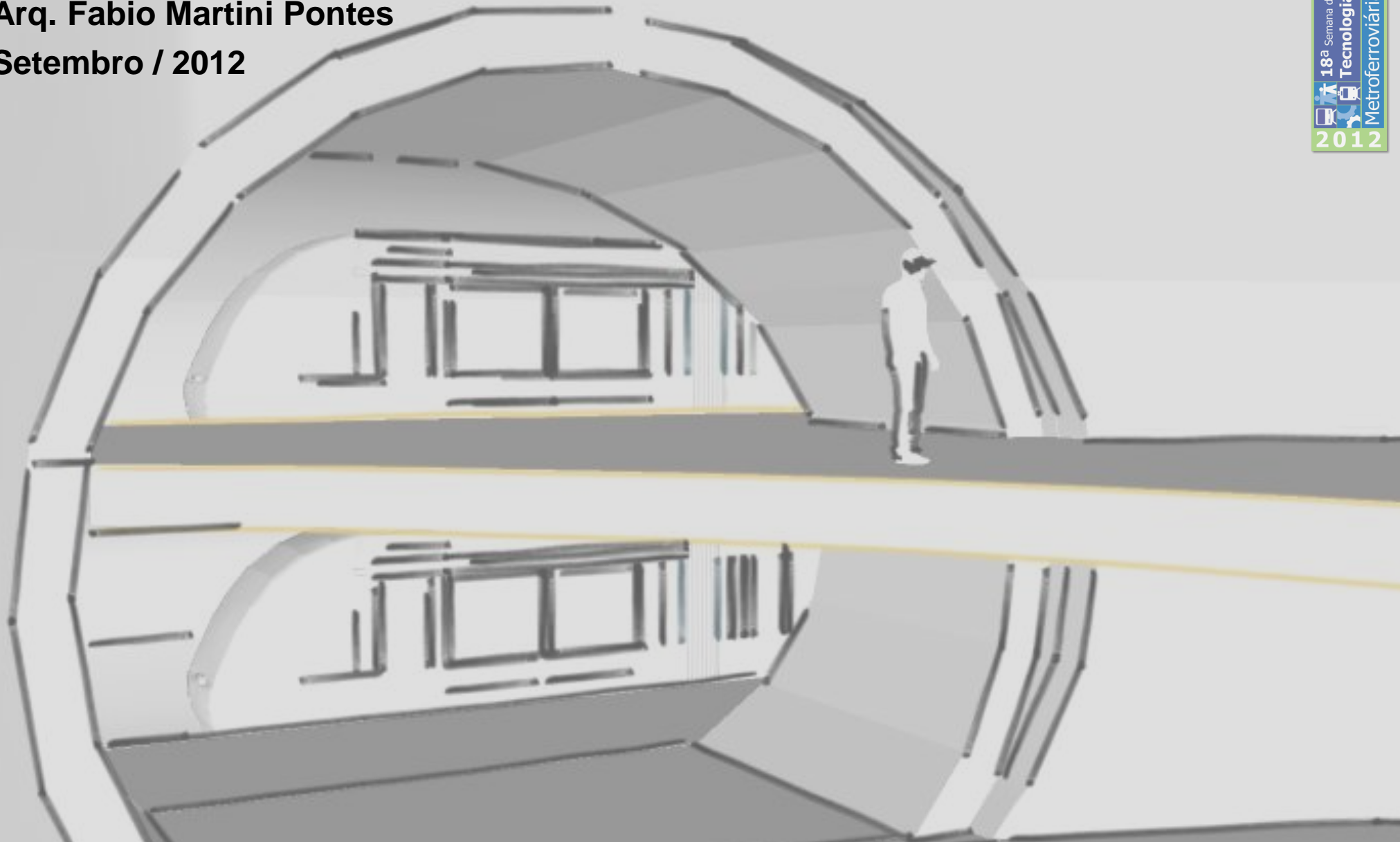


18ª Semana de Tecnologia Metroferroviária - AEAMESP

Arq. Fabio Martini Pontes

Setembro / 2012



QUAL O LIMITE DA MÉDIA CAPACIDADE?

A utilização do metrô leve subterrâneo nas grandes cidades brasileiras



METRÔ - DEFINIÇÃO

Sistema de transporte urbano formado por **veículos ferroviários de alta capacidade** operando em **via permanente completamente segregada**, com *headways* (intervalo entre trens) baixos ao longo do dia e elevados índices de confiabilidade e segurança;

Possui a maior capacidade de carregamento dentre todos os modos de transporte, porém sua implantação majoritariamente em túnel ou elevado é de elevado custo.

Funciona idealmente para carregamentos **acima de 30 mil passageiros / hora / sentido**;

GRAUS DE SEGREGAÇÃO VIA PERMANENTE



Não segregado (Enoshima)
não é metrô



Semi-segregado (Newcastle)
não é metrô



Segregado (Madri)
é metrô (subterrâneo)



Segregado (Chicago)
é metrô (elevado)



METRÔ LEVE - DEFINIÇÃO

Possui todos os atributos do metrô convencional, porém, diferentemente deste, **usa veículos de menor gabarito** (e conseqüentemente, menor capacidade);

Através da evolução dos sistemas de comunicações e controle de trens, tornou-se possível a redução do intervalo entre trens (*headway*) para valores muito baixos (menores que dois minutos), permitindo que mesmo veículos de menor capacidade consigam transportar carregamentos entre **10 mil e 30 mil passageiros/hora/sentido**.

METRÔ LEVE - EXEMPLOS



AGT (Toulouse)



Motor Linear (Vancouver)



Monotrilho (Tóquio)



VLT piso baixo (Sevilha)



O CASO DE SEVILHA



Tranvía de Sevilla
VLT de piso baixo na rua
não é metrô



Metro de Sevilla
O mesmo VLT em túnel
é metrô (leve)



LIMITAÇÕES ATUAIS

Porém, chegamos a um limite no potencial de crescimento da capacidade dos metrô leves:

- os *headways* operacionais chegaram a valores próximos do mínimo realizável (cerca de 80 segundos);
- maiores capacidades passariam necessariamente pela ampliação da capacidade do veículo, ou seja, no **aumento do comprimento das composições.**



Com o aumento do comprimento dos trens, o metrô leve **deixa de ser vantajoso economicamente, especialmente se subterrâneo:**

- necessidade de maiores estações, aproximando o custo construtivo do encontrado no metrô convencional;
- dificuldade de aumento das plataformas em sistemas já existentes – obras complexas e inúmeras interferências à operação;

Por conta desses fatores, o metrô leve subterrâneo não costuma ser utilizado para carregamentos **acima de 30 mil passageiros / hora / sentido;**



Caso consigamos aumentar o comprimento dos trens sem que isso implique aumentos expressivos nos custos de construção, será possível continuar ampliando a capacidade de transporte dos metrô leves para valores mais próximos dos encontrados no metrô convencional, mantendo ainda importantes economias construtivas e operacionais.

Porém, como fazê-lo?

Para alcançar este objetivo, propõe-se aliar duas soluções de transporte sobre trilhos aplicadas com sucesso nos últimos anos:



1) método construtivo Linhas 9/10 do metrô de Barcelona



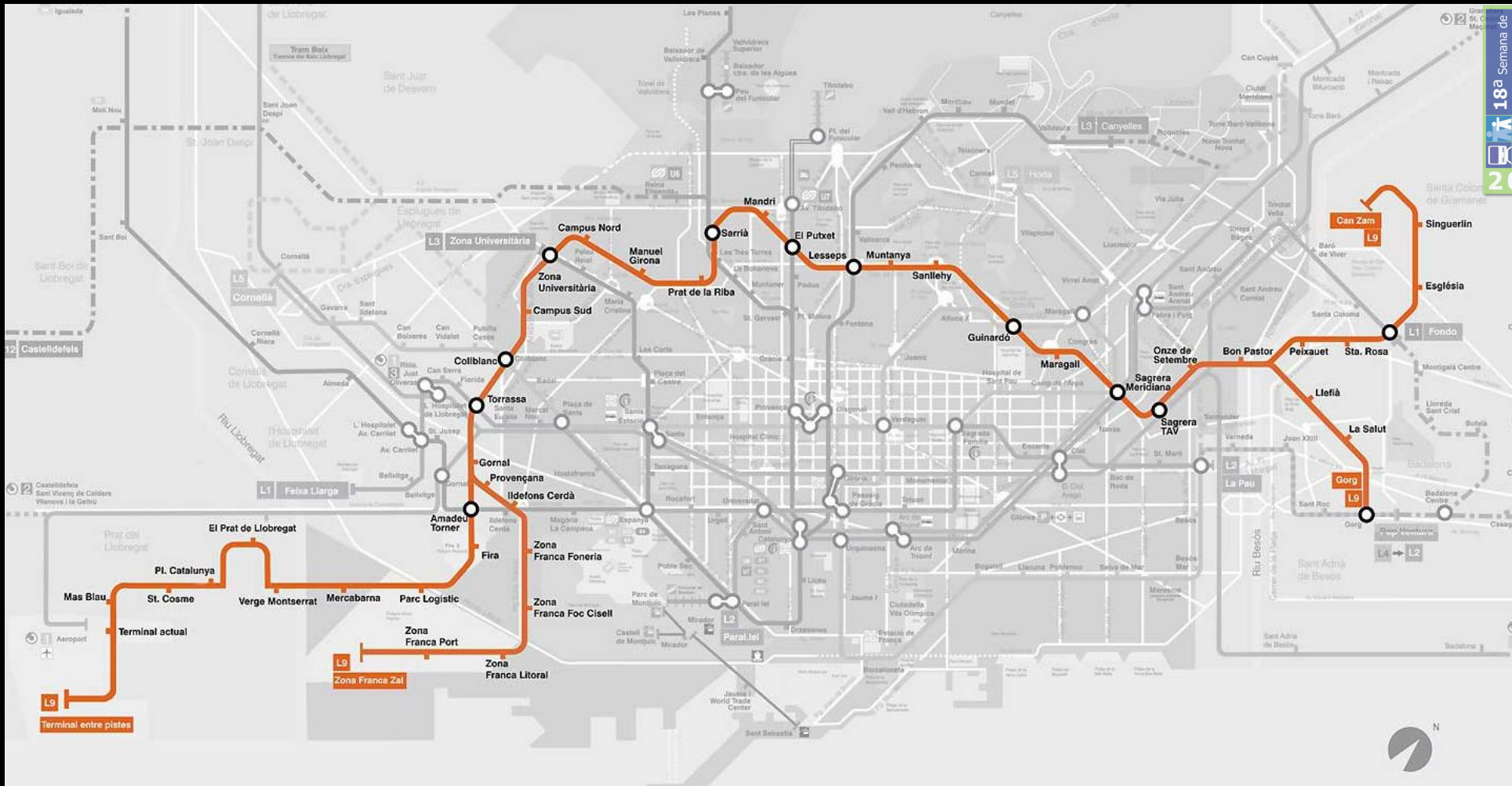
2) VLTs (veículos leves sobre trilhos) de piso baixo;



