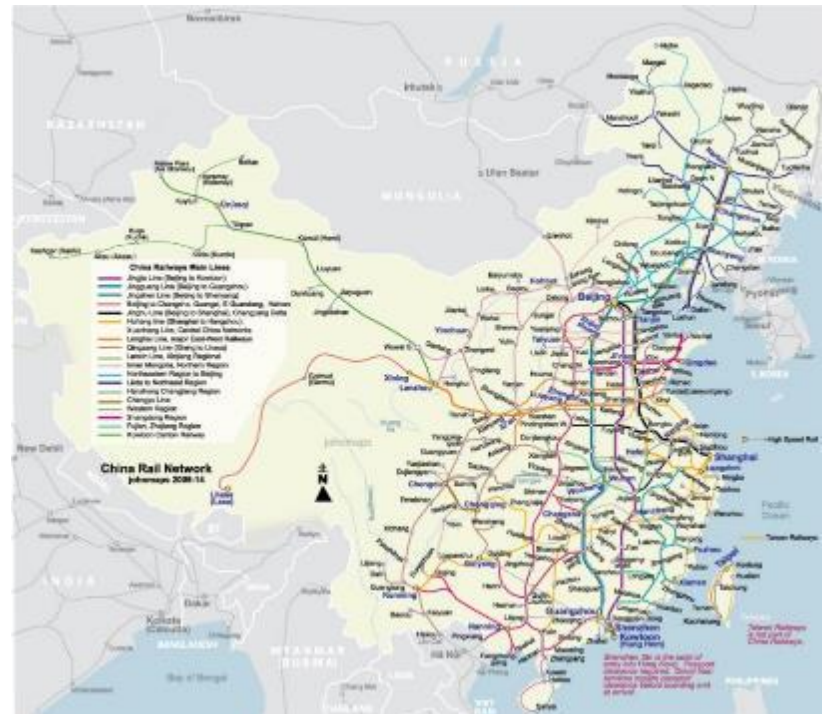
*Chinese Train Control
System*

CTCS

O Padrão Chinês de Sinalização

À semelhança da Europa, a China vem tentando remover os obstáculos de incompatibilidade dos diferentes sistemas de sinalização na malha ferroviária.

Para isso, a Ferrovia Europeia utiliza o ETCS, bem como a Ferrovia Chinesa utiliza o CTCS.



■ CTCS Nível 0

- ✓ Velocidades inferiores a 120 km/h
- ✓ Uso de circuitos de via, bordo universal (compatível com 6 tipos de CDV) e o sistema de supervisão de operação de trens
- ✓ Implantação: Sem alteração na via, apenas se equipa os trens com o sistema de bordo

■ CTCS Nível 1

- ✓ Uso de CDV, transponders (ou balizas) e equipamento ATP
- ✓ Velocidades entre 120 km/h e 160 km/h
- ✓ Operação depende do sistema de bordo, o ATP promove sinais vitais que comandam a operação

■ CTCS Nível 2

- ✓ Uso de CDV digitais, balizas e sistema de ATP
- ✓ Utilizado para velocidades superiores a 160 km/h
- ✓ Inexistência de sinalização de via em bloco para o Nível
- ✓ O modo bloco fixo é aplicado

CTCS

Níveis de Aplicação

■ CTCS Nível 3

- ✓ Uso de CDV, balizas e ATP com GSM-R (característica principal desse nível). Função do circuito de via é verificar a ocupação do trem e integridade
- ✓ CDV não mais transmitem informações de operação
- ✓ Dados sobre a operação do trem são transmitidos pelo GSM-R
- ✓ O modo de bloco fixo ainda é aplicado

■ CTCS Nível 4

- ✓ Sistema do tipo bloco móvel
- ✓ A transmissão de informações terra-trem através de GSM-R e as balizas são utilizadas para indicar a posição do trem
- ✓ Verificação da integridade do trem através do sistema de bordo
- ✓ CDV utilizados apenas nas estações
- ✓ Reduzida quantidade de objetos de via - baixos custos de manutenção

