

Sistemas de mon trilho como transporte de massa: considerações a respeito de um novo modo de transportes para São Paulo

Moreno Zaidan Garcia

Mestre em Planejamento Urbano e Regional pela FAU-USP.

E-mail: morenozaidan@gmail.com

A partir da proposta da primeira linha de mon trilho para São Paulo, no final da última década, desencadeou-se um debate intenso em torno da perspectiva de utilização em larga escala dessa nova opção de transporte urbano nas principais aglomerações urbanas do Brasil.

Apesar da experiência da linha de Poços de Caldas (MG), o mon trilho ainda é um desconhecido no Brasil, inclusive para boa parte dos técnicos. Em esfera mundial, embora não seja uma tecnologia conceitualmente nova, a sua aplicação à função de transporte de massa é bem recente. A pequena experiência acumulada no desenvolvimento desse tipo de sistema deixa algumas questões ainda em aberto.

O QUE É MON TRILHO?

Chama a atenção a multiplicidade de significados que o termo “mon trilho” carrega. A mesma palavra é usada como sinônimo de modo de transporte, tecnologia e tipo de veículo. A confusão é ainda maior quando se discute se mon trilho é, ou não, considerado “metrô”. De fato, não é nenhuma dessas coisas. Distinguir precisamente esses conceitos é o ponto de partida para avaliar suas possibilidades de uso em transporte urbano.

Modos de transporte urbano são maneiras específicas de se transportar pessoas em aglomerações urbanas em determinadas condições. Um modo de transporte é definido pelo conjunto particular de seus atributos, agrupados em três classes: *direito de via* (também nível de compartilhamento ou segregação de via); *tecnologia*; e tipo de *serviço*. (Vuchic, 2007). Apesar de todos os sistemas de mon trilho operarem em via exclusiva (mesmo direito de via), há uma significativa variação entre eles, quanto ao tipo de serviço, e também quanto à



www.antp.org.br

tecnologia – assim, a denominação “mon trilho” abarca uma diversidade de modos de transporte. É, portanto, na combinação entre essas duas últimas variáveis (serviço e tecnologia) que se encontram os elementos de maior interesse para o presente estudo.

Ainda de acordo com Vuchic, entende-se por *tecnologia* a combinação de quatro atributos mecânicos do conjunto veículo-via: tipo de suporte, tipo de guia, propulsão e controle. As duas tipologias mais comuns de mon trilho são definidas (e diferenciadas) pelo tipo de suporte: os mon trilhos *suspensos*, cuja roda e trilhos se encontram acima do veículo que, portanto, transita suspenso; e os chamados *straddle beam*, ou encavalados.¹ A própria diferenciação em termos de suporte² já é suficiente para se afirmar que mon trilho não é sequer uma tecnologia. O mesmo autor afirma que “o termo mon trilho engloba uma *diversidade de sistemas* que possuem como característica comum o fato de que os veículos correm por (ou sob) uma via constituída de um único eixo” (grifo nosso).³

A Monorail Society define mon trilho como “trilho singelo que serve de via para veículo de passageiro ou carga”.⁴ Voice⁵ reformula essa definição, incorporando as variações de suporte e guia para além do modelo primitivo de roda sobre trilho singelo: “Mon trilho representa *um modo* no qual veículos são suportados inteira ou principalmente por um trilho ou viga singelos” (grifo nosso).⁶

Apesar de apresentar maior precisão do que a Monorail Society – pois os mon trilhos que correm sobre trilhos férreos são minoria – Voice acaba mantendo o vício de classificar o mon trilho como modo de transporte. Talvez pelo fato de não compartilhar do mesmo conceito de “modo de transporte” de Vuchic.

À procura de uma definição mais precisa, adaptando as categorias de Vuchic à definição de Voice, o termo mon trilho será entendido aqui como: um grupo de tecnologias de transporte tendo por característica comum dispor de um eixo viário singelo que constitui, ao mesmo tempo, o guia e o suporte do veículo que nele transita. É por essa razão que, a seguir, ao se referir ao grupo de sistemas que possuem

1. Não há uma tradução literal para o português, o mais próximo seria algo como encavalado, escarranchado, ou ainda, montado, sobre viga.

2. Além das variações em relação ao tipo de suporte, há também variações tecnológicas menos significativas em termos de propulsão, guia e controle.

3. “Monorails encompass many different transit systems with common feature that their vehicles ride on or are suspended from a single rail or beam” (Vuchic, 2007, p. 649).

4. “A single rail serving as a track for passenger or freight vehicle”, cf. <http://www.monorails.org/>, apud Voice, 2010, p. 5.

5. Voice, 2010, p. 5-6.

6. “Monorail means a mode in which the vehicles are supported wholly or mainly by means of a single rail or beam” (Voice, 2010, p. 5).

essas características acima descritas, será utilizado o termo no plural – “os monorrelhos”, ou “sistemas de monorrelhos” – ficando reservado o termo no singular para designar casos particulares.

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DOS MONORRELHOS

O desenvolvimento tecnológico dos sistemas de monorrelhos correu, de certa maneira, à margem da história dos transportes. Os protótipos pioneiros surgiram na primeira metade do século XIX, quase simultaneamente ao nascimento da ferrovia convencional, um pouco antes da primeira linha de metrô do mundo (Londres), e muito antes do ônibus.⁷ No entanto, a grande maioria das linhas de monorrelho que gozaram de certa longevidade foi construída apenas na segunda metade do século XX, enquanto o metrô e o ônibus se consagraram plenamente já nas primeiras décadas do século XX e a ferrovia, bem antes.

Houve, portanto, um extenso período de incubação ao longo do qual o uso dos monorrelhos não deslanchou, embora também não chegasse a ser estancado. Voice, em seu minucioso estudo, arrola um detalhado histórico de todos os projetos, linhas em operação e protótipos de que se teve registro ao longo de aproximadamente cem anos – com marco final localizado por ele em 1950. Trata-se de um percurso não linear e intermitente, cujo aspecto mais marcante foi a *indefinição*. Seja em relação à sua compatibilidade com as demandas empíricas de transporte urbano, ou em termos de concepção tecnológica.

USO NO TRANSPORTE PÚBLICO

O desenvolvimento tecnológico não é um caminho necessariamente progressivo. Geralmente vem a reboque das necessidades de produção e reprodução da sociedade e seu sucesso ou fracasso depende desse contexto. É razoável supor que, ao longo do século de “gestação”, as vantagens propiciadas pelos sistemas de monorrelhos concebidos (ainda que de maneira experimental) não representaram plenamente (ou não respondiam a) demandas concretas da sociedade, no que toca aos transportes urbanos. Isso parece mais plausível do que a ideia, equivocada, de que não houve desenvolvimento tecnológico suficiente para superar as dificuldades – que as invenções naturalmente enfrentam – a ponto de viabilizar o aproveitamento das suas virtudes. Os monorrelhos são “uma solução à procura de um problema”.⁸

Desde o princípio os monorrelhos apresentaram utilidade à indústria – diferentemente do que ocorreu em relação ao transporte urbano.

7. Para aprofundar na história dos primórdios do monorrelho, ver: Voice, 2010, cap. 1.

8. Demery, 2005, p. 5.



www.antp.org.br

Por isso, até meados do século XX, a maioria dos monorrelhos efetivamente colocados em operação regular atendia a esse setor (Vuchic, op. cit.). As linhas não industriais construídas ao longo dessa fase – com raras exceções – não passaram de experimentações descontinuadas que, quando muito, chegavam à etapa de prototipagem.

Dentre essas exceções, o caso mais exitoso, sem dúvida, foi o da linha de Wupperthal, na Alemanha – um protótipo de vida longa. O contexto de sua implantação evidencia o caráter de exceção desse sistema de monorrelho.

O final do século XIX, como se sabe, foi marcado por intensa experimentação no campo do transporte urbano que emergia como questão de crescente relevância para diversos Estados nacionais. Um vertiginoso processo de urbanização se encontrava em marcha. As antigas formas de deslocamentos (a pé ou por veículos de tração animal) ficavam mais e mais aquém das demandas que surgiam nos diversos centros de produção. Os modos que viriam a predominar mais tarde (no decorrer do século XX) ainda se encontravam em processo de consolidação e, de certa maneira, permanecia o espírito de busca de respostas para as renovadas questões postas pelas necessidades urbanas. Se, de um lado, a ferrovia – que já era uma realidade para o transporte de longa distância – assegurava desde sua origem o acesso às cidades a partir de lugares mais remotos, de outro, encontrava grande dificuldade para alcançar as áreas centrais, densas e consolidadas, das principais metrópoles. As tentativas de adaptação a esse quadro é que conduziram, como se sabe, ao conceito do que hoje chamamos de metrô. Tanto as vias férreas elevadas de Nova Iorque, Chicago e Berlim, quanto as ferrovias subterrâneas de Londres, todas de tração a vapor, são respostas a essa mesma questão.⁹

A passagem do século XIX para o XX, portanto, foi o momento em que o conceito “monorrelho” chegou mais próximo de se firmar como opção para o transporte urbano.¹⁰ Em 1895, o engenheiro alemão Carl Eugen Langen patenteou uma tecnologia de monorrelho suspenso (*Schwebebahn*). Construiu um protótipo do veículo e uma pista de testes em Colônia – para onde costumava levar representantes dos governos de cidades alemãs a fim de convencê-los a adotar sua invenção. Seu maior objetivo era implantar o sistema em Berlim que, na época, já estava constituindo sua rede ferroviária metropolitana.¹¹ Isso explica, em parte, o pouco apelo da ideia de Langen.