1) O MÉTODO CONSTRUTIVO

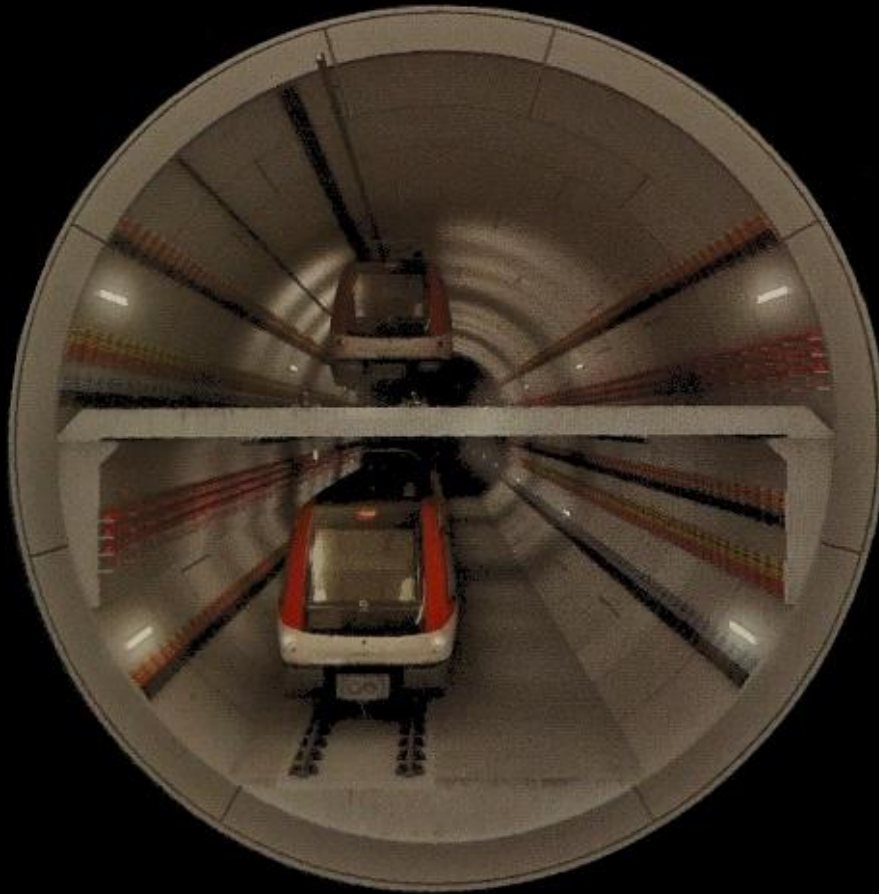
Utilizado na construção das linhas 9 e 10 do metrô de Barcelona:

- inauguração parcial em 2009;
- comprimento total previsto de 47,8 km e 52 estações;
- quando terminada, será a maior linha automática da Europa;
- 120 milhões de usuários anuais (previsão linha completa).



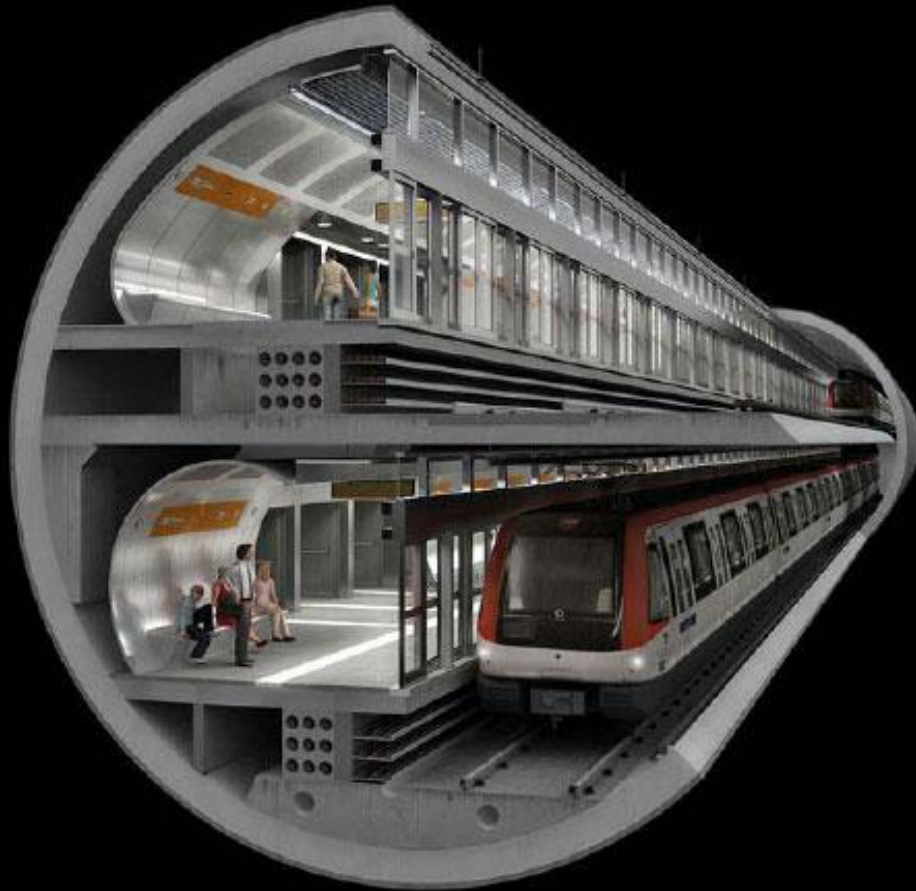
A nova linha fará um grande arco ao norte da cidade, interceptando todas as linhas radiais de metrô, além de implantar-se em terreno montanhoso, densamente povoado e repleto de interferências subterrâneas (garagens subterrâneas, túneis metroviários e rodoviários, fundações de edifícios, etc).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



- túneis de via escavados por meio de TBMs (*tunnel boring machines*), com 12 metros de diâmetro;
- pares de vias dispostos em dois níveis sobrepostos: possibilidade de utilização de uma via por nível como estacionamento;

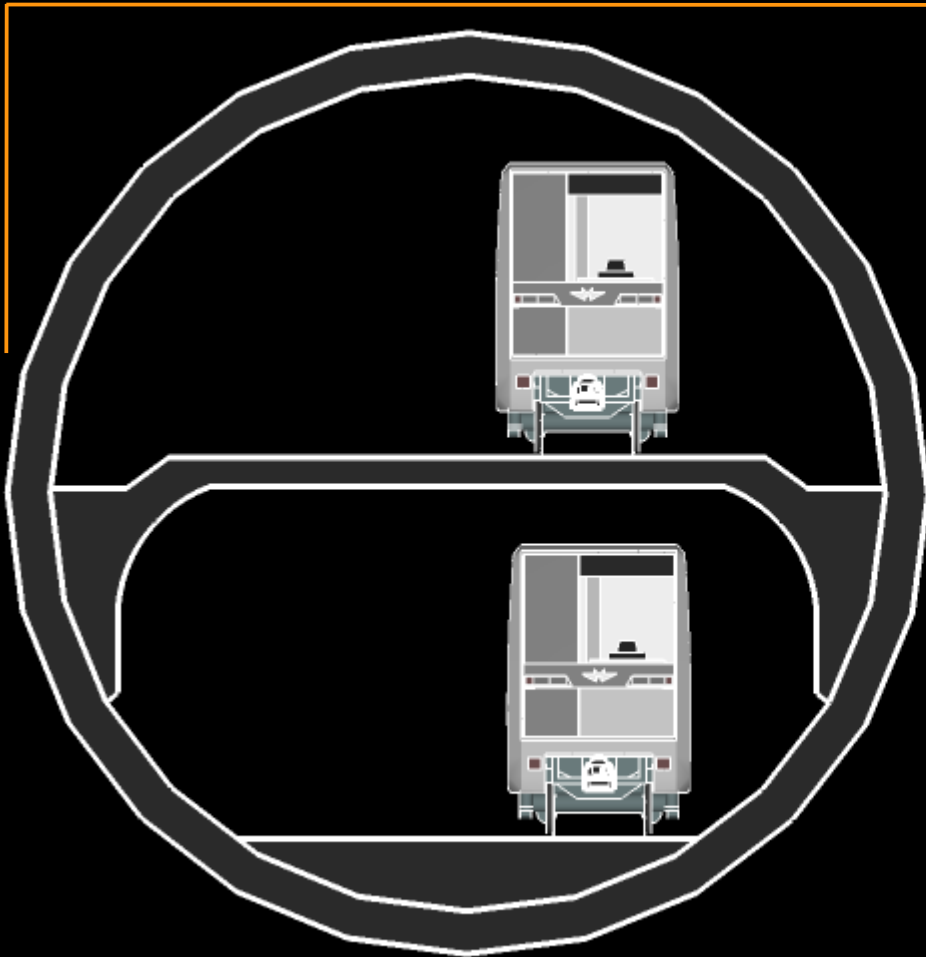
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



- plataformas inseridas dentro do túnel de via: diâmetro do túnel mantém-se constante ao longo de todo o trajeto;
- todas as instalações de apoio (salas técnicas e operacionais), escadas rolantes, elevadores, bloqueios, etc localizam-se no poço de acesso, fora do túnel;