- **ETCS e CTCS** são **universais**, baseados em sistemas completos, com especificações que garantem **interoperabilidade** dos equipamentos de bordo e via em diferentes linhas, produzidas por **diferentes fornecedores**. Há a utilização de um sistema de **bloco móvel**, resultado do desenvolvimento de uma **comunicação móvel mais moderna**.
- **CTCS: circuitos de via** continuam a desempenhar um papel muito importante e são amplamente utilizados, sendo a base dos sistemas de controle de trens. É **impossível implantar um CTCS sem circuitos de via**.
- **ETCS: balizas** são componentes essenciais, garantem a posição dos trens e a **comunicação entre trem-via**. No **CTCS**, **não está definido** o que será utilizado para determinar a **posição** (caso de o circuito de via seja removido).
- Em **diversos sistemas CTCS**, balizas foram implementadas, entretanto este **padrão de comunicação bordo-campo não foi padronizado** para o sistema.

CTCS / ERTMS

Referências na China

Projeto	Fornecedor	ERTMS Nível	Pedido	Em Serviço	Distancia (km)	Veículos
Beijing - Shanghai	Bombardier / Alstom / CRSCD	Nível 2	2011	2011	2636	
Beijing - Tianjin	Siemens	Nível 1	2006		234	60
Beijing-Shijiazhuang	Bombardier / Alstom / CRSCD	Nível 2	2010	2012	938	
Guangzhou - Shengzhen – H. K.	Hitachi / Hollysis	Nível 2	2008	2010	200	20
Hangzhou - Changsha	Bombardier	Nível 2	2012		1866	
Hangzhou - Ningbo	Alstom / CRSCD	Nível 2	2009	2011	300	
Harbin - Dalian	Bombardier / Alstom / CRSCD	Nível 2	2011	2012	1842	
Hefei - Bengbu	Bombardier / CRCS	Nível 2	2012	2012	264	
Nanjing - Hangzhou	Bombardier / CRCS	Nível 2	2012	2012	498	
Panjin – Yingkou	Bombardier / CRCS	Nível 2	2012	2012	180	
Shanghai - Hangzhou	Bombardier / Alstom / CRSCD	Nível 2	2009	2010	404	
Shanghai - Nanjing	Bombardier / Alstom / CRSCD	Nível 2	2010	2010	602	56
Shijiazhuang-Wuhan	Bombardier / Alstom / CRSCD	Nível 2	2010	2012	1520	
Tianjin-Qinhuangdao	Bombardier	Nível 1	2012	2013	574	
Vehicle equipment - 1	Bombardier / CRCS	Nível 2	2010	2010		160
Vehicle equipment - 2	Bombardier / CRCS	Nível 2	2011	2011		120
Vehicle equipment - 3	Bombardier / CRCS	Nível 2	2013	2014		51
Vehicle equipment - 4	Bombardier / CRCS	Nível 2	2014	2014		143
Wuhan - New Guangzhou	Bombardier / Alstom / CRSCD	Nível 2	2007	2010	2138	60
Xi'an-Baoji	Ansaldo STS / Hollysis	Nível 2	2011	2012	360	
Zhengzhou - Xi'an	Ansaldo STS / Hollysis	Nível 2	2008	2010	916	30

Fonte: <http://www.ertms.net>





Introdução ao Sistema PTC -

Positive Train Control

PTC

Características

A América do Norte também vem desenvolvendo um modelo unificado de sinalização, chamado **PTC – Positive Train Control**



- Enquanto o ETCS tem um único tipo de arquitetura, o PTC não possui esta uniformidade
- O principal objetivo do PTC não é a interoperabilidade, como na Europa, mas sim a melhora da segurança de maneira relativamente econômica – introdução da função ATP, tanto territórios sinalizados como “*dark zones*”
- Embora a interoperabilidade não seja um foco do PTC, é um requisito

