

TRANSPORTES DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA: POSSIBILIDADES PARA A MOBILIDADE URBANA

Data de aceite: 02/10/2023

Milton Batista Ferreira Junior

Universidade de Rio Verde, Faculdade de
Engenharia Civil
Rio Verde – GO
<http://lattes.cnpq.br/5453110408164341>

Lara Aparecida de Oliveira Mendonça

Universidade de Rio Verde, Faculdade de
Engenharia Civil
Rio Verde – GO
<http://lattes.cnpq.br/7735342263065654>

Leticia Fonseca Bragante

Universidade de Rio Verde, Faculdade de
Engenharia Civil
Rio Verde – GO
<http://lattes.cnpq.br/2700103871793891>

RESUMO: O crescimento populacional e o processo de urbanização sem planejamento lançaram desafios a serem superados. Não resta dúvidas que a mobilidade urbana se tornou uma questão de saúde pública, visto que, a sociedade, como um todo, tem tido prejuízos irreparáveis causados pela baixa fluidez do deslocamento de pessoas e bens. Este trabalho tem por objetivo apresentar os veículos de levitação magnética (MagLev) como uma alternativa em potencial para otimizar a mobilidade urbana. Para isso,

foi realizado uma pesquisa bibliográfica evidenciando as tecnologias de levitação magnética para entender as vantagens e desvantagens de cada tecnologia e comparar com modelo tradicional de transporte de pessoas. Dentre as tecnologias MagLev existentes, a levitação supercondutora se destaca em relação às outras, pois a estabilidade do sistema é característica intrínseca da supercondutividade além de ser energeticamente mais eficiente. O Brasil se encontra em um cenário científico e tecnológico favorável para implementação da tecnologia MagLev supercondutora, pois já há um protótipo em escala real (MagLev-Cobra) demonstrando o potencial científico e tecnológico do país.

PALAVRAS-CHAVE: Levitação Magnética. Mobilidade Urbana. Supercondutividade.

MAGNETIC LEVITATION TRANSPORT: POSSIBILITIES FOR URBAN MOBILITY

ABSTRACT: Population growth and the unplanned urbanization process posed challenges to be overcome. There is no doubt that urban mobility has become a public health issue, since society, as a whole, has suffered irreparable damage

caused by the low fluidity of the movement of people and goods. This work aims to present magnetic levitation vehicles (MagLev) as a potential alternative to optimize urban mobility. For this, a bibliographical research was carried out showing the technologies of magnetic levitation to understand the advantages and disadvantages of each technology and compare it with the traditional model of transporting people. Among the existing MagLev technologies, superconducting levitation stands out in relation to the others, since system stability is an intrinsic characteristic of superconductivity, in addition to being more energy efficient. Brazil is in a favorable scientific and technological scenario for the implementation of superconducting MagLev technology, as there is already a full-scale prototype (MagLev-Cobra) demonstrating the country's scientific and technological potential.

KEYWORDS: Magnetic Levitation. Urban Mobility. Superconductivity.

1 | INTRODUÇÃO

A partir da década de 1950, o Brasil passou por intenso processo de êxodo rural motivado pela política de industrialização implementada no governo Vargas. Em poucas décadas grandes centros urbanos foram se estabelecendo e a força de trabalho mudou de perfil. O rápido processo de êxodo rural desencadeou alguns problemas, entre eles, a mobilidade urbana (facilidade de deslocamento das pessoas e bens) se apresenta como um desafio a ser superado politicamente, cientificamente e tecnologicamente. Então, se faz necessário (re)pensar o modelo tradicional de deslocamento de pessoas.

Com base no Censo Demográfico de 2022 do IBGE há 14 municípios com mais de um milhão de habitantes. Em São Paulo moram 12,2 milhões de pessoas, Rio de Janeiro 6,6 milhões, Brasília 2,9 milhões, Salvador 2,6 milhões e Fortaleza 2,6 milhões. Outros 49 municípios têm mais de 500 mil moradores (IBGE, 2022). Como resultado desse alto número de habitantes, os grandes centros urbanos enfrentam dificuldades quando se pensa em questões associadas a mobilidade urbana, pois na maioria das vezes as políticas de urbanismo não acompanham o crescimento das cidades. Cabe ressaltar que a mobilidade urbana é uma questão de saúde pública, visto que o tempo de locomoção afeta o bem-estar e a qualidade de vida dos seres humanos. Além disso, quanto mais intenso é tráfego de veículos automotores, sem vias que consigam absorver a demanda, acarreta em altos índices de acidentes gerando prejuízos econômicos e sociais (CARVALHO, 2016).