9. São uma espécie de proto-metrô, pois o conceito de metrô se consolida, efetivamente, como modo de transporte e modelo operacional apenas depois de dados dois passos: a eletrificação e a noção de integração das linhas em rede (assentada com o projeto da rede de Paris).

10. De fato, sem ser submetido a uma série de situações concretas (vale dizer, sem ser testado como transporte urbano) não poderia desencadear um processo de desenvolvimento tecnológico intensivo.

11. Langen chegou a construir um pequeno trecho de via para ensaiar suas condições de implantação. A unificação das ferrovias em torno de uma rede de transporte ferroviário metropolitana elevado (S-bahn) já estava em curso e poucos anos depois a rede do metrô (U-Bahn) começaria a ser construída (Ver: Sort, 2006).

O único município que aceitou implantar o Schwebbahn foi Wuppertal, uma cidade industrial de pequeno para médio porte, do Vale do Ruhr. O maior trecho da linha foi construído sobre o rio Wupper, que já tinha se consolidado como eixo estrutural da cidade. A escolha de implantar o traçado no vale, a elegância no desenho das estruturas de sustentação da via e a escala do equipamento (tanto da composição quanto das estações) são aspectos que conferem à linha um caráter pitoresco incomum para um monorail, como pode ser percebido no filme *Pina*, de Wim Wenders.¹² A linha se firmou como paradigma do conceito de monorail, justamente por expressar de maneira eloquente sua principal virtude: a leveza da implantação integrada de modo muito feliz à paisagem urbana.

Depois de Wuppertal, Langen não conseguiu implementar seu projeto em nenhum outro lugar. O começo do século assistiu ao triunfo do metrô e do ônibus – modos que, em pouco tempo, dominariam o cenário do transporte urbano. À medida que cada um deles se consagrava como a melhor opção para determinada faixa de demanda, o espaço para o desenvolvimento de monorails se restringiu. Até a década de 1930 ainda se observava uma considerável experimentação em diversos países, mas em número decrescente. Em meio à II Guerra Mundial, o processo já se encontrava estancado, mesmo que temporariamente. Alguns protótipos foram implantados como equipamentos de uso restrito, servindo a eventos de porte, como no circuito de exposições internacionais e feiras industriais, ou, com um pouco mais de permanência, em parques de diversão e centros comerciais. Nunca, entretanto, como transporte urbano regular. A indefinição continuou vigorando e gerou uma ampla diversidade de projetos experimentais com consideráveis variações tecnológicas (tanto de suporte quanto de propulsão). De linhas do tipo “ponto-a-ponto” (*shuttle service*) a ligações entre cidades, ou mesmo internacionais, os propósitos desses projetos também foram diversos – evidência inquestionável de que a busca por uma aplicação “própria” dos monorails ainda permanecia.¹³

Uma retomada dos projetos de monorail se iniciou na década de 1950 e culminou, 10 anos mais tarde, em um processo de desenvolvimento tecnológico mais intenso. A criação do modelo Alweg – um dos padrões tecnológicos mais utilizados nos projetos de monorail atuais – foi um ponto chave desse renascimento.

12. O filme explora bastante a qualidade da implantação da linha. A estrutura é leve e, mesmo nos trechos em que o trem passa ao longo das ruas, a estrutura parece estar bem integrada com a paisagem. Há, inclusive, uma cena em que a câmera acompanha uma viagem pela linha, com tomadas tanto por dentro quanto por fora do carro.

13. Houve projetos para usos muito específicos e até inusitados. O exemplo mais emblemático talvez tenha sido o de uma linha subterrânea a ser construída no complexo do Capitólio, em Washington, para transportar os senadores norte-americanos (*Voice*, p. 26). Outro, bem mais ousado, pretendia realizar a travessia do Canal da Mancha. Um histórico detalhado pode ser obtido em *Voice* (*Voice*, *ibid.*).



www.antp.org.br

No começo da década de 1950, o engenheiro sueco Axel Lennart Wernner-Gren – impulsionado pela perspectiva de implantação de um sistema de monorail em Los Angeles – patrocinou o desenvolvimento do protótipo de monorail sobre viga de concreto. Criou a companhia Alweg (com as iniciais do seu nome) e patenteou a sua tecnologia, cujo principal avanço foi o de permitir transportar um volume de passageiros consideravelmente maior do que os sistemas anteriores.

Embora tenha fracassado na tentativa de emplacar uma linha em Colônia, a Alweg desenvolveu, com a colaboração de engenheiros norte-americanos, o primeiro exemplar de sucesso de sua tecnologia – o monorail da Disneylândia, no parque recém-aberto na Califórnia. Inaugurada em 1959, a linha de cerca de 4 km foi um divisor de águas para os monorails sobre viga (*straddle beam*), por conta da maior capacidade de transporte.

A ascensão dos monorails ao universo do transporte urbano regular, contudo, não ocorreu de forma repentina. Mesmo em Los Angeles, um projeto de rede de monorail foi cogitado, mas acabou engavetado.¹⁴ Até meados dos anos 1960, os projetos da Alweg implementados na esteira do sucesso da linha da Disneylândia se mantiveram restritos ao âmbito dos *serviços especiais* – voltados para o acesso e (ou) circulação interna de locais de eventos e espaços fechados. Esse foi o caso das linhas das exposições internacionais de Turim (1961) e Seattle (1962), exemplos bastante citados.¹⁵

Assim como ocorreu com o monorail sobre viga, um padrão tecnológico para a versão suspensa foi definido a partir do aperfeiçoamento de projetos do pré-guerra. Em 1956, uma companhia chamada The Monorail Incorporated desenvolveu uma tecnologia de monorail suspenso e construiu pistas de teste no Texas. Chegou a difundir sua tecnologia com a implantação de algumas linhas em parques de diversões, mas apenas isso. O marco tecnológico dessa modalidade só se fixou a partir de um consórcio de empresas francesas – Safege – que patenteou em 1959 uma tecnologia de monorail suspenso aperfeiçoada a partir do *Schwebbahn*. Em 1966, inauguraram uma pista de teste em Orleans, que ganhou certa notoriedade por ter sido utilizada, no mesmo ano, como locação do filme *Fahrenheit 451*, de François Truffaut.

A primeira geração do renascimento dos monorails, portanto, se manteve restrita aos tipos de *novelty monorails*¹⁶ – categoria definida

14. Em 1962, foi construída uma linha para servir a Los Angeles County Fair, que não foi considerada por conta do recorte desse artigo (uso urbano regular).

15. Embora implantado em “ambiente urbano”, ligando o centro da cidade de Seattle ao local da exposição, a finalidade da linha era exclusivamente a de servir o evento. Tanto é que até hoje o Seattle Monorail possui apenas as duas estações terminais. Foi mantido a título de preservação da memória da cidade e de exploração turística.

16. Em português, algo como “monorails-novidade”.

por um tipo de serviço específico, marcado por: baixo volume de tráfego, poucas paradas (muitas vezes apenas nas extremidades) e atendimento exclusivo a áreas fechadas (parques de diversão, shoppings, zoológicos, exposições etc.).

Nos anos 1960 surgem as linhas de aeroportos, que marcam um primeiro passo em direção à incorporação do monorail ao uso urbano regular. Embora também voltados para um atendimento muito específico, o volume dos deslocamentos realizados nessas linhas aponta no sentido da transformação assinalada.

O monorail de Tóquio, construído no final dos anos 1960, é emblemático nesse processo de transição. Foi o projeto pioneiro de uma série de monorails de grande porte que viriam a ser implantados no Japão ao longo dos anos seguintes. Vale lembrar que Wupperthal¹⁷ ainda continuava sendo, à época, um caso isolado.

O Japão foi, assim, o primeiro país no qual ocorreu um desenvolvimento organizado e sistemático de tecnologias de monorail com finalidade de transporte urbano.

O contexto do Japão dos anos 1970 e 1980 explica, em parte, as razões desse processo. Segundo Demery, já em meio à década de 1960, o padrão de urbanização das aglomerações urbanas japonesas – marcado pela alta densidade construtiva, alto patamar de preços dos terrenos e por um sistema viário de muitas vias estreitas – impunha grandes dificuldades à implantação de sistemas em superfície.¹⁸ Isso não afetava diretamente a demanda por transporte de massa que, já há algum tempo, era bem atendida pelas linhas de alta capacidade (implantadas em vias subterrâneas e elevadas). A maior dificuldade estava na chamada faixa de demanda intermediária, normalmente atendida por sistemas de superfície.

Para atender a essa espécie de “limbo” da demanda (chamada pelo autor de *transport gap*),¹⁹ uma solução de implantação não superficial se fazia necessária nas cidades japonesas mais adensadas – ainda que o volume de passageiros não justificasse o direito de via exclusivo. Os monorails – que possuem estrutura de sustentação da via permanen-

17. Havia também o monorail de Dresden, que era na verdade um plano inclinado. As demais experiências foram bastante limitadas em porte, uso ou tempo de existência. Apesar do termo “transporte urbano”, a rigor, abarcar todos os modos de transporte que correm sobre o espaço urbano, quando for utilizado nesse artigo, o termo se refere a: sistema de transporte implantado em aglomerações urbanas, não restrito a áreas fechadas.