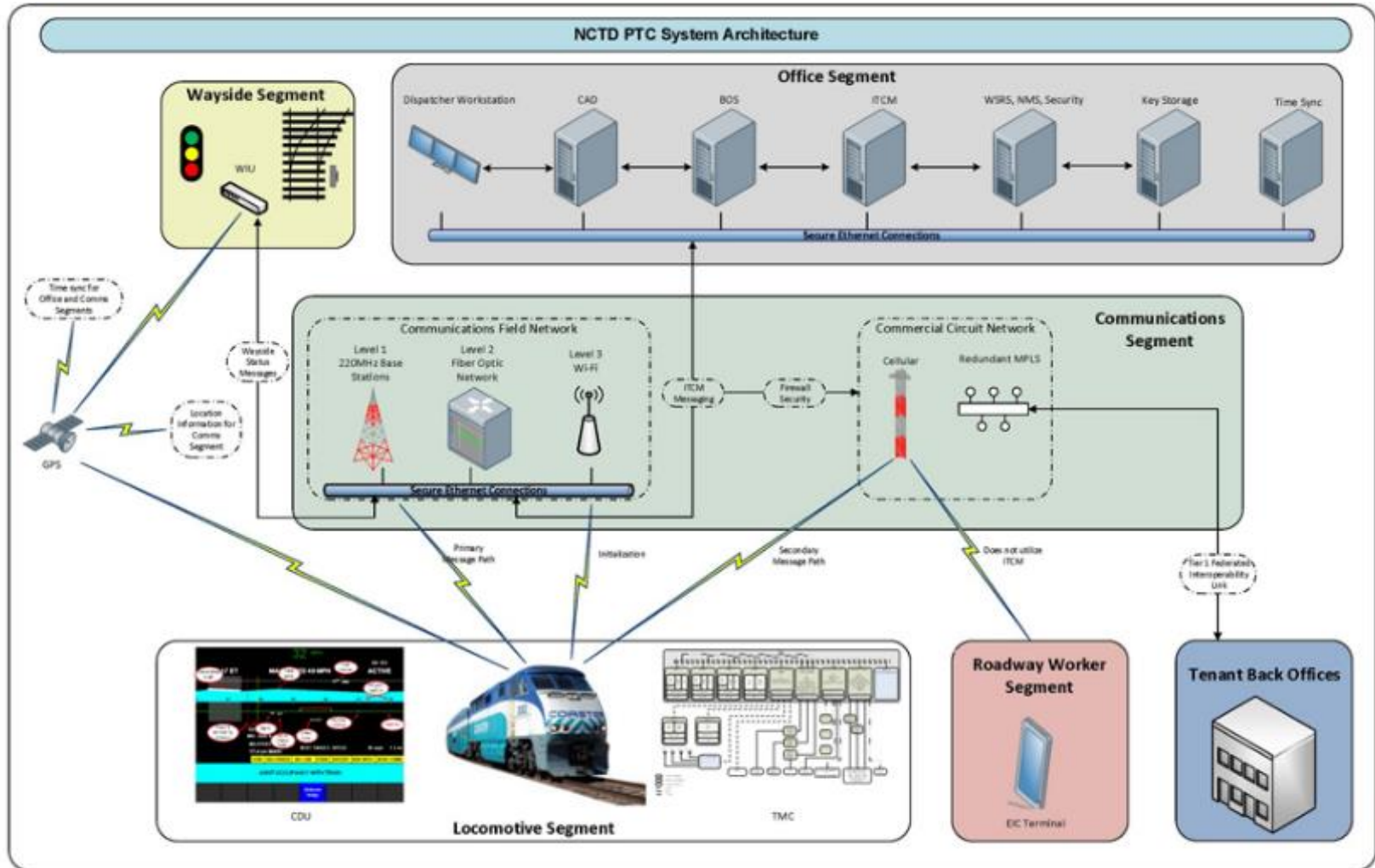
PTC

Características

- Em 2008, colisão frontal envolvendo um trem de passageiros em Chatsworth, Califórnia, levou o **Congresso dos Estados Unidos a exigir implantação do PTC** em linhas de transporte de passageiros, cargas perigosas ou carga pesada até 2015
- PTC instalado em “*dark zone*”: a ferrovia **tira proveito de sua infraestrutura de rádio existente** (voz) também para transmissão de dados, gerando relatórios de posição e licenças
- O PTC pode ser considerado complementar ao sistema de controle existente, ao invés de substitutivo, pois **ainda necessita de um intertravamento**