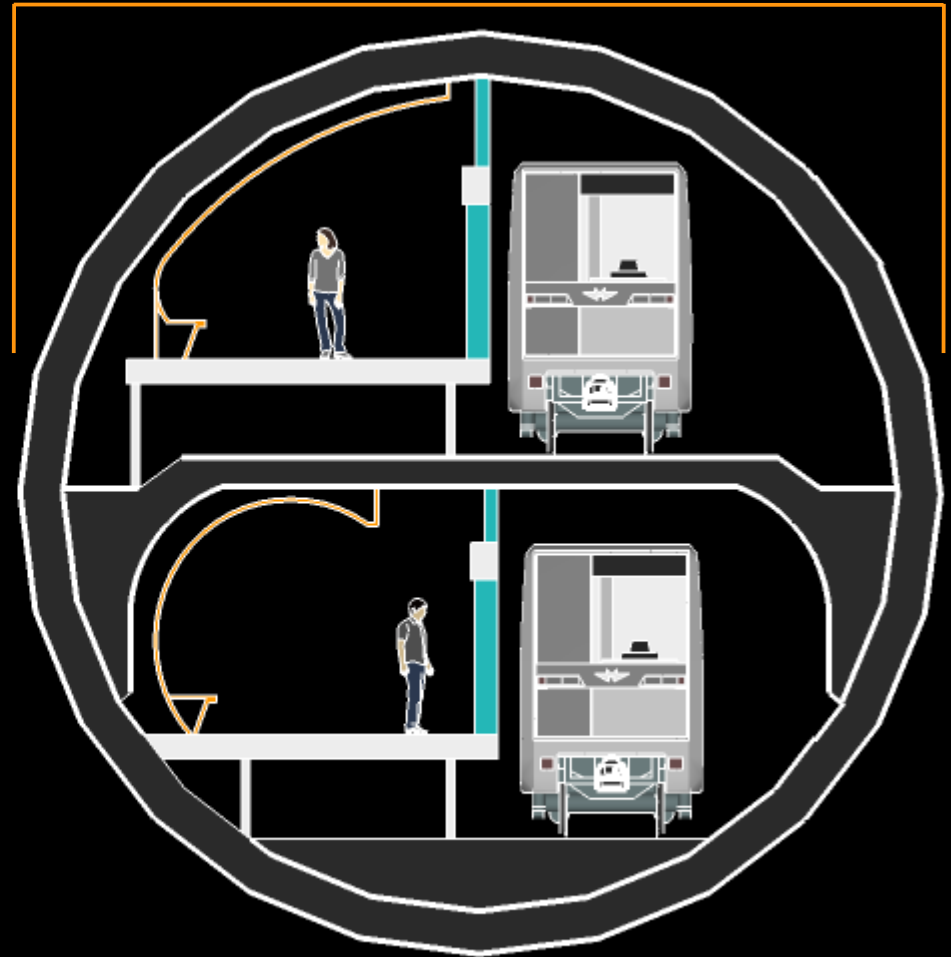
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

12,00



Seção transversal túnel de via

12,00



Seção transversal túnel estação



- estações em poços de grande profundidade com acesso através de elevadores de alta capacidade e/ou escadas rolantes;
- poço de acesso não precisa estar sobre o túnel, visto que ambas as plataformas estão situadas no mesmo lado do mesmo;



Plataforma (nível superior) estação tipo – Santa Rosa



DIFICULDADES

- diminuição da seção transversal dos túneis de estações ocorre à custa do aumento generalizado da seção transversal do túnel de via (12 metros de diâmetro, contra 9,5 m da Linha 4-Amarela do Metrô-SP): **seção transversal 60% maior;**
- diâmetro da tuneladora muito acima do normalmente praticado em escavações metroviárias ao redor do mundo (entre 9,5 m e 10,5 m): maior risco construtivo (pressão d'água e solo) e menor produtividade da escavação.



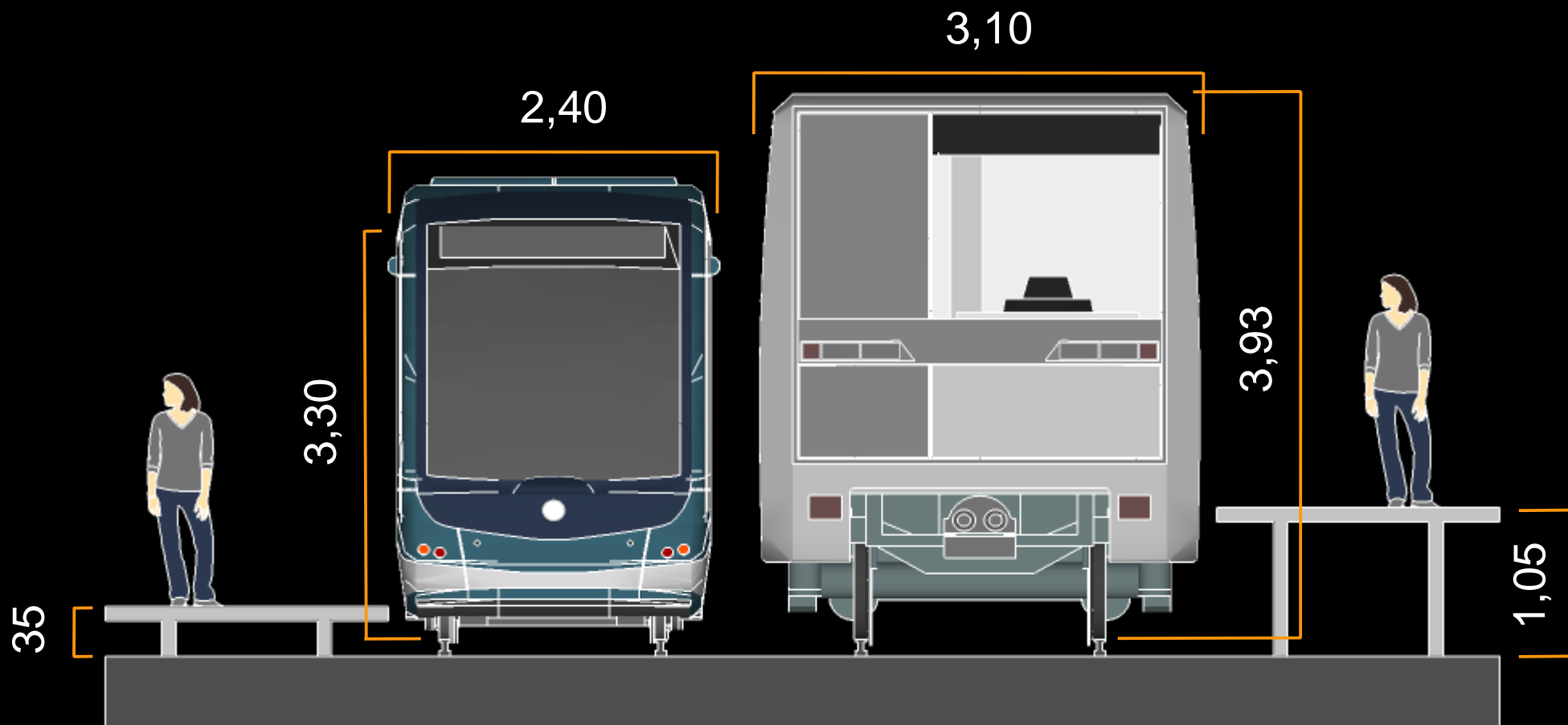
2) O MATERIAL RODANTE

Visando reduzir o diâmetro do túnel, pesquisou-se veículos sobre trilhos de menores dimensões utilizados em sistemas de metrô leve. Dentre as opções disponíveis (AGTs, trens de motor linear e VLTs) foi selecionado o **veículo leve sobre trilhos (VLT) de piso baixo** pelas seguintes razões:

- tecnologia mais conhecida e amplamente difundida → evita-se assim os custos mais elevados com a compra do material rodante;
- piso baixo (35 cm de altura do chão) → permite que a altura total do trem seja reduzida sem comprometer o pé-direito interno do salão de passageiros; da mesma forma, permite rebaixar a plataforma da estação sem sacrificar seu pé-direito.



DIMENSÕES VLT E METRÔ CONVENCIONAL





CARACTERÍSTICAS DO VLT UTILIZADO (BUDAPESTE)

- Comprimento: 54 metros;
- Largura: 2,40 metros;
- Altura: 3,30 metros;
- Vel. máxima: 70 km/h
- Piso baixo integral;
- Capacidade: 490 pessoas





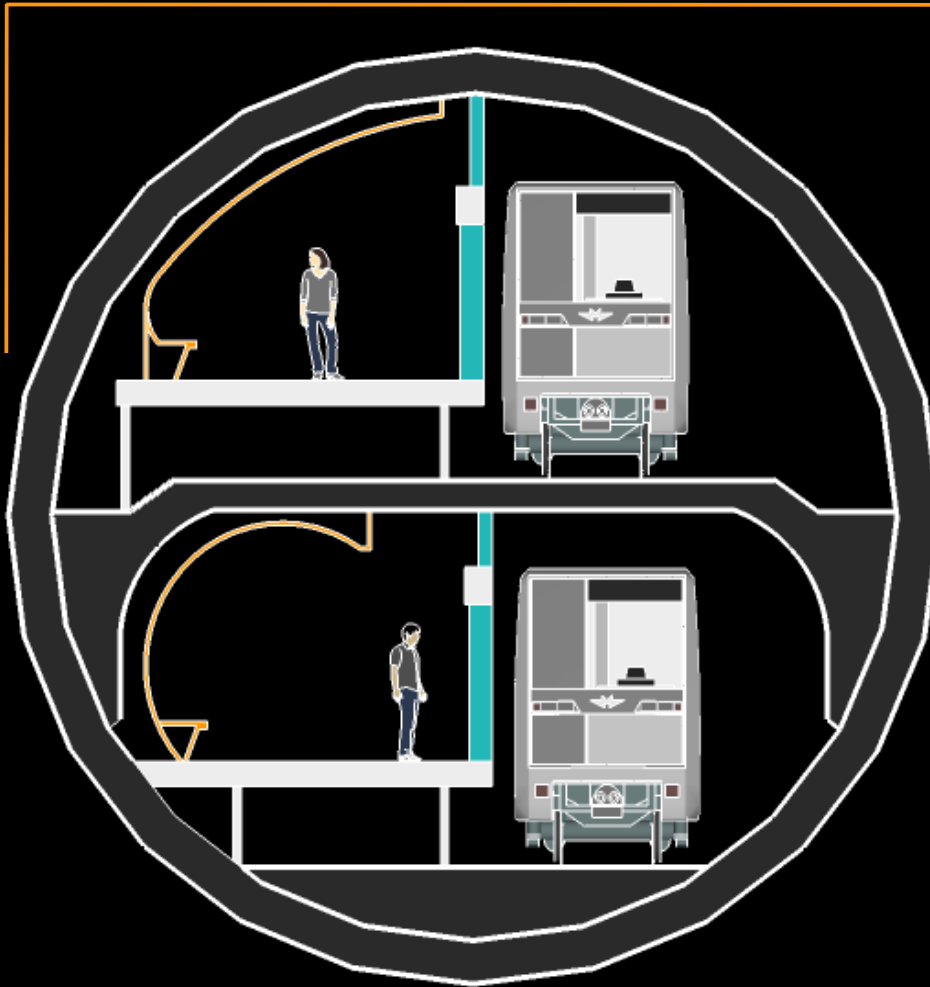
Disposição interna: embarque em nível, múltiplas portas e passagem livre entre carros.