18. Demery, 2005, p. 11-12.

19. Apoiado em Bouladon (1967), Demery aponta para a inexistência, em termos gerais, de modos de transporte apropriados para a faixa de demanda intermediária – entre 5 mil e 15 mil passageiros por hora, por sentido. Pouco para justificar metrô, muito para ser atendido pelos sistemas de superfícies convencionais.



te mais esbelta, menos intrusiva e construção mais simples do que os demais modos em via elevada – se apresentavam como um promissor nicho a ser explorado. Pela primeira vez, parecia que a “solução havia encontrado um problema”, como fica evidente na afirmação de Demery:

*Practical considerations have limited monorails to special-purpose applications, where surface right-of-way is not available and traffic is not sufficient to justify full-scale rail lines, either in tunnel or on viaduct.*²⁰

Por mais que se questione o êxito, houve de fato no Japão uma aposta nos monorails. O empenho foi considerável, o que pode ser percebido tanto na esfera do Estado – que viabilizou a implantação de uma série de linhas – quanto na do mercado. Diversas empresas se interessaram pelo fornecimento de material rodante e de sistemas de monorails urbanos, um nicho de mercado que se mostrava promissor.

Nesse contexto, destaca-se a atividade de três grandes empresas: da Hitachi, que adquiriu a licença de fabricação da Alweg; da Mitsubishi e da Toshiba, ambas produzindo sistemas baseados na tecnologia Safege.²¹ No final dos anos 1960, o principal acervo técnico das tecnologias de monorail já estava nas mãos dos japoneses.

Uma intensa atividade de prototipagem e a fundação da Associação Japonesa de Monorails, em 1967, marcam o período de consolidação da tecnologia japonesa de monorails, no qual três projetos se destacam como paradigma. Em 1964, a Hitachi inaugura o monorail de Tóquio, a primeira linha de grande porte. Logo depois, em 1970, a mesma empresa lança o monorail da Expo Osaka.²² Por fim, nesse mesmo ano, a Mitsubishi inaugura a linha de Shônan, o primeiro monorail suspenso projetado com a finalidade específica de transporte urbano.

Inicialmente concebido como protótipo, o monorail de Tóquio foi inaugurado para os Jogos Olímpicos de 1964 e tinha como objetivo exclusivo o acesso ao aeroporto Haneda, a partir do centro da cidade. Na medida em que o aeroporto adquiria maior volume de tráfego, a linha, em paralelo, era estendida. Teve sua capacidade de tráfego aumentada e estações intermediárias acrescentadas (são 11 atualmente). Assim, em pouco tempo, passou de um *shuttle service* para uma linha de transporte urbano regular.

A Mitsubishi desenvolveu em paralelo o padrão para os monorails suspensos. Depois dos protótipos de pequeno porte, a empresa

20. Demery, 2005, p. 4.

21. A Alweg e a Safege foram compradas por outras empresas (Krupp e Suez Environnement, respectivamente). Nos dois casos, os projetos de produção de monorails foram abandonados logo após a aquisição.

22. Não confundir com o monorail de Osaka, inaugurado na década de 1990, também pela Hitachi. Essa linha da Expo Osaka, apesar de curta (4,4 km) e temporária, teve importância na uniformização dos padrões tecnológicos e na consolidação de atributos utilizados nos monorails seguintes (composição de quatro carros, sistema de controle central e operação automática dos trens).

implantou dois projetos para uso em transporte urbano, com operação comercial nas cidades de Shōnan (1970)²³ e Chiba (1995).²⁴

Além das linhas no Japão,²⁵ a Hitachi implantou mais três sistemas: em Chongqing, na China; na ilha de Sentosa, em Singapura; e em Dubai, nos Emirados Árabes. O de Chongqing foi desenvolvido em parceria com a Changchun Rail Vehicles – fabricante chinesa de material rodante – e é o maior sistema de monotrilho em operação no mundo.

Além das japonesas, destacam-se como principais fabricantes de monotrilhos do tipo Alweg a canadense Bombardier e, mais recentemente, a malaia Scomi. Apesar do vasto *portfolio*, a Bombardier, responsável pela linha 15 do Metrô de São Paulo, tem apenas a linha de Las Vegas como projeto de “monotrilho urbano” implantado.²⁶

APLICAÇÃO PARA O TRANSPORTE DE MASSA

A partir do histórico esboçado acima, é possível retomar as questões levantadas no início do presente artigo. Até o final do século XX, não houve um caso de linha de monotrilho que possa ser enquadrado na categoria transporte de massa. A partir da primeira década do século XXI, uma nova leva de projetos – a maioria em fase de concepção ou de obra – aponta para direção contrária. Ainda assim, pela novidade do fato, cabe a discussão sobre a aplicação dos monotrilhos ao transporte de massa.²⁷

Capacidade

O primeiro ponto a ser analisado é a capacidade do sistema, que é o aspecto de associação mais imediato à categoria “transporte rápido de massa”.²⁸

A partir do levantamento de Voice, nota-se que os monotrilhos de maior capacidade são exceção.²⁹ Até 2010, dos cerca de 300 mono-



23. A linha estabelece uma ligação entre duas estações de trem em uma área de média densidade de Shōnan, que é um município da região metropolitana de Tóquio. A operação é limitada a uma faixa de baixa frequência, pois a sua via permanente é singela, o que explica o seu modesto carregamento médio (28 mil passageiros/ dia, em 2005).

24. Apesar de apresentar carregamento maior (de 44 mil usuários/ dia), o sistema de Chiba teve a sua expansão suspensa em 2001 por conta de um crescente déficit operacional acumulado (Demery, 2005, p. 48).

25. Mais quatro linhas completam o rol dos sete monotrilhos urbanos japoneses, todos da Hitachi: Kitakyūshū, Osaka, em 1990; Tama, na região metropolitana de Tóquio; e Naha, na ilha de Okinawa.

26. Além das linhas de Las Vegas e São Paulo, a linha de Riad, na Arábia Saudita (também em construção), completa a trilha de monotrilhos urbanos da Bombardier. Cf. <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles/automated-monorails.html>.

27. O próprio Vuchic deixa a questão aberta. Se, em determinado momento, afirma que o monotrilho faz parte da família dos transportes de massa (rapid transit), em outro, o autor classifica o monotrilho como um “sistema não convencional”, distinto das demais categorias (inclusive a de transporte de massa) (Vuchic, 2007, p. 72 e 444).

28. É por conta dessa associação que às vezes o termo “transporte de alta capacidade” é usado como sinônimo de transporte rápido de massa.

29. Voice, 2010, p. 81-83.

trilhos implantados de que se tem registro em todo mundo, permaneciam em operação pouco menos de 150. Apenas um terço dessas linhas, contudo, possui traçado implantado em “ambiente urbano”. Nesse grupo, pelo menos 30 linhas servem exclusivamente de acesso a locais específicos (como aeroportos, centro de eventos etc.). Portanto, de um universo de 300 monotrilhos, não mais do que 20 casos (menos de 10%) podem ser classificados propriamente como equipamentos de transporte urbano regular. Ainda assim, boa parte apresenta porte pequeno e carregamento desprezível. Acrescentando à lista de Voice as linhas inauguradas depois de 2010,³⁰ e excluindo as linhas de pequeno porte – com menos de 5 km e capacidade abaixo de 10 mil passageiros/ dia – chega-se a uma restrita lista de apenas 12 linhas em operação até meados de 2013, conforme a tabela 1.³¹

Tabela 1

Linhas de monotrilho com mais de 10 mil passageiros/ hora

Linha	Fabricante	Inauguração (ano)	Extensão (km)	Estações (unid.)	Distância entre estações (km)	Headway (min. na HP)	Carregamento (usuários/dia)
Wuppertal (Alemanha)	–	1901	13,3	20	0,7	2,9	82.000
Tóquio (Japão)	Hitachi	1964	16,9	11	1,7	3,3	138.000
Shōnan (Japão)	Mitsubishi	1970	6,6	8	0,9	7,5	28.000
			(via singela)				
Kitakyūshū (Japão)	Hitachi	1985	8,8	13	0,7	6,0	31.000
Chiba (Japão)	Mitsubishi	1995	15,2	15	1,1	10,0	44.000
Osaka (Japão)	Hitachi	1990	28,0	18	1,6	6,5	88.000
Tama (Japão)	Hitachi	1998	16,0	19	0,9	10,0	106.000
Naha (Okinawa) (Japão)	Hitachi	2003	13,0	15	0,9	6,0	29.000
Kuala Lumpur (Malásia) Scomi		2003	8,6	11	0,9	5,0	65.000
Las Vegas (EUA)	Bombardier	2004	6,4	7	1,1	4,0	12.000
Chongqing – Linha 2 (China)	Hitachi + Changchun	2005	18,0	18	1,1	3,5	500.000
Chongqing – Linha 3 (China)	Hitachi + Changchun	2011	39,1	39	1,0	2,0	500.000

Fonte: Wupperthal, (<http://www.schwebebahn.de/>); Tóquio, (<http://www.tokyo-monorail.co.jp/>); Japão (demais cidades) – Demery (2005), Hitachi Review e Japan Railway & Transport Review (2001); Kuala Lumpur, (<http://www.mqrapid.com.my/>); Las Vegas (<http://www.lvmonorail.com/>); Congqing, sítio do metrô (<http://www.cymetro.cn/>) e sítio da Monorail Society (<http://www.monorails.org/>).