De acordo com Pereira *et al.* (2021), além das questões políticas e econômicas de incentivo à venda e uso de automóveis e motocicletas, o crescimento do transporte individual também é uma resposta da sociedade a má qualidade do transporte público. Em geral o destino é muito fragmentado, o nível de conforto é baixo, grande parte dos usuários se acomodam em pé, as tarifas não correspondem ao nível de serviço prestado, entre vários outros fatores (CARVALHO, 2016).

Nas regiões metropolitanas há investimentos em sistemas metroferroviárias (PASTORI, 2010). Todavia, o sistema metroferroviário não tem conseguido atender a demanda, pois as linhas são poucas e os custos de operação e manutenção são altos

(CARVALHO, 2016). Além disso, há limitações físicas de topografia e infraestrutura para esses sistemas. É necessária uma grande linearidade da via, demandando a construção de túneis, pontes, viadutos e até desapropriação de habitações (PASTORI, 2010).

Não restam dúvidas sobre a responsabilidade que a Ciência, a Tecnologia e a Política têm em relação ao bem estar e desenvolvimento da sociedade. Há de se pensar em tecnologias que favoreçam a mobilidade urbana considerando a sua eficiência, conforto e segurança aos usuários. Os sistemas de transportes devem ser o mais auto sustentável possível, aliando eficiência e economia (SANTOS et al., 2015).

Nesse sentido, as tecnologias de levitação magnética têm se destacado em países desenvolvidos, visto que possibilitam um deslocamento de grande número de pessoas de forma rápida e segura.

A levitação reduz o atrito de contato com os trilhos permitindo que esses veículos de transporte atinjam altas velocidades. Além disso, apresentam alta eficiência energética, não emitem gases que contribuem para o efeito estufa, produzem pouco ruído e, dependendo da tecnologia utilizada, pode apresentar menor custo de implementação quando comparados aos sistemas de transportes tradicionais (STHEPAN et al., 2021).

Já existem veículos de levitação magnética (MagLev) em operação em países desenvolvidos. Esses veículos têm como princípio de funcionamento tecnologias baseadas no eletromagnetismo. Mais recentemente, institutos de pesquisas começaram a desenvolver protótipos que utilizam a supercondutividade como mecanismo de levitação. Embora haja limitações científicas, a supercondutividade tem se mostrado uma promessa para o futuro da mobilidade urbana, visto que, as propriedades supercondutoras apresentam características que oferecem vantagens a tecnologia dos MagLev, como por exemplo, a estabilidade do sistema (MATTOS, 2015).

Frente aos desafios da mobilidade urbana impostas em grandes centros urbanos e as possibilidades oferecidas pela tecnologia supercondutora para o transporte de pessoas, este trabalho tem como objetivo apresentar os princípios básicos do funcionamento dos transportes de levitação magnética, bem como apontar e discutir os pontos positivos e negativos das tecnologias de levitação com vistas na mobilidade urbana.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho se caracteriza como pesquisa bibliográfica por ter como fonte de dados trabalhos científicos (livros, teses, artigos, documentos) especializados na área de interesse (GIL, 1999). Cabe ressaltar que o método não consiste na mera repetição do que já está publicado, mas sim “[...] o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras” (LAKATOS; MARCONI, 2003, p. 183). Ainda nesse sentido, Boccato (2006), afirma que a pesquisa bibliográfica tem por objetivo atualizar ou desenvolver o conhecimento acerca de um tema a partir da análise crítica de documentos

científicos e/ou técnicos.

