

A inovação tecnológica “verde” e seus possíveis efeitos na matriz de transportes do Brasil – considerações sobre o veículo de levitação magnética supercondutora (Maglev-Cobra)

Antonio Pastori

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

A inovação tecnológica “verde” e seus possíveis efeitos na matriz de transportes do Brasil – considerações sobre o veículo de levitação magnética supercondutora (Maglev-Cobra)

Antonio Pastori*

Resumo

O objetivo deste estudo é apresentar, em linhas gerais, um novo tipo de veículo urbano, denominado Maglev-Cobra, que tem como objetivo contribuir para a redução dos gastos com investimentos na construção de infraestrutura de transportes urbanos e, também, para a redução das emissões de gases CO₂ (dióxido de carbono) na atmosfera. Trata-se, portanto, de uma inovação nos transportes que utiliza a pioneira tecnologia levitação magnética supercondutora – LSC. Um protótipo desse veículo já está operando em escala de laboratório.

* Contador aposentado do Departamento de Transportes e Logística da Área de Infraestrutura do BNDES.

Introdução

A baixa mobilidade enfrentada pela grande maioria dos usuários do sistema de transportes urbanos tem se tornado um problema recorrente nas regiões metropolitanas dos grandes centros. A solução tradicional para eliminar esses “gargalos logísticos” tem se mostrado cada vez mais dispendiosa para os cofres públicos por causa da necessidade de construção de novas vias para melhorar a fluidez do tráfego.

É de conhecimento geral que a implantação dessa infraestrutura – construção de vias expressas, viadutos, túneis, estações e terminais para ônibus, trens, metrô etc. – em áreas densamente povoadas, além de serem demoradas, podem ter grande oscilação de custos, dependendo da quantidade de intervenções, do tipo de solo e do local, sem mencionar os gastos com desapropriações e remoção de moradores e comerciantes nas áreas envolvidas [Pastori (2007)].

Paralelamente, é procedente a preocupação de que os recursos públicos que são canalizados para os transportes públicos devem reverter em melhorias efetivas na fluidez do tráfego, bem como no aumento da acessibilidade e da mobilidade; e, que os custos de implantação e manutenção sejam competitivos, contribuindo para universalização do acesso, por meio de tarifas compatíveis com a renda do usuário final.

Além dessas exigências, hoje se faz cada vez mais presente que os meios de transportes sejam ecologicamente corretos, apresentando minimamente os seguintes atributos da denominada “tecnologia verde”:

- eficiência energética (baixo consumo de combustíveis);
- reduzidos níveis de emissão de gases e poluentes;
- baixo nível de ruídos.

Para responder a essas questões, o presente estudo analisa a tecnologia “verde” pioneira de um veículo movido à levitação magnética supercondutora, capaz de revolucionar a nossa matriz de transportes. Esse veículo experimental denomina-se Maglev-Cobra, pelo fato de que deverá ser modular, contando com articulações múltiplas (tipo anéis, à semelhança de um ofídio) que lhe permitirão inscrever-se em curvas “fechadas” com raios de 30 m a 60 m, vencer aclives entre 10% e 15% e aumentar seu comprimento adicionando ou removendo os “anéis”. Não se trata apenas de uma teoria, pois um protótipo desse veículo já está operando em escala

laboratorial numa pista oval de 30 m instalada no Laboratório de Aplicação de Supercondutores do DEE – Lasup, do Departamento de Energia Elétrica da Coppe/UFRJ. O passo seguinte – objeto deste estudo – é a construção de um veículo em escala real para transporte de pessoas numa pista de pouco mais de 200 m, conforme veremos mais adiante.

Para tanto, o presente estudo foi estruturado em cinco seções, além desta introdução. Na segunda seção apresentam-se algumas características da nossa matriz de transportes com o intuito de expor ao leitor o contexto do problema. A terceira seção discorre sobre a tecnologia inovadora de levitação magnética. O veículo experimental movido por essa tecnologia está apresentado na quarta seção, e o mercado futuro para sua aplicação encontra-se na quinta seção. Por derradeiro, são resumidas as vantagens e desvantagens dessa tecnologia, servindo de pano de fundo para a conclusão do estudo.

Algumas características dos transportes de cargas no Brasil

A principal característica da matriz de transportes nacional é a forte concentração no modal rodoviário, tanto no transporte de cargas quanto no de pessoas. O quadro a seguir apresenta essa distribuição em função do volume de carga transportada em milhões de TKU.¹

Quadro 1 | Matriz do transporte de cargas – 2007

Modal	Milhões de TKU	%
Rodoviário	485.625	61,09
Ferroviário	164.809	20,73
Aquaviário	108.000	13,59
Dutoviário	33.300	4,19
Aéreo	3.169	0,40
Total	794.903	100,00

Fonte: CNT (2009).

Comparativamente à estrutura de outros países, sobretudo em relação àqueles de grande extensão territorial (México, Austrália, Canadá, Estados Unidos e Rússia), em que o modal ferroviário tem forte participação, percebe-se como a nossa malha está mal distribuída [MT/MD (2007)]

¹ TKU - tonelagem útil por quilômetro. Medida equivalente ao transporte de uma tonelada útil à distância de um quilômetro.

Quadro 2 | Matriz de transporte – comparativo internacional

Países	Participação na Matriz de Transportes (%)			Custo/PIB
	Rodovia	Ferrovia	Hidrovia	%
França	81	17	2	n/d
Alemanha	72	15	13	13
Brasil*	61	21	18	20
México	55	11	34	18
Austrália	53	43	4	n/d
Áustria	49	45	6	n/d
Canadá	43	46	11	12
Estados Unidos	32	43	25	11
Rússia	8	81	11	n/d

Fonte: ANTT (2005).

* Dados relativos a 2007.

Interessante notar no Quadro 2 que o efeito dessa concentração se reflete no peso do custo dos transportes em relação ao PIB, que é maior que o de outros países de grande dimensão continental. Parte do problema também é decorrente da má qualidade da malha rodoviária nacional que, apesar da sua grande extensão, 1,6 milhão km, tem somente 13% (pouco mais de 200 mil km) pavimentados [CNT (2009)]. Sobre essa malha, trafega uma frota de 27,5 milhões de autoveículos, conforme indica o Quadro 3. Vale ressaltar que a Região Sudeste abriga bem mais da metade dessa frota.

Quadro 3 | Frota estimada de autoveículos – 2008
(Em milhares)

Estado	Automóveis	Comerciais leves	Caminhões	Ônibus	Total	% do estado
São Paulo	8.051	1.140	431	134	9.756	35,5
Minas Gerais	2.252	386	181	51	2.870	10,4
Rio de Janeiro	1.917	226	74	41	2.258	8,2
Espírito Santo	365	74	41	11	491	1,8
Total Região Sudeste	12.585	1.825	727	236	15.374	55,9
Demais regiões	9.299	1.771	838	199	12.106	44,1
Total Brasil	21.884	3.596	1.565	435	27.480	100,0
Participação por tipo	79,6%	13,1%	5,7%	1,6%	100,0%	

Fonte: Anfavea (2009).

Face à grande dimensão do seu território, o Brasil apresenta uma infraestrutura de transporte rodoviário de baixa densidade, com cerca de 26 km de vias pavimentadas por cada 1.000 km² de território, contrastando com os 447 km nos Estados Unidos (EUA), 57 km no México e 48 km no Canadá, para citar poucos exemplos [CTS (2009)].

Além disso, essa expressiva concentração no modal rodoviário conjugada ao crescimento da frota nos últimos anos está contribuindo para o incremento do número de acidentes com mortes no trânsito a cada ano.² Dados preliminares revelam a ocorrência de 36.666 mortes em 2008, somente em estradas federais, o que perfaz uma média de 100 óbitos/dia [O Globo (2009)]. Confirmando o que foi dito anteriormente, mais da metade das mortes provém da Região Sudeste, onde se concentra metade da frota nacional.

Outro aspecto deletério do setor rodoviário recai sobre o meio ambiente: o modal é o grande responsável pela grande maioria (88,3%) das 94,32 t de CO₂ lançadas na atmosfera, em 2008 [CNT (2009)].