30. Segundo a lista da Monorail Society: <http://www.monorails.org/tMspages/Where.html>.

31. Alguns casos que são frequentemente utilizados como paradigma do sistema foram excluídos por conta dos critérios expostos. Alguns apresentam caráter turístico (Seattle e Sidney, por exemplo), outros têm traçado em via singela, como é o caso da recém-inaugurada linha de Xi'am, na China. Há ainda o caso do monotrilho de Dubai (Palm Jumeirah), cuja expectativa de carregamento previsto foi totalmente frustrada – hoje opera com quatro trens por hora no pico – e por isso não serve para a discussão aqui colocada.

A quantidade de casos dentro da faixa de alta capacidade é ainda mais diminuta e recente. Tomando como base as linhas de São Paulo, apenas três casos são dignos de comparação: as linhas de Tóquio e Tama, na casa de 100 mil usuários por dia – que se aproximam da previsão para a linha 17-Ouro (Aeroporto), de 250 mil passageiros/ dia para 2030, e a linha 3 de Chongqing, com previsão de expansão para 500 mil usuários diários, que faz frente à linha 15-Prata de São Paulo (Cidade Tiradentes). Ainda que os embarques previstos para a linha 15 sejam da mesma ordem de grandeza dos da linha chinesa, é importante lembrar que na hora pico o carregamento das linhas paulistas é maior do que o da linha 3 de Chongqing – que é hoje o caso de monorrelho mais carregado do mundo.

Mesmo incluindo os projetos em construção, as linhas de São Paulo não encontram correspondentes à altura. A tabela 2 mostra as linhas brasileiras ao lado dos oito monorrelhos de maior capacidade que provavelmente estarão em atividade em breve (daqui a três anos). Cinco deles já estão em operação e três em construção.³²

É preciso destrinchar esses dados brutos, pois os parâmetros que determinam a capacidade variam bastante entre os casos e os números só podem ser confrontados sobre uma mesma base. É sabido que a capacidade de uma linha é obtida a partir do produto da capacidade média das composições pela frequência. A capacidade de cada unidade operacional (cada composição) também é variável e depende basicamente de três fatores: da capacidade nominal do modelo de carro utilizado, da quantidade de carros do comboio e, por fim, da taxa de ocupação dos trens (passageiros por m²).³³

32. Até a presente data (outubro de 2013) estão em construção nove linhas de monorrelhos “urbanos” (incluindo as linhas 15 e 17 do Metrô de São Paulo). Além das duas relacionadas na tabela (Daegu e Mumbai), estão sendo construídos monorrelhos em Riad (Arábia Saudita), Qon e Kermanshah (Irã) e Port Harcourt (Nigéria). Todos incomparáveis com os de São Paulo em termos de extensão e (ou) capacidade de sistema. A linha de Port Harcourt (Nigéria) foi descartada porque pretende atender uma faixa de demanda média (a lotação de cada composição é de 200 passageiros). O projeto é polêmico e, por enquanto, está restrito a um trecho com menos de 3 km. O caso do monorrelho de Jacarta (Indonésia), onde as obras começaram em 2004 e foram interrompidas em 2008, é o mais complicado. O projeto atravessou vários problemas, com duas trocas de fornecedor (inicialmente era a MTrans, que faliu, depois, a Hitachi e a coreana Maglev). Foi oficialmente abandonado e a administração local chegou a publicar, em 2011, a intenção de aproveitar os pilares já executados para construir um elevador para BRT. Após os percalços, as obras foram retomadas em 2013. O projeto atual prevê duas linhas de aproximadamente 14 km, uma radial e outra circular. Apesar da considerável extensão, não foram incluídas nesta análise por conta da falta de dados disponíveis. As linhas de Teerã (Irã) e Manaus também não foram consideradas. A primeira foi cancelada e a segunda atravessa incertezas quanto a sua realização, uma vez que o projeto foi excluído, por atraso, da matriz de responsabilidades da Copa do Mundo. A licitação dessa linha acabou sendo suspensa pela Justiça Federal do Amazonas em outubro de 2013.

33. Também conhecido como índice de conforto.



Tabela 2
Linhas de monorrelho de maior capacidade em 2013 (existentes, em obras, ou em projeto)

Linha	Fabricante	Inauguração (ano)	Extensão (km)	Estações (Unid.)	Distância entre estações (km)	Headway (min. na HP)	Embarques (usuários/dia)	Carregamento (usuários/hora)	Cap. composição* (usuários/trem)	Cap. sistema** (usuários/hora)
Tóquio (Japão)	Hitachi	1964	16,9	11	1,5	3,3	138.000	10.512	1.100	-
Osaka (Japão)	Hitachi	1990/1997	28,0	18	1,6	6,5	88.000	-	-	-
Tama (Japão)	Hitachi	1998/2000	16,0	19	0,8	10,0	106.000	-	415	-
Chongqing – Linha 2 (China)	Hitachi + Changchun	2005	18,0	18	1,0	3,5	-	-	632	12.600 (4 carros)
Chongqing – Linha 3 (China)	Hitachi + Changchun	2011	55,5	39	1,4	2,0	500.000	-	1.292	32.000 (8 carros)
Kuala Lumpur (Malásia)	Scomi	2003	8,6	11	0,8	5,0	65.000	-	430	28.860
Mumbai (Índia)	Scomi	2013 (prev.)	11,3	11	1,0	3,0	125.000	8.300 (2031)	568	11.360
Daegu – Linha 3 (Coreia do Sul)	Hitachi/Woojin	2014 (prev.)	24,0	30	0,8	3,5	-	25.000	398	6.823
Brasil										
SP – Linha 15 (Tiradentes)	Bombardier	2014 (prev. T1) 2017	24	17	1,4	1,5	500.000	-	1.002	40.080
SP – Linha 17 (Aeroporto)	Scomi/MPE	2015 (prev.)	17	18	0,9	5,0	252.000	0	400	4.800
SP – Linha 18 (ABC)	Indefinido	-	20,5	18	1,1	2,0	340.000	-	840	21.640

* Considerando 6 passageiros/m², de acordo com especificações de cada fabricante.

** Capacidade de sistema (cálculo nosso): capacidade de composição multiplicada pelo headway máximo.

A tabela 2 mostra que as composições utilizadas nos monotrilhos mais pesados comportam de 400 a 1.000 passageiros.³⁴ Um bom parâmetro para situar os limites do material rodante está nas faixas de capacidade dos veículos de alguns modos de média e alta capacidade, que têm sido mais implantados recentemente (capacidade em passageiros por unidade operacional):³⁵

- BRT (*Bus Rapid Transit*): 40-150
- Metrô Leve (*LRT, Light Rail Transit*): 110-250
- Metrô (*RRT, Rapid Rail Transit*): 140-2.400

A capacidade nominal das composições da linha 15 e das linhas de Chongqing (da ordem de 1.000 passageiros) é bastante alta se comparada aos demais monotrilhos. Entretanto, ainda que possa ser enquadrada nos abrangentes limites do metrô apresentados é significativamente inferior à capacidade nominal dos trens das linhas 1 e 3 do Metrô de São Paulo – que se encontram na casa dos 2.200 passageiros³⁶ – e ao limite da categoria (2.400 passageiros). Vale ressaltar que tanto os valores da linha 15, quanto os das linhas 1 e 3 foram calculados com base na taxa de ocupação de seis passageiros (de pé) por m². Portanto, sob as mesmas condições operacionais (intervalo entre as composições e taxa de ocupação dos trens), a linha 15 tem um pouco menos do que a metade da capacidade dos trens de metrô mais carregados de São Paulo – proporção que se reflete na capacidade geral dos dois sistemas, pois o intervalo (*headway*) pretendido para a operação da linha 15 é praticamente o mesmo do praticado nas linhas de metrô paulistanas.³⁷

34. Sobre o tamanho das composições, algumas considerações. A maioria dos monotrilhos “novelty” possui, no máximo, dois carros por composição. Todos os monotrilhos da tabela 2 têm mais de quatro carros, com exceção das linhas de Daegu e Kuala Lumpur. Atualmente, as composições dessa última operam com dois carros, contudo há uma previsão de aumento para quatro, que foi a situação considerada na tabela 2. Os monotrilhos de Chongqing também estão preparados para operar trens maiores (com oito carros), nesse caso constam tanto os dados da situação futura (oito carros), quanto da atual. A linha 15 de São Paulo prevê material rodante com sete carros e, mesmo assim, apresenta expectativa de carregamento maior do que o de Chongqing com oito carros.

35. A dificuldade de se comparar modos de transporte tem aumentado nos últimos anos, muito por conta de certa dilatação dos parâmetros de classificação tradicional. Os limites das faixas de demanda, velocidade e frequência de cada modo têm sido esticados seja pela implementação de inovações tecnológicas (nos sistemas de sinalização e controle), seja por meio de medidas controversas que pioram o conforto dos usuários (como, por exemplo, a retirada de assentos dos veículos). Ainda que se considere tal diluição de parâmetros, é possível identificar as “faixas de domínio” de cada modo e as fornecidas por Vuchic estão bem atualizadas em relação a essas mudanças em curso (Vuchic, 2007, p. 76).