Portanto, para o desenvolvimento deste trabalho o percurso metodológico se deu a partir da escolha do tema, levantamento bibliográfico preliminar, elaboração do problema, aprofundamento e ampliação do levantamento bibliográfico, definição das fontes, fichamento das fontes selecionadas, análise e interpretação dos dados e, por fim, a redação do artigo buscando refletir sobre as possibilidades que a Levitação Magnética abre no quesito da mobilidade urbana, conforme descrito no Quadro 1.

TEMA	<ul style="list-style-type: none">• Mobilidade urbana e os MagLevs
LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO PRELIMINAR	<ul style="list-style-type: none">• Identificação das tecnologias de levitação• Pressupostos da mobilidade urbana.
DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	<ul style="list-style-type: none">• Como os transportes de levitação magnética podem atender às demandas da mobilidade urbana brasileira?
DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none">• Compreender os princípios de funcionamento dos transportes/veículos de levitação magnética.• Apresentá-los como alternativa/possibilidade aos problemas da mobilidade urbana.• Destacar as vantagens levitação magnética supercondutora em relação às outras tecnologias.
REFINAMENTO DA PESQUISA	<ul style="list-style-type: none">• Levantamento das fontes na base de dados <i>Scielo</i>, Google Acadêmico e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações;• Separação das obras em indispensáveis e complementares;• Análise e interpretação pela técnica de análise de conteúdo: evidenciar indicadores suscetíveis de permitir inferências que respondam à pergunta-problema;• Fichamento das obras indispensáveis;• Redação: estruturação lógica e didática do trabalho.

Quadro 1 – Percurso metodológico

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O princípio básico de funcionamento dos MagLev é a redução do atrito de contato entre o veículo e a via a partir da levitação magnética. Há três tecnologias diferentes para se conseguir o efeito, a levitação eletromagnética (*EML - Electromagnetic Levitation*), a levitação eletrodinâmica (*EDL- Electrodynamic Levitation*) e a levitação magnética supercondutora (*SML – Superconducting Magnetic Levitation*).

Com o desenvolvimento do eletromagnetismo ao longo do século XIX, a possibilidade da levitação aplicada a veículos de transporte começou a ser discutida no meio científico. No início do século XX, estudos acerca do tema começaram a ser publicados, de modo que, a primeira publicação ocorreu em 1912 (Jornal *Mount Vernon - N. Y*), quando o engenheiro francês Emile Bachelet publicou a ideia de um veículo que levitasse a partir de campos magnéticos, podendo atingir altas velocidades (FRANÇA, 2019).

Da proposição até a primeira experiência com levitação bem sucedida foram 18 anos. O engenheiro alemão Hermann Kemper demonstrou a aplicação da levitação

eletromagnética em veículos a partir de um protótipo de escala reduzida (MATTOS, 2015). Porém, devido às limitações técnicas e científicas, apenas em 1971, os alemães construíram o primeiro veículo em escala real utilizando suspensão eletromagnética. o veículo operava em uma pista de quase 660 metros e chegou a atingir a velocidade de 72 km/h. Com o aperfeiçoamento da tecnologia, em 1974 o mesmo veículo alcançou a velocidade de 400 km/h. (CABRAL, 2015).

Em 1978, os alemães desenvolveram outro método de levitação magnética, usando a suspensão eletrodinâmica (FRANÇA, 2019). Apesar dos veículos de levitação magnética por suspensão eletrodinâmica atingirem altas velocidades, em virtude dos altos custos de implantação e manutenção, a tecnologia foi abandonada (MATTOS, 2015).

A tecnologia de levitação eletromagnética alemã difundiu-se, foi importada e aperfeiçoada pelos japoneses, de modo que, em 1977, foi apresentado um projeto em Miyazaki (ML-500) e posteriormente, em 1996, na linha Yamanashi; pelo Reino Unido na década de 1980 que desenvolveu o Birmingham MagLev, que conecta Aeroporto Internacional de Birmingham ao Centro Nacional de Exposições; e pelos Estados Unidos no final dos anos 90 que desenvolveu o GA Urban MagLev (MATTOS, 2015).