A SOLUÇÃO PROPOSTA

- O uso de VLTs permitiu que o diâmetro do túnel fosse reduzido de 12m para 10,5m → **diminuição da seção transversal em 23%**;
- A menor largura dos veículos é mais do que compensada pela possibilidade de acoplamento de mais carros à composição;
- Seria possível atingir carregamentos de **alta capacidade** (até cerca de 60 mil passageiros / hora / sentido), transformando o metrô leve em modo de alta capacidade;
- A possibilidade de implantação de estacionamentos de trens ao longo do túnel poderia reduzir sensivelmente as áreas dos pátios de manobra.

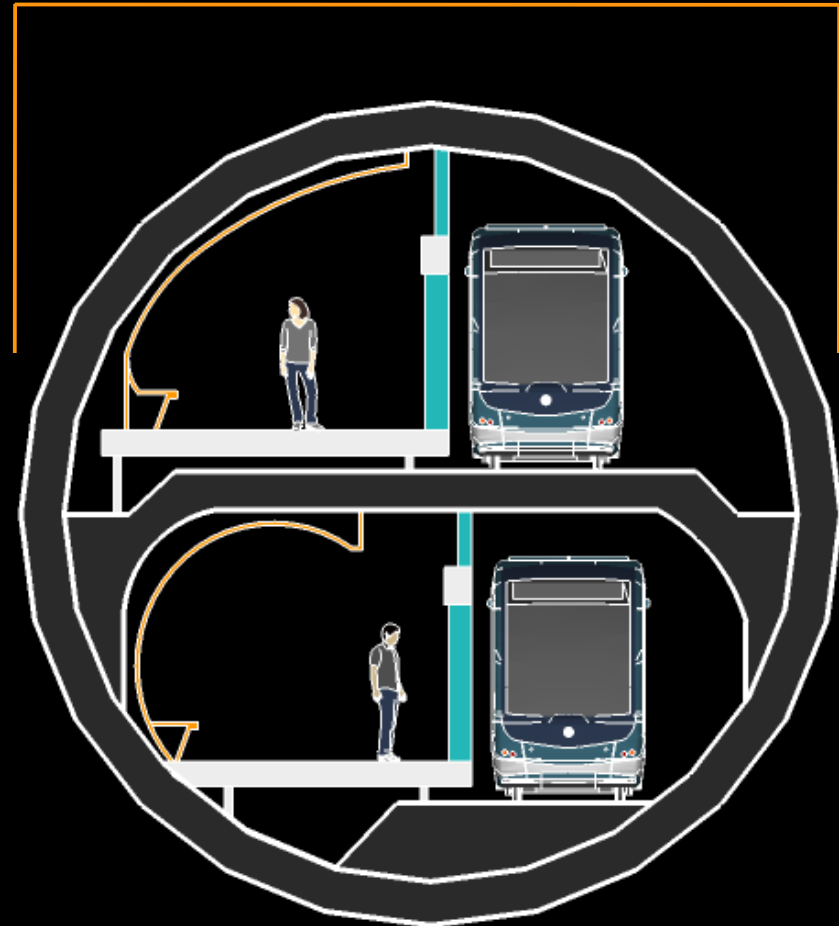
12,00



Seção transversal túnel L9 Barcelona

113 m²

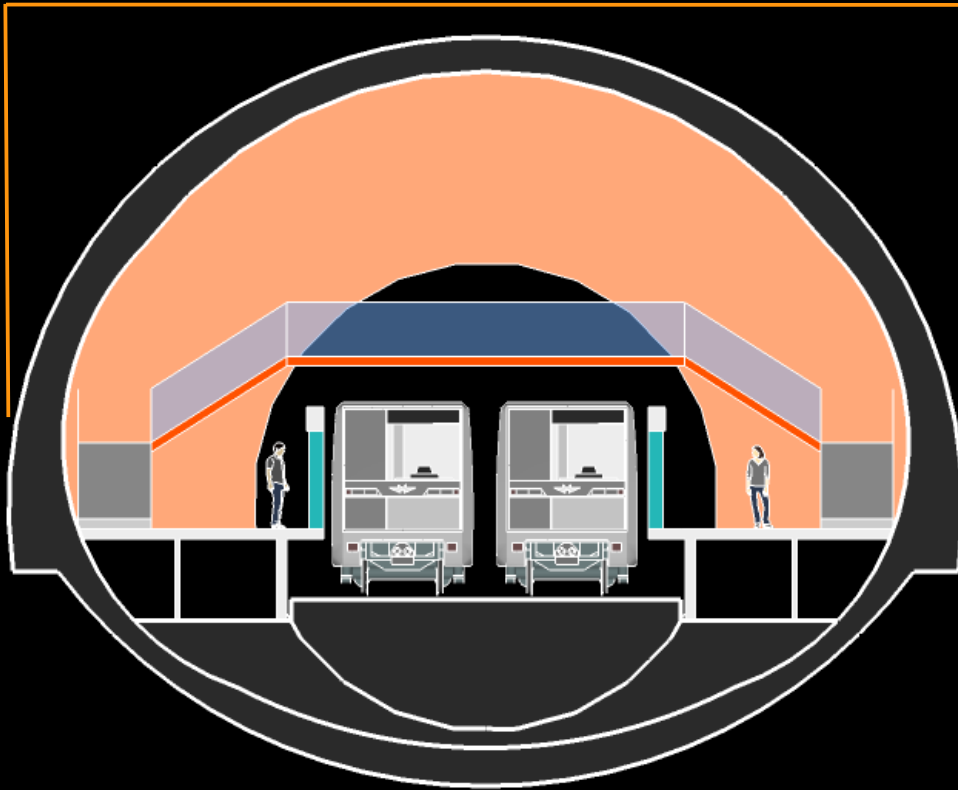
10,50



Seção transversal túnel proposto

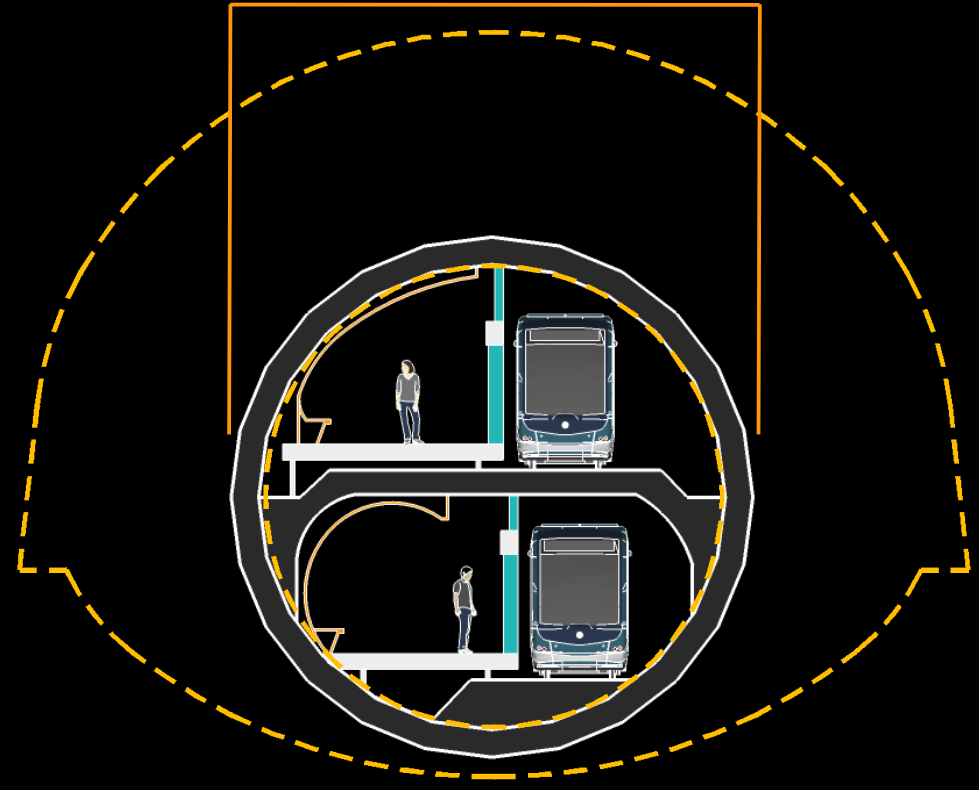
87 m² (-23%)

19,70



Seção transversal estação em NATM
229 m²

10,50

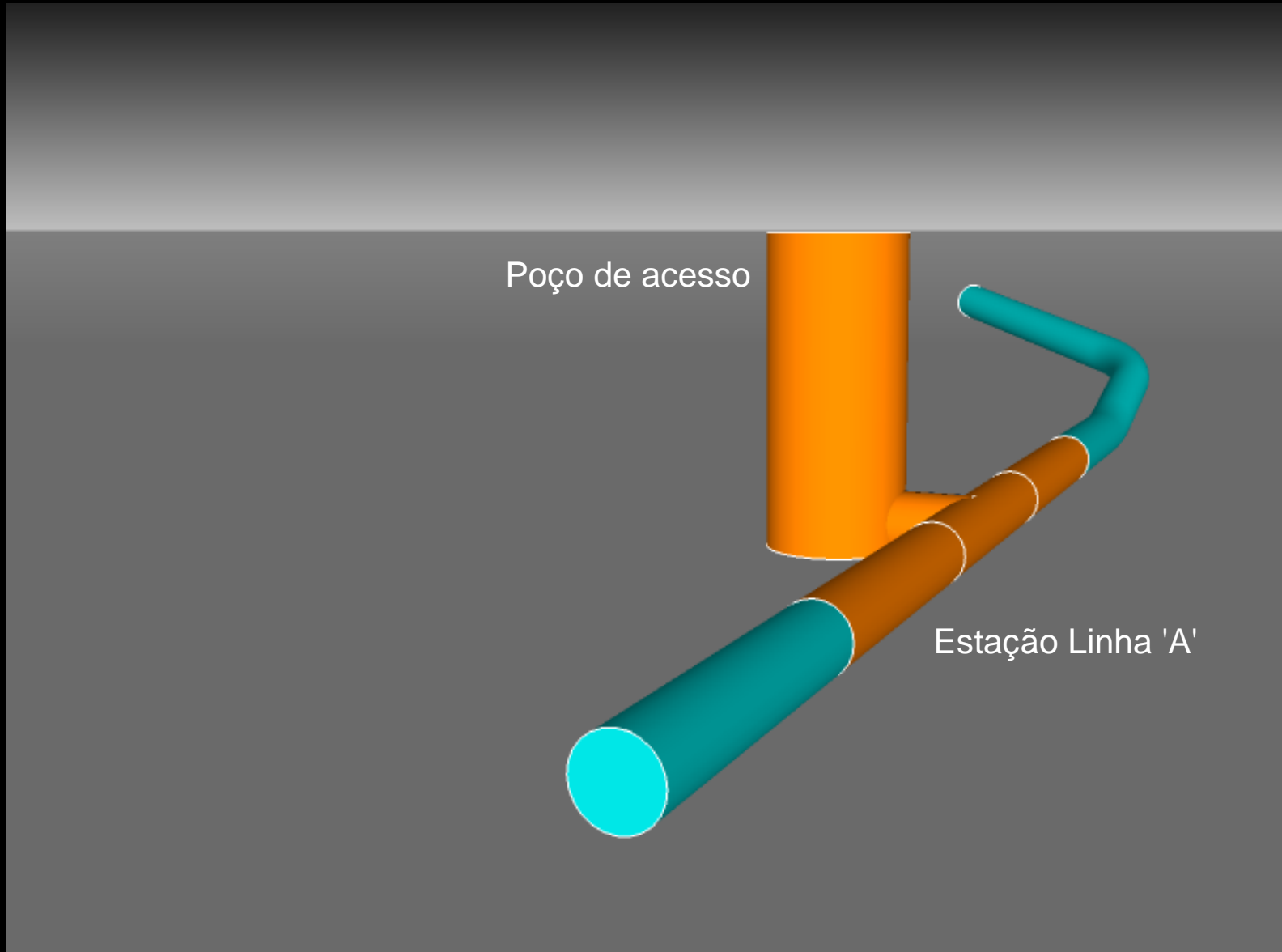


Seção transversal túnel proposto
87 m² (-62%)

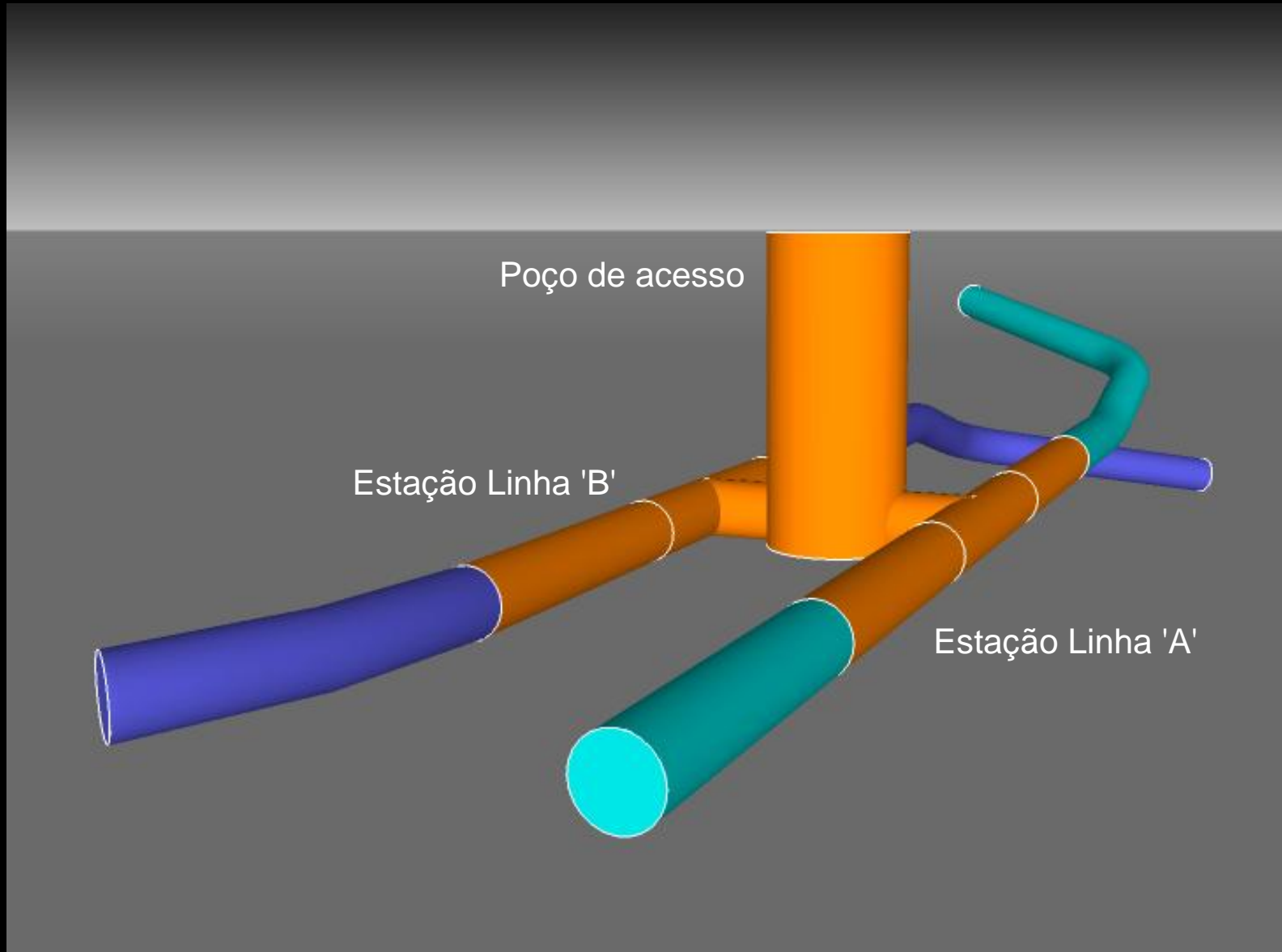


CAPACIDADE DE TRANSPORTE (em pass./hora/sentido)

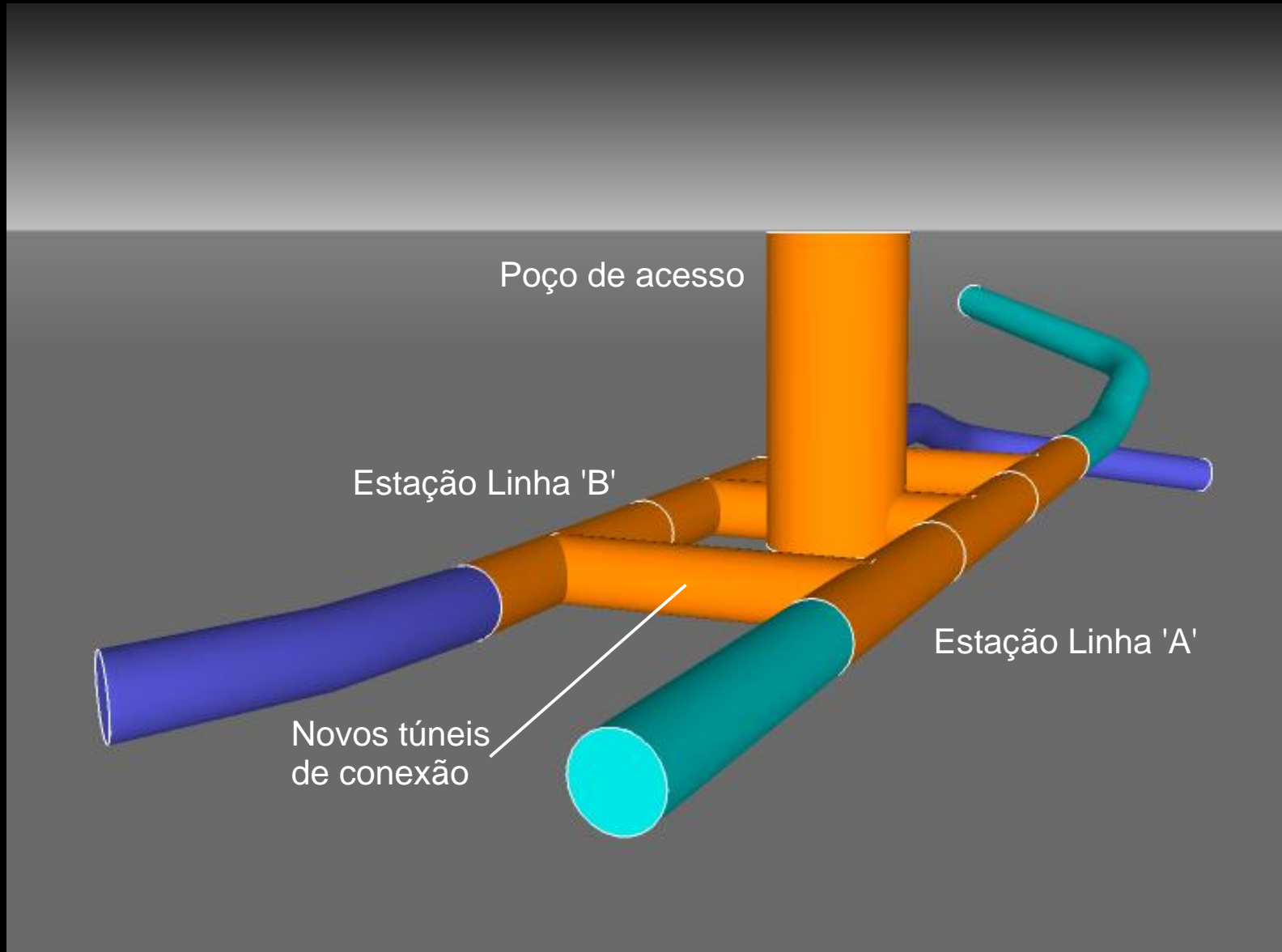
	Headway = 180 s	Headway = 120 s	Headway = 90 s
1 VLT (54 metros)	9.800	14.700	19.600
2 VLTs (108 metros)	19.600	29.400	39.200
3 VLTs (162 metros)	29.400	44.100	58.800