36. De acordo com os sites do Metrô e da CAF, que fornece parte do material rodante ao Metrô de São Paulo.

37. Por essa razão, a capacidade do sistema da linha 15 (40 mil usuários/hora, para um intervalo de 90 segundos) é a metade do limite operacional do metrô (88 mil passageiros/hora), se considerado o mesmo intervalo de 90 segundos (frequência de 40 trens/hora).



www.antp.org.br

Intervalo entre as composições (*headway*)

A lotação dos trens, contudo, não é suficiente para explicar a diferença de capacidade de sistema existente entre a linha 15 de São Paulo e a linha 3 de Chongqing (atualmente a mais carregada do mundo).³⁸ A chave da questão está justamente na frequência (ou no intervalo, que é o seu inverso). Com exceção da linha 17 (Aeroporto) – de caráter operacional mais próximo do convencional – os monotrilhos de São Paulo estão sendo construídos para operarem com intervalos muito baixos. O da linha 18 (ABC) – 120 segundos – é equivalente ao da linha 3 de Chongqing, enquanto o da linha 15 é ainda menor (90 segundos), gerando uma capacidade geral de sistema de 40 mil passageiros/ hora.³⁹

O principal elemento tecnológico que permite a obtenção de menores intervalos, conforme apreendido em documentos oficiais da Companhia do Metrô, é o sistema de controle tipo CBTC (communication based train control).⁴⁰ A China é um dos lugares onde mais se implanta sistemas CBTC e, ainda assim, o intervalo do monotrilho da linha 3 de Chongqing não é menor do que 120 segundos. Em artigo publicado em 2012 na *Hitachi Review*, afirma-se que a linha chinesa – a primeira experiência de implementação do CBTC da Hitachi fora do Japão – foi desenvolvida desde o princípio para incorporar a tecnologia mais avançada de operação automática (*driverless operation*), “permitindo serviços de alta densidade com intervalo entre os trens de apenas 120 segundos”.⁴¹

Embora não haja nada no artigo que permita concluir que 120 segundos seja o limite da tecnologia, o texto fornece alguns indícios de que a meta de 90 segundos de intervalo almejada para a linha 15 é bastante ambiciosa (o que dirá a de 75 segundos). Os autores afirmam, categoricamente, que é mais difícil obter intervalos menores com monotrilhos do que com metrô convencional. Além dos gargalos provocados pelos dispositivos de mudança de via e de sentido – mais lentos que os dispositivos dos sistemas sobre trilhos convencionais

38. De forma diversa à linha 2 de Chongqing, cujo dado da capacidade nominal do sistema foi encontrado (Hitachi Review, vol. 54, nº 4, 2005), a capacidade da linha 3 foi calculada a partir dos dados de capacidade da composição e do intervalo, ambos extraídos de outro artigo do mesmo periódico (Hitachi Review, vol. 61, nº 7, 2012).

39. Os dados oficiais (apresentados no EIA-RIMA, no edital da licitação e nos sites do Metrô-SP e da Bombardier) apontam para um intervalo operacional de 90 segundos e um intervalo de projeto de 75 segundos. Por essa razão, está sendo considerado apenas o intervalo de 90 segundos e o seu correspondente de capacidade – 40 mil passageiros/ hora.

40. Basicamente, o CBTC é um sistema de controle que permite maior proximidade entre os trens em circulação. A grande novidade é a transformação dos segmentos de controle, até então fixos, em unidades móveis. Com o CBTC é possível determinar a posição dos trens em operação com maior precisão do que a obtida por meio dos métodos convencionais. Com menos erro, é possível diminuir a distância de segurança entre as composições e aumentar a frequência do sistema.

41. Hitachi Review, 2012 (p. 347).

– os autores apontam para o fato de que as taxas de aceleração e frenagem dos monorrelhos são naturalmente mais baixas.⁴²

Tabela 3
Aceleração e frenagem (modos genéricos e linhas de monorrelho)

Modo / linhas	Aceleração (m/s ²)	Desaceleração (m/s ²)	Frenagem emergência (m/s ²)
Metrô (RRT)	1,4	–	2,1
VLT	1,3	–	3,0
Trem regional	1,3	–	1,4
Metrô São Paulo – L1 e L3	1,1	1,5	1,2
Monorrelho Chongqing – L2	0,8	1,1	1,3
Monorrelho Dubai	1,0	1,1	1,3
Monorrelho São Paulo – L15	1,0	1,0	–

Fonte: Categorias genéricas – Vuchic, 2007; Metrô de SP – CAF (sítio); monorrelhos de SP e Dubai – Bombardier (sítio); monorrelho de Chongqing – Hitachi Review (2005).

A experiência acumulada mostra que os monorrelhos apresentam maior dificuldade de aceleração e frenagem. De fato, apesar do tipo de suporte (pneu sobre viga de concreto),⁴³ os monorrelhos apresentam taxas de aceleração e frenagem mais próximas das dos trens de baixa densidade de serviço do que das do metrô, como pode ser visto na tabela 3 acima.

A distância entre as estações é um fator que também está relacionado com o desempenho de aceleração e frenagem. A baixa densidade de paradas que as linhas de monorrelho apresentam em geral é uma evidência de que os monorrelhos necessitam de maiores deslocamentos para vencer a inércia, o que dificulta a implantação de estações muito próximas. Um dos aspectos que caracteriza o modo metrô (e o diferencial dos demais modos de alta capacidade, como o trem metropolitano) é justamente a maior densidade de paradas.⁴⁴ A distância entre estações de uma linha de metrô pode chegar a até 500 m, algo difícil de se obter com um desempenho de marcha como o do monorrelho.⁴⁵

42. “The nature of monorails vehicles means that their accelerations, decelerations and top speeds are slower than those of conventional underground rolling stock”. Hitachi Review, 2012, p. 350.

43. Sabe-se que os veículos sobre pneus tendem a apresentar melhores condições de aceleração e frenagem, por conta da maior aderência da roda sobre a superfície de contato.

44. Não tão alta quanto a do ônibus convencional, mas a maior dentre os modos de alta capacidade. De acordo com Vuchic, a distância entre estações dos sistemas de metrô se encontra na faixa de 500 m a 2 km. As redes de metrô de Paris e Barcelona, por exemplo, apresentam distância média entre estações de 700 m, chegando a menos de 500 m, em alguns casos (Sort, 2006, p. 183).

45. As linhas que conseguem operar os intervalos mais baixos apresentam distância média entre estações maiores do que 1 km; linha 15 e linha 3 de Chongqing com cerca de 1,4 km; e linha 18 com cerca de 1,2 km.



www.antp.org.br

Tecnologia

Do ponto de vista tecnológico, portanto, duas conclusões podem ser tiradas. A primeira é que as características tecnológicas dos monorrelhos mais determinantes em termos de desempenho não são as mais apropriadas ao transporte de massa de alta densidade de serviço. Em outras palavras, os sistemas de monorrelhos não são a melhor escolha para exercer tal função.

Em segundo lugar, para atender a faixa de alta capacidade, os monorrelhos têm de operar em condições extremas, desde o princípio. Fator importante a ser considerado, uma vez que além de eliminar qualquer possibilidade de ampliação futura do atendimento, aumenta-se o custo operacional relativo, como se verá à frente.

Concretamente: a linha 15 de São Paulo já vai iniciar sua operação com a capacidade saturada. Ainda que seja possível alcançar o índice pretendido de 40 mil passageiros/ hora – e que esse valor esteja na faixa de domínio do metrô (segundo Vuchic, de 10 mil a 70 mil usuários/ hora)⁴⁶ – esse feito só pode ser obtido em condições limítrofes. Segundo os parâmetros do mesmo autor, a faixa de capacidade mais apropriada para os monorrelhos está mais para a intermediária (de 4 mil a 20 mil usuários/ hora) do que para alta capacidade.⁴⁷

Aspectos especiais

A discussão sobre as “vantagens” e “desvantagens” dos monorrelhos pode ser feita com um pouco mais de sentido após a análise, ainda que simplificada, sobre sua capacidade, (como a apresentada acima). É a partir dela uma observação metodológica se impõe: comparar, de maneira abstrata, características construtivas de linhas de monorrelho com linhas de metrô subterrâneo é um erro, pois, como demonstrado, trata-se de modos distintos, que servem a objetivos igualmente distintos. Não podem ser comparados, pois não pertencem à mesma categoria.

A ideia de tratar tais aspectos como “vantagens” ou “desvantagens” será aqui rechaçada por esses termos carregarem o sentido de concorrência (a vantagem de algo só pode existir em relação aos seus concorrentes). Em vez disso, é preferível avaliar os limites dessas características no cenário de utilização dos monorrelhos na função de transporte de massa.

A maior leveza e a menor intrusão na paisagem, que tanto a via quanto as estações possuem, são elencadas como um dos principais aspectos positivos dos monorrelhos. Como “maior” e “menor” são adjetivos comparativos, é evidente que a leveza e intrusão só podem ser julgadas em

46. Vuchic, 2007, p. 76.

47. Idem, ibidem, p. 77.

referência aos elevados ferroviários convencionais, indiscutivelmente mais pesados. Embora a afirmação seja verdadeira – objeções à comparação à parte – não se pode negar que os monotrilhos também provocam significativa obstrução visual, ainda que menor do que a dos outros elevados.⁴⁸ E, mais importante ainda, os efeitos positivos desse aspecto são tanto mais atenuados quanto maior for a capacidade do sistema. Uma linha como a de Shōnan, em via singela, é muito mais leve do que as vias que estão sendo construídas em São Paulo.