A primeira linha comercial de um veículo de levitação magnética foi implementada pelos alemães em 2002 na cidade de Xangai, China. O modelo é uma versão dos protótipos (*Transrapid*) que foram testados anteriormente e utiliza a suspensão eletromagnética, atuando em uma linha de 30 km de extensão (FRANÇA, 2019).

Em 2011, na 21ª Conferência Internacional de Sistemas de Levitação Magnética e Motores Lineares, ocorrida em Daejeon, Coreia, o Brasil apresentou o primeiro protótipo em escala real a empregar levitação magnética supercondutora, o MagLev-Cobra, ou seja, uma nova tecnologia de levitação entre as tecnologias em operação (MATTOS, 2015).

Atualmente, há seis linhas de veículos de levitação magnética em operação para transporte público em três países (Coreia do Sul, China e Japão). A não ser o da China, as outras linhas são urbanas (curtas distâncias) e de baixa velocidade. Todos os veículos utilizam a tecnologia de levitação eletromagnética com ímãs atrativos (EHMANN, 2020).

3.1 LEVITAÇÃO ELETROMAGNÉTICA E ELETRODINÂMICA

Os MagLevs em operação em Xangai na China se baseiam na tecnologia eletromagnética. Essa tecnologia é baseada na força de atração que surge da interação entre um campo magnético gerado por eletroímãs fixos no veículo e um material ferromagnético presente nos trilhos (CABRAL, 2015). Na parte inferior da estrutura fixa do veículo há eletroímãs que induzem um campo magnético, que por sua vez, induz um campo magnético na estrutura fixa no solo (trilho ferromagnético) provocando uma força atrativa fazendo o veículo levantar. Assim, o atrito de contato entre os trilhos e o veículo se torna nulo.

A maior desvantagem deste sistema está no controle de estabilidade, pois a variação da força magnética em função da distância é fator determinante, ou seja, quando o veículo

levanta ligeiramente a força atrativa aumenta, porque o eletroímã se aproxima do trilho ferromagnético, enquanto ao descer ligeiramente a força atrativa diminui até o veículo tocar o solo (FRANÇA, 2019). Para a estabilização e garantia de operação segura é necessário um sistema com detecção de proximidade e controle eletrônico extremamente complexo (MOTTA, 2011). Porém, o MagLev *Transrapid* (China), completa uma via de 30 km em oito minutos atingindo velocidade de até 430 km/h (CABRAL, 2015). O Quadro 2 descreve as vantagens e desvantagens da tecnologia de levitação eletromagnética.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Eficiência ambiental (não há emissão de poluentes)	Uso de sensores e circuitos para controlar distância dos trilhos
Velocidade	Havendo dissipação de energia no controle dos circuitos ou eletroímãs afeta-se a levitação
Conforto e segurança	Uso de eletroímãs pesados, tornando via elevada maior e mais grossas
Eficiência mecânica: redução do atrito e da manutenção	Custo de implementação e instabilidade

Quadro 2 - Levitação eletromagnética

Já a tecnologia de levitação eletrodinâmica explora as forças repulsivas da interação magnética de um material magnético (ímãs permanentes) em relação a um condutor. Na estrutura fixa ao veículo são instalados ímãs de altos campos que ao se moverem sobre um leito condutor (trilhos), induz um campo magnético no leito em oposição ao campo dos ímãs do veículo, provocando assim, a força de repulsão que provoca a levitação (MATTOS, 2015).

É importante ter em mente que, para que seja induzido um campo magnético no leito condutor, é necessário que o veículo atinja uma velocidade de cruzeiro, visto que a força de repulsão responsável pela levitação depende da variação do fluxo magnético no material condutor (Lei de Lenz). Então, o veículo precisa de uma fonte motriz para iniciar o movimento além de um conjunto roda-trilho (DAVID, 2009).

Para conhecimento, o JR-MagLev, projetado pela *Central Japan Railway Company*, que emprega a tecnologia de levitação eletrodinâmica, transita sobre rodas pelos trilhos até atingir a velocidade de 120 km/h e, só a partir de então, a levitação é atingida (FRANÇA, 2019).