Quadro 4 | Emissões de CO₂ por modal de transporte/2008

Modal	CO ₂ t/ano	Participação (%)
Setor rodoviário		
Caminhões	36,65	38,9
Comerciais leves	8,33	8,8
Ônibus	5,83	6,2
Veículos leves	32,49	34,4
Total do setor rodoviário	83,3	88,3
Setor aéreo	6,2	6,6
Setor marítimo	3,56	3,8
Setor ferroviário	1,26	1,3
Total geral	94,32	100,0

Fonte: CNT (2009).

² Estatísticas do Ministério dos Transportes revelam que **um em cada três veículos envolvidos em acidentes era de carga. Cerca de 35% dos veículos envolvidos em acidentes com mortes também eram de carga**; destes, mais da metade tinha mais de nove anos de utilização. Informações disponíveis em <<http://www.transportes.gov.br/Pare/acoes.htm>>.

Esses dois aspectos negativos – óbitos e poluição – justificam *per si* a necessidade de rever a nossa matriz de transportes, priorizando investimentos nos transportes coletivos, sobretudo aqueles sobre trilhos.

Nesse sentido, cabe destacar a pequena expressão da malha ferroviária nacional frente às dimensões do modal rodoviário: as ferrovias dedicadas ao transporte de cargas dispõem somente de 28 mil km de trilhos, contando com modesta frota de 2.624 locomotivas e pouco mais de 87 mil vagões [ANTT (2008)].

Combinando-se os números acima com o volume em TKU citado no Quadro 1, o resultado, em termos de eficiência, é bastante interessante: em 2007, cada uma das 2.624 locomotivas transportou, em média, 62,8 milhões de TKU, ao passo que cada um dos 1,5 milhão de caminhões – excluídos os comerciais leves –, transportaram somente 0,31 milhão de TKU, revelando que uma locomotiva possui uma capacidade 200 vezes maior que a do caminhão.

Outra constatação interessante pode ser obtida mediante a análise do consumo de combustível *vis-à-vis* a carga transportada, conforme indicado no Quadro 5:

Quadro 5 | Consumo de combustível no Brasil – 2008

Modal	Consumo de diesel (Milhões m ³) (A)	Participação (%)	Carga transportada (Milhões de TKU) (B)	C = B/A (TKU/m ³)
Rodoviário	32,71	96,5	485.625	14.846,38
Ferrovário	0,69	2,0	164.809	238.853,62
Hidroviário	0,48	1,4	108.000	225.000,00
Total geral	33,88	100,0	758.434	-

Fonte: CNT (2009).

A coluna “C” revela o volume de carga que pode ser transportado, por tipo de modal, com um metro cúbico de diesel (aproximadamente 1.000 litros). A conclusão imediata é que, com essa mesma quantidade de combustível, o modal ferroviário pode transportar uma carga 16 vezes maior.³

³ Praticamente a mesma relação pode ser obtida em relação ao hidroviário.

Eis, então, que estamos diante de um paradoxo: se o modal ferroviário é muito mais eficiente em termos de economicidade e produtividade, por que a malha ferroviária não consegue se expandir para atender à relevante demanda que hoje é francamente atendida pelo modal rodoviário? As respostas são muitas, mas algumas bastam para explicar as restrições na oferta de transporte pelo modal ferroviário.

1. Os granéis (produtos agrícolas e minério de ferro) respondem pelo maior volume transportado pelas ferrovias, representando mais de três quartos da carga total. Por se tratar de insumos básicos, de baixo valor agregado e com pequenas margens de lucro, o bom resultado financeiro depende do transporte de grandes volumes de granéis e com custo de frete compatível, o que seria impraticável pela via rodoviária. Isso faz com que esses produtos sejam extremamente dependentes do modal ferroviário para garantir sua comercialização de forma atraente ao produtor. Portanto, a concentração na movimentação de granéis faz com que boa parte dos ativos ferroviários estejam dedicados exclusivamente para movimentação desse tipo de carga cativa, restando pouco espaço para as demais.
2. Traçados antigos das linhas com muitas passagens de nível, contribuindo para que a velocidade média dos trens cargueiros seja de 25 km/h, contra 80 km/h nos EUA.
3. Grande concentração da malha na Região Sul e Sudeste e diferentes bitolas, dificultando a integração entre as ferrovias.
4. Reduzido volume de terminais multimodais⁴ que totalizam somente 309 em todo o Brasil [ANTT (2008)].
5. Baixa atividade na navegação de cabotagem, gargalos logísticos nos portos e nas ferrovias.
6. As concessionárias não são proprietárias das ferrovias, mas apenas arrendatárias, por prazo determinado (30 anos).⁵

⁴ A maioria desses terminais ferroviários está somente capacitada para receber granéis e muito pouco equipada para carga geral de maior valor agregado, que poderia ser containerizada, facilitando a movimentação porta a porta, que é cumprida com grande eficiência pelo caminhão.

⁵ Existe alguma incerteza quanto à renovação da concessão no futuro. Apesar dos expressivos investimentos realizados nos últimos anos, as concessionárias têm priorizado investimentos na compra, reforma ou locação de material rodante, na manutenção e na melhoria da via permanente, e na eliminação de gargalos logísticos.

Além dessas particularidades inerentes ao modelo brasileiro, o modal ferroviário, apesar de conter muito mais vantagens do que o rodoviário, é ainda refém das limitações físicas decorrentes da tecnologia própria do sistema de simples aderência (atrito pelo contato roda-trilho) que serve para promover o deslocamento dos trens e sua velocidade.

Por esse simples motivo, a geometria do traçado da via permanente não pode ter ângulos de inclinação superiores a 2% ou 2,5%, nem curvas de raios “fechados”. Em outras palavras, para dotar os trens com maior capacidade de carga, velocidade e segurança, o traçado deve ser o mais retilíneo possível, com curvas suaves, o que é bem diferente da geometria das rodovias. Isso encarece a obra, exigindo uma grande movimentação de materiais em cortes e aterros, construção de túneis, pontes e viadutos, além dos custos de desapropriação [Bicca (2001)].

Ainda assim, por melhor que seja o traçado, o material rodante, por estar sujeito às vibrações causadas pelo deslocamento do grande peso da carga, necessita de uma estrutura (rodas, eixos e chassis) bastante reforçada para suportar pressões elevadas. Isso se traduz em maior peso morto (tara), que vai consumir parte do esforço de tração. Além disso, o peso será distribuído sobre a via permanente junto com o peso da carga, provocando maior desgaste do material (trilhos e dormentes) e maiores custos de manutenção.

Por outro lado, em se tratando do transporte de passageiros, os investimentos serão mais expressivos na linearidade da via permanente para que as composições possam atingir velocidades bem maiores que os cargueiros e se movimentar com maior segurança.

Face a essas exigências, os custos na superestrutura da via permanente do trem de alta velocidade – TAV Rio-São Paulo-Campinas apresentam uma previsão de investimentos da ordem de R\$ 48 milhões/km, em função dos quase 200 km de túneis e viadutos necessários para vencer a escarpa da Serra do Mar no trecho fluminense, exigindo um traçado bastante retilíneo e com inclinação bem reduzida (menos de 1%). Na Linha 4 do Metrô de São Paulo foram gastos mais de R\$ 180 milhões/km por conta dos custos de perfuração de túneis, construção de estações subterrâneas e desapropriações. Felizmente, as ferrovias de carga demandam investimentos bem menores na via permanente, podendo variar de R\$ 2,5 milhões/km a R\$ 3,5 milhões/km, dependendo da bitola (largura entre trilhos).

Vale a pena registrar as perspectivas contidas no Plano Nacional de Logística & Transportes – PNLT, que objetiva alcançar, em 2023, matriz mais equilibrada entre os modais rodoviário e ferroviário, passando para 33% e 32%, respectivamente. No que tange à expansão das ferrovias, o plano prevê o incremento de 20.256 km de novas linhas ferroviárias no período de 2008 a 2023, ao custo total de R\$ 50,5 bilhões, o que resulta em custo médio de R\$ 2,5 milhões/km.⁶

Assim, a pergunta que se impõe é: existe alguma nova tecnologia de transporte terrestre que seja capaz de competir com os atuais sistemas, demandando custos de investimentos, operação e manutenção menores que os convencionais e que contenha alguns atributos que o enquadrem nas exigências ambientais do século XXI?