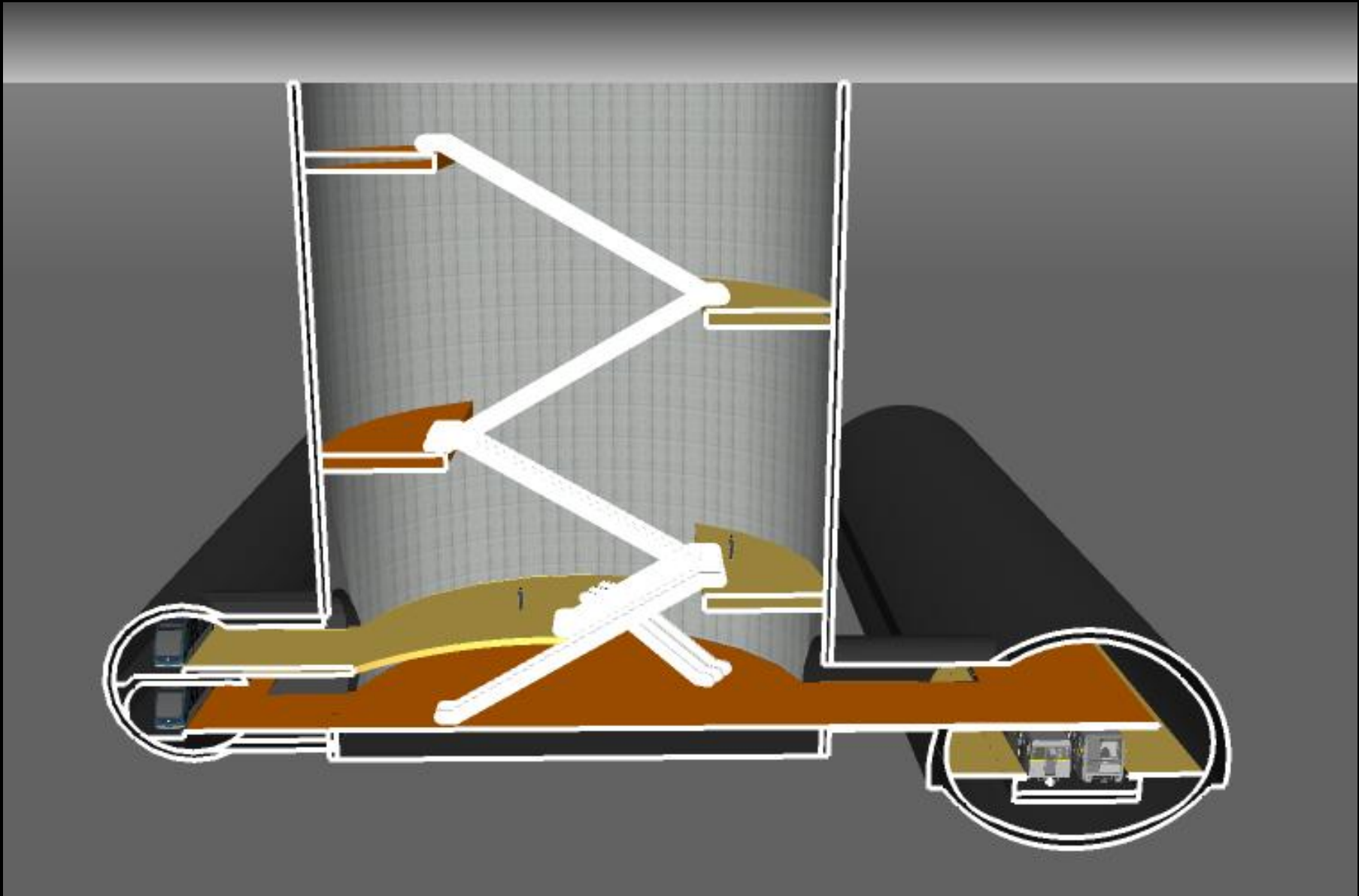
Exemplo possível de implantação de conexão entre duas linhas no modelo proposto.



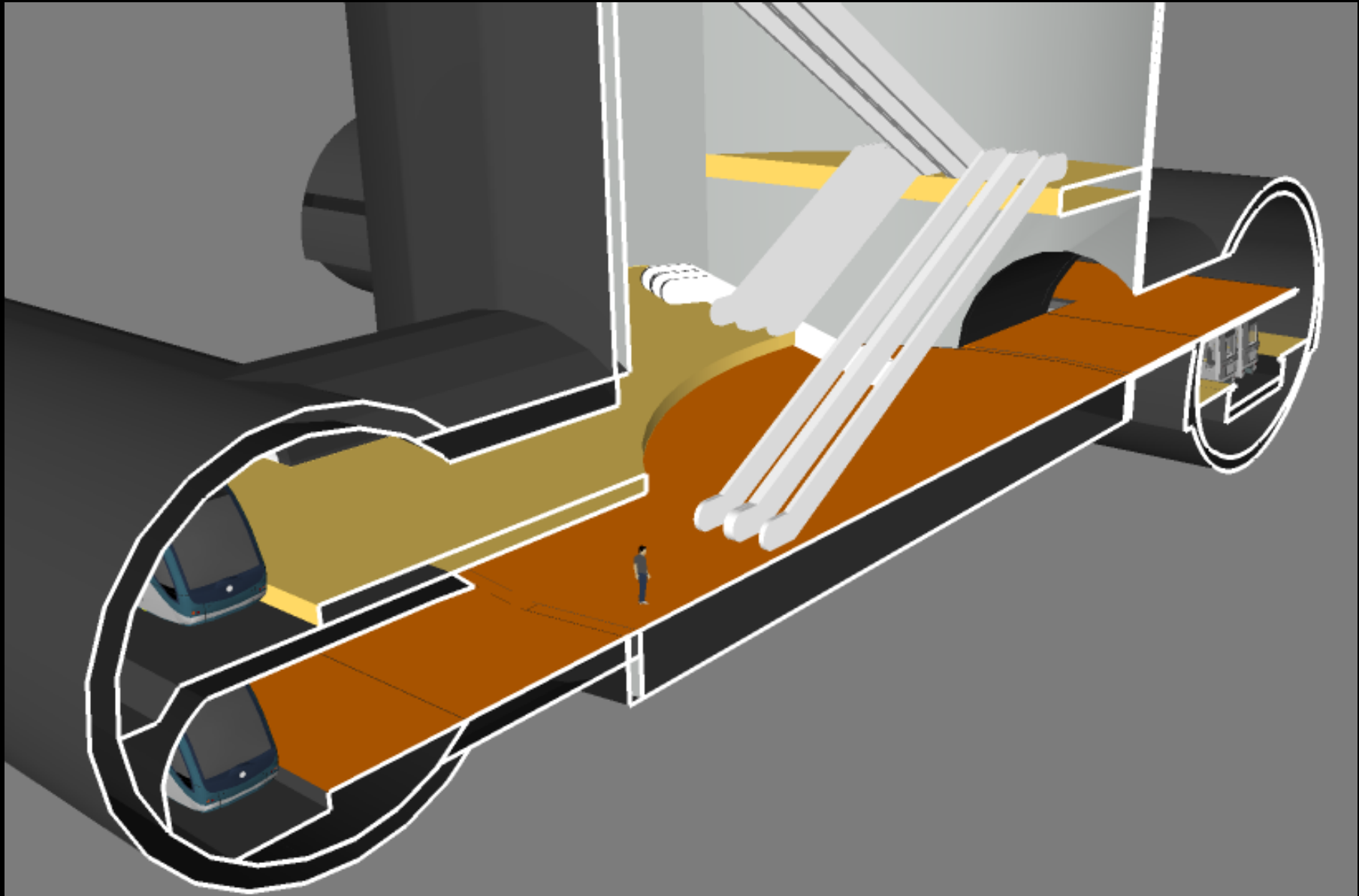
Exemplo possível de implantação de conexão entre duas linhas no modelo proposto.



Exemplo possível de implantação de conexão entre duas linhas no modelo proposto.



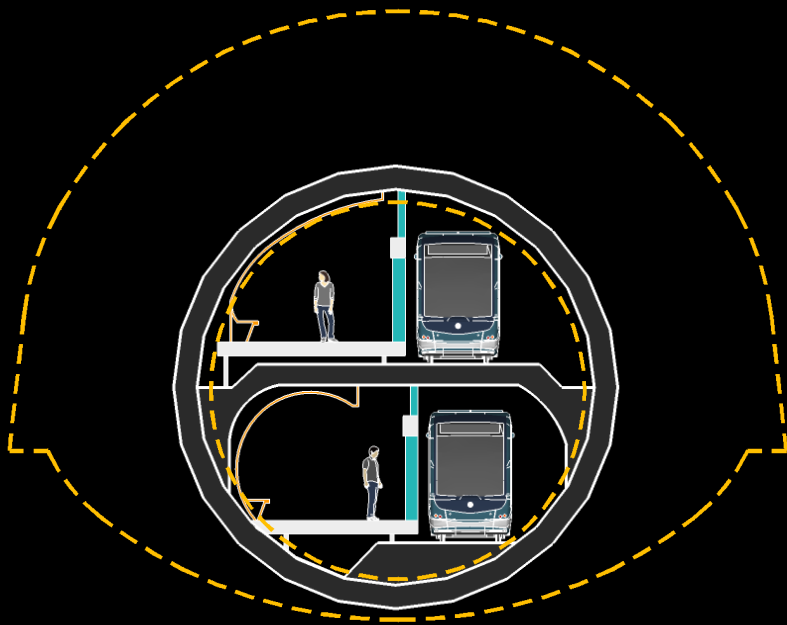
Exemplo possível de integração com estação existente (à direita) aproveitando o poço de acesso.



Exemplo possível de integração com estação existente (à direita) aproveitando o poço de acesso.

BENEFÍCIOS

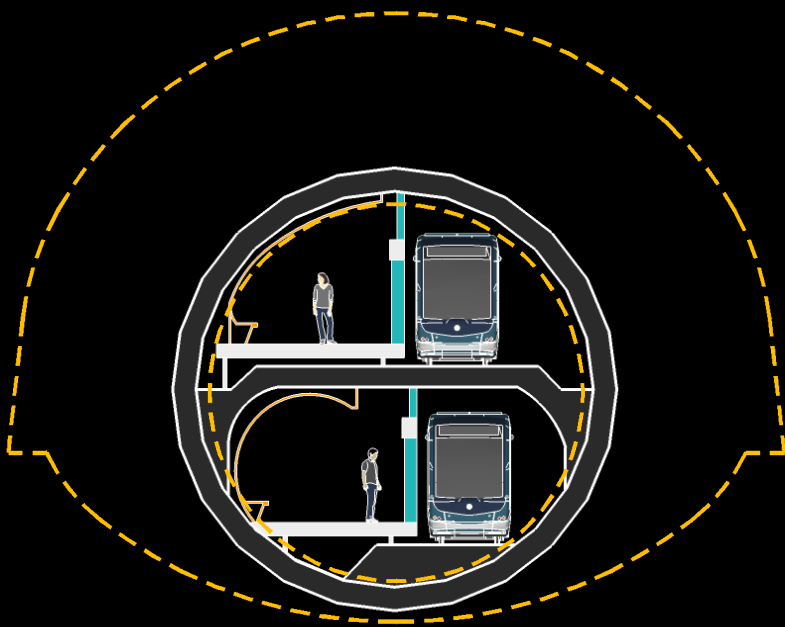
A principal vantagem seria econômica: tanto a construção como a operação seriam barateadas, **sem comprometer a capacidade de transporte:**



- grande diminuição na seção transversal dos túneis de estação **(cerca de 60% de redução)** em relação às estações feitas por NATM, justamente na parte mais complexa (alta profundidade) da obra subterrânea;

BENEFÍCIOS

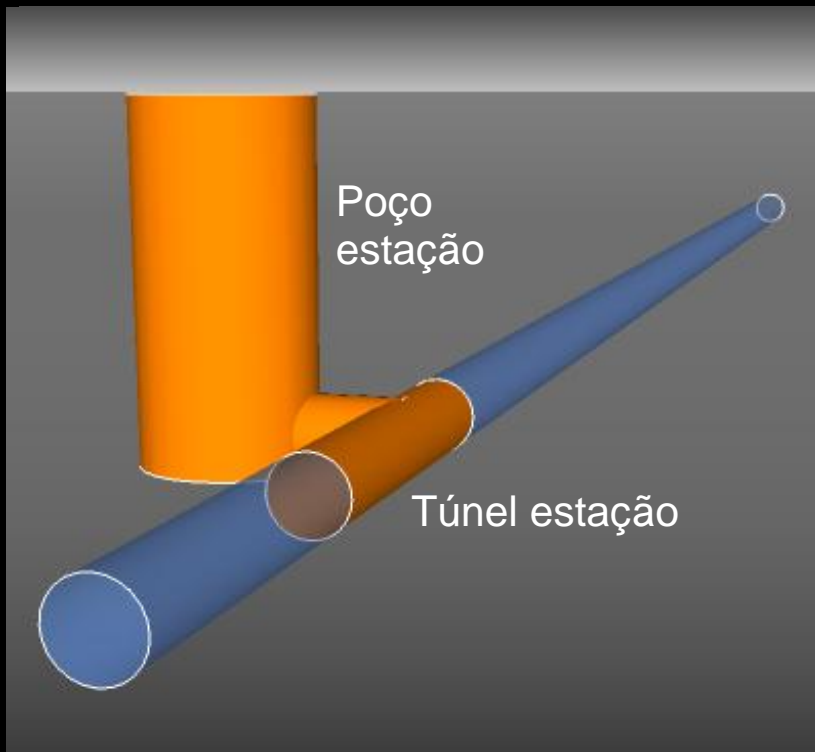
A principal vantagem seria econômica: tanto a construção como a operação seriam barateadas, **sem comprometer a capacidade de transporte:**



- **redução global das escavações estimada entre 25% e 30%**; tão importante quanto a diminuição do volume global de escavações é a manutenção da mesma seção ao longo de todo o túnel (diminuindo assim a complexidade e o risco construtivo da obra) e a menor utilização de métodos como o NATM e o VCA para os túneis;

BENEFÍCIOS

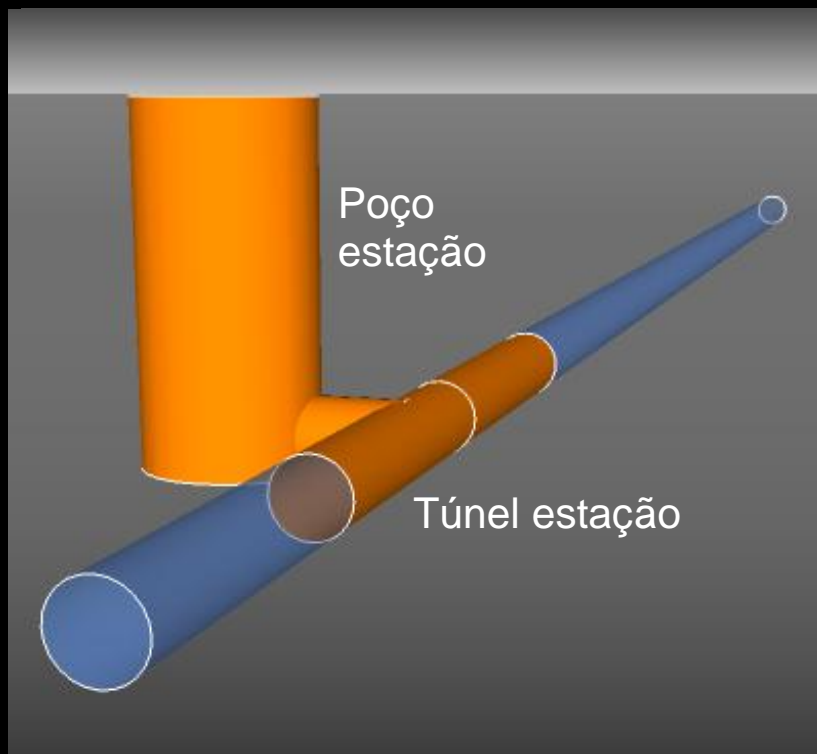
A principal vantagem seria econômica: tanto a construção como a operação seriam barateadas, **sem comprometer a capacidade de transporte:**



- possibilidade de **extensão de plataformas** ou de **inclusão de novas estações** conforme o crescimento da demanda;
- maior **flexibilidade na escolha dos locais das estações**, visto que o poço não necessitaria estar exatamente sobre o túnel de via;

BENEFÍCIOS

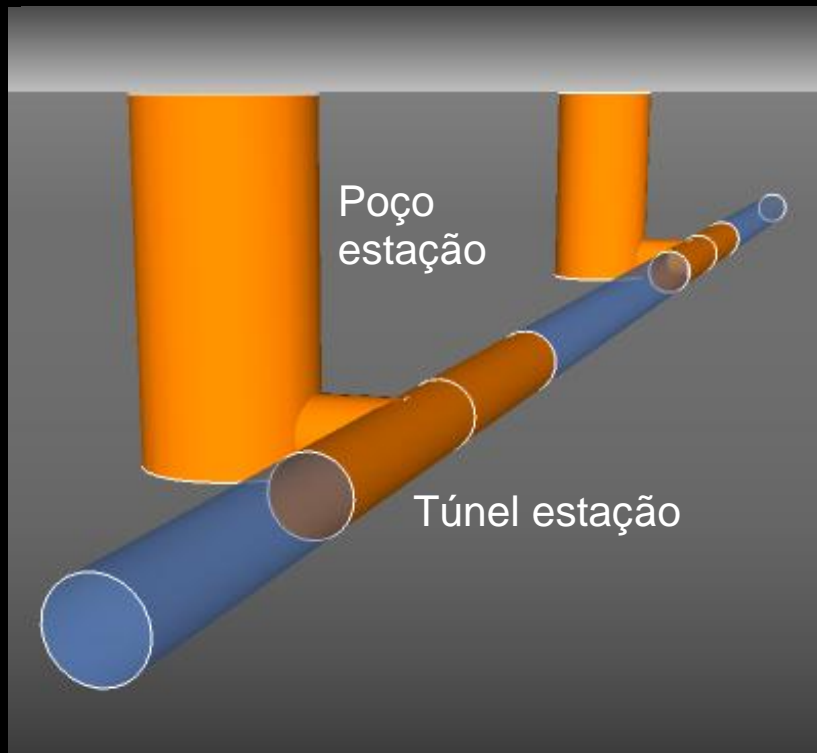
A principal vantagem seria econômica: tanto a construção como a operação seriam barateadas, **sem comprometer a capacidade de transporte:**



- possibilidade de **extensão de plataformas** ou de **inclusão de novas estações** conforme o crescimento da demanda;
- maior **flexibilidade na escolha dos locais das estações**, visto que o poço não necessitaria estar exatamente sobre o túnel de via;

BENEFÍCIOS

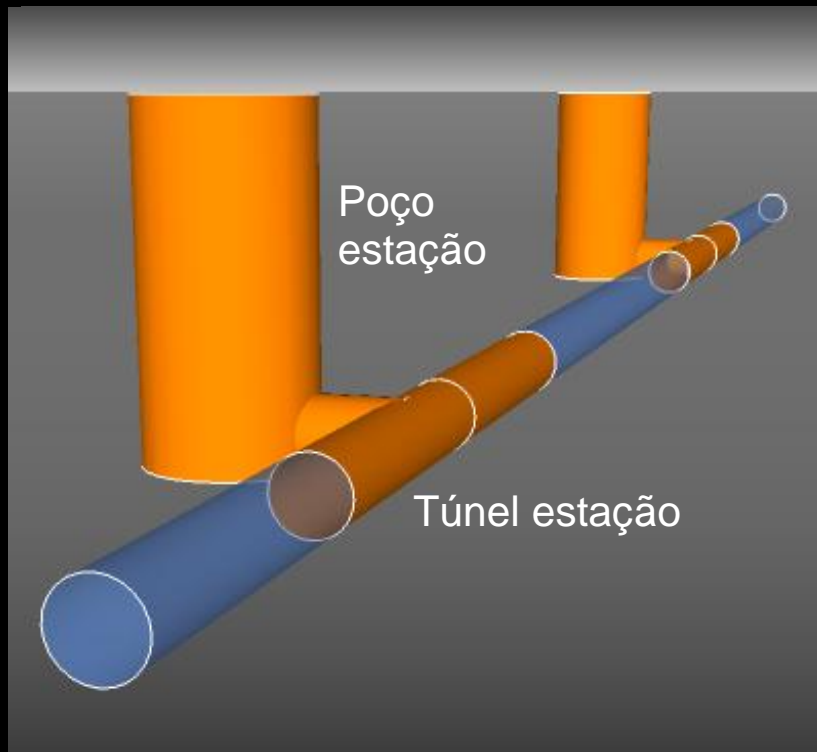
A principal vantagem seria econômica: tanto a construção como a operação seriam barateadas, **sem comprometer a capacidade de transporte:**



- possibilidade de **extensão de plataformas** ou de **inclusão de novas estações** conforme o crescimento da demanda;
- maior **flexibilidade na escolha dos locais das estações**, visto que o poço não necessitaria estar exatamente sobre o túnel de via;