Apesar de exigir um conjunto roda-trilho, o que onera a implantação, a vantagem da tecnologia de levitação eletrodinâmica está na velocidade (CABRAL, 2015). Em 2015, o JR-MagLev bateu o recorde de velocidade terrestre, chegando a 603 km/h. O Quadro 3 apresenta as vantagens e desvantagens da levitação eletrodinâmica.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Eficiência ambiental (não há emissão de poluentes)	Necessidade de rodas e trilhos para aterrissagem e decolagem
Velocidade	Construção onerosa
Conforto e segurança	Elevado consumo de energia
Maior potencial de levitação em relação ao EML	Custo de funcionamento e implementação

Quadro 3 - Levitação eletrodinâmica

3.2 SUPERCONDUTORES E A LEVITAÇÃO MAGNÉTICA

A supercondutividade é um fenômeno relativamente novo na história da Ciência e tem contribuído bastante para desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. O fenômeno foi descoberto em 1911, por Heike Karmeligh Onnes, pioneiro em técnicas de refrigeração, na Universidade de Leiden (Holanda). Ao realizar medidas de resistência elétrica de metais em função da diminuição da temperatura, Onnes verificou que em torno de 4,2 K (Temperatura Crítica – T_c), a resistência elétrica do mercúrio diminuía de forma abrupta para zero (Figura 1). Vários outros metais foram testados e alguns (Níbio, Chumbo) apresentaram o mesmo comportamento para T_c diferentes (MOURACHINE, 2004).

Em 1933, os físicos Meissner e Ochsenfeld descobriram que, caso os materiais supercondutores fossem resfriados abaixo da T_c na presença de um campo magnético, o campo magnético seria completamente excluído do supercondutor. A partir de então, o estado supercondutor assume uma nova propriedade, o diamagnetismo perfeito. Esse fenômeno ficou conhecido como efeito Meissner e chamou muita atenção dos pesquisadores pelo seu potencial de aplicação tecnológica, principalmente pela possibilidade da levitação magnética (MOURACHINE, 2004).

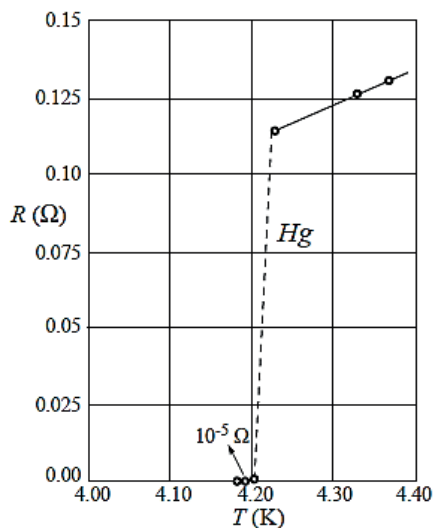


Figura 1: Dados experimentais da Resistência em função da Temperatura para o Hg.

Fonte: Mourachkine, 2004.

Embora as propriedades supercondutoras se mostram interessantes do ponto de vista de aplicações tecnológicas, o grande desafio se refere aos baixos valores de T_c . A compreensão do estado supercondutor instigou pesquisadores do mundo todo a desenvolverem materiais que pudessem atingir a supercondutividade em temperaturas mais altas.

Nesse aspecto, o ano de 1987 foi um marco para Ciência com o desenvolvimento de um material cerâmico (YBCO) com temperatura crítica de 92 K (-181°C) em pressão ambiente. Apesar de parecer muito baixa essa temperatura, cabe ressaltar que o nitrogênio líquido (abundante) possui uma temperatura de ebulição de 77 K (-195,8 °C). Na atualidade há materiais supercondutores em temperaturas próximas a do ambiente, porém isso é atingido a pressões muito altas (MOURACHINE, 2004).

Os supercondutores podem ser classificados em duas categorias (Tipo I e Tipo II). Os do Tipo I são constituídos, geralmente, por metais puros, sendo capazes de excluir totalmente de seu interior o campo magnético. Porém, exigem temperaturas inferiores a 30 K (-243 °C). Já os supercondutores do tipo II, comumente formado por ligas, cerâmicos, entre outros compostos, expulsam parcialmente o campo magnético para um intervalo de temperatura, ou seja, é possível controlar as propriedades magnéticas dessa classe. Além disso, os supercondutores do Tipo II apresentam valores de temperatura crítica superior aos do Tipo I.