Isso ocorre não apenas porque as composições maiores demandam estruturas mais robustas – por conta do maior carregamento e complexidade – mas também porque exigem estações maiores. Nessa situação, as plataformas tendem a ser mais compridas e, com mais passageiros circulando, o aparato de circulação vertical necessário torna a edificação das estações ainda mais intrusiva na paisagem urbana.⁴⁹

A possibilidade de elaboração de traçados com parâmetros geométricos menos restritivos é mais um aspecto positivo que é atenuado à medida da ampliação da necessidade de se operar intervalos pequenos. Ainda que rampas de 6% e raios de 50 m possam ser tolerados nos sistemas de monotrilho, a sua utilização compromete o diagrama de marcha da linha. As características operacionais requisitadas pela função de transporte de massa acabam limitando os parâmetros geométricos em maior medida do que a tecnologia, propriamente. Um exemplo disso pode ser encontrado no EIA-Rima da linha 18 que apresenta especificações de traçado – máximo de 4% de rampa, mínimo de 100 m de raio de curva horizontal – mais severos do que a tecnologia permite.⁵⁰

A única vantagem dos parâmetros geométricos menos restritivos do monotrilho é a maior possibilidade de se compatibilizar seu traçado com eixos viários existentes. Por essa razão, os monotrilhos em geral se limitam à reprodução do desenho geométrico das vias que precederam sua implantação. Demery afirma que a maior parte dos 110 km de linhas de “monotrilhos urbanos” existentes no Japão possuem o traçado implantado ao longo de eixos viários, sendo muitos de vias expressas.⁵¹ Mas, se, por um lado, a implantação de um monotrilho sobre uma avenida existente produz como ganho o incremento de

48. Sem mencionar o fato óbvio de que a intrusão das vias subterrâneas é nula. Logo, se o intuito é comparar com outros modos, a comparação deveria ser feita em relação às demais formas de implantação – vala, túnel, trincheira, segregado em superfície e elevado convencional.

49. Tanto as plataformas da linha 3 de Chongqing, quanto as da linha 15 de São Paulo tem 90 m de comprimento, ao passo que, nos demais monotrilhos, as plataformas têm no máximo 60 m.

50. Ver item 7.3.3 – Características operacionais básicas, no volume I do EIA-Rima (p. 186). Mais à frente, no mesmo documento, é possível perceber que não há, de fato, nos mais de 20 km de traçado do projeto funcional, nenhuma rampa com inclinação superior a 3,2%.

51. Quando não construídos sobre vias existentes, as linhas foram projetadas para aproveitar a interdição de obras de novas avenidas que já estavam programadas (Demery, 2005, p. 4).



www.antp.org.br

capacidade e de tempo de viagem dos deslocamentos, por outro, representa, simultaneamente, a perda de uma característica fundamental dos transportes de massa – qual seja, a de seu potencial de transformação da divisão modal, da matriz de deslocamentos e, em última instância, do próprio espaço urbano.

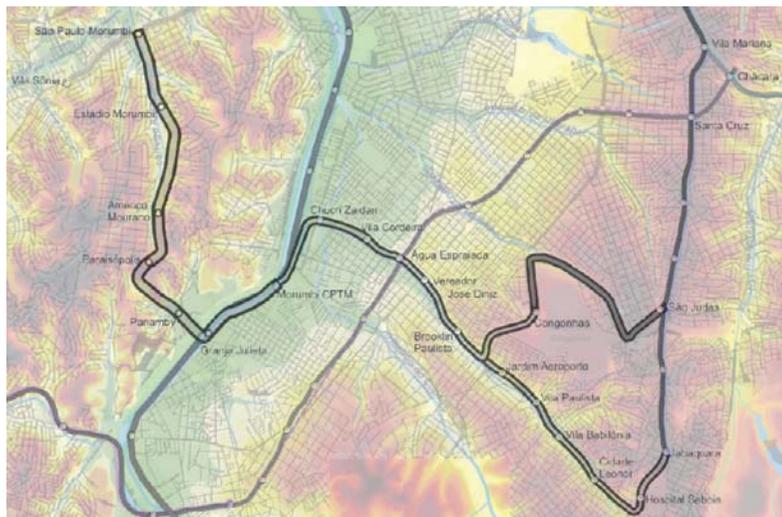
No caso de São Paulo, onde há uma carência indiscutível de novos eixos de deslocamento, essa perda é muito significativa. A estrutura morfológica (hídrica e topográfica) do sítio urbano paulistano é de natureza centrípeta. Esse fator, aliado ao histórico baixo nível de investimento em infraestrutura praticado no Brasil, privilegiou a construção de eixos radiais de circulação, pois esses demandam menor esforço. O aspecto radial da estrutura viária principal, sem amarrações suficientes entre seus tramos, impõe um sistema de poucas possibilidades de deslocamento e de baixíssimo nível de eficiência. Provoca um elevado diferencial de carregamento nos sentidos opostos, acarretando simultaneamente sobrecarregamento e ociosidade da rede.

A elevação do padrão de performance dos serviços passa, portanto, por uma melhor distribuição dos deslocamentos. Isso significa que, além de aumentar o nível de investimento em infraestrutura – muito acanhada para o volume e padrão de viagens da RMS – é preciso colocar em pauta a abertura de novos eixos de circulação, transversais às vias de espigão e de fundo de vale consolidadas.

Um traçado de fundamental importância, como o da linha 2-Verde do Metrô – que atravessa sucessivos vales e espigões, na zona Leste da cidade –, seria praticamente inviável com monotrilhos (ou com qualquer modo baseado em via elevada). A razão é a usual subordinação deles à estrutura viária. Ou, dito de outra forma, para vencer acidentes topográficos com base na nossa pobre malha viária, um monotrilho precisaria seguir traçado extremamente sinuoso, condenado à rede de vias locais que acompanham a topografia.

O caso da linha 17- Ouro ajuda a ilustrar a questão. É evidente que o caminho estabelecido no projeto funcional não é o mais curto e direto para atender a sua diretriz de transporte, qual seja, conectar o aeroporto de Congonhas à malha da CPTM (ao cruzar com a linha 9-Esmeralda) e à rede de metrô (integrando-se à linha 4 na estação Morumbi). O aproveitamento da av. Jornalista Roberto Marinho (avenida de fundo de vale) é compreensível, pois sua seção transversal é bastante generosa, mas o enorme desvio necessário para contornar a área de relevo mais movimentado implica em um traçado muito mais extenso. Se fosse subterrânea a linha, em vez de correr em paralelo ao trem da marginal Pinheiros, depois seguir pelos vales dos córregos Panamby e Antonico, poderia optar por um caminho mais curto, passando por baixo do Real Parque e do Jardim Leonor, por exemplo.

Figura 1
Linha 17-Ouro



Montagem nossa com base em imagens do EIA-RIMA, cf. Companhia do Metropolitano..., 2010. Em cinza (traço simples), as linhas do metrô 1 e 5 (com o trecho Adolfo Pinheiro – Klabin ainda em construção); em traço duplo, os três segmentos da linha 17-Ouro.

Uma eventual implantação mista, ainda em monotrilho, com um trecho elevado (sobre a av. Roberto Marinho), seguido de um trecho subterrâneo, também seria uma alternativa. Entretanto, embora túneis sejam admissíveis na condução de monotrilhos,⁵² se comparados aos dos metrô convencionais, exigem escavações com seções transversais maiores e, portanto, mais caras. Isso ocorre porque os sistemas de monotrilho (sobretudo a tipologia Alweg) requerem trens com mecanismos de engrenagens e rodas bastante complexos, que ocupam mais espaço e fazem com que a altura da composição seja maior do que a dos veículos sobre trilhos convencionais.

Dentre o conjunto de aspectos problemáticos atribuídos aos monotrilhos, um dos mais citados é a dificuldade de evacuação em situações de emergência. As providências recomendadas para sua mitigação, contudo, acarretam outros problemas: as passarelas de emergência, geralmente em estrutura metálica, contribuem para o aumento da obstrução visual das linhas. Em adição, a necessidade de se poder contar com vias de apoio

52. Existem alguns casos de túneis para monotrilhos (como em determinados trechos das linhas de Chongqing) que são perfurações curtas, feitas apenas para vencer obstáculos de relevo. Não há nenhum caso de monotrilho totalmente subterrâneo.



www.antp.org.br

para trânsito de veículos de resgate induz o projeto do traçado ao alinhamento dos eixos viários existentes ou demanda a construção de novas vias, aproximando o custo de implantação ao do metrô. Merece comentário, ainda, a dificuldade de se operar a mudança de via. Os AMV (aparelhos de mudança de via) dos monotrilhos consistem em vigas móveis, cujos deslocamentos consomem mais tempo e requerem mais espaço que as chaves dos sistemas ferroviários tradicionais.⁵³ Os cruzamentos de via são ainda mais complexos e os pátios de manobra requerem maior espaço – ambos afetando o custo global. Evidentemente, quanto maior o carregamento, maior é o impacto desses aspectos na operação.

Custos comparativos

Por todas as considerações acima apontadas, o cotejamento dos custos de implantação entre os sistemas de metrô e de monotrilho deve ser feito com o devido cuidado. Comparações de custos relativos por quilômetro, em abstrato, não servem para muita coisa. Não podem ser desprezadas, tampouco, as diferenças em termos do benefício relativo que os diferentes modos proporcionam – sejam em termos de capacidade de sistema, sejam no tocante à organização espacial.

Demery mostra que todas as linhas de monotrilho do Japão, com exceção do monotrilho de Tóquio, foram construídas por meio de parcerias público-privadas nas quais coube ao ente privado o material rodante e a construção da via permanente (apenas da via e das estações, sem os custos de urbanização). O Estado, sempre com a maior fatia dos encargos, assumia em geral, os custos de urbanização, as obras viárias associadas e as desapropriações.⁵⁴

Em São Paulo, muitas vezes os dados relativos aos custos das obras das linhas de monotrilho correspondem apenas à contraparte dos consórcios vencedores das licitações. O custo global correto, para ser passível de comparação, teria de incluir as despesas com as obras viárias, urbanização e com as desapropriações (que em geral ficam a cargo do Estado).

A análise de custos, evidentemente, não pode se restringir apenas ao capital fixo (de implantação da linha). É necessário incluir o capital variável, consumido ao longo da operação. Muitos são os indícios de que o custo operacional dos monotrilhos é demasiadamente alto. Em boa parte das cidades que possuem monotrilhos urbanos há uma significativa diferença no valor de suas tarifas em relação aos demais modos. Embora tal afirmação não seja suficiente para sustentar a tese

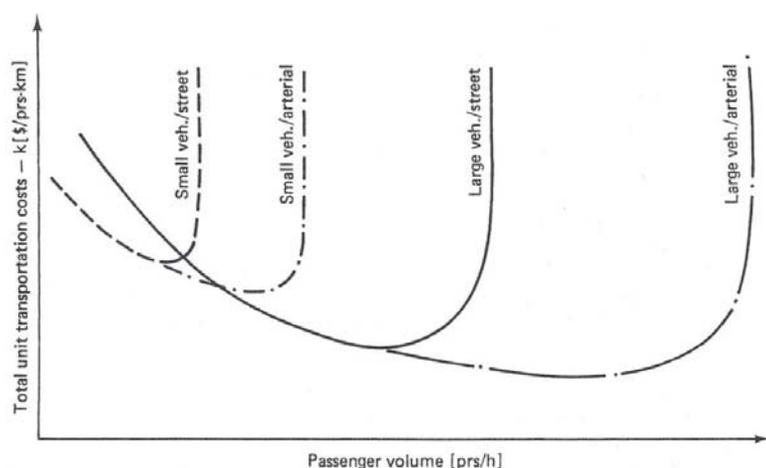
53. Vuchic, 2007, p. 472.

54. Quando não construídas sobre vias existentes, as linhas japonesas foram projetadas em operação casada com obras viárias de grande porte, já programadas. O monotrilho de Kitakyushu, por exemplo, foi planejado para ser construído sobre uma via expressa elevada, para automóveis, ainda em projeto (Demery, *ibid*).

de que sua operação é mais cara (depende de outros fatores, entre os quais o nível de subsídios ou o perfil de viagens que atendem) – ela é um indício disso, ainda mais se associado ao fato de que muitos monorrelhos atravessaram crises financeiras por não conseguirem cobrir os custos com as receitas de bilhetagem.⁵⁵

Quanto aos custos relativos ao aspecto operacional do sistema, sabe-se que o exercício da função de transporte de massa – alta capacidade e alta densidade de serviço – diminui a produtividade dos monorrelhos. Isso ocorre porque o simples fato de operar no limite da capacidade eleva, significativamente, o custo relativo do passageiro transportado.⁵⁶

Figura 2
Impacto da capacidade de via e veículo sobre unidade de custo



Apesar do gráfico representar um modo específico (automóvel), o comportamento da variação de custo relativo por volume de passageiros vale para qualquer modo. De acordo com Vuchic, o custo total de cada modo decresce com o acréscimo do volume de passageiros e alcança um ponto ótimo, a partir do qual, quando a capacidade do sistema é alcançada, os custos crescem vertiginosamente.

55. Ainda que seja da natureza do transporte urbano apresentar operação deficitária, essa pode ser tolerada até certo nível. Wright aponta para o reflexo das dificuldades financeiras nas altas tarifas em vários casos de monorrelhos, como Kuala Lumpur, Las Vegas e Osaka, entre outros. O caso de Kuala Lumpur é um dos mais problemáticos. Em 1998, a MTrans, uma empresa malaia, assumiu o projeto no lugar da Hitachi e reiniciou as obras que haviam sido abandonadas no ano anterior. A linha foi inaugurada em 2003 e sua operação foi concedida a um consórcio privado, a KL Infrastructure. Depois de sofrer com a baixa rentabilidade (mesmo operando com tarifas mais altas que as dos demais modos da metrópole) a KL Infrastructure faliu e sua operação foi assumida pela estatal Prasarana. A Socomi comprou a MTrans e hoje é a fornecedora do monorrelho de Kuala Lumpur. A linha tem operado um carregamento 35% superior à sua capacidade máxima. Um projeto previsto para 2013 para duplicar as composições (de dois para quatro carros) está nos planos (Cf. Wright, 2005 e KL Monorail expansion plan on track and proceeding smoothly. Disponível em: <http://www.myrapid.com.my/news-events/media-releases/2012/kl-monorail-fleet-expansion-plan-track-and-proceeding-smoothly>).

56. Vuchic, 2007, p. 57.

Tempo de obra

As mesmas ressalvas que se fazem quanto às eventuais vantagens relativas aos custos da obra podem ser feitas em relação aos tempos envolvidos em sua implantação. Quanto maior a capacidade do sistema e maior o potencial de transformação que lhe é inerente, maior tende a ser o tempo necessário à realização da obra. Os monorrelhos de maior porte – com exceção do monorrelho de Tóquio, que é um caso à parte – levaram bastante tempo para serem construídos.

A tabela 4 mostra que, baseado na experiência acumulada de monorrelhos de alta capacidade, ainda não é possível confirmar a suposição de que a construção de monorrelhos é significativamente mais rápida que a de linhas de metrô subterrâneas. A própria construção da linha 15 não corrobora essa hipótese. Apenas o trecho inicial de cerca de três km e duas estações, com inauguração em 2014, consumiu quatro anos em sua construção.

Tabela 4
Tempo de construção de alguns monorrelhos

Linha	Construção (tempo aprox.)	Extensão (km)	Ritmo km/ano
Kitakyushu	7 anos (1978 a 1985)	8,8	1,3
Chiba	18 anos (1981 a 1999)	15,2	0,8
Osaka (tronco)	15 anos (1982 a 1997)	21,8	1,5
Tama	10 anos (1990 a 1998)	16,0	1,6
Naha (Okinawa)	7 anos (1996 a 2003)	13,0	1,9
Chongqing – Linha 2	6 anos (1999 a 2005)	18,0	3,0
Kuala Lumpur	5 anos (1998-2003)	8,6	1,7
Metrô-SP – Linha 4	7 anos (2004 a 2011)	12,8	1,8
Metrô de Tóquio Linha E – Oedo	12 anos (1988-2000)	40,7	3,4
Metrô de Tóquio Linha F – Fukutoshin (Trecho 2)	7 anos (2001-2008)	8,9	1,3

Constituição de redes

O último aspecto que merece comentário é o que diz respeito à possibilidade, ou facilidade, de se organizar linhas de monorrelho em redes. Considerando sua faixa mais confortável de operação, compatível com as demandas típicas de aglomerações de porte médio, monorrelhos poderiam comparecer como alternativas para a constituição de redes estruturais desses centros, como ocorre com o VLT. Não há, porém, casos concretos para endossar a suposição. Quase todos os projetos de redes de monorrelhos falharam em seu intento. Além do caso de Los Angeles (abandonado ainda em fase de projeto), a linha



Kokura (Kitakyushu, Japão) inaugurada em 1985 fazia parte de um plano de rede de três linhas que, depois das dificuldades de operação da primeira linha, foi engavetado.⁵⁷

Dentre os fatores técnicos que concorrem para essa situação, a comentada dificuldade de operar mudanças de via e cruzamentos compromete alguns tipos de arranjos próprios de redes ferroviárias (como ramal, corredor duplicado e serviço expresso), o que implica em menor flexibilidade de traçado. O caso do sistema “Y” de Chiba é discutível, pois o intervalo entre trens na hora pico é de 10 minutos (no vale é de 26 minutos), o que provavelmente se deve ao gargalo da mudança de via.

Os casos de Chongqin, Jacarta, São Paulo e, sobretudo, Mumbai (cuja monorail em construção faz parte de um plano de sete linhas), são laboratórios de uma nova proposta: conferir-lhes um papel importante na formação de uma rede híbrida de alta capacidade. São casos muito recentes e merecem estudos aprofundados.

Por ora, e mais importante, é possível dizer que a mencionada alta dependência dos monorails em relação a avenidas largas restringe, consideravelmente, o universo de possibilidades de seu traçado em rede. Aspecto que é mais problemático ainda em uma metrópole como São Paulo, carente dessas vias.

Observações finais

O planejamento de transportes não deve se restringir apenas à tarefa de dimensionar um serviço para atender a determinada faixa de demanda. Uma nova linha de transporte não pode ser pensada de maneira isolada, pois sua implantação transforma não apenas a sua área de atendimento imediato, mas também o sistema de transporte da metrópole como um todo (principalmente por alterar a maneira pela qual as demais linhas se relacionam em rede). É claro que isso ocorre em diferentes graus de intensidade entre as diversas porções do espaço, e varia de acordo com o porte de cada nova infraestrutura acrescentada.

As linhas de mais alta capacidade tendem, obviamente, a provocar transformações mais significativas. Por essa razão, além de corresponderem à demanda de transporte já configurada, também é papel dos modos de alta capacidade ser ferramentas de transformação do espaço. Sob esse ponto de vista, os modos de transporte – cujo desenho seja contingenciado pela relativa riqueza, pobreza, grau de homogeneidade ou diferenciação espacial da rede viária existente – apresentam menor potencial de transformação do espaço urbano do que os que não possuem esse vínculo tão estreito.

57. Cf. Demery, 2006.

Demery afirma claramente que o monorail não é adequado para exercer um papel na rede de transporte estrutural.

*This generated some interest in monorail technology, but planners concluded that monorails were not suitable for the busiest trunk lines in Japan's largest cities. (...) Japanese planners chose metros in corridors where traffic justified investment for new urban transport facilities. Short test lines and even the Tōkyō Monorail demonstrated that monorails could not carry the anticipated peak-period traffic volumes (Tōkyō metro lines carry up to eight times more traffic during the busiest hour than the Tōkyō Monorail). In addition, monorails are not compatible with conventional rail lines, and capability for through operation.*⁵⁸

De maneira simplificada, é possível afirmar que a tecnologia é o fator que determina: em primeira instância, a capacidade de transporte dos veículos e composições; e apenas em segunda (e até a um certo limite), a capacidade (fluxo) de veículos por rota operada. Essa última, por sua vez, está mais diretamente relacionada com o nível de segregação da via do que com a tecnologia propriamente. Assim, o nível de segregação (ou direito de via) parece constituir o fator mais determinante em termos de capacidade de sistema. Entretanto, mesmo o atributo “segregação total de via” é insuficiente para estabelecer um campo homogêneo. Existem formas diferentes de separar uma via das demais, sendo que a segregação em nível é, sabidamente, a mais desastrosa do ponto de vista urbanístico. Não apenas por que atua como barreira, seccionando o tecido urbano, mas também porque depende da infraestrutura instalada na superfície. Os elevados são melhores por que não provocam essa “compartimentação”, mas ainda são, em grande medida, dependentes da estrutura viária. A rede viária subterrânea também não é totalmente independente. Primeiramente, devido às restrições técnicas impostas pelas fundações das edificações maiores e do restante das infraestruturas enterradas. De modo mais significativo, porque seus pontos de contato com o chão da cidade não são mera técnica: assinalam ou inauguram pontos fundamentais no que diz respeito aos fluxos de deslocamentos. Mas, por conta dessa relativa autonomia, da forma seletiva de estabelecer contatos e do potencial de abrir novas possibilidades de deslocamento, o subterrâneo constitui a opção de implantação de maior potencial de transformação do espaço.

Portanto, se a associação entre *direito de via*, *tecnologia* e *serviço* é o bastante para determinar a faixa de capacidade de um modo, o mesmo não se diz em relação ao papel urbanístico que ele possa desempenhar. Em outros termos, é preciso um segundo nível de análise, com a consideração de uma nova categoria, que diz respeito ao *tipo de implantação da via* permanente. Muitos se referem a esse

58. Demery, 2005, p. 35.



www.antp.org.br

aspecto como “inserção urbana”, que é um termo vago e até equivocado, por tratar a infraestrutura como algo acessório (a ser acrescentado) ao espaço, quando, de fato, a infraestrutura é o próprio estofado do espaço.⁵⁹ Na falta de um termo apropriado, adotamos, provisoriamente, a expressão *tipologia de implantação*, pois carrega, em seu significado, um pouco do caráter *espacial* que as infraestruturas de transporte possuem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOMBARDIER, *Innova monorail 300 technology - automated monorail system*. Berlim: Bombardier Transportations (brochure).
- BOULADON, G. The transport gaps. In: *Science Journal*, abril 1967, Londres, Associated Iiffe Press, 1967.
- DEMERY Jr., Leroy W. *Monorails in Japan, an overview*. Vallejo: Public Transit. US, 2005.
- NEHASHI, Akira. New types of guided transport. In: *Japan Railway & Transport Review*, nº 26, 2001, p. 56-67.
- SÃO PAULO. Companhia do Metropolitano de. *EIA-RIMA - Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental: Linha 17-Ouro – Ligação do Aeroporto de Congonhas à rede metroferroviária*. São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2010.
- _____. *EIA-RIMA: Linha 18-Bronze – Trecho Tamandateí – Alvarenga*. São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2012.
- _____. *Linha 17-Ouro – Jabaquara – São Paulo-Morumbi da Linha 4 – Ramal Congonhas: diretrizes básicas de projeto*. São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2010.
- _____. *Linha 2-Verde, Trecho Oratório – Cidade Tiradentes. Estudo de impacto ambiental*. São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2010.
- SEKITANI, T.; HIRASHI, M.; YAMAZAKI, S.; TAMOTSU, T. China's first urban monorail system in Chongqing. In: *Hitachi Review*, vol. 54, nº 4, 2005.
- SORT, Jordi J. *Redes metropolitanas*. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.
- TAZAKI, T.; LI, Z.; SANJO, K.; SAKAI, K.; SHIMADA, I.; TAOKA, H. Development of CBTC for global markets. In: *Hitachi Review*, vol. 61, nº 7, 2012.
- VOICE, David. *Monorails of the world – a history of passenger monorails*. Brora: Adam Gordon, 2010.
- UCHIC, Vukan R. *Urban transit – systems and technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- WRIGHT, Lloyd. Monorails: back to the future. In: *ITDP (Institute for Transportation & Development Policy) Special Reports*. Disponível em: <http://www.itdp.org/news/special-report-monorails-back-to-the-future>.

59. Portanto, não faz sentido inserir “no espaço urbano” algo que, por natureza, é espaço urbano.

20º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito



O Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito é um evento promovido biennialmente pela Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP desde 1977. O evento reúne, a cada edição, a maior comunidade técnica do setor da mobilidade urbana do país. A cada encontro uma cidade se coloca como anfitriã do evento. Nesta 20ª edição, o Congresso ocorrerá em Santos, importante cidade litorânea no Estado de São Paulo.



Fundada em 1946, Santos dista 72 quilômetros da Capital. Aos 468 anos de existência, com 433.153 habitantes, é a 10ª maior cidade do Estado de São Paulo, e ostenta o 5º lugar no ranking de qualidade de vida dos municípios brasileiros, conforme Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) aferido pela ONU com base nos níveis de expectativa de vida, educação e PIB per capita.

Cidade histórica, é conhecida internacionalmente por abrigar o maior porto da América do Sul – o Porto de Santos-, por onde passam 25% de toda a carga brasileira do comércio internacional e onde aportam navios de cruzeiros marítimos. Com forte economia e vocação para o lazer, Santos tem muitos atrativos, como os sete quilômetros de praia, acompanhados pelo maior jardim de orla do mundo.

A discussão da qualidade do transporte público, tarifa e financiamento tomaram conta da agenda nacional, não só de governos, como também da sociedade. Nos seus 37 anos de história, a ser comemorado em junho de 2014, a ANTP participa deste processo, reafirmando a importância do papel do transporte público para a construção das cidades brasileiras e cujas soluções, sendo adotadas em todos os cantos do país, poderão contribuir ou não com a qualidade de vida dos seus habitantes. Daí a inclusão na programação do 20º Congresso da avaliação dos resultados e impactos dos projetos que fazem parte dos investimentos reunidos nos

Programas de Aceleração do Crescimento - PAC da Mobilidade e da Copa.

O 20º Congresso também vai tratar dos avanços da luta em defesa da vida e dos compromissos com a promoção da segurança viária, como colocados na Campanha da ONU - "Década pela Segurança Viária".

Outro tema presente no 20º Congresso será o impacto do crescimento da motorização das cidades brasileiras e mundiais, uma vez que o congestionamento e a sustentabilidade do meio ambiente e da segurança viária tornaram-se importantes pilares na construção de cidades melhores para se viver.

Em paralelo ao Congresso ocorrerá a IX INTRANS – Exposição Internacional de Transporte e Trânsito, cujo objetivo é apresentar as mais recentes soluções e tecnologias em matéria de equipamentos, produtos, técnicas e serviços dirigidos ao transporte público e ao trânsito.

Estão sendo aguardados visitantes estrangeiros, além do público nacional constituído por Prefeitos, Secretários de Estado, autoridades federais e parlamentares, operadores públicos e privados, industriais, consultores, dirigentes sindicais patronais e de trabalhadores, acadêmicos, lideranças comunitárias, técnicos do setor e profissionais da mídia.

O 20º Congresso, pela qualidade e representatividade de seus participantes, espera por você. Coloque-o em sua agenda.