Nesse sentido, o melhor corolário para essas proposições seria o veículo Maglev-Cobra, uma inovação tecnológica envolvendo a levitação magnética supercondutora – LSC, que utiliza a propriedade diamagnética⁷ dos supercondutores e do campo magnético produzido por superímãs para obter o efeito de levitação, permitindo que ele flutue a poucos centímetros do solo. Assim que estiver flutuando e, conseqüentemente, livre da atração gravitacional, o Maglev poderá se deslocar graças aos pequenos impulsos produzidos por um motor linear elétrico que fica assentado ao longo de uma pista especial. A função desse motor é “puxar” o veículo a fim de permitir que seu deslocamento se dê de forma bastante silenciosa, pois estará livre do atrito e das vibrações das rodas contra a superfície de rolamento de asfalto ou de trilhos [Richard (2008)].

A tecnologia empregada no Maglev-Cobra pretende demonstrar em escala real que é um sistema de transporte inovador, energeticamente eficaz, que não gera ruídos, vibrações ou emissões gasosas, contando com a metade do peso de um veículo convencional. Essa vantagem implica que os custos de construção, da super e da infraestrutura, sejam inferiores, ficando bem mais vantajosos que o custo/km do metrô ou do TAV.

⁶ Os investimentos previstos no PNLT para o período 2008-2011 totalizam pouco mais de 4.000 km, com destaque para a expansão da malha da ex-Ferronorte até Rondonópolis/MT (260 km), Transnordestina (1.700 km), Norte-Sul (1.540 km). As duas primeiras estão sendo conduzidas pela iniciativa privada e contam com o apoio do BNDES. Esses investimentos podem contribuir para que a participação do modal ferroviário na matriz passe de 20,73% (2007) para algo próximo a 23,0 % (2011).

⁷ Materiais ou substâncias diamagnéticas são aquelas que, quando sujeitas a um campo magnético muito forte, são ligeiramente repelidas, por exemplo: vidro, água, antimônio, bismuto, chumbo, cobre, gases raros etc. Os materiais diamagnéticos comportam-se de maneira oposta aos materiais ou substâncias ferromagnéticas, que, quando sujeitas a um campo magnético, são facilmente atraídas como o aço, o níquel, o cobalto etc.

Inicialmente, a Fase I do projeto Maglev compreenderá a construção de um pequeno módulo veicular para passageiros que será movimentado em uma pista de testes de 228 m, com trechos com inclinação de até 15%, na velocidade máxima⁸ de 22 km/h. Essa pequena linha de testes será constituída por canaletas de concreto – tipo passarelas de pedestres – que vão abrigar o sistema de levitação (superimãs) e o sistema de tração (motor linear).

Contudo, o maior desafio é que o projeto Maglev ainda é um sistema inovador, com tecnologia pioneira e, consequentemente, com reduzida quantidade no mercado doméstico de fornecedores de serviços e de componentes críticos que promovem a levitação (criostatos, cerâmicas supercondutoras e superimãs).

A tecnologia de levitação magnética

Breve histórico da levitação magnética

O sistema de transporte ferroviário tem como principal característica o deslocamento do trem pela simples aderência, que é propiciada pelo contato da roda com o trilho. Essa tecnologia ainda é a mesma desde o surgimento da tração a vapor, no limiar da Revolução Industrial na Inglaterra, no início do século XIX, e persiste até hoje no sistema ferroviário, estando até mesmo presente nos TAVs. A tecnologia do TAV é tão somente um aperfeiçoamento do tradicional sistema roda-trilho, e não uma inovação propriamente dita. *Grosso modo*, a tecnologia do TAV assemelha-se à tecnologia da máquina de escrever elétrica, que é apenas um aperfeiçoamento da antiga máquina de escrever mecânica [David (2009)].

Por outro lado, a moderna tecnologia de levitação magnética aplicada aos transportes guarda semelhança com o computador e a impressora a laser, os quais podem ser considerados uma verdadeira inovação na forma de escrever.

Os estudos de transporte ferroviário empregando levitação remontam há pouco tempo (anos 1960), quando estudiosos e pesquisadores do assunto se reuniram em congressos mundiais para troca de experiências. As técnicas de levitação magnética, pela intensidade da força que produzem, podem ser empregadas em sistema de transporte de alta capacidade de passageiros, operando em alta e média velocidades. Segundo Stephan (2008), esses sistemas podem ser subdivididos em três grupos distintos:

⁸ O Maglev-Cobra está sendo concebido para futuramente operar a velocidades de até 80 km/h, por certas características intrínsecas à tecnologia de levitação nacional desenvolvida no Lasup, que é diferente das outras tecnologias de levitação magnética. O Maglev-Cobra não pretende competir com o TAV, mas com veículos convencionais que operam em áreas urbanas, cujos custos de implantação da infraestrutura são muito elevados.

Levitação Eletrodinâmica – LED

Esse tipo de levitação necessita do movimento de um campo magnético nas proximidades de um material condutor. Bobinas supercondutoras instaladas ao longo do veículo geram um campo magnético propício à repulsão quando o veículo vai se deslocando, como é o caso da proposta japonesa do veículo denominado Levmag. Nesse sistema, um trem com características convencionais (sistema roda-trilho) desloca-se ao longo de corredores em que estão instaladas bobinas condutoras. Após ultrapassar a velocidade de 120 km/h, é criado o efeito eletrodinâmico e o trem começa a levitar. Uma linha experimental de 18,4 km foi inaugurada em abril de 1997. Esse mesmo trem bateu o recorde de velocidade terrestre (581 km/h) em 2003. Trata-se de um sistema de construção bastante oneroso (R\$ 84 milhões/km).

Levitação Eletromagnética – LEM

O fundamento físico básico da LEM é explorar a força de atração que existe entre um eletroímã e um material ferromagnético. A levitação decorre da ação de eletroímãs instalados na parte inferior do trem, sendo alimentado por energia elétrica que flui ao longo da linha. A estabilização, nesse caso, só é possível com uma malha de realimentação e regulador devidamente sintonizado. Esse tipo de levitação conta com a tecnologia alemã da Transrapid, que está atualmente operando na China, em uma conexão de 30 km ligando o Aeroporto Internacional a Xangai Lujiazui, um distrito financeiro. A linha foi inaugurada na virada do ano 2002-2003, e o acesso à tecnologia alemã custou à China US\$ 1 bilhão. O trem, que alcança 480 km/h, faz o percurso de 30 km em oito minutos. A Suíça tem o projeto Swissmetro, que também emprega essa tecnologia.

O sistema LEM é o mais antigo de levitação magnética, exigindo um sofisticado sistema de controle, pois trata-se de um sistema instável. O projeto iniciou na década de 1970, tendo sido a primeira linha de testes com 1,3 km concluída em 1976. Por algum tempo, ficou restrito às pesquisas por causa da concorrência dos TAVs.

Levitação Magnética Supercondutora – LSC

Esse tipo de levitação baseia-se na propriedade diamagnética dos supercondutores para exclusão do campo magnético do interior dos supercondutores (pastilhas de cerâmica resfriadas à temperatura de -196°C). No caso dos supercondutores, essa exclusão é parcial, o que diminui a força de levitação, mas conduz à sua estabilidade.

Essa propriedade representa o grande diferencial em relação aos métodos LED e LEM, mas só pôde ser devidamente explorada a partir do final do século XX graças ao advento de novos materiais magnéticos (superimãs) à base de neodímio, ferro e boro ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$), e de pastilhas supercondutoras de alta temperatura crítica, a base de ítrio, bário e óxido de cobre ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{OX}$). Esses novos supercondutores podem ser resfriados com nitrogênio líquido a -196°C , enquanto os supercondutores convencionais tinham que ser refrigerados com hélio líquido na temperatura de ebulição de -269°C , o que tornava o custo da refrigeração muito oneroso. Tais supercondutores estão sendo usados na pesquisa de um novo tipo de trem de levitação em diferentes países, incluindo Brasil, Alemanha e China.