Este efeito de aprisionamento e repulsão do campo magnético dos supercondutores Tipo II (Figura 2 - a) é uma promessa para tecnologia de veículos de levitação, pois ao excluir parcialmente o campo magnético e aprisionando parte dele, faz com que o sistema

seja genuinamente estável na levitação, dispensando a necessidade de sistemas de controle sofisticados (SOUSA *et al*, 2016). A Figura 2 (b) descreve a estrutura do veículo de levitação supercondutora.

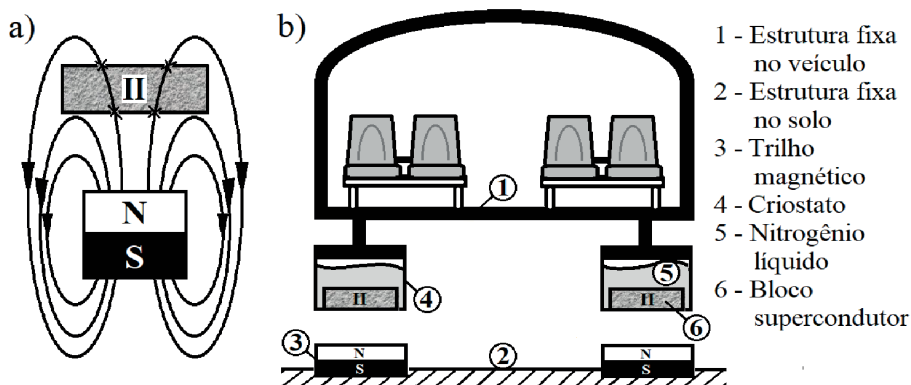


Figura 2: Levitação supercondutora. a) Supercondutor tipo II exposto a um campo magnético externo de um ímã; b) Modelo de um MagLev SML.

Fonte: França, 2019, p. 9

Os MagLevs supercondutores apresentam vantagens em relação às outras tecnologias, dentre elas a leveza que possibilita a construção de vias aéreas, assim, não seria necessária a desabilitação de grandes áreas urbanas. Também há destaque para a estabilidade do veículo ocasionado pelas propriedades magnéticas intrínsecas aos supercondutores, dispensado a utilização de sensores altamente sofisticados, como no caso da levitação eletromagnética. Já as desvantagens se relacionam aos mecanismos de resfriamento do supercondutor. Porém, o desenvolvimento científico na área dos supercondutores já aponta para possibilidade de materiais que supercondzem em temperatura e pressão ambientes, como por exemplo, a apatita de chumbo modificada (LK-99) apresentado em julho de 2023 pelo grupo sul-coreano liderado por Sukbae Lee. Se confirmado os dados apontados pelo grupo, com certeza será um dos marcos mais importantes da Física dos últimos 100 anos, fazendo com que várias possibilidades no campo da supercondutividade possam se tornar realidade (DUARTE, 2023).

3.3 O BRASIL E O MAGLEV SUPERCONDUTOR (MAGLEV-COBRA)

Desde o ano 2000, o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COOPE) trabalha no desenvolvimento da tecnologia de levitação magnética supercondutora (PASTORI, 2010).

Em 2006, o primeiro protótipo em escala reduzida do veículo de levitação magnética supercondutora, denominado MagLev-Cobra, foi apresentado. Entre 2008 e 2012 o protótipo funcional em escala real operou. Este protótipo demonstrou a viabilidade técnica do veículo, ou seja, a capacidade de sustentar cargas, fazer curvas e vencer declives

(STEPHAN *et al*, 2021).

Entre 2015 e 2021 o protótipo operacional atuou semanalmente em uma linha com 200 metros de extensão dentro do campus da UFRJ (STEPHAN *et al*, 2021). Atualmente, o MagLev-Cobra encontra-se em fase de industrialização, isto é, uma vez que demonstrou eficiência econômica, ambiental e energética, a próxima fase é a transferência da pesquisa universitária para implementação na sociedade.