PTC

Arquitetura (exemplo)



Fonte: NCTD – North County Transit District (www.gonctd.com/positive-train-control-about)

Solução *Positive Train Control* (em desenvolvimento)

- Sistema baseado em comunicação por rádio 220 MHz
- *Back office*, incluindo servidor de *Temporary Speed Restriction*
- *Transponders* a margem da via baseado em baliza serial 27 MHz



Referências:

- LIRR, NY (USA); Metro North, NY (USA)



Padrões de Sinalização para Ferrovias

Perspectivas e Tendências

Padrões de Sinalização para Ferrovias

Perspectivas e Tendências

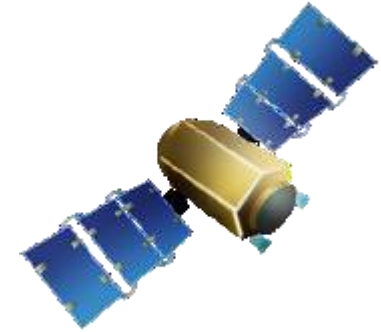
- O padrão europeu **ETCS / ERTMS** nos níveis 1, 2 e 3 está se tornando **cada vez mais global**; ainda exige um trabalho constante para manter a uniformidade de sistemas e soluções em todo o mundo
- Os principais modelos atualmente são **ETCS, CTCS, PTC**, que possuem essencialmente as **mesmas funções**, apesar de apresentarem diferentes estágios de evolução e padronização
- O **GSM-R**, que atualmente pode ser considerado **padrão global** de comunicações móveis ferroviárias, opera em cerca de 160.000 km de vias. Há no âmbito da UIC um projeto para a definição do **FRMCS – Future Railway Mobile Communication Solutions** – que deve substituir o GSM-R a partir de 2025 (com premissa básica de retro-compatibilidade)
- **Nível 3 overlay** ou **intercalado com Níveis 1 e 2**
 - ✓ Permite significativa **redução de custo** para longas distâncias, com a economia de equipamentos de via
 - ✓ **Evolução contínua** – os sistemas são escaláveis e permitem *upgrade*

Padrões de Sinalização para Ferrovias

Perspectivas e Tendências

■ Tecnologias baseadas em **Satélite / GPS**

- ✓ Complementando o posicionamento por balizas ou substituindo-as
- ✓ Necessário melhorar disponibilidade, confiabilidade e integridade
 - Tecnologias *GLONASS*, *Galileo*: permitem melhorar a integridade
 - Medidas adicionais contra distúrbios
- ✓ **SATLOC**: iniciativa para localização e comunicação por satélites nos sistemas de sinalização (compatível com ERTMS Nível 3 e ERTMS Regional), terá certificação SIL4 e será voltado a ferrovias extensas e de baixo tráfego e com meios de comunicação escassos



Padrões de Sinalização para Ferrovias

Perspectivas e Tendências

- Diferenças de abordagem da China vs. países como Índia e Austrália; Enquanto a primeira elaborou um programa em larga escala para levar toda a sua malha ferroviária ao estado da arte da tecnologia para alavancar sua competitividade, outros focam em aplicações pontuais e solução de problemas



- Nova iniciativa na Europa: projeto **INESS – Integrated European Signaling System** - que objetiva a **padronização dos sistemas de Intertravamento** e que deve, como ocorreu com o GSM-R e o ETCS, estabelecer uma nova tendência global



Caio Luchesi

Sales & Bid Manager – Latin America
Rail Control Solutions

Telephone: (11) 3538-7403

caio.luchesi@br.transport.bombardier.com

BOMBARDIER

the evolution of mobility