A levitação supercondutora, por se tratar da tecnologia mais recente, ainda não possui linha de teste em escala real em nenhum lugar do mundo, sendo o Brasil o pioneiro nessa experiência. Os projetos do IFW (Dresden, Alemanha) e da Southwest Jiaotong University (Chengdu, China) são apenas laboratoriais. Vale registrar que os projetos japonês e alemão, mencionados anteriormente, estavam muito avançados para serem redirecionados para a tecnologia LSC.

A pesquisa no Brasil

Desde 2005 encontra-se em operação no Lasup o protótipo em escala reduzida de um veículo de levitação magnética – Maglev – que se desloca flutuando ao longo de uma pista de formato oval com 30 m de extensão. Esse pequeno veículo contém em sua base cerâmicas supercondutoras à base de ítrio, contrapondo-se a um conjunto de superimãs de neodímio assentados ao longo de uma superfície plana (pista), juntamente com um motor linear, atuando de forma combinada para promover a flutuação e o deslocamento do veículo [Stephan (2007)].

Com base na propriedade diamagnética (repulsão) dos supercondutores, as pastilhas de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{OX}$, quando resfriadas a -196°C , passam a repelir os imãs criando, assim, o que se denomina de efeito “Meissner” de levitação, no caso, levitação supercondutora.⁹

Em outras palavras, o Maglev fica suspenso no ar, em equilíbrio estável, sem registrar deslocamentos laterais, sendo-lhe somente permitido deslocar-se

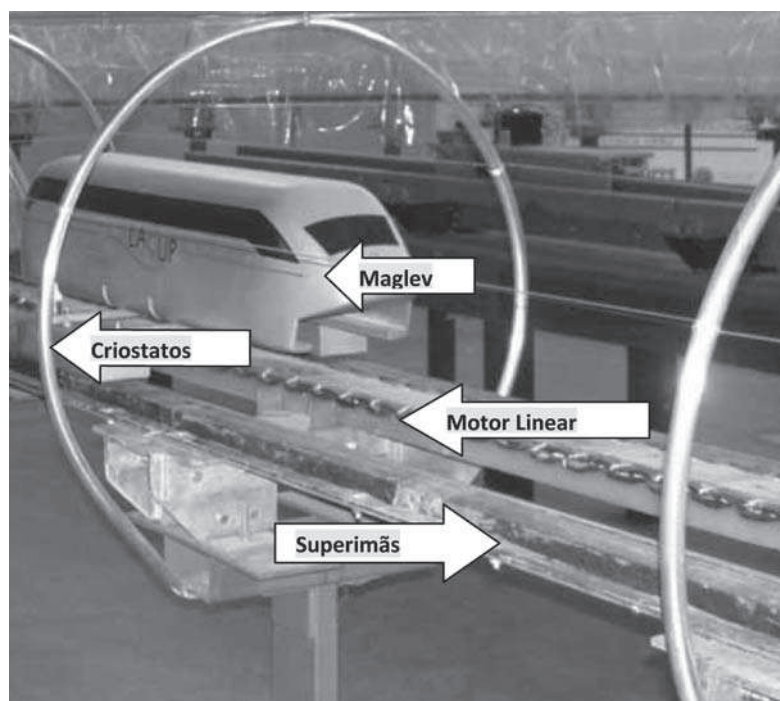
⁹ Além da maior estabilidade na levitação, outro importante diferencial entre a tecnologia nacional e as demais está no *gap* (altura) de levitação. O Maglev flutua a apenas 1 cm do solo, ao passo que os demais (Transrapid e Levmag) apresentam um *gap* bem maior que permite que esses veículos se desloquem em velocidades muito maiores demandando, porém, um consumo bem maior de insumos: imãs, supercondutores e energia elétrica. Assim, o Maglev é mais indicado para o transporte urbano, em baixas velocidades.

para frente ou para trás, seguindo a trilha de superimãs e deslizando livremente após qualquer impulso ou aceleração (a resistência do ar é o único atrito).

O deslocamento do modelo é produzido pelo efeito magnético do motor linear síncrono, de armadura longa, alimentado por energia elétrica proveniente de um inversor de frequência de fabricação nacional.

A figura a seguir fornece uma visão completa do modelo em escala reduzida que está operando no Lasup.

Figura 1 | Modelo em escala reduzida operando no Lasup.



Fonte: Foto do autor.

O desenvolvimento do projeto Maglev-Cobra conta com o abrigo das seguintes instituições tecnológicas de apoio e pesquisa:

Fundação Coppetec

A Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos – Coppetec é uma instituição de direito privado, sem fins lucrativos, destinada a

apoiar a realização de projetos de desenvolvimento tecnológico, de pesquisa, de ensino e de extensão, da Coppe/UFRJ e demais unidades da UFRJ.

Coppe/UFRJ

A Coppe/UFRJ – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – iniciou suas atividades em 1963, tornando-se órgão suplementar da UFRJ em 1965, com a finalidade de promover e coordenar as atividades de pós-graduação *strictu sensu* – mestrado e doutorado nas diversas áreas de engenharia.

Lasup

O Laboratório de Aplicação de Supercondutores – Lasup está ligado ao Departamento de Energia Elétrica da Coppe/UFRJ e é quem está efetivamente desenvolvendo o projeto do Maglev-Cobra. O Lasup foi constituído em 1998 para operar com um conceito de rede de laboratórios de pesquisa, atuando no estudo dos materiais supercondutores. No entanto, seu processo de concepção teve um início mais distante, quando em 1987, logo após a descoberta dos supercondutores de altas temperaturas críticas, o Professor Dr. Roberto Nicolsky decidiu desenvolver uma ação proativa para a ampliação e consolidação, no Brasil, de uma área de pesquisa em supercondutores.

Além do Maglev-Cobra, o Lasup está desenvolvendo os seguintes projetos:

- um armazenador de energia cinética, *flywheel*, provido de motor/gerador de relutância chaveada e mancal magnético supercondutor;
- aprimoramento da produção de blocos de cerâmicas supercondutoras à base de YBaCuO, por texturização em fusão;
- sincronização dos módulos de alimentação do motor linear de tração do veículo Maglev-Cobra;
- estudos da viabilidade técnica de um limitador de corrente de curto circuito supercondutor.

A tecnologia do Maglev-Cobra

Descrição

O veículo foi concebido pelos professores doutores Richard M. Stephan e Eduardo G. David. A primeira etapa dessa inovação consiste na constru-

ção de um módulo desse veículo – e de uma a pista com 228 m¹⁰ – para testes em escala real com passageiros, a fim de medir a confiabilidade da tecnologia LSC, o consumo energético, o comportamento do veículo, a manevabilidade, a segurança e o conforto dos passageiros.

O projeto conta com o apoio financeiro do Funtec/BNDES e da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – Faperj.

A figura a seguir indica a localização do projeto, cuja pista vai interligar o Bloco I do antigo Centro Tecnológico – CT ao novo Complexo Tecnológico, o CT II, ora em fase final de construção. A finalidade dessa ligação é transportar pessoas entre esses dois centros, evitando a travessia dos pedestres pelas ruas locais.

Figura 2 | Imagem de satélite do local da pista de provas



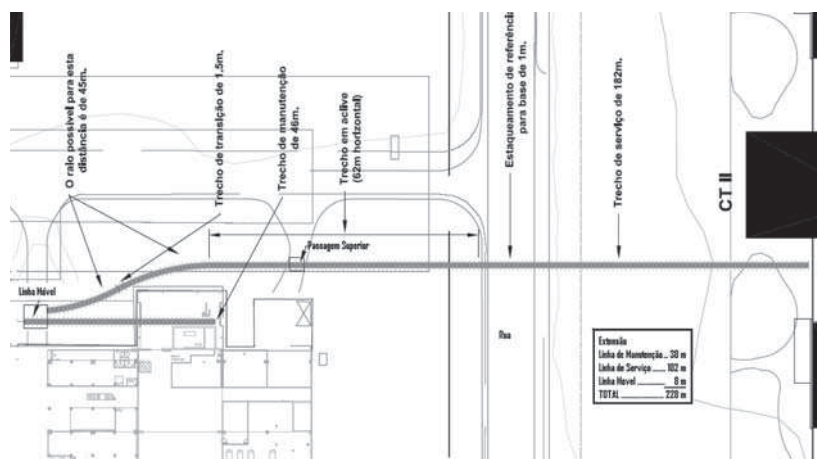
Fonte: Lasup, imagem cedida ao autor.

¹⁰ Simulações em computador revelaram que uma pista com essas dimensões não oferece espaço suficiente para testes de aceleração e desaceleração, fazendo com que o veículo se desloque somente em baixas velocidades (algo entre 6 e 8 km/h). Contudo, o Maglev é capaz de se deslocar em velocidades bem maiores, até mesmo superiores aos TAVs.

Ao lado do antigo CT será construído um pequeno galpão com uma pista para manutenção e guarda do veículo, com 38 m, sendo que 18 m estarão dentro do galpão e 20 m do lado externo.

A previsão é que o veículo opere 12 horas por dia (das 7h às 19h) em um sistema automatizado (sem condutor) do tipo Automated People Mover – APM, dispensando a figura de um condutor dentro do veículo.¹¹ A figura seguinte contempla o traçado dessa pista de testes.

Figura 3 | Layout da pista de 228 m



Fonte: Lasup, imagem cedida ao autor.

Cabe acrescentar que os trechos experimentais suspensos serão assentados sobre lajes pré-moldadas de concreto, idênticas às estruturas das passarelas de pedestres que cruzam as rodovias; outra opção é a utilização de estruturas tubulares para reaproveitamento futuro em outro local. Toda a pista contará com um sistema de monitoramento, controle e automação, para permitir a operação contínua do protótipo para testes de longa duração.

Importante ressaltar que a tecnologia LSC do Maglev-Cobra é uma inovação sem muitos referenciais em nível mundial. Portanto, os itens que compõem o projeto estão sujeitos a variações de preço significativas,

¹¹ Cabe registrar que o transporte sem condutor, como forma de reduzir custos e aumentar a segurança nas operações, é um dos temas da 14ª Conferência Internacional da Coopération pour le Développement et la Amélioration des Transports Urbains – Codetu, que será realizada em outubro de 2010, em Buenos Aires.

apesar de todos os esforços do Lasup em orçar números mais próximos à realidade do mercado.

Para melhor entendimento do projeto, este foi dividido em três partes distintas: protótipo do veículo, base de levitação e pista de testes:

Características do protótipo do Maglev-Cobra

O veículo terá capacidade para transportar até 30 passageiros, sendo constituído por quatro (quatro) módulos de anéis articuláveis, compreendendo:

- dois módulos de passageiros (sentados e em pé), dotados de porta lateral;
- dois módulos cabine.

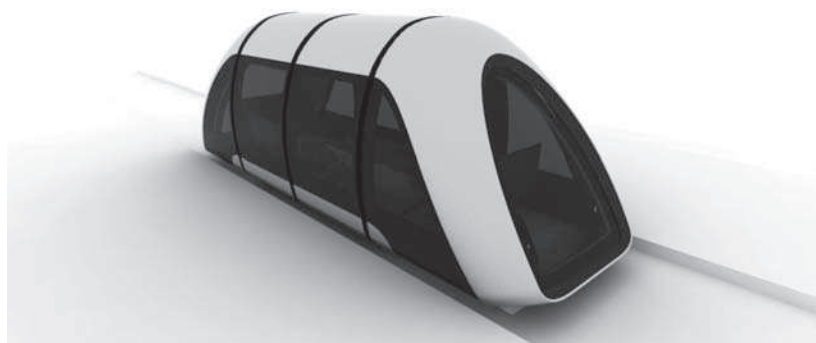
O módulo de passageiros terá 1,8 m de largura e 1,6 m de comprimento, totalizando uma área de 5,76 m², uma vez que são dois módulos. Admitindo-se 24 passageiros nesse espaço a densidade será de 4,2 passageiros/m². O módulo da cabine tem largura igual, porém o comprimento é menor, com somente 0,9 m perfazendo, assim, uma área total de 3,24 m², lembrando que são dois módulos cabine. Face à curvatura frontal, cada módulo poderá abrigar não mais que três passageiros, totalizando seis.

Resumidamente, o veículo com seus quatro módulos terá 5 m de comprimento por 1,8 m de largura, totalizando 9 m² de área interna. Supondo a lotação máxima de 30 passageiros, chegamos a cerca de 3,3 passageiros/m², que é praticamente a metade do padrão normalmente tolerado nos transportes públicos, de até seis passageiros/m².

O protótipo está sendo desenvolvido pelas seguintes empresas nacionais: Instituto Nacional de Tecnologia – INT, que é altamente qualificado na área de inovação, Ergon Projetos de Ergonomia e Design Ltda. e Portifolium Sistemas, Design e Produções Audiovisuais Ltda., as quais estão estudando várias alternativas para otimizar o aproveitamento dos espaços internos de forma ergonomicamente correta e também para permitir a flexibilidade dos anéis para que estes possam se inscrever em curvas de até 30 m de raio, de modo semelhante ao deslocamento de um ofídio.

As figuras, a seguir, dão uma ideia do protótipo que está sendo construído no INT em tamanho real.

Figura 4 | Corpo do Maglev-Cobra com quatro módulos (duas cabines e dois passageiros/portas)



Fonte: Lasup, imagem cedida ao autor.

Figura 5 | Interior do Maglev-Cobra (concepção INT)



Fonte: Lasup, imagem cedida ao autor.

Base de levitação do veículo

A base de levitação fica na parte inferior do veículo, abrigando o primário do motor linear e os criostatos, que servem para refrigerar as

pastilhas de cerâmicas supercondutoras a -196°C utilizando nitrogênio em estado líquido. Cada módulo do Maglev deverá receber um conjunto de seis criostatos permitindo que o peso do veículo fique uniformemente distribuído na superfície de circulação, diferentemente do que ocorre com os veículos terrestres convencionais cujos pesos se concentram sobre os eixos¹² das rodas. Isso é de extrema importância – e também uma das grandes vantagens do Maglev – pela força de repulsão dos criostatos.¹³

Considerando, por exemplo, que a tara dos quatro módulos totalize 1,8 t (500 kg de tara para cada módulo passageiros/portas, e 400 kg para cada módulo cabine), e que a lotação seja de 30 passageiros com até 90 kg cada um, teremos, aproximadamente, 2,7 t de carga humana. Assim, o peso total do veículo lotado será de, no máximo, 4,5 t, ficando sustentado por uma força de repulsão equivalente a 6,0 t, resultando numa margem de segurança de 1,5 t.

A força de repulsão de 6,0 t é resultante da aplicação de 24 criostatos na parte inferior do protótipo (seis em cada um dos quatro módulos). Cada criostato tem uma força de repulsão de 250 kgf, trabalhando com um *gap* (altura) de levitação de 1 cm, podendo permanecer levitando por mais de 16 horas.¹⁴ O consumo de cada criostato é de 20 litros/módulo/dia de nitrogênio (cerca de R\$ 21,42/criostato/dia), totalizando R\$ 514,00/dia.

Pista de testes

A pista de testes será formada por pequenas plataformas de levitação, cuja estrutura é bastante semelhante às passarelas de pedestres, ao longo das quais o veículo irá se deslocar. Essa plataforma é formada por seções de concreto com três canaletas. A canaleta central está reservada para

¹² Por exemplo, um veículo terrestre convencional pesando 30 t, com dois eixos e quatro pneus, terá seu peso distribuído de forma concentrada para cada um dos eixos, que deverá suportar 15 t; cada pneu, por sua vez, receberá o peso de 7,5 t, que será distribuído em quatro pontos da superestrutura – asfalto ou da linha de trem. Por esse motivo trens, VLTs, ônibus e caminhões requerem eixos e chassis reforçados, como também a estrutura que irá suportá-los.

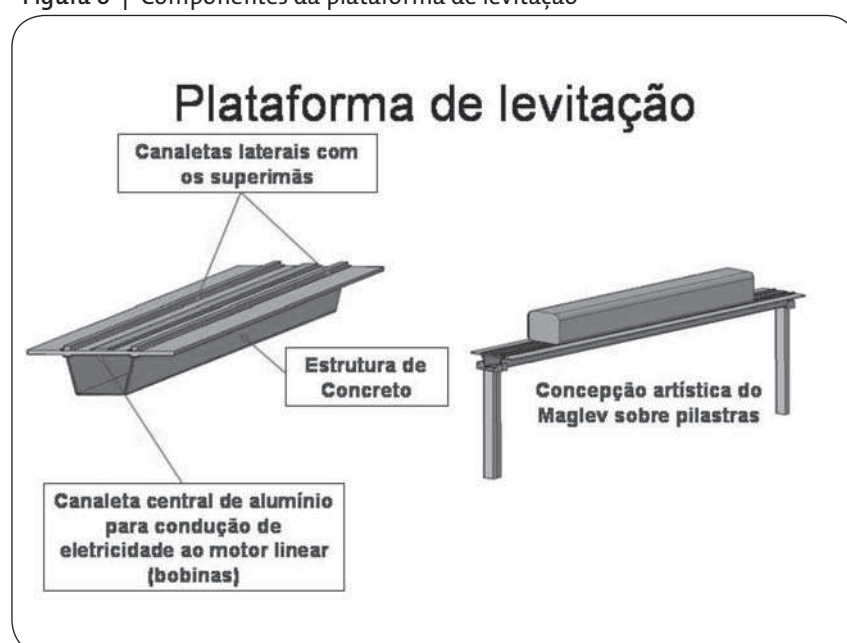
¹³ Testes realizados no Lasup comprovaram que uma plataforma com apenas quatro criostatos foi capaz de levantar uma sessão do Maglev de 400 kg mais o peso de cinco pessoas (450 kg). Essa experiência foi vivenciada pela equipe técnica do Departamento de Transportes e Logística do BNDES em 18.6.2009, quando em visita ao Lasup.

¹⁴ O custo do nitrogênio necessário à refrigeração é inferior a um dólar por litro, sendo que o mercado é superfertante.

instalação do secundário do motor linear (o primário fica em baixo do veículo), para promover o deslocamento deste.

Nas duas laterais da pista serão implantados os superímãs que vão interagir com os supercondutores em repulsão estável, promovendo a levitação do veículo, mantendo-o “preso” sem permitir deslocamentos laterais, somente longitudinais. A figura a seguir dá uma ideia de como será a plataforma.

Figura 6 | Componentes da plataforma de levitação



Fonte: Lasup, imagem cedida ao autor.

A imantação da via com superímãs é um dos itens de maior custo: um bloco de NdFeB, de 50 mm x 50 mm x 100 mm, capaz de garantir uma força de levitação¹⁵ de quatro a seis N/cm², tem um custo FOB/China de US\$ 64,00.

O inversor de frequência e o motor linear estão sendo desenvolvidos por fornecedores nacionais, no caso, a WEG e a Equacional, respectivamente.

¹⁵ Quanto maior a energia magnética, menos quantidade de material é necessária para produzir uma determinada densidade de fluxo magnético. A força de repulsão obtida no Lasup com os imãs de NFeB e os supercondutores, em posicionamentos otimizados, foi de 4N/cm² (quatro newtons por centímetro quadrado, sendo 1N ~ 0,1 kgf).

Vantagens tecnológicas esperadas

Como toda grande inovação, as vantagens apresentadas são inúmeras, destacando-se:

1. quebra do antigo paradigma dos transportes, o tradicional sistema de simples aderência (atrito roda-trilho e pneu-asfalto) comprovando o sucesso da pesquisa aplicada da tecnologia LSC para inovação dos transportes urbanos;
2. redução dos custos com investimentos públicos em transportes;
3. racionalização energética do transporte público com menores emissões gasosas;
4. menor ruído durante o deslocamento;
5. desenvolvimento de novas aplicações na engenharia civil e na arquitetura, criando e montando novas estruturas que vão suportar veículos de menor peso, face às superestruturas que são necessárias aos meios de transportes convencionais;
6. desenvolvimento da indústria nacional de alta tecnologia voltada para engenharia veicular, a exemplo do que ocorreu na capacitação da cadeia de fornecedores da Embraer;
7. possibilidade de expansão da tecnologia supercondutora em outros campos: transporte de cargas, diversão (montanha-russa), elevadores, substituição de mancais etc.; e
8. tecnologia passível de ser exportada.

Vantagens do Maglev em comparação com um VLT

Supondo-se um veículo Maglev com a mesma capacidade de transporte de um Veículo Leve sobre Trilhos – VLT, o primeiro deverá pesar a metade do VLT, pela inexistência dos truques e rodeiros do sistema roda-trilho, reforços na estrutura do chassi e ausência dos motores. O quadro a seguir exemplifica esse ganho:

Quadro 6 | Comparativo entre VLT e o Maglev

Especificação	Unidade	VLT	Maglev
Largura do veículo	m	2,7	2,3
Altura	m	3,8	2,3
Comprimento	m	25,5	36,0
Altura do piso	m	1,0	0,2
Bitola	m	1,6	n/a
Massa do carro vazio	kg	37.000	8.400
Passageiros sentados	quantidade	59	96
Passageiros em pé	quantidade	195	158
Lotação total	passageiros	254	254
Massa do carro lotado	kg	54.780	27.980
Consumo médio energia	kWh/tkm	0,025	0,025
Custo operacional km	R\$/km	0,47	0,08

Fonte: David (2009).

Considerando que o peso do Maglev deverá ser a metade do convencional operando no sistema roda-trilho, e que esse mesmo peso será distribuído de maneira mais uniforme, evitando, assim, a concentração de carga sobre os eixos, as dimensões da estrutura (pontes, viadutos etc.) para suportá-lo devem custar menos de dois terços das estruturas convencionais.

Há de se considerar, entretanto, que, por se tratar de um projeto experimental envolvendo tecnologia de ponta, os orçamentos estão sujeitos a variações bem maiores que os projetos convencionais que estejam no estado da arte.¹⁶

Vantagens ambientais

O quadro a seguir apresenta uma situação hipotética de uma viagem Rio-São Paulo, comparando o consumo de combustível, emissão de dióxido de carbono (CO₂) por passageiro.

¹⁶ De acordo com a Associação Americana de Engenharia de Custos, as margens de erro para projetos dessa natureza (inovação) costumam apresentar as seguintes variações: na ordem de grandeza, de -30% a +50%; no projeto básico, de 15% a +30%; e no projeto executivo, de -5% a +15%.

Quadro 7 | Comparativo da emissão de dióxido de carbono (CO₂) por passageiro (*pax*)

Modalidade	Combustível	Unidade	gCO ₂ /unid.	Pax	Consumo	Consumo/Pax	Emissão de gCO ₂ /pax
pax	QAV	litro	2,40	105	4.300	40,95	98,29
Automóvel 1.4	Gasolina	litro	2,17	3	37	12,33	26,76
Van	Diesel	litro	2,62	10,5	55	5,24	13,72
Ônibus	Diesel	litro	2,62	35	176	5,03	13,17
TAV	Elettricidade	Kwh	0,60	700	6.504	9,29	5,57
Maglev-Cobra	Elettricidade	Kwh	0,40	700	4.552	6,50	2,60

Fonte: Adaptação do autor, com base em Stephan (2007) e David (2009).

Como era de se esperar, o avião é o que mais contribui para emissão de poluentes, em virtude da grande velocidade e do enorme peso da sua estrutura. Do lado oposto temos o sistema roda-trilho do TAV e o Maglev como menores emissores. A reduzida emissão do Maglev decorre da combinação de três aspectos particulares:

- menor peso do veículo em relação ao volume de passageiros transportados;
- baixo consumo de energia elétrica, que é utilizada somente para movimentar o veículo, que desliza sem a resistência do atrito com a superfície de rolamento;
- a energia necessária para levitar provém de fonte abundante e não poluente, que é o nitrogênio líquido, resfriado a -196°C.

Em outras palavras, um passageiro que opte por se deslocar no trecho Rio-São Paulo de avião vai contribuir com 98,29 g de CO₂; se ele utilizar o trem da alta velocidade – TAV, a emissão será reduzida em 17,6 vezes. No Maglev, a redução será 37,8 vezes menor.

Prazo de conclusão da obra e início dos testes

O componente mais complexo é a construção do veículo, cujo protótipo está sendo montado nas oficinas do INT.¹⁷ Para a construção da pista de 228 m, já foram encomendados os componentes vitais do sistema de levitação. A montagem da estrutura da pista demanda somente uma tecnologia conven-

¹⁷ Detalhes da construção do veículo estão disponíveis em: <<http://www.dee.ufrj.br/lasup/maglev/>>

cional de engenharia civil para construção das passarelas. Em suma, o Lasup estima de 18 a 24 meses para conclusão das obras e início dos testes.

Mercado futuro para o Maglev

Desdobramentos do projeto

Ainda não foi possível estimar o custo de operação do protótipo por causa de sua pequena dimensão. Contudo, simulações indicam que este deve ficar bem mais atrativo que os custos inerentes a outros sistemas convencionais de transporte público de média e grande capacidade de passageiros. O Lasup está estudando uma segunda etapa para o Maglev, em substituição à linha de 10 ônibus fretados que servem os usuários do Campus.

Esse projeto consiste na construção de uma linha operacional com 4,5 km de extensão em via elevada com dois veículos, com capacidade para 250 passageiros cada, ligando a Reitoria do *campus* universitário da UFRJ, na Ilha do Fundão, ao Hospital da Ilha, com nove estações e pontos de parada. A linha pontilhada no desenho a seguir apresenta a localização dessa futura linha.

Figura 7 | Linha de 4,5 km na Cidade Universitária



Fonte: Lasup, imagem cedida ao autor.

O Lasup estima que o custo operacional do Maglev-Cobra, para essa fase comercial, será de R\$ 0,08/km, contra R\$ 0,47/km do ônibus convencional que serve aos funcionários, alunos, professores e demais frequentadores na Ilha do Fundão. A UFRJ despende cerca de R\$ 9,5 milhões/ano para manter uma frota de 10 ônibus operando gratuitamente para os usuários.

Os ganhos estimados pela substituição da frota alugada serão da ordem de R\$ 4 milhões/ano. As estimativas de custos de investimentos – demonstrados a seguir – são da ordem de R\$ 82,3 milhões, significando que o retorno nominal será completo após 20 anos.

Quadro 8 | Investimentos para a linha de 4,5 km

Especificação	R\$	%
Estudos e projetos	5.530.000,00	6,7
Engenharia civil	18.969.000,00	23,0
Engenharia elétrica	33.740.000,00	41,0
Engenharia veicular	14.000.000,00	17,0
Engenharia de sistemas	2.600.000,00	3,2
Subtotal	74.839.000,00	90,9
Eventual	7.483.900,00	9,1
Total geral	82.322.900,00	100,0
Custo/km	18.293.977,78	-

Fonte: David (2009).

Importante destacar, nesse quadro, o baixo custo de implantação por quilômetro, que é bastante inferior aos demais modais ligados à tecnologia roda-trilho. Ainda que submetido aos ônus extremos das variações relacionadas aos custos dos projetos de inovação, conforme mencionado no parágrafo final das “Vantagens do Maglev em comparação com um VLT”, os investimentos ainda permanecerão atrativos.

Uma vez constatado o sucesso dos testes nessa pista, o passo seguinte seria a implantação de um sistema de transportes por levitação magnética supercondutora no Brasil, aumentando de forma racional e barata o grau de integração entre polos geradores de demanda de passageiros por meio de uma rede de integração de alta capacidade e de média velocidade interligando, por exemplo, estação das barcas, rodoviária, terminais, aeroportos, estádios, metrô e os trens urbanos.

Estima-se que essas obras sejam de baixo custo de investimento/km e que poderiam ser implantadas antes da Copa do Mundo de 2014 e da Olimpíada em 2016.

Outra aplicação bastante razoável seria a possibilidade de o Maglev operar em antigos trechos ferroviários que não estão sendo utilizados pelas atuais concessionárias de carga sob a alegação de serem antieconômicos. Essa ideia foi defendida por Scharinger (2002) em um estudo denominado *Trens regionais de passageiros – o renascimento de um vetor de desenvolvimento econômico no país*, que foi desenvolvido com o apoio da Coppe/UFRJ, a pedido do BNDES. O estudo pesquisou 64 trechos nos quais antes operavam trens regulares de passageiros e hoje estão ociosos.

A principal conclusão do estudo é que os projetos de trens regionais devem demandar um baixo nível de investimento, uma vez que boa parte da via permanente já existia, carecendo de poucos investimentos para a recuperação ou retificação do leito, substituição de trilhos e dormentes, sinalização, reforma de estações etc.

Outra grande vantagem é que boa parte desses 64 trechos inativos encontra-se em regiões densamente povoadas. A implantação de um sistema de transporte coletivo sobre trilhos irá contribuir para minimizar os efeitos indesejáveis dos acidentes urbanos, congestionamentos e poluição atmosférica.

Por outro lado, a grande dificuldade – à época do estudo – residia nos investimentos destinados ao material rodante, que, no caso, seriam os VLTs, os quais teriam de ser importados. Hoje, esse problema pode ser bastante minimizado com o advento do Maglev-Cobra.

Uma boa opção para validar a proposta dos trens regionais seria a reativação da pioneira estrada de ferro de 55 km que ligava o Rio de Janeiro a Petrópolis. Essa proposta foi por nós reforçada na dissertação de mestrado que trata da reativação dessa linha, cuja viabilidade econômica e financeira se efetiva pela modelagem de uma parceria público-privada – PPP [Pastori (2007)]. Por sorte, somente os 6 km que percorriam o plano inclinado da Serra da Estrela foram desativados em 1964, restando ainda uma linha subutilizada de 49 km, em bitola métrica, ligando a localidade de Raiz da Serra ao Centro do Rio, mais precisamente na Estação Barão

de Mauá (Estação da Leopoldina), onde, por sinal, será a estação terminal do TAV. Ainda segundo os pesquisadores do Lasup, o Maglev tem condições de trafegar no plano inclinado de até 15% da Serra da Estrela, lembrando que esse obstáculo – rampa com inclinação semelhante – faz parte da pista de testes de 228 m.

Merece registro o fato de a Prefeitura Municipal de Petrópolis estar negociando com o Lasup a realização de estudos objetivando a instalação de uma linha Maglev no entorno do Centro Histórico para resolver os constantes congestionamentos no local. O Maglev apresenta-se como solução ideal pelo fato de não interferir no meio urbano uma vez que, além de limitações por conta da topografia serrana, o local ainda sofre fortes restrições às obras por determinação do Instituto do Patrimônio Histórico Nacional – Iphan, visto que o sítio histórico abriga dezenas de construções centenárias tombadas.

Contudo, a mais expressiva aplicação para a tecnologia Maglev seria a possibilidade de formar conexões com algumas futuras estações do TAV Rio-São Paulo-Campinas, que poderiam ficar distantes dos centros urbanos. Seriam construídas vias para o Maglev sem causar muita interferência no meio urbano reduzindo, assim, os custos das desapropriações e eliminando os custos de construção de novas vias, túneis, viadutos, etc. Essa medida reduziria substancialmente os custos de implantação do TAV e da sua integração com outros modais.

Obviamente, todos esses planos precisam ser refinados, suportados por estudos de demanda mais detalhados e submetidos ao crivo de uma hierarquização para definição das linhas de maior potencial de implantação face à demanda provável, relação custo-benefício mais atrativa para desenvolvimento da melhor estratégia para viabilizar o Maglev comercialmente.

Exportação da tecnologia Maglev

Em relação às possibilidades de exportação dessa tecnologia, o Lasup vem mantendo contatos externos promissores com algumas cidades, entre elas, Burgos (Espanha) e Lisboa (Portugal), e com representantes ligados ao governo de alguns países, como Emirados Árabes e EUA, que manifestaram interesse na tecnologia verde da – LSC.

O Lasup acredita que, uma vez comprovado o sucesso tecnológico da pista de 228 m, certamente aumentará o interesse de outros países pela tecnologia brasileira de levitação magnética. Os pesquisadores esperam poder anunciar os resultados satisfatórios da presente operação na próxima conferência internacional de levitação magnética, a ser realizada em 2011, em Seul, Coreia do Sul.

Vale lembrar mais uma vez que vários países, como Alemanha, Suíça, Reino Unido, Japão, Coreia e, principalmente, China, estão desenvolvendo projetos com tecnologia verde, à base de levitação magnética, focando sua aplicação em transportes urbanos.

Outras aplicações para a LSC – levitação supercondutora

Segundo os pesquisadores do Lasup, estão em desenvolvimento as seguintes aplicações:

- mancal magnético, usado em centrífugas e armazenamento de energia, temas já pesquisados no Lasup, com protótipos em escala, teses e dissertações acadêmicas;
- montanha-russa, uma aplicação que o Lasup está estudando e pode ser um grande atrativo para parques de diversão; e
- limitadores de corrente de curto-circuito, cabos para transmissão de energia, motores elétricos e transformadores supercondutores de menor peso e volume, entre outras possibilidades.

Alguns desses temas estão sendo trabalhados no Lasup com colaboração do Cepel/Eletrobrás. Naturalmente, o projeto Maglev-Cobra poderá favorecer a produção de supercondutores no Brasil para essas outras aplicações.

Contudo, a aplicação mais evidente será na revolução dos transportes urbanos, em que a tecnologia verde do Maglev poderá contribuir para a maior racionalidade nos transportes urbanos nos grandes centros, evitando obras de grande vulto, contribuindo para redução do grau de emissão de poluentes e dos níveis de ruídos.

Conclusão

Após discorrer sobre a tecnologia de levitação magnética, podemos elencar as seguintes vantagens e desvantagens do veículo Maglev:

Méritos/Vantagens

- O veículo experimental em escala de laboratório apresentou resultados bastante satisfatórios.
- Novo paradigma tecnológico nacional, com possibilidades futuras de exportação.
- Veículo ecologicamente correto (tecnologia verde): não poluente, silencioso, movido a energia renovável.
- Possibilidade de redução dos custos de obras públicas voltadas para transportes urbanos.
- Credibilidade das instituições envolvidas, Coppetec e Coppe/UFRJ, e dos pesquisadores que desfrutaram de reconhecimento mundial no tema.
- Expressivo apoio de dois fundos de pesquisa e inovação: Faperj e Funtec/BNDES.
- Tecnologia de levitação com possibilidade de ser estendida para outras áreas.
- Desenvolvimento da cadeia de fornecedores nacionais.
- Grande facilitador para a implantação do programa de trens regionais.

Riscos/Desvantagens

- Baixa incidência de fornecedores nacionais para produzir elementos críticos do projeto (criostatos e superimãs), mas que poderá ser minimizada com o apoio da Finep para a nacionalização desses componentes.
- Inexistência de estudos mercadológicos e estratégicos para suportar o desenvolvimento tecnológico e comercial do produto, no futuro.

Em relação aos atributos que o classificam como inovação, o projeto Maglev-Cobra parece manter forte aderência com as diretrizes estabelecidas na linha Funtec/BNDES, para apoio à inovação, quais sejam:

1. Acelerar a busca de soluções para problemas já detectados e reconhecidos por institutos de pesquisa e agentes econômicos (no caso, problemas de mobilidade urbana).
2. Concentrar esforços e recursos em temas específicos, com foco bastante definido, visando ter presença marcante em áreas ou questões em que as empresas brasileiras possam vir a assumir papel de destaque ou mesmo de liderança no plano mundial, evitando a pulverização de recursos.
3. Assegurar a continuidade dos esforços desenvolvidos nas áreas selecionadas, objetivando acelerar a obtenção dos resultados das pesquisas e conjugar os esforços de institutos de pesquisas e empresas, mediante a utilização da capacidade do BNDES congregar e articular parceiros; e,
4. Apoiar projetos que contenham mecanismos que prevejam a efetiva introdução de inovações no mercado.

Os problemas de mobilidade nos transportes urbanos mencionados na Introdução carecem de soluções criativas, de execução menos demorada e menos dispendiosa aos cofres públicos. Nesse sentido o Maglev, em virtude de sua grande maneabilidade e do baixo peso do veículo e da pista, deverá impactar muito pouco o ambiente urbano em que for instalado, moldando-se melhor às condições preexistentes e, conseqüentemente, reduzindo os custos dessas intervenções na complexidade crescente das cidades.

Com relação à segunda seção, o Brasil tem pioneirismo na tecnologia de LSC, podendo proporcionar vantagens futuras para as empresas nacionais fornecedoras de insumos na cadeia (criostatos, superímãs e módulos), a exemplo do que ocorreu com a cadeia de supridores nacionais da Embraer ao desenvolver as linhas de jatos classes EMB e ERJ.

A propósito da terceira seção, o apoio de Fundos como Faperj e Funtec/BNDES é de fundamental importância para a continuidade das pesquisas do Lasup e, em especial, para a continuidade das demais etapas desse projeto, mencionadas anteriormente.

No que tange à quarta seção, além de ser uma inovação inconteste, a tecnologia de LSC quebrou – pelo menos em escala de laboratório – o tradicional paradigma vigente há mais de 150 anos no Brasil, ligado aos transportes terrestres, que são os sistemas “roda-trilho” e “pneu-asfalto”.

Convém reforçar mais uma vez a necessidade de se reverter a atual estrutura da matriz de transportes. Esse processo pode ser iniciado por meio da concentração de esforços combinados em duas vertentes assim resumidas:

- i. Reduzir o transporte de cargas pelo modal rodoviário, priorizando o ferroviário, para diminuir não só a emissão de CO₂, mas também as perdas materiais, os custos hospitalares e os óbitos decorrentes dos acidentes nas rodovias. Para tanto, faz-se necessário que seja implementada uma série de ações que facilitem o transporte de carga geral porta a porta.
- ii. Priorizar investimentos no transporte coletivo de passageiros que demandem desembolsos menores para os cofres públicos, que provoquem menor interferência no meio urbano e que se utilizem de tecnologias limpas com atributos favoráveis ao meio ambiente. Nesse sentido, a tecnologia “verde” do Maglev-Cobra combina muito bem com o programa dos trens regionais e, em particular, ajusta-se perfeitamente ao projeto de reativação do Trem da Serra de Petrópolis [Pastori (2007)].

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESRES – ANTT. *Anuário estatístico dos transportes – 2007*, Brasília (DF), 2008.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. *Anuário estatístico 2008*. São Paulo, 2009.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. *As concessões ferroviárias. Informe da Gerência Setorial de Transportes e Logística*. Rio de Janeiro, 2000.

BICCA, A. *Metodologia para estudo de pré-viabilidade de um projeto ferroviário*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

CENTRO DE TRANSPORTE SUSTENTÁVEL DO BRASIL – CTS. *Oficina Nacional – transporte e mudanças climáticas*. Confederação Nacional dos Transportes – CNT, com apoio da Embaixada do Reino Unido, 2009.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. *Transporte atual*. *Transporte atual*, n. 172, dez., 2009.

DAVID, E. (Ed.). *O futuro das estradas de ferro no Brasil*. Niterói: Portifolium, 2009.

DAVID, E. *As possibilidades dos VLTs híbridos em decorrência dos avanços tecnológicos na tração ferroviária*. Programa de Engenharia de Transportes – PET, Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2005.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES E MINISTÉRIO DA DEFESA. *PNT – Plano Nacional de Logística & Transportes*. Brasília (DF), 2007.

O GLOBO. *Trânsito mata 247 mil em 7 anos*. p. 3, Rio de Janeiro, 6 de janeiro de 2009.

PASTORI, A. *As PPPs como ferramenta para viabilizar projetos de infraestrutura ferroviária um estudo para reativação do trem de passageiros Rio-Petrópolis (Trem da Serra)*. Dissertação (Mestrado), UCAM, 2007.

SCHARINGER, F. J. *Trens regionais de passageiros: o renascimento de um vetor de desenvolvimento econômico país*. Rio de Janeiro: BNDES, 2002.

STEPHAN, R.; DAVID, E. *MAGLEV-COBRA: an urban transportation solution using HTS*. In: The 20th International Conference on Magneticlly Levitated Systems and Linear Drives, San Diego, USA, 2008.

STEPHAN, R.; DAVID, E. *MAGLEV-COBRA: o transporte urbano sobre trilhos magnéticos*. Menção Honrosa no 3º Concurso CBTU de Monografias, 2007.