3.4 MOBILIDADE URBANA NO BRASIL E OS TRANSPORTES DE LEVITAÇÃO

De acordo com Libardi (2014), o transporte é fator importante de desenvolvimento urbano à medida que aliado a um planejamento de mobilidade urbana possibilita integração dos cidadãos à cidade, contribuindo, por consequência, para qualidade de vida e desenvolvimento econômico.

À vista disso, a mobilidade urbana tem se colocado como prioridade para políticas públicas de planejamento urbano e inclusão social, sobretudo porque as demandas de mobilidade urbana brasileira têm se revelado em congestionamento, acidentes e mortes no trânsito (GARCIA, 2018). No Brasil, em 2019, 31.945 pessoas morreram no trânsito, esta é a terceira maior causa de morte prematura no país (BRASIL, 2019).

Desde 2012, a partir da Lei nº 12.587/2012, conhecida como Lei da Mobilidade Urbana, ações governamentais para garantir a segurança no trânsito e a mobilidade urbana têm sido implementadas (BRASIL, 2012).

A referida lei busca garantir a segurança no trânsito e melhorar a mobilidade urbana, baseando-se na diretriz da sustentabilidade. Com efeito, estabeleceu-se políticas de restrição de circulação de veículos, de priorização de fluxos, sistemas de estacionamento rotativo, bem como se fez ampliação das vias.

No entanto, de acordo com Santos e Santos (2022), para a sustentabilidade que se busca as soluções da mobilidade urbana precisam concentrar-se em alternativas para mover pessoas e não veículos, questionando o modelo de desenvolvimento urbano fundamentado no transporte individual. Desse modo, é preciso de inovações em políticas de transporte público coletivo e incentivo ao transporte não motorizado (GARCIA, 2018).

A própria Lei 12.587/2012 destaca no art. 24 que o Plano de Mobilidade Urbana Municipal precisa contemplar serviços de transporte público coletivo integrado ao transporte particular (BRASIL, 2012).

Nesse sentido, o MagLev-Cobra apresenta-se como alternativa para o sistema de mobilidade urbana brasileiro, principalmente ao avaliar as vantagens, associando-as com políticas de transporte público, e reduzindo os custos econômicos e ambientais.

Em relação aos custos econômicos, o MagLev-Cobra não se enquadra entre os modais de menor custo de implementação. No entanto, a pesquisa de Pastori (2010) demonstrou que o custo operacional do MagLev-Cobra é inferior ao custo operacional do ônibus convencional. São 0,08 centavos por quilômetro do MagLev-Cobra contra 0,47 do

ônibus. Isso significa que os custos de investimentos terão retorno nominal.

Quanto aos custos ambientais, o MagLev-Cobra apresenta inegável eficiência, uma vez que funciona sem emissão de gases poluentes, é movido à energia elétrica, cuja geração no Brasil é predominantemente de fonte hídrica, considerada renovável (STEPHAN *et al*, 2021). Além disso, não apresenta ruído audível pela ausência de atrito roda-trilho (FRANÇA, 2019).

Por fim, avaliando as vantagens associadas às políticas de transporte público brasileiras, acredita-se que transportes de pessoas como o MagLev-Cobra seria uma ótima alternativa, tendo em vista que oferece transporte coletivo, com baixo custo operacional e baixa ocupação de solo (não necessitando de trilhos, túneis e pontes e não trafegando onde transitam modais rodoviários) a uma sociedade que tem padecido com congestionamentos, acidentes, mortes no trânsito, combustíveis e passagens caras e má qualidade do ar.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo apresentar as tecnologias de levitação magnética, situar o Brasil nesse campo científico/tecnológico e avaliar como essas tecnologias podem contribuir para otimizar a mobilidade urbana. Dessa forma, foi possível verificar que existem três tecnologias de levitação magnética, a levitação eletromagnética (*EML - Electromagnetic Levitation*), a levitação eletrodinâmica (*EDL- Electrodynamic Levitation*) e a levitação magnética supercondutora (*SML – Superconducting Magnetic Levitation*). A tecnologia *EML* já é utilizada em MagLevs, de alta e baixa velocidades, em operação comercial na China, Japão e Coreia do Sul. Já tecnologia *SML*, ainda não tem MagLev em operação comercial, embora se mostra uma tecnologia promissora por se destacar em relação às outras, principalmente no quesito estabilidade provocado pelas propriedades intrínsecas aos supercondutores.

O Brasil se destaca cientificamente e tecnologicamente com o projeto do MagLev-Cobra. O protótipo tem como princípio de funcionamento a tecnologia *SML* e estudos apontam para viabilidade de implementação como uma alternativa aos sistemas de transportes tradicionais, atendendo as legislações de mobilidade urbana, aliando sustentabilidade e eficiência. Cabe ressaltar, que sistemas de transportes mais eficientes contribuem para o desenvolvimento de uma sociedade mais saudável psicologicamente e economicamente, visto que, acidentes e o estresse ocasionados pela falta de mobilidade urbana, são grandes vilões no mundo moderno.

REFERÊNCIAS

BOCCATO, V. R. C. Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação. **Rev. Odontol. Univ.** Cidade São Paulo, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006.

BRASIL, **Lei 12.587**, de 3 de janeiro de 2012, Política Nacional de Mobilidade Urbana. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso em: 22/05/2023.

BRASIL. 2019. **Sistema de Informações de Saúde - TABNET**. Disponível em: <http://svs.aids.gov.br/dantps/centrais-de-conteudos/paineis-de-monitoramento/mortalidade/gbd-brasil/principais-causas/>. Acesso em: 20/05/2023.

CABRAL, Thalles Denner Ferreira. **Dinâmica e controle de um sistema MagLev simplificado**. 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2015.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. Desafios da mobilidade urbana no Brasil. **Texto para Discussão n. 2198**, Brasília: Ipea, mai., 2016.

DAVID, Eduardo Gonçalves. **O Futuro das estradas de ferro no Brasil**. [S.l.]: Portfolium, 2009.

DUARTE, Roberta. Supercondutor em temperatura e pressão ambiente? Quão revolucionária pode ser essa descoberta? **Meteored tempo.com**, 2023. Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/actualidade> Acesso em: 06/09/2023.

EHMANN, Marcia. O trem urbano do futuro já é realidade. **Centro de Tecnologia UFRJ**, Rio de Janeiro, 16 set. 2020. Disponível em: <https://tinyurl.com/yrexhpnr>. Acesso em: 26/05/2023.

FRANÇA, Thais Nascimento. **Estudo da levitação eletrodinâmica aplicada à veículos MagLev**. 2019. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

GARCIA, Geraldo Freire. **O planejamento da cidade e a mobilidade urbana**, uma combinação sustentável. 2018. 135 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo, SP: Atlas, 1999.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?t=destaques>. Acesso em: 06/09/2023

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo, SP: Atlas 2003.

MATTOS, Laércio Simas. **Estudo da tração de um veículo de levitação magnética supercondutora: contribuição à certificação do MagLev-Cobra**. 2015. 252 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MOTTA, E. S. Otimização de trilho magnético de um sistema de levitação supercondutora para veículo Maglev. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2011

MOURACHKINE, A. Room-Temperature Superconductivity. **Cambridge International Science Publishing**, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom, 2004

PASTORI, Antonio. A inovação tecnológica 'verde' e seus possíveis efeitos na matriz de transportes do Brasil: considerações sobre o veículo de levitação magnética supercondutora (Maglev-Cobra). **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 31, p. 321-352, mar., 2010.

PEREIRA, Rafael Henrique Moraes *et al.* Tendências e desigualdades da mobilidade urbana no Brasil: o uso do transporte coletivo e individual. **Sumário Executivo n. 2673**. Rio de Janeiro: Ipea, jun., 2021.

SANTOS, Abraão dos *et al.* Experimento demonstrativo de levitação supercondutora: ferramenta para problematização de conceitos físicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 2505-1-2505-8, 2015.

SANTOS, Janio Laurentino de Jesus; SANTOS, Luiz Eduardo Pereira Ferