



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 3

O RISCO DE ESTAGNAÇÃO TECNOLÓGICA EM CONCESSÕES
METROFERROVIÁRIAS DE LONGO PRAZO

RESUMO

Os sistemas metroferroviários contemporâneos deixaram de exercer exclusivamente funções de transporte coletivo para assumirem papel estratégico como plataformas de integração digital, desenvolvimento urbano, inclusão produtiva e transformação territorial. Entretanto, modelos concessionários de longo prazo podem incorporar riscos significativos de obsolescência tecnológica quando não estabelecem mecanismos institucionais permanentes de atualização, inovação e integração com políticas urbanas e sociais. O presente artigo analisa criticamente tais riscos a partir do caso da concessão proposta para o Metrô do Recife, discutindo suas implicações para cidades marcadas por profundas desigualdades socioeconômicas. Argumenta-se que a ausência de cláusulas vinculantes relacionadas à dinâmica tecnológica, às cidades inteligentes, ao Desenvolvimento Orientado ao Transporte (DOT) e aos Objetivos de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Desenvolvimento Sustentável da ONU pode limitar o potencial transformador do sistema metroferroviário e comprometer sua função como instrumento de ascensão social. Propõe-se, por fim, um modelo conceitual de um Modelo Adaptativo para Concessões de Metrô Inteligentes – MACMI baseado em ciclos permanentes de inovação tecnológica, governança colaborativa e integração territorial a partir de um índice IDMI (Índice de Desenvolvimento do Metrô Inteligente) multidimensional que serve como parâmetro de controle contratual.

Palavras-chave: concessões públicas; inovação tecnológica; smart cities; mobilidade urbana; desenvolvimento orientado ao transporte; ODS; Metrô do Recife.

1. INTRODUÇÃO

A evolução dos sistemas metroferroviários ao longo do século XXI alterou profundamente sua natureza funcional. O metrô deixou de ser compreendido apenas como infraestrutura de transporte para tornar-se elemento estruturador da dinâmica econômica, tecnológica e social das metrópoles contemporâneas. De fato, as redes de alta capacidade sobre trilhos representam a espinha dorsal da mobilidade urbana moderna, condicionando a ocupação territorial, o valor do solo e os padrões de acessibilidade da população.

Experiências internacionais amplamente consolidadas, como King's Cross em Londres, Futian em Shenzhen e o Gangnam Transit Center em Seul, demonstram que sistemas de transporte de massa podem operar simultaneamente como catalisadores



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

de inovação urbana, inclusão produtiva e desenvolvimento territorial integrado. Nesses contextos, a infraestrutura ferroviária ultrapassa a mera movimentação de passageiros de um ponto 'A' a um ponto 'B' para constituir complexos ecossistemas que integram serviços de governo eletrônico, geração de energia sustentável, habitação de interesse social, conectividade digital avançada e comércio dinâmico.

Nesse novo paradigma, contudo, as concessões de longo prazo e as parcerias público-privadas (PPPs) enfrentam um desafio estrutural sem precedentes: a velocidade da inovação tecnológica. Contratos de infraestrutura tradicionalmente buscam estabilidade jurídica e previsibilidade econômica, frequentemente estabelecendo regras rígidas de operação, remuneração e investimentos por horizontes que ultrapassam as três décadas. O problema central reside no fato de que planejar uma concessão com tal horizonte temporal pressupondo que as variáveis tecnológicas permanecerão constantes é uma premissa incompatível com a realidade do século XXI.

Sistemas antigos e tecnologicamente defasados permanecem operando por razões contratuais e financeiras rígidas, gerando barreiras para a adoção de novas tecnologias que poderiam aumentar expressivamente a segurança, a eficiência energética e a utilidade social do serviço. Este fenômeno de cristalização tecnológica, que este trabalho conceitua como 'estagnação tecnológica contratual', acarreta custos de renegociação severos ao poder público e penaliza diretamente os usuários, especialmente nas metrópoles de países em desenvolvimento.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A Região Metropolitana do Recife apresenta uma relevância particular para este debate. Trata-se de uma metrópole marcada por uma severa desigualdade socioeconômica, periferização histórica da pobreza, forte dependência do transporte público de massa e alta vulnerabilidade territorial diante dos impactos das mudanças climáticas. No Recife, a eventual estagnação tecnológica do metrô transcende em muito as dimensões operacionais, constituindo um risco direto de limitação do desenvolvimento social e exclusão humana de milhões de cidadãos.

O objetivo principal deste artigo é analisar criticamente os riscos associados à rigidez contratual em concessões metroferroviárias de longo prazo e formular um contraponto propositivo a partir do Modelo Adaptativo para Concessões de Metrô Inteligentes – MACMI. Com foco empírico no Metrô do Recife e suporte comparativo de estudos de caso nacionais (Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador) e diretrizes internacionais (Hong Kong, Singapura, Paris e Londres), o artigo apresenta uma modelagem de governança e índices quantitativos capazes de blindar novos contratos contra a obsolescência tecnológica, convertendo as estações em autênticas plataformas de cidadania e inclusão socioespacial.

2. DIAGNÓSTICO

2.1 Da Infraestrutura de Transporte às Plataformas Urbanas Inteligentes

Conforme a literatura clássica de cidades inteligentes formulada por Caragliu, Del Bo e Nijkamp (2011), o uso intensivo de infraestrutura tecnológica é um fator



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

indissociável para promover eficiência econômica, sustentabilidade e qualidade de vida nos aglomerados urbanos. Entretanto, o avanço recente das dinâmicas sociais exige uma evolução teórica, proposta por Oliveira e Campolargo (2015): a transição do conceito puramente tecnológico de Cidades Inteligentes (“Smart Cities”) para o de Cidades Inteligentes Centradas nas Pessoas (“Human Smart Cities”). Sob esta perspectiva, a inovação digital e a tecnologia não são fins autônomos, mas sim meios para promover o desenvolvimento humano integral, a inclusão socioeconômica e a mitigação de disparidades territoriais.

No setor de mobilidade de massa, a aplicação prática deste conceito redefine os sistemas metroferroviários. Eles deixam de ser unicamente eixos físicos de transporte para operar como plataformas urbanas inteligentes que integram sensores de Internet das Coisas (IoT), comunicação em tempo real, dados abertos e interoperabilidade digital. O metrô passa a funcionar como uma rede neural metropolitana que se comunica ativamente com os planejadores municipais, otimiza o uso de energia, fornece internet Wi-Fi de alta velocidade gratuita para a população de baixa renda e atua como canal descentralizado de serviços de saúde e educação.

2.2 Princípios do Desenvolvimento Orientado ao Transporte (DOT)

O Desenvolvimento Orientado ao Transporte (DOT), conforme consagrado por Suzuki, Cervero e Iglesias (2013), estabelece que investimentos massivos em transporte público geram maior retorno econômico e social quando planejados em sinergia com o



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

uso do solo, adensamento habitacional e descentralização produtiva. Os princípios elementares do DOT envolvem:

- Densidade urbana adequada nas proximidades dos eixos de alta capacidade;
- Diversidade funcional e uso misto do solo (residencial, comercial e de serviços compartilhando os mesmos espaços);
- Caminhabilidade e incentivo ao transporte ativo por meio de calçadas qualificadas e arborizadas;
- Conectividade cicloviária integrada às estações de integração de passageiros;
- Inclusão econômica local, com reserva de áreas comerciais internas e no entorno das estações para empreendedores da comunidade e microcrédito.