BENEFÍCIOS

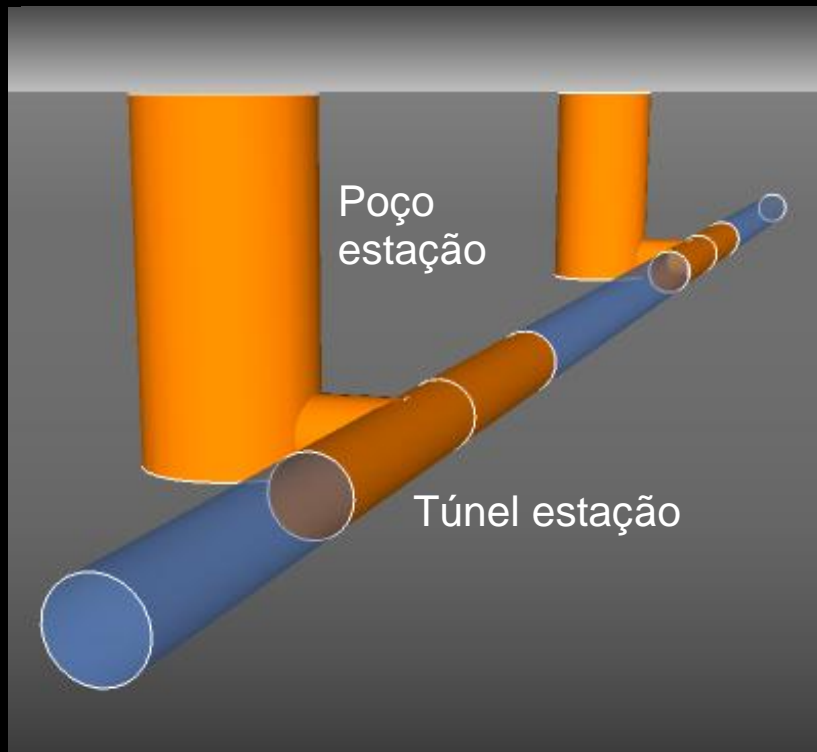
A principal vantagem seria econômica: tanto a construção como a operação seriam barateadas, **sem comprometer a capacidade de transporte:**



- **redução do tamanho do pátio de manobras**, por conta da guarda de parte dos trens ao longo da linha;
- **menores custos operacionais**, por conta da implantação das estações e sistemas (ventilação, iluminação, portas de plataforma, etc) de forma escalonada;

BENEFÍCIOS

A principal vantagem seria econômica: tanto a construção como a operação seriam barateadas, **sem comprometer a capacidade de transporte:**



- **maior rapidez de implantação**, devido ao uso generalizado de TBMs (rendimento de até 30 m / dia) e à diminuição do uso do NATM e VCA;
- benefícios sociais derivados da operação do metrô captados mais cedo, **antecipando a amortização do projeto**;



VOLUMES ESCAVADOS APROXIMADOS – simulação 1*

Ambiente	Método convencional**	Método proposto***
Túneis Corpo Estações	189.612 m ³ (est. em NATM)	156.209 m ³
	521.765 m ³ (est. em VCA)	
Túneis Vias	601.223 m ³	709.692 m ³
Poços Acessos / Ventilações	145.603 m ³ (est. em NATM)	266.937 m ³
	51.380 m ³ (est. em VCA)	
Poços Saídas de Emergência	28.180 m ³	28.180 m ³
Total	1.537.763 m ³	1.161.118 m³ (-24%)

* Linha de metrô com 10km de extensão, 11 estações (1 por km) e 10 poços (saídas de emergência); profundidade média: 20 m.

** 5 estações em VCA e 6 estações em NATM (proporção semelhante à da Linha 15-Branca/Metrô-SP); referências volumes escavação (ajustados pela profundidade): Alto do Ipiranga (estação em NATM), Adolfo Pinheiro (estação em VCA), Poço Delmiro Sampaio (saída emerg.), túnel D=9,5 m. *** túnel contínuo, D=10,5m; estações com poços semelhantes aos de Alto do Ipiranga.



VOLUMES ESCAVADOS APROXIMADOS – simulação 2*

Ambiente	Método convencional**	Método proposto***
Túneis Corpo Estações	252.816 m ³ (est. em NATM)	198.810 m ³
	626.118 m ³ (est. em VCA)	
Túneis Vias	571.877 m ³	667.091 m ³
Poços Acessos / Ventilações	194.127 m ³ (est. em NATM)	339.738 m ³
	61.656 m ³ (est. em VCA)	
Poços Saídas de Emergência	36.634 m ³	36.634 m ³
Total	1.743.206 m ³	1.242.273 m³ (-29%)

* Linha de metrô com 10km de extensão, 14 estações(1 por 770m) e 13 poços (saída de emergência); profundidade média: 20m

** 6 estações em VCA e 8 estações em NATM (proporção semelhante à da Linha 15-Branca/Metrô-SP); referências volumes escavação (ajustados pela profundidade): Alto do Ipiranga (estação em NATM), Adolfo Pinheiro (estação em VCA), Poço Delmiro Sampaio (saída emerg.), túnel D=9,5 m. *** túnel contínuo, D=10,5m; estações com poços semelhantes aos de Alto do Ipiranga.



REFERÊNCIA CUSTOS – METRÔS SULAMERICANOS*

Etapa Empreendimento	Linha 4 - Caracas	Linha 5 - Santiago
Obras Civis	43%	47%
Equipamentos e Sistemas	32%	16%
Material Rodante	21%	25%
Projeto e Acompanhamento	5%	12%

* BB&J Consult (2000). The World Bank Group Urban Transport Strategy Review: Implementation of Rapid Transit. Final Report, Pág. 95, World Bank, Washington, DC

Ou seja, as economias logradas na fase da obra civil (quase metade do total do custo do projeto) teriam impacto significativo sobre o total do custo do empreendimento.



SITUAÇÕES IDEAIS DE IMPLEMENTAÇÃO

Não se pretende substituir o metrô convencional, porém existem algumas situações onde as vantagens inerentes à solução proposta seriam melhor aproveitadas:

- **locais densamente povoados**, com poucas áreas disponíveis para estações;
- **distância entre estações de 500 a 800 metros** em média (de fato, quanto menor o espaçamento médio entre estações, mais favorável torna-se o método proposto);



SITUAÇÕES IDEAIS DE IMPLEMENTAÇÃO

Não se pretende substituir o metrô convencional, porém existem algumas situações onde as vantagens inerentes à solução proposta seriam melhor aproveitadas:

- **necessidade de construção em etapas**, aproveitando assim a flexibilidade oferecida pela solução no que concerne o aumento do comprimento das plataformas e abertura de estações posteriores,
- carregamento inicial de projeto no limite superior do oferecido pelos modos de média capacidade (cerca de 30 mil passageiros/hora/sentido), com possibilidade de expansão no médio prazo para **até 60 mil passageiros/hora/sentido**.



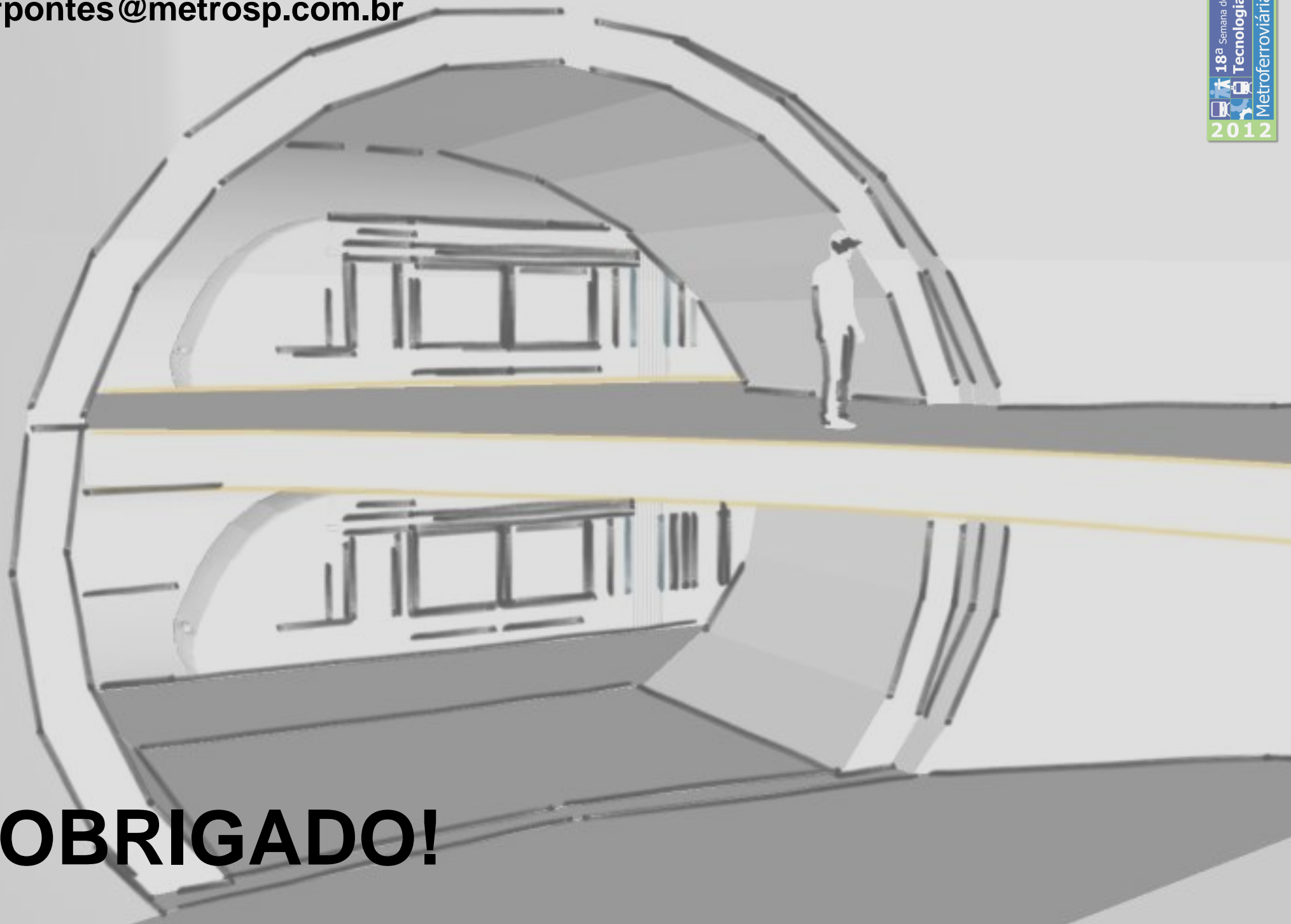
CONCLUSÃO

As economias e ganhos de eficiência propostos tanto na construção como na operação de linhas de metrô subterrâneo seriam significativos, viabilizando a adoção deste modo onde hoje não se pensaria ser viável (tais como corredores perimetrais, ou em metrópoles de porte médio).

Pela possibilidade de implantação escalonada, as próprias receitas decorrentes da operação poderiam financiar a expansão posterior da capacidade do sistema (novas estações e ampliações de plataformas).

Mais importante, esta solução responde bem aos desafios da construção em locais densamente ocupados (de fato, quanto mais caras forem as desapropriações e as escavações, mais atrativa torna-se a proposta).

Arq. Fabio Martini Pontes
fpontes@metrosp.com.br



OBRIGADO!