



32^a

SEMANA DE
TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA

O RISCO DE ESTAGNAÇÃO
TECNOLÓGICA

EM CONCESSÕES
METROFERROVIÁRIAS DE
LONGO PRAZO

Luciano Arruda, CBTU-Recife

1. Introdução: O Metrô como Plataforma Urbana Inteligente

A Rede Neural Metropolitana

- Sistemas de transporte de alta capacidade evoluíram de eixos puramente físicos para complexos ecossistemas de inovação social e urbana.
- O metrô moderno opera como infraestrutura digital: integra sensores IoT, big data, comunicações em tempo real e canais descentralizados de governança.
- Experiências de referência mundial (King's Cross em Londres, Futian em Shenzhen, Gangnam em Seul) combinam mobilidade e desenvolvimento urbano.

O Desafio dos Contratos Rígidos

- Contratos de concessão tradicionais de longo prazo (30+ anos) buscam máxima previsibilidade econômica e jurídica, gerando rigidez extrema.
- Premissa obsoleta: Presumir que as variáveis tecnológicas de transporte permanecerão constantes ao longo de três décadas é inviável no século XXI.
- Estagnação tecnológica contratual: A rigidez gera barreiras legais e financeiras severas para a adoção de novas tecnologias disruptivas.

2. Diagnóstico: Velocidade Tecnológica vs. Rigidez

O Risco da Cristalização

- Lock-in tecnológico: Sistemas antigos e ineficientes são mantidos unicamente porque a atualização contratual exige custos proibitivos de renegociação.
- O caso histórico de Londres: A PPP do London Underground nos anos 2000 falhou devido a contratos rígidos que subestimaram custos de inovação e geraram litígios bilionários, forçando a reestatização.
- No Recife, o metrô atua além da mobilidade: representa acesso social e inclusão para uma população metropolitana de alta vulnerabilidade.

A Aceleração das Ondas Tecnológicas

⚡ 1995 | Bilhetagem Magnética

Sistemas analógicos e mecânicos isolados da dinâmica urbana.

⚡ 2005 | GPS e Monitoramento

Localização de frotas e automação inicial dos painéis.

⚡ 2015 | Smartphones e Apps

Informação ao usuário em tempo real na palma da mão.

⚡ 2025 | Big Data e IoT

Sensores integrados e manutenção preditiva em massa.

⚡ 2035-2055 | Inteligência Artificial

Sistemas de condução autônomos e operação autoadaptativa.

3. Estudos de Caso Nacionais: Rio de Janeiro e BH

Caso Rio de Janeiro (SuperVia -> TrensRJ)

- A concessão original de 1998 introduziu a bilhetagem eletrônica e trens climatizados, mas entrou em colapso financeiro.
- Fatores como furtos sistemáticos de cabos de energia, evasão de receita, depredação de ativos e queda drástica de demanda inviabilizaram a sustentabilidade da SuperVia.
- Em maio de 2026, após processo de devolução, o Estado assumiu o controle sob a operadora pública TrensRJ.
- Lição: A estagnação tecnológica contratual impossibilitou a reconfiguração dinâmica frente às mutações de segurança e demografia.

Caso Belo Horizonte (Metrô BH)

- Concessão de 2022 prevê investimentos de R\$ 3,7B a R\$ 4B. Porém, mais de 85% do investimento inicial estruturante veio de aportes estatais/federais (CBTU-MG), restando apenas R\$ 500M de aporte privado direto.
- Em 2025, a concessionária propôs substituir a via dupla da Linha 2 por uma via singela (linha única) para cortar custos.
- A proposta gerou enorme oposição técnica e social, sendo rejeitada pelo Estado por comprometer a expansão da capacidade futura.
- Lição: Há uma diferença crucial entre modernização física inicial (compra de frotas) e capacidade permanente de inovação ao longo de 30 anos.

4. Salvador e Benchmarks Internacionais

Caso Salvador (CCR Metrô Bahia)

- PPP firmada em 2013 (vigência até 2043) é o caso mais exitoso do país de resgate ágil de um sistema metroviário paralisado.
- Sucesso operacional: Expansão célere de linhas, novos terminais e frota moderna de 40 trens de última geração.
- O gargalo crítico: Contrato foca em desempenho operacional tradicional, mas carece por completo de metas de inovação contínua ou integração territorial ativa (TOD-DH).
- As estações operam de forma isolada das políticas habitacionais locais e sem aproveitamento pleno de dados urbanos abertos.

Modelos Globais de Referência

- **Hong Kong (MTR):** Modelo *Rail + Property* (Ferrovia + Propriedades). Lucros de empreendimentos imobiliários sobre as estações financiam a modernização tecnológica obrigatória da malha, sem fardo estatal.
- **Singapura (LTMP 2040):** Planejamento estratégico evolutivo. O órgão público impõe ciclos de dados abertos (Open APIs), ligando o metrô a frotas autônomas e transporte sob demanda.
- **França (Grand Paris Express):** Estratégias contratuais de neutralidade de carbono, gêmeos digitais preditivos e microgeração solar em 100% das novas estações.

5. A Solução: Modelo Adaptativo para Concessões de Metrô no Conceito de Inteligentes Centrados nas Pessoas.

O modelo MACMI transforma a concessão estática tradicional em uma plataforma adaptativa de mobilidade humana.

Pilar 1 Inovação Permanente

Obrigatoriedade de revisões tecnológicas quinquenais (sinalização, IA, eficiência) baseadas em benchmarking internacional.

Pilar 2 Integração Smart Cities

Garantia regulatória de interoperabilidade de dados abertos operacionais e financeiros via Open Data APIs estáveis.

Pilar 3 Desenv. Orientado ao Transporte

Planos específicos de Desenvolvimento Orientado ao Transporte Centrado no Desenvolvimento Humano (DOT-DH).

Pilar 4 Indicadores Socioespaciais

Metas contratuais de emprego local, salas de inclusão digital de alta velocidade gratuita e espaços comunitários.

Pilar 5 Governança Colaborativa

Comissão permanente tripartite: agência reguladora, prefeituras, concessionária, sociedade civil e universidades.

6. Formulação Matemática do Índice IMI-DSH

Fórmula Unificada de Ponderação Multidimensional

$$\text{IMI-DSH} = 0,25 \cdot \text{IMM} + 0,25 \cdot \text{IIT} + 0,25 \cdot \text{IDSM} + 0,25 \cdot \text{IMA}$$

IMM

Modernização Metroferroviária (25%)

- Digitalização Operacional (20%)
- Eficiência Energética (20%)
- Atualização da Frota (20%)
- Sistemas Inteligentes (15%)
- Integração Multimodal (15%)
- Inovação Aberta (10%)

IIT

Integração Territorial (25%)

- Acessibilidade Ativa (25%)
- Uso Misto do Solo (20%)
- Serviços Públicos no Hub (20%)
- Integração Cicloviária (20%)
- Densidade Urbana (15%)

IDSM

Desenvolvimento Socioespacial (25%)

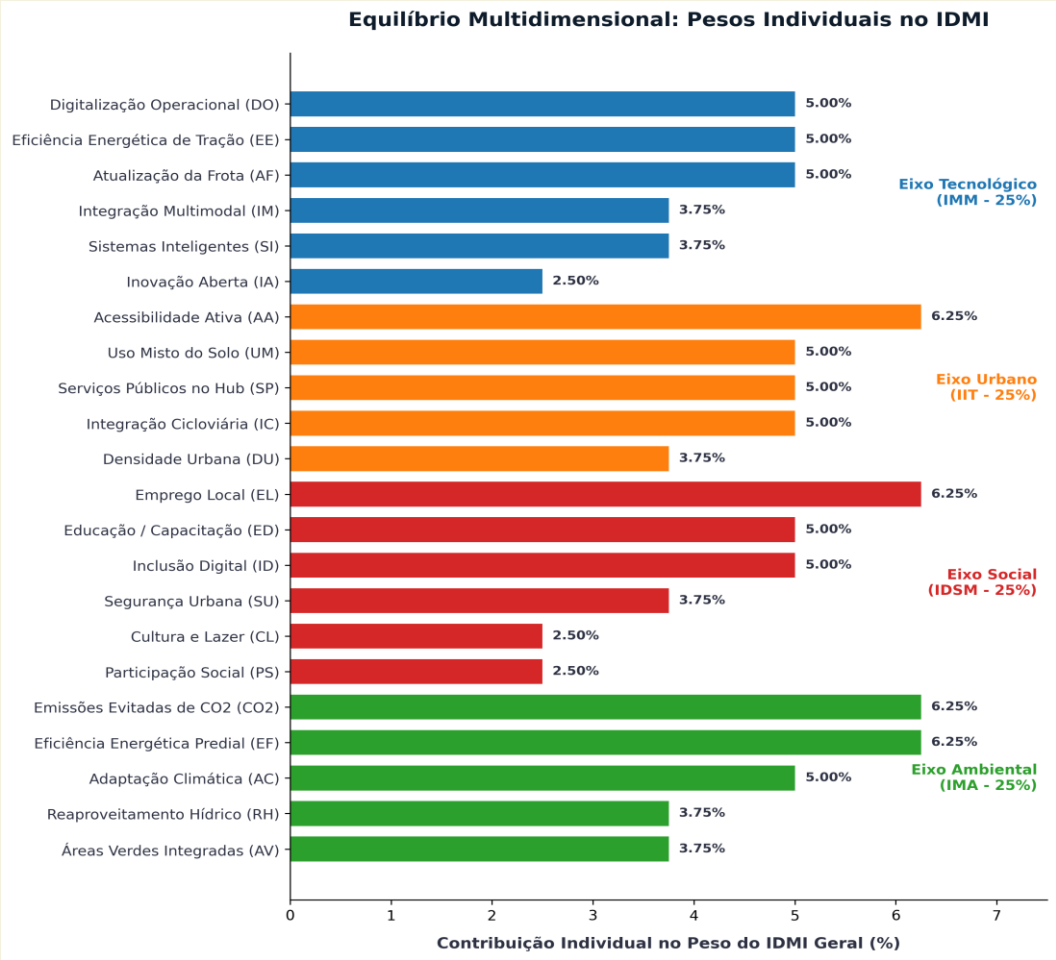
- Emprego Local (25%)
- Educação/Capacitação (20%)
- Inclusão Digital (20%)
- Segurança Urbana (15%)
- Cultura e Lazer (10%)
- Participação Social (10%)

IMA

Monitoramento Ambiental (25%)

- Emissões Evitadas (25%)
- Eficiência Predial (25%)
- Adaptação Climática (20%)
- Reaproveitamento Hídrico (15%)
- Áreas Verdes Integradas (15%)

7. Equilíbrio Multidimensional das 22 Variáveis



Análise Crítica das Contribuições Líquidas

- **Mitigação do Tecnocentrismo:** O modelo do IDMI equilibra perfeitamente as 22 variáveis que compõem a nota final de 0,000 a 1,000, evitando que investimentos em obras físicas anulem a responsabilidade socioespacial e ecológica.
- **Preponderância de Variáveis de Impacto Humano:** As maiores contribuições individuais no peso do IMI-DSH geral pertencem a variáveis críticas: **Acessibilidade Ativa (6,25%)**, **Emprego Local (6,25%)**, **Emissões de CO2 Evitadas (6,25%)** e **Eficiência Energética Predial (6,25%)**.
- **Garantia de Evolução:** No Recife, o monitoramento contínuo destas metas quantifica o real impacto do transporte público como agente gerador de renda e descarbonização metropolitana.

8. Faixas de Controle e Gatilhos Regulatórios

Nível Alto / Desenvolvimento Aceitável (0,700 a 1,000)

EMI-CP (Estação Metroviária Inteligente Centrada na Pessoa). A concessionária atinge excelência em todas as frentes integradas. Recebe bônus tarifários, vantagens em outorgas e prioridade em fundos de fomento.

Nível Médio / Alerta (0,500 a 0,699)

Identifica modernização de infraestrutura básica típica, mas com falhas severas em integração territorial e social. Concessionária é notificada e obrigada a apresentar um Plano de Recuperação Tecnológico-Social em até 12 meses.

Nível Baixo / Inaceitável (Abaixo de 0,500)

Caracteriza obsolescência e estagnação tecnológica contratual severa, associada à exclusão social e degradação urbana do entorno. Aciona gatilhos de auditorias independentes externas e início do processo de caducidade.

9. Minuta de Cláusulas Jurídicas para Novos Editais

Cláusula 1 | Revisão Tecnológica Quinquenal

Obrigatoriedade contratual de apresentar diagnóstico e plano de atualização a cada 5 anos, incorporando inovações maduras e comprovadas de sinalização, IA e eficiência energética.

Cláusula 2 | Fundo de Inovação (FIM)

Provisionamento obrigatório e contínuo de no mínimo 1,5% da Receita Operacional Bruta (ROB) anual, gerido em conta específica, para financiar pesquisas e projetos-piloto de novas tecnologias nas estações.

Cláusula 3 | Auditoria Independente Tripartite

Criação de um comitê científico tripartite (Estado, concessionária e universidades regionais de pesquisa) para avaliar o IMM e a conformidade técnica dos investimentos quinquenais.

Cláusula 4 | Integração Digital Open Data APIs

Disponibilização obrigatória e estável de dados de tráfego, fluxo de passageiros e manutenção em formato aberto e gratuito via APIs abertas para integração com sistemas inteligentes.

Conclusões: O Metrô como Instrumento de Cidadania

“O verdadeiro desafio das próximas décadas não será apenas transportar passageiros com eficiência física comercial. Será construir sistemas metroferroviários que funcionem como plataformas inteligentes de emancipação humana, desenvolvimento econômico e justiça urbana.”

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

OBRIGADO!

LUCIANO.ARRUDA@CBTU.GOV.BR



13ª Edição
Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP **TRILHOS**
Associação Nacional dos Transportadores
de Passageiros sobre Trilhos

TIC TRENS

 **AEAMESP**
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