A ausência de aplicação prática dos princípios do DOT em projetos de concessões metroferroviárias reduz drasticamente o retorno socioeconômico dos investimentos, gerando estações isoladas que funcionam apenas como locais de passagem, sem vitalidade urbana ou estímulo ao comércio e moradia locais. Neste caso em que o objetivo é primordialmente social, o termo técnico deverá receber uma ampliação conceitual como Desenvolvimento Orientado ao Transporte Centrado no Desenvolvimento Humano (DOT-DH) .

2.3 O Problema Sistêmico da Rigidez Contratual



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Historicamente, contratos de concessão de infraestrutura urbana são concebidos sob a premissa de máxima previsibilidade econômico-financeira para atrair investidores privados e assegurar a estabilidade de longo prazo. No entanto, o excesso de rigidez contratual em horizontes temporais que variam de 30 a 40 anos gera falhas estruturais graves. O principal efeito deletério é o lock-in tecnológico e regulatório, um fenômeno em que a administração pública e o operador privado ficam atados a soluções tecnológicas obsoletas devido aos custos proibitivos e entraves legais associados ao reequilíbrio econômico de termos aditivos contratuais.

A experiência histórica da Parceria Público-Privada (PPP) do Metrô de Londres (London Underground), conduzida no início dos anos 2000, ilustra perfeitamente este risco. A fragmentação do sistema em contratos privados rígidos de longo prazo subestimou os custos reais de modernização, gerou intensos conflitos de governança interfederativa e dificultou a incorporação de novas tecnologias digitais. O modelo culminou em um colapso financeiro parcial, obrigando o Estado (via "Transport for London – TfL") a reassumir a totalidade das operações das concessionárias infratoras, com prejuízos bilionários ao erário inglês. O caso londrino demonstra empiricamente que estabilidade jurídica não pode ser sinônimo de paralisia tecnológica.

2.4 A Dinâmica da Infraestrutura e as Ondas Tecnológicas

Infraestruturas urbanas de transporte de massa não possuem natureza estática. Elas sofrem profundas reconfigurações em ciclos cada vez mais curtos. Ao analisarmos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

o horizonte de uma concessão padrão de 30 anos estabelecida, por exemplo, em meados da década de 1990 e se estendendo até o presente, percebemos que o sistema passou por profundas transformações operacionais, conforme ilustrado na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Ondas Tecnológicas e a Evolução da Infraestrutura Metroferroviária (1995-2055)

Período / Ano	Tecnologia Dominante	Impacto Operacional e de Gestão
1995	Bilhetagem magnética	Sistemas analógicos e mecânicos de controle de acesso, isolados da dinâmica urbana.
2005	GPS e monitoramento digital	Introdução do rastreamento de frotas e automação inicial dos painéis operacionais.
2015	Smartphones e aplicativos	Informação em tempo real para o usuário final, cartões integrados e aplicativos móveis.
2025	Big Data e IoT	Sensores distribuídos na via, manutenção preditiva, Wi-Fi público e análise de fluxo em massa.
2035–2055	Inteligência Artificial	Sistemas autônomos de condução, precificação dinâmica, IoT massivo e governança autoadaptativa.

Fonte: Elaboração própria com base na revisão da literatura de inovação ferroviária (2026).

2.5 Estudos de Caso Nacionais: Concessões, Desafios e Falhas Estruturais

A dinâmica apresentada demonstra que um contrato firmado em 1995 sob o paradigma da bilhetagem magnética estaria hoje operando com enorme defasagem se não contasse com profundas e onerosas repactuações contratuais. O mesmo raciocínio se impõe para concessões modeladas hoje: planejar as metas de investimentos de 2026 até 2056 sob a ótica da tecnologia atual, negligenciando a inevitável transição para a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

inteligência artificial distribuída e sistemas de operação autônoma, caracteriza um grave risco de estagnação tecnológica contratual.

A Região Metropolitana do Recife (RMR) é caracterizada por severas assimetrias territoriais, com altos índices de desemprego e extrema dependência das classes trabalhadoras em relação ao transporte público coletivo de massa. O Metrô do Recife, gerido historicamente pela estatal federal CBTU, enfrenta graves limitações orçamentárias e degradação de ativos, culminando em paralisações operacionais constantes e depreciação da qualidade do serviço. Em meio ao debate para a concessão do sistema à iniciativa privada, o projeto original de edital propõe uma concessão de trinta anos.

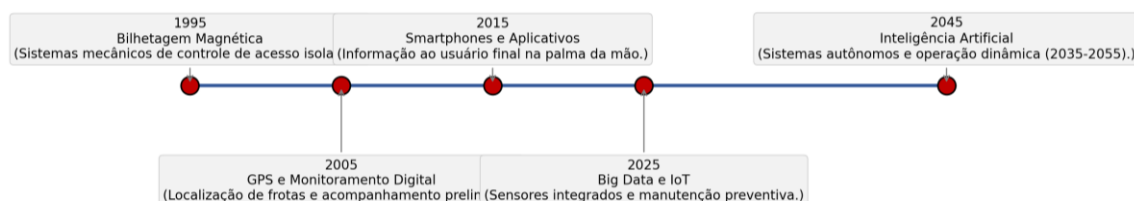


Figura 1 – Evolução das Ondas Tecnológicas Metroferroviárias e a Dinâmica da Obsolescência. Fonte: Elaboração própria com base na literatura teórica (2026).

Caso 1: A Região Metropolitana do Recife (Metrô do Recife)

O diagnóstico crítico realizado nesta pesquisa indica que o modelo proposto repete o equívoco de focar exclusivamente nas metas operacionais físicas tradicionais (frequência de trens, limpeza de estações e manutenção básica da via permanente), sem estabelecer qualquer obrigação de conectividade, transformação digital ou metas de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

inclusão produtiva no entorno das estações. A estagnação tecnológica nesse cenário significa perpetuar a exclusão socioespacial de comunidades vulneráveis, impedindo que o metrô opere como eixo de acesso digital e de inclusão econômica.

Como contraponto conceitual, o estudo de caso da Estação de Joana Bezerra demonstra como uma estação pode ser projetada sob o paradigma das Cidades Inteligentes Centradas nas Pessoas e do Desenvolvimento Orientado ao Transporte (DOT). A proposta conceitual transforma a atual estação degradada em uma 'Estação Inteligente' que agrega geração solar de energia, Wi-Fi público gratuito de alta velocidade para a população periférica adjacente, bicicletários integrados, polos de qualificação digital mantidos pela concessionária, centros de atendimento à saúde e feiras permanentes de microempreendedores locais. Trata-se do metrô atuando como catalisador de cidadania e desenvolvimento socioespacial, e não meramente como um ativo de engenharia civil.

Caso 2: Os Trens Metropolitanos do Rio de Janeiro (Transição SuperVia -> TrensRJ)

A rede ferroviária de trens urbanos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro é uma das mais antigas e complexas do país. Concedida originalmente à iniciativa privada em 1998, sob o consórcio SuperVia, a concessão foi estruturada com o objetivo de transferir os custos operacionais ao ente privado, reduzir subsídios públicos estatais e elevar os padrões de manutenção e segurança das linhas operadas. De fato, ao longo das primeiras duas décadas, a SuperVia introduziu avanços importantes, como a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

transição completa para bilhetagem eletrônica automatizada, aquisição de frota com ar-condicionado e recuperação estrutural de estações históricas.

No entanto, o modelo entrou em profundo colapso econômico-financeiro e operacional no pós-pandemia. Fatores sistêmicos graves — como furtos diários de cabos de sinalização, depredação generalizada de subestações de energia, restrições tarifárias estatais, invasão de faixas de domínio por grupos armados ilegais e queda drástica de demanda — inviabilizaram a sustentabilidade da concessão. Em abril de 2023, a SuperVia declarou formalmente sua impossibilidade de arcar com os novos investimentos contratuais, devolvendo a concessão. Em maio de 2026, após um delicado e tenso período de transição coordenado pelo governo estadual, a operação foi integralmente assumida pelo consórcio TrensRJ (Consórcio Nova Via Mobilidade).

O fracasso sistêmico da SuperVia reside no fato de que o contrato original de 1998 cristalizou premissas operacionais e de receitas rígidas ao longo de quase trinta anos, sem mecanismos dinâmicos de compartilhamento de riscos de segurança e proteção patrimonial, e sem incentivos ou obrigações para inovação digital contínua. A modernização do sistema ocorreu em ondas espasmódicas dependentes de endividamento público, gerando aquilo que denominamos 'estagnação tecnológica contratual' — onde o contrato impede a reconfiguração dinâmica do sistema ferroviário diante das mutações urbanas, demográficas e criminais que assolaram o Rio de Janeiro no período.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Caso 3: A Concessão do Metrô de Belo Horizonte (Metrô BH)

O Metrô de Belo Horizonte, federalizado sob a CBTU-MG por décadas, foi incluído no Programa Nacional de Desestatização (PND) e leiloadado em dezembro de 2022, sendo vencido pelo grupo Comporte (responsável pela atual concessionária Metrô BH). O contrato prevê investimentos previstos de R\$ 3,7 bilhões a R\$ 4 bilhões ao longo de 30 anos, incluindo a extensão da Linha 1 até Novo Eldorado e a construção da histórica Linha 2 (Nova Suíça–Barreiro), cujas obras civis estavam paralisadas desde o final dos anos 1990.

Uma análise crítica e detalhada do desenho econômico do projeto revela, contudo, que mais de 85% do investimento inicial estruturante decorreu de recursos públicos diretos (sendo R\$ 2,8 bilhões aportados pela União Federal e R\$ 428 milhões pelo Governo do Estado de Minas Gerais, com forte uso de indenizações do acordo judicial do desastre de Brumadinho), restando ao concessionário privado um aporte direto de apenas R\$ 500 milhões. Este dado desconstrói a narrativa mercadológica de que a concessão, isoladamente, resolve o financiamento de redes metroferroviárias, comprovando a necessidade imperiosa de financiamento híbrido de longo prazo.

Além disso, a rigidez contratual do Metrô BH manifestou-se de forma expressiva em 2025, quando a concessionária propôs substituir a via dupla prevista originalmente no contrato para a Linha 2 por uma operação em via singela (linha única de tráfego com desvios), sob alegação de readequação financeira. Essa alteração provocou severa



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

oposição social e legislativa, sendo formalmente rejeitada pelo poder concedente estadual após pressões técnicas. O caso mineiro demonstra que contratos longos sem metas claras e mecanismos de revisão dinâmica de tecnologia propiciam soluções de curto prazo focadas exclusivamente na eficiência financeira privada, mas com severos prejuízos à expansão da capacidade e à atratividade do transporte de massa de longo prazo.

Caso 4: O Modelo da CCR Metrô Bahia em Salvador e Lauro de Freitas

A Parceria Público-Privada (PPP) do Sistema Metroviário de Salvador e Lauro de Freitas, firmada em outubro de 2013 com a CCR Metrô Bahia e vigência até 2043, é amplamente celebrada nacionalmente como o caso mais exitoso de resgate e expansão ágil de um sistema de transporte metroferroviário degradado no Brasil. O modelo de concessão patrocinada combinou recursos públicos do governo federal (PAC) e do governo do estado, financiamento de R\$ 2 bilhões estruturado pelo BNDES e um sofisticado modelo de garantias públicas ancorado no Fundo Garantidor Baiano de Parcerias.

Sob a ótica operacional, o metrô de Salvador obteve resultados inquestionáveis: expansão célere da rede, integração total com terminais metropolitanos de ônibus e aquisição de frota de 40 trens modernos de última geração. No entanto, o diagnóstico crítico dos documentos contratuais da PPP de Salvador revela limitações semelhantes: o contrato se concentra exaustivamente em indicadores tradicionais de desempenho



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

operacional e satisfação pontual do usuário, mas carece por completo de obrigações explícitas de atualização tecnológica contínua frente às inovações de Smart Cities ou metas sociais e urbanísticas diretas vinculadas aos ODS no entorno das estações.

Diferentemente das experiências internacionais de referência de Hong Kong ou Singapura, as estações de Salvador operam em grande parte de forma desconectada de planejamentos habitacionais integrados e desenvolvimento econômico local induzido pelo operador, demonstrando que mesmo concessões operacionais de alta eficiência privada correm o risco de se tornarem eixos de engenharia civil desconectados do desenvolvimento humano e urbano integrado.

2.6 Lições dos Referenciais Internacionais para a Construção da Estação Metroviária Inteligente

Para fundamentar o modelo propositivo de governança contratual adaptativa, esta pesquisa analisou quatro referências de planejamento e tecnologia metroferroviária globais:

Hong Kong (MTR Corporation): A MTR Corporation de Hong Kong opera sob o consagrado modelo “Rail + Property” (Ferrovia + Propriedades), no qual a concessionária detém os direitos de desenvolvimento urbanístico e comercial do solo sobre e ao redor das estações metroviárias. Os lucros do desenvolvimento imobiliário e comercial são diretamente reinvestidos na modernização tecnológica obrigatória e permanente da



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

frota e sinalização operacional, reduzindo drasticamente a necessidade de subsídios estatais.

Singapura (LTMP 2040): O “Land Transport Master Plan 2040” de Singapura adota um planejamento sistêmico de longo prazo em que o sistema ferroviário não é considerado uma estrutura física estática. O órgão estatal central de transportes (LTA) impõe ciclos periódicos de revisão e interoperabilidade de dados abertos digitais, conectando o metrô a sistemas de tráfego inteligente, frotas de ônibus autônomos e dados em tempo real de mobilidade sob demanda.

França (Grand Paris Express): A nova e massiva rede de transporte integrada da região metropolitana de Paris incorpora metas contratuais e regulatórias severas vinculadas à neutralidade de carbono, uso massivo de “digital twins” (gêmeos digitais) para gestão preditiva e integração física de redes de transporte ativo e de microgeração de energia solar em 100% de suas novas estações.

Reino Unido (Metrô de Londres): A experiência das concessões iniciais do metrô londrino demonstra o perigo de se criar contratos excessivamente longos e rígidos. O modelo de privatização adotado nos anos 2000 gerou litígios contratuais constantes sobre os custos de modernização tecnológica das vias antigas, levando à bancarrota de concessionárias e obrigando o Estado a reestatizar a maior parte do sistema em uma bilionária reversão de ativos.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

3.1 O Modelo Adaptativo para Concessões de Metrô Inteligentes – MACMI

Diante das evidências coletadas e das falhas estruturais observadas em concessões metroferroviárias nacionais e internacionais, com destaque para a análise comparativa entre Belo Horizonte e a Região Metropolitana do Recife, este trabalho propõe o Modelo Adaptativo para Concessões de Metrô Inteligentes (MACMI). A pesquisa fundamenta um novo conceito para as concessões públicas do setor, propondo uma reformulação regulatória nas contratações de transporte coletivo de alta capacidade. O modelo parte da premissa fundamental de que a concessão não deve ser encarada como a cessão estática de um ativo físico operacional por trinta anos, mas sim como a contratação de uma plataforma adaptativa de mobilidade urbana e desenvolvimento humano, obrigada a aprender, inovar e se transformar continuamente.

O modelo MACMI estrutura-se formalmente sobre cinco pilares transversais integrados, detalhados a seguir:

Pilar 1 – Inovação Tecnológica Permanente: Obrigatoriedade contratual de atualização tecnológica a cada ciclo de 5 (cinco) anos. A concessionária privada é compelida a incorporar inovações operacionais globais que atinjam viabilidade técnica comercial (comprovadas por benchmarking em sistemas de referência), cobrindo sinalização, automação operacional, eficiência energética de tração, comunicação digital com usuários e sistemas de diagnóstico preditivo baseados em IA.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Pilar 2 – Integração com Cidades Inteligentes: Garantia regulatória de interoperabilidade total dos sistemas de dados operacionais e financeiros da concessão com os sistemas de dados públicos de planejamento municipal das prefeituras metropolitanas. As bases de dados de fluxo, tráfego e manutenção devem operar sob protocolos abertos (Open Data APIs), permitindo a integração de novos aplicativos e o desenvolvimento de soluções por terceiros no contexto das Cidades Inteligentes.

Pilar 3 – Desenvolvimento Orientado ao Transporte (DOT): Vulnerabilidade à obsolescência física e territorial é combatida por meio de Planos DOT específicos para cada estação estratégica da rede concessionada. As estações devem ser integradas com as dinâmicas de uso do solo locais, prevendo adensamento comercial, polos habitacionais de interesse social e infraestrutura para mobilidade ativa (ciclovias e calçadas arborizadas de acesso).

Pilar 4 – Indicadores de Desenvolvimento Humano e Social: O desempenho da concessionária privada deixa de ser avaliado unicamente por indicadores tradicionais de velocidade comercial ou falhas mecânicas. Incorporam-se metas contratuais de impacto socioeconômico direto no entorno da via, tais como taxas de inclusão produtiva, criação de postos comerciais populares integrados para ambulantes credenciados e fornecimento de infraestrutura básica social nas estações (por exemplo, pontos de tele-saúde públicos e centros de qualificação digital gratuitos). Estes indicadores devem estar alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Tabela 2).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Pilar 5 – Governança Colaborativa e Descentralizada: Estabelecimento de um modelo de governança de caráter permanente e colaborativo para fiscalização técnica, composto por uma comissão tripartite envolvendo representantes estatais (agência reguladora estadual e prefeituras), representantes da concessionária privada, e conselhos independentes de cidadãos e universidades/centros de pesquisa científica regionais.

Tabela 2 – Alinhamento entre os Pilares do Modelo MACMI e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU

ODS	Meta Principal da ONU	Ações Concretas de Alinhamento no Modelo MACMI
ODS 9	Indústria, inovação e infraestrutura	Implementação do Fundo de Inovação Metroferroviária (FIM) e auditorias quinquenais.
ODS 10	Redução das desigualdades	Estações inteligentes como eixos de inclusão digital e espaços de comércio popular.
ODS 11	Cidades e comunidades sustentáveis	Desenvolvimento Orientado ao Transporte (DOT), integração cicloviária e monitoramento de emissões de CO ₂ .
ODS 16	Paz, justiça e instituições eficazes	Governança descentralizada com comitês tripartites e ouvidorias populares.
ODS 17	Parcerias e meios de implementação	Interações acadêmicas e institucionais com universidades locais e prefeituras.

Fonte: Elaboração própria com base na Agenda 2030 da ONU (2026).

3.2 Formulação de Índices e Indicadores Contratuais

Para operacionalizar o modelo MACMI de forma mensurável e com plena segurança jurídica nos contratos de concessão pública, esta pesquisa desenvolveu uma matriz quantitativa composta por três índices propostos: o Índice de Modernização Metroferroviária (IMM) – Tabela 3, o Índice de Integração Territorial (IIT) – Tabela 4 e o



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Índice de Desenvolvimento Socioespacial Metroviário (IDSM) – Tabela 5. Matriz de Pesos do Índice de Monitoramento Ambiental (IMA) – Tabela 6. Estes índices devem integrar as fórmulas matemáticas de cálculo de outorgas ou remunerações da concessionária.

Tabela 3 – Parâmetros e Pesos do Índice de Modernização Metroferroviária (IMM)

Indicador	Peso (%)	Métrica de Avaliação Contratual
Digitalização operacional	20%	Interoperabilidade de dados em tempo real, APIs públicas abertas e apps.
Eficiência energética	20%	Redução do consumo específico de energia (kWh/TKBR) via frenagem regenerativa.
Integração multimodal	15%	Integração tarifária e física com ônibus, micro-ônibus e modais ativos.
Sistemas inteligentes	15%	Sensores IoT nas vias, inteligência artificial preditiva e monitoramento térmico.
Atualização da frota	20%	Renovação e modernização periódica de sistemas de climatização, portas e controle.
Inovação aberta	10%	Fomento a projetos-piloto com startups, Laboratórios Vivos Humanos e universidades.

Fonte: Elaboração própria (2026).

Adicionalmente, propõe-se o Índice de Integração Territorial (IIT), composto pelas variáveis de densidade urbana, diversidade de uso do solo, acessibilidade ativa por pedestres e ciclistas nas proximidades das estações e quantidade de serviços públicos conectados. O monitoramento ambiental contínuo, conforme sugerido nos pilares do



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 4 - Tabela de Pesos Sugerida para o Índice de Integração Territorial (IIT)

Variável	Peso Sugerido (%)	Justificativa Metodológica e Alinhamento Teórico
Acessibilidade ativa	25%	É o pilar mais crítico para garantir a caminhabilidade ("walkability") e o acesso universal seguro de pedestres à estação. Representa a base do conceito de "cidades para pessoas".
Uso misto do solo	20%	Vital para o DOT, assegurando que o entorno da estação tenha diversidade de atividades (comercial, residencial e institucional), gerando fluxo constante e vitalidade urbana.
Serviços públicos disponíveis	20%	Essencial para transformar a estação em uma plataforma de desenvolvimento humano e inclusão social. Avalia a presença de postos de saúde, cidadania e assistência no hub de transporte.
Densidade urbana	15%	Garante que haja massa crítica residencial e de empregos concentrada próxima ao eixo de transporte de alta capacidade, otimizando o uso do espaço público e a demanda do sistema.
Integração cicloviária	20%	Fundamental para resolver o problema da "primeira e última milha" de forma sustentável. Mede a conectividade com ciclovias, paraciclos e bicicletários integrados.
TOTAL	100%	Soma perfeitamente alinhada para a composição do índice matemático.

Fonte: Elaboração própria (2026).

modelo, deve cobrir a medição sistemática de emissões evitadas de CO₂ do metrô frente ao transporte rodoviário, eficiência energética ativa das estações, reaproveitamento de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

água pluvial e cinza, áreas verdes integradas à faixa de domínio e resiliência climática das infraestruturas.

Tabela 5 – Parâmetros e Pesos do Índice de Desenvolvimento Socioespacial Metroviário (IDSM)

Indicador	Peso (%)	Métrica de Avaliação Contratual
Emprego local	25%	Percentual de vagas comerciais e de manutenção destinadas a moradores do entorno.
Educação	20%	Espaços físicos concedidos para bibliotecas digitais e cursos técnicos gratuitos.
Inclusão digital	20%	Disponibilidade de rede Wi-Fi gratuita de alta velocidade nas dependências da estação.
Segurança urbana	15%	Iluminação qualificada e monitoramento inteligente na faixa de domínio e acessos.
Cultura e lazer	10%	Realização de eventos e concessão de espaços para iniciativas comunitárias locais.
Participação social	10%	Fóruns consultivos com representações de bairros periféricos de passagem.

Fonte: Elaboração própria (2026).

4.4 – Índice de Desenvolvimento da Metrô Inteligente - IDMI

A estruturação de novos modelos concessionários e de parcerias público-privadas exige a superação da dicotomia simplista entre gestão estatal direta e privatização irrestrita de ativos. No Modelo Adaptativo para Concessões de Metrô Inteligentes (MACMI), propõe-se um marco regulatório e técnico onde as dimensões econômica, tecnológica, espacial e social atuam de forma sinérgica. O coração do modelo MACMI reside na governança baseada em indicadores e metas contratuais dinâmicas, avaliadas por meio do Índice de Desenvolvimento do Metrô Inteligente (IDMI).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O IDMI consolida a avaliação da infraestrutura por meio da seguinte equação de ponderação multidimensional:

$$\text{IDMI} = \alpha \cdot \text{IMM} + \beta \cdot \text{IIT} + \delta \cdot \text{IDSM} + \eta \cdot \text{IMA}$$

Onde IMM corresponde ao Índice de Modernização Metroferroviária (com peso de α), o IIT representa o Índice de Integração Territorial (com peso β), o IDSM expressa o Índice de Desenvolvimento Socioespacial Metroviário (com peso δ) e o IMA indica o Índice de Monitoramento Ambiental (com peso η).

Tabela 6: Matriz de Pesos do Índice de Monitoramento Ambiental (IMA)

Variável	Peso (%)	Descrição e Metas de Monitoramento
Emissões evitadas de CO ₂	25%	Foco na atração de viagens oriundas do transporte individual motorizado para o modal sobre trilhos.
Eficiência energética	25%	Metas de geração limpa local (painéis fotovoltaicos) e reaproveitamento de energia de frenagem (tração regenerativa).
Adaptação climática	20%	Soluções de drenagem urbana sustentável e resiliência das estações frente a eventos de inundações severas.
Reaproveitamento hídrico	15%	Captação e reuso de águas pluviais e condensação de aparelhos de climatização para serviços gerais na estação.
Áreas verdes integradas	15%	Implantação de telhados e jardins verdes para o combate local ao efeito de ilhas de calor urbano.
TOTAL	100%	Soma ponderada das variáveis de monitoramento ambiental do modelo MACMI.

Fonte: Elaboração própria (2026).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O IDMI é uma escala matemática estabelecida para os "valores aceitáveis" do IDMI (Índice de Desenvolvimento do Metrô Inteligente). O IDMI foi concebido e estruturado como um índice composto unificado para consolidar as dimensões analíticas que cada dimensão dos índices IMM, IIT, IDSM e IMA trazem de forma isolada.

Para que o IDMI funcione como uma medida regulatória e de planejamento urbano eficaz em contratos de concessão de longo prazo, adota-se a metodologia científica padrão de normalização de indicadores (com valores variando de 0,000 a 1,000, ou de 0% a 100%). Os pesos α , β , δ e η sobre cada um dos índices da equação do IDMI deve ser variável conforme as características da **Modernização Metroferroviária, Integração Territorial, Desenvolvimento Socioespacial Metroviário e de Monitoramento Ambiental** em que o sistema metroviário esteja inserido. Abaixo mostra a equação IDMI com pesos iguais para cada um de suas variáveis.

$$\text{IDMI} = 0.25 \cdot \text{IMM} + 0.25 \cdot \text{IIT} + 0.25 \cdot \text{IDSM} + 0.25 \cdot \text{IMA}$$

Abaixo, apresento a explicação detalhada dos intervalos de valores do IDMI e o que eles representam na prática para a avaliação de uma estação (como Joana Bezerra no Recife), fundamentando cada faixa de valor diretamente nas diretrizes e riscos discutidos em suas fontes:

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

Este é o intervalo meta para que uma estação seja classificada como uma Estação Metroviária Inteligente Centrada na Pessoa, EMI-CP (Human Smart Metro Station –



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

HSMS). Valores nesta faixa indicam que a estação superou a função de mero ponto de embarque e desembarque para consolidar-se como um verdadeiro polo de desenvolvimento urbano e social.

O que a estação possui nesse nível:

Dimensão Tecnológica (IMM entre 70% e 100%): Presença de digitalização operacional, sistemas inteligentes de informação em tempo real, sensores de Internet das Coisas (IoT) e mecanismos de inovação aberta.

Dimensão Urbana (IIT entre 70% e 100%): Excelente acessibilidade ativa para pedestres e cadeirantes, integração ciclovária segura (ciclovias e paraciclos), alta densidade e diversidade de uso do solo no entorno, além de serviços públicos e comunitários instalados na própria estação.

Dimensão Social (IDSM entre 70% e 100%): Promoção de inclusão digital (Wi-Fi público e salas de capacitação), fomento ao emprego local, segurança urbana ativa e espaços de cultura, lazer e participação comunitária.

Dimensão Ambiental (IMA entre 70% e 100%): Autossuficiência energética parcial por meio de energia solar, captação e reaproveitamento de água de chuva, áreas verdes integradas (jardins verticais ou telhados verdes) e redução mensurável de emissões de CO_2 ao atrair usuários do transporte motorizado individual.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Significado Teórico: A estação atende aos preceitos da transição de Cidades Inteligentes para Cidades Inteligentes Centradas nas Pessoas, onde a tecnologia serve diretamente como ferramenta de emancipação humana, cidadania e redução de desigualdades socioespaciais. Ela replica os sucessos de referências como Hong Kong, Singapura e o projeto Grand Paris Express.

B. Nível Médio / Alerta (0,500 a 0,699)

Este patamar representa uma estação com infraestrutura física modernizada, mas com graves lacunas de integração territorial e inclusão social.

O que a estação possui nesse nível:

Os trens são modernos, há bilhetagem eletrônica instalada e as estações passaram por reformas operacionais (modernização física típica).

O gargalo: Embora a operação corra bem, a estação falha em se conectar com o seu entorno periférico. Não há incentivo à inclusão produtiva, faltam serviços públicos integrados, a acessibilidade ativa no entorno é precária e não existem canais permanentes de participação social ou laboratórios de inovação aberta.

Significado Teórico: É o cenário observado em sistemas que focam exclusivamente no ativo físico de transporte em detrimento do desenvolvimento humano, como nos limites apontados nos estudos de Belo Horizonte e Salvador. A infraestrutura é nova, mas carece de mecanismos contratuais que garantam atualização



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

tecnológica e flexibilidade ao longo das décadas, gerando risco iminente de obsolescência futura.

C. Nível Baixo / Inaceitável (Abaixo de 0,500)

Valores abaixo de 0,500 são criticamente inaceitáveis para o planejamento metropolitano contemporâneo. Eles indicam que o sistema metroferroviário opera sob o fenômeno da estagnação tecnológica contratual e da exclusão socioespacial.

O que a estação possui nesse nível:

Obsolescência Tecnológica e Operacional: Sistemas de bilhetagem antigos, ausência de dados em tempo real, incapacidade de integração digital e frotas envelhecidas.

Lock-in Contratual e Rigidez: Contratos rígidos de mais de 30 anos que cristalizam tecnologias ultrapassadas e impedem atualizações necessárias devido aos altos custos de renegociação.

Desconexão e Degradação: Estação isolada do planejamento urbano, com altos índices de vandalismo, insegurança pública ativa e nenhuma articulação com políticas de moradia, geração de renda ou sustentabilidade climática.

Significado Teórico: O transporte público falha em sua missão de promover mobilidade social e redução da pobreza, atuando como um vetor de segregação territorial e desperdício de potencial urbano. É o reflexo sistêmico de crises severas em concessões



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

engessadas, como o histórico de deterioração que culminou no encerramento das atividades da SuperVia no Rio de Janeiro.

4.5. Aplicação Prática das Faixas do IDMI em Contratos

Para que esses valores funcionem como um mecanismo regulatório dinâmico dentro do conceito de Concessão Metroviária Adaptativa e Inteligente (MACMI/ASMC), propõe-se que a pontuação do IDMI seja vinculada diretamente às Revisões Tecnológicas Quinquenais:

IDMI > 0,700 (Manutenção e Incentivo): A concessionária cumpre as metas e recebe bonificações contratuais ou prioridade na liberação de recursos de fundos de inovação.

$0,500 \leq \text{IDMI} \leq 0,700$ (Plano de Recuperação): A concessionária é notificada e obrigada a apresentar, em até 12 meses, um plano detalhado de atualização tecnológica e integração social, sob pena de sanções econômicas.

IDMI < 0,500 (Gatilho de Caducidade ou Intervenção): A persistência desse indicador por duas avaliações consecutivas caracteriza descumprimento de metas sociais e tecnológicas de longo prazo, autorizando auditorias acadêmicas independentes externas e o início de processos de reestruturação do contrato de concessão.

Como o IDMI é assim um índice composto projetado para unificar as quatro dimensões analíticas do seu modelo, a sua equação final é definida pela média aritmética ponderada dos seus quatro macro-índices setoriais.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Considerando que as quatro dimensões possuem peso equivalente (25% cada) para garantir o equilíbrio entre tecnologia, desenvolvimento urbano, impacto social e sustentabilidade, a equação geral do IDMI é expressa como:

$$\text{IDMI} = 0,25 \cdot \text{IMM} + 0,25 \cdot \text{IIT} + 0,25 \cdot \text{IDSM} + 0,25 \cdot \text{IMA}$$

Onde cada um dos macro-índices de entrada ($0,000 \leq \text{Índice} \leq 1,000$) é calculado pela soma ponderada de suas respectivas variáveis internas, conforme detalhado a seguir:

4.5.1. Índice de Modernização Metroferroviária (IMM)

Focado no pilar tecnológico e operacional, o IMM é calculado a partir de seis indicadores específicos:

$$\text{IMM} = 0,20 \cdot \text{DO} + 0,20 \cdot \text{EE} + 0,15 \cdot \text{IM} + 0,15 \cdot \text{SI} + 0,20 \cdot \text{AF} + 0,10 \cdot \text{IA}$$

DO (Digitalização Operacional): 20%; EE (Eficiência Energética de Tração): 20%; IM (Integração Multimodal): 15%; SI (Sistemas Inteligentes de Informação): 15%; AF (Atualização Tecnológica da Frota): 20%; IA (Inovação Aberta e Parcerias): 10%

4.5.2. Índice de Integração Territorial (IIT)

Focado na relação espacial e urbana da estação com o seu entorno:

$$\text{IIT} = 0,25 \cdot \text{AA} + 0,20 \cdot \text{UM} + 0,20 \cdot \text{SP} + 0,15 \cdot \text{DU} + 0,20 \cdot \text{IC}$$

AA (Acessibilidade Ativa): 25%; UM (Uso Misto do Solo): 20%; SP (Serviços Públicos Disponibilizados no Hub): 20%; DU (Densidade Urbana do Entorno): 15%; IC (Integração Ciclovitária): 20%



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.5.3. Índice de Desenvolvimento Socioespacial Metroviário (IDSM)

Focado no impacto social, na inclusão produtiva e na cidadania dos usuários:

$$\text{IDSM} = 0,25.\text{EL} + 0,20.\text{ED} + 0,20.\text{ID} + 0,15.\text{SU} + 0,10.\text{CL} + 0,10.\text{PS}$$

EL (Fomento ao Emprego Local): 25%; ED (Integração com Educação/Capacitação): 20%;

ID (Inclusão Digital e Conectividade Pública): 20%; SU (Segurança Urbana Ativa no Entorno): 15%; CL (Espaços de Cultura e Lazer): 10%; PS (Mecanismos de Participação Social): 10%

4.5.4. Índice de Monitoramento Ambiental (IMA)

Focado no monitoramento ecológico e resiliência climática:

$$\text{IMA} = 0,25.\text{CO2} + 0,25.\text{EF} + 0,20.\text{AC} + 0,15.\text{RH} + 0,15.\text{AV}$$

CO2 (Emissões de Carbono Evitadas): 25%; EF (Eficiência Energética predial das estações): 25%; AC (Adaptação Climática e Drenagem Sustentável): 20%; RH (Reaproveitamento Hídrico e Reuso): 15%; AV (Áreas Verdes Integradas): 15%

Substituindo os sub-índices ponderados na equação principal, o IDMI se consolida como uma métrica multidimensional de 22 variáveis integradas. Esta equação final permite que, ao final de cada ciclo de avaliação contratual (como as Revisões Quinquenais propostas), a agência reguladora e o comitê acadêmico independente extraiam uma nota única de 0,000\$ a \$1,000. Esse valor serve como indicador objetivo do cumprimento das metas de inovação contínua e utilidade social do sistema de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

transporte. Abaixo mostra-se um gráfico comparativo de barras empilhadas para ilustrar a composição matemática de pesos de cada uma dessas 22 variáveis dentro do IDMI como resultados reais deste índice.

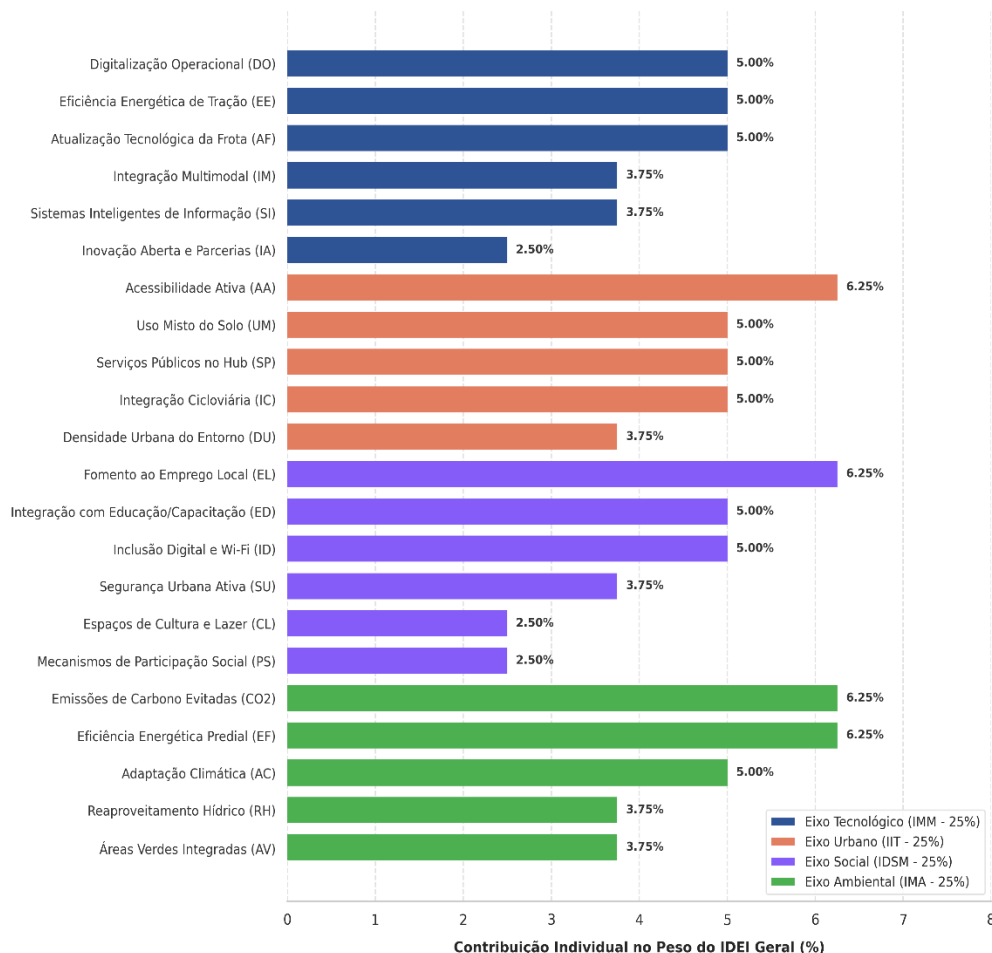


Figura 2 – Interpretação Matemática Multidimensional do Índice IDMI.

O gráfico da Figura 2 possui 22 variáveis multidimensionais que ilustra visualmente o equilíbrio perfeito de 25% para cada um dos quatro eixos estruturantes do modelo MACMI (Modelo Adaptativo para Concessões de Metrô Inteligentes), garantindo que a tecnologia seja sempre um meio de emancipação humana, e não um



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

fim isolado. Cada barra representa a contribuição líquida de cada uma das 22 variáveis para o cálculo da nota final do IDMI (que varia de 0,000 a 1,000):

Eixo Tecnológico (IMM — 25% do total do IDMI): Composto por 6 variáveis, foca no desempenho operacional, na modernização da frota e na eficiência do sistema de transportes. A maior força deste eixo está concentrada na atualização, eficiência e digitalização (somando 15% do total), garantindo frotas modernas e sistemas ágeis.

Eixo Urbano (IIT — 25% do total do IDMI): Composto por 5 variáveis, avalia a caminhabilidade e a integração física da estação com a dinâmica territorial de seu entorno. A Acessibilidade Ativa recebe a maior fatia (6,25%) por constituir a premissa de acesso universal seguro para pedestres e cadeirantes na transição para a "Cidade Justa"

Eixo Social (IDSM — 25% do total do IDMI): Composto por 6 variáveis, mede a inserção socioeconômica da estação no desenvolvimento comunitário do entorno. O Emprego Local lidera o peso deste bloco (6,25%) devido à urgência de transformar estações em polos geradores de renda em territórios de alta vulnerabilidade, como Joana Bezerra e o Coque.

Eixo Ambiental (IMA — 25% do total do IDMI): Composto por 5 variáveis, monitora continuamente a resiliência climática e a transição ecológica da infraestrutura. A Descarbonização (redução de emissões) e a Eficiência Predial (com o uso de telhados



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

verdes e painéis solares) comandam o impacto ecológico, representando juntas 12,50% da nota final

4.4 Proposta de Cláusulas Contratuais para Inovação Contínua

A viabilidade jurídica destas propostas requer sua inserção formal em minutas contratuais de concessão metroferroviária pública. A seguir, apresentam-se as cláusulas recomendadas, prontas para aplicação legal:

Cláusula 1: DA REVISÃO TECNOLÓGICA QUINQUENAL OBRIGATÓRIA. A Concessionária obriga-se a apresentar ao Poder Concedente, a cada ciclo de 5 (cinco) anos de vigência do contrato, um Diagnóstico de Atualização Tecnológica, acompanhado de um Plano de Modernização Operacional. O plano deverá incorporar inovações ferroviárias e digitais que atinjam maturidade tecnológica e viabilidade comercial internacionalmente demonstradas, com cronograma de implementação vinculante para os cinco anos subsequentes.

Cláusula 2: DO FUNDO DE INOVAÇÃO METROFERROVIÁRIA (FIM). A Concessionária constituirá e manterá um Fundo de Inovação Metroferroviária, com dotação financeira correspondente a, no mínimo, 1,5% (um e meio por cento) de sua Receita Operacional Bruta (ROB) anual. Os recursos do FIM serão geridos em conta específica e destinados exclusivamente a investimentos em pesquisa científica aplicada, projetos-piloto de novas tecnologias digitais nas estações, estruturação de Laboratórios Vivos Urbanos e parcerias de pesquisa com universidades públicas locais.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Cláusula 3: DA AUDITORIA TECNOLÓGICA INDEPENDENTE. Os processos de avaliação de atualização tecnológica e medição sistemática do Índice de Modernização Metroferroviária (IMM) serão submetidos a uma Auditoria Tecnológica Independente, a ser contratada por meio de chamada pública tripartite e composta por comitês de especialistas de instituições universitárias de ensino e pesquisa e centros nacionais ou internacionais de pesquisa metroferroviária.

Cláusula 4: DA INTEGRAÇÃO COM AS PLATAFORMAS DE SMART CITIES. As estações de metrô sob regime de concessão deverão, sob responsabilidade exclusiva da Concessionária, ser dotadas de sensores urbanos de monitoramento de tráfego, qualidade do ar e ruídos. A Concessionária obriga-se a fornecer de forma contínua, estável e gratuita, o acesso a dados de fluxo de passageiros e tráfego sob formato de dados abertos estruturados (Open Data APIs), para livre integração com aplicativos de mobilidade do município e pesquisas acadêmicas.

Cláusula 5: DA PARTICIPAÇÃO SOCIAL E CONSELHOS METROPOLITANOS. Fica instituído o Conselho Metropolitano Consultivo de Mobilidade e Inclusão Social, composto por representantes eleitos das associações de bairros das zonas de influência da rede ferroviária, membros de universidades regionais e representantes da Concessionária. O conselho reunir-se-á semestralmente para acompanhar as metas do Índice de Desenvolvimento Socioespacial Metroviário (IDSM) e deliberar sobre as prioridades sociais de inovação.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

CONCLUSÕES

O debate contemporâneo sobre a concessão de sistemas de transporte público de alta capacidade, como os metrô metropolitanos, exige a superação definitiva da dicotomia tradicional e simplista entre gestão puramente pública e gestão privada. A questão central e verdadeiramente relevante não reside na natureza jurídica do operador do sistema, mas sim na robustez e adaptabilidade do arcabouço regulatório e do modelo contratual de governança. Concessões estruturadas sobre contratos estáticos de trinta anos correm o risco crônico de gerar 'estagnação tecnológica contratual', cristalizando ativos físicos e modelos de negócios incompatíveis com as velozes e dinâmicas transformações urbanísticas e digitais do século XXI.

A perda de atratividade operacional decorrente da obsolescência tecnológica reduz de forma drástica o potencial do transporte público sobre trilhos, incentivando o transporte individual motorizado em detrimento da sustentabilidade climática e do direito básico à cidade das classes trabalhadoras. No caso da Região Metropolitana do Recife, cujos desafios históricos de desigualdade socioeconômica são severos, o metrô não deve ser compreendido unicamente como um ativo de engenharia de transportes. Ele representa uma infraestrutura de sobrevivência diária, um instrumento de dignidade e o principal mecanismo de redistribuição de oportunidades territoriais e de inclusão econômica.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O projeto inovador concebido para o bairro de Joana Bezerra serve como um paradigma oposto ao modelo de concessão tradicional rígido. Ele comprova que a transformação de uma estação ferroviária degradada em uma Estação Inteligente, sob a ótica da Estação Metroviária Inteligente Centrada nas Pessoas e do Desenvolvimento Orientado ao Transporte Centrado no Desenvolvimento Humano (DOT-DH), atua diretamente como plataforma de desenvolvimento social, inclusão digital avançada e comércio comunitário protegido.

A implementação prática do Modelo Adaptativo para Concessões de Metrô Inteligentes (MACMI) e dos índices propostos (IMM, IIT, IDSM) oferece aos planejadores públicos uma ferramenta jurídica de grande relevância para mitigar os riscos de estagnação contratual. O verdadeiro desafio das próximas três décadas não reside unicamente em transportar passageiros com eficiência e velocidade física comercial. Reside, antes de tudo, em conceber sistemas de mobilidade integrados que funcionem como plataformas estruturais de cidadania ativa, justiça socioespacial e emancipação humana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DOS TRANSPORTADORES DE PASSAGEIROS SOBRE TRILHOS (ANPTRILHOS). O Metrô da Bahia e a contratação de PPP. Brasília, 2018. Disponível em: <https://anptrilhos.org.br/o-metro-da-bahia-e-a-contratacao-de-ppp/>. Acesso em: 26 jun. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

BAHIA. Secretaria da Fazenda do Estado da Bahia. Metrô de Salvador e Lauro de Freitas

– PPP. Salvador, 2026. Disponível em:

<https://www.sefaz.ba.gov.br/ppp/projetos/projetos-em-execucao/metro-de-salvador-e-lauro-de-freitas/>. Acesso em: 26 jun. 2026.

BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. Contrato de Concessão n.º 01/2013 –

Sistema Metroviário de Salvador e Lauro de Freitas. Salvador, 2013. Disponível em:

https://homologa.ba.gov.br/sedur/sites/site-sedur/files/migracao_2024/arquivos/wp-content/uploads/2022/09/4.-Contrato-da-PPP-TOMO-1.pdf. Acesso em: 26 jun. 2026.

BANISTER, D. The sustainable mobility paradigm. Transport Policy, Oxford, v. 15, n. 2, p. 73–80, 2008.

BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS (BIS). Infrastructure Governance and Long-Term Concession Risks. Basel, 2018.

BATTY, M. et al. Smart cities of the future. The European Physical Journal Special Topics, v. 214, n. 1, p. 481–518, 2012.

BRASIL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). CBTU Belo

Horizonte – Hub de Projetos. Rio de Janeiro, 2026. Disponível em:

<https://hubdeprojetos.bndes.gov.br/pt/projetos/CBTU-BH/7d48b409-e4a7-11eb-b2b1-0242ac11002b>. Acesso em: 26 jun. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

BRASIL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Com estruturação do BNDES, edital de concessão do metrô de Belo Horizonte é publicado.

Rio de Janeiro, 2022. Disponível em:

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/com-estruturacao-do-bndes-edital-de-concessao-do-metro-de-belo-horizonte-e-publicado>.

Acesso em: 26 jun. 2026.

BRASIL. Programa de Parcerias de Investimentos (PPI). CBTU-MG – Linha 2 do Metrô da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Brasília, 2026. Disponível em:

<https://ppi.gov.br/projetos/cbtu-mg-linha-2-do-metro-da-regiao-metropolitana-de-belo-horizonte-mg/>. Acesso em: 26 jun. 2026.

CARAGLIU, A.; DEL BO, C.; NIJKAMP, P. Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, v. 18, n. 2, p. 65–82, 2011.

CERVERO, R. *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Washington, D.C.: Island Press, 1998.

CERVERO, R.; KOCKELMAN, K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D*, v. 2, n. 3, p. 199–219, 1997.

FAINSTEIN, S. *The Just City*. Ithaca: Cornell University Press, 2010.

GEHL, J. *Cities for People*. Washington, D.C.: Island Press, 2010.

HALL, P. *Cities of Tomorrow*. 4. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2014.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

HARVEY, D. Rebel Cities: From the Right to the City to the Urban Revolution. London: Verso, 2012.

HOLLANDS, R. Will the real smart city please stand up? City, v. 12, n. 3, p. 303–320, 2008.

IPEA. Condições institucionais de investimento em infraestrutura: Sistema Metroviário de Salvador e Lauro de Freitas. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017.

Disponível em:

<https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/1702>

22_rp_condic_inst_invest_infra_brasil_sist_metro_salvador_lauro_freitas.PDF. Acesso em: 26 jun. 2026.

JOTA. O arranjo federativo do projeto do Metrô da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.jota.info/opiniao-e-analise/colunas/infra/o-arranjo-federativo-do-projeto-do-metro-da-regiao-metropolitana-de-bh>. Acesso em: 26 jun. 2026.

KITCHIN, R. The real-time city? Big data and smart urbanism. GeoJournal, v. 79, n. 1, p. 1–14, 2014.

LAND TRANSPORT AUTHORITY OF SINGAPORE (LTA). Land Transport Master Plan 2040. Singapore, 2019.

LEFEBVRE, H. Le Droit à la Ville. Paris: Anthropos, 1968.

LEITE, C. Cidades Sustentáveis, Cidades Inteligentes. Porto Alegre: Bookman, 2012.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

MOTIVA. PPP Sistema Metroviário Salvador e Lauro de Freitas – Comunicado ao Mercado. São Paulo, 2026. Disponível em:

<https://ri.motiva.com.br/noticia/comunicado-ao-mercado-ppp-sistema-metroviario-salvador-e-lauro-de-freitas/>. Acesso em: 26 jun. 2026.

MTR CORPORATION. Annual Report and Sustainability Report. Hong Kong, edições diversas.

OLIVEIRA, Á.; CAMPOLARGO, M. From Smart Cities to Human Smart Cities. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL GOVERNMENT RESEARCH, 16., 2015. Proceedings [...]. New York: ACM, 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015.

OSTROM, E. Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

RIO DE JANEIRO (Estado). Casa Civil. Edital e Concessão – Sistema Ferroviário Metropolitano (TrensRJ). Rio de Janeiro, 2026. Disponível em: <https://www.rj.gov.br/casacivil/node/1069>. Acesso em: 26 jun. 2026.

ROGERS, R.; GUMUCHDJIAN, P. Cities for a Small Planet. Boulder: Westview Press, 1997.

SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS. Grand Paris Express: Innovation and Sustainable Mobility. Paris, 2024.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

SUZUKI, H.; CERVERO, R.; IUCHI, K. Transforming Cities with Transit: Transit and Land-Use Integration for Sustainable Urban Development. Washington, D.C.: World Bank, 2013.

TRANSPORT FOR LONDON. Public Private Partnership Review: Lessons Learned from the London Underground PPP. London, 2010.

TRILHOS DO RIO. Forças policiais planejam medidas de segurança para a transição da SuperVia para a TrensRJ. Rio de Janeiro, 2026. Disponível em: <https://trilhosdorio.org/forcas-policiais-planejam-medidas-de-seguranca-para-a-transicao-da-supervia-para-a-trens-rj/>. Acesso em: 26 jun. 2026.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. Nairobi: UN-Habitat, 2022.

WORLD BANK. Transit-Oriented Development Implementation Resources and Tools. Washington, D.C., 2021.

YIGITCANLAR, T. et al. Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. Sustainable Cities and Society, v. 45, p. 348–365, 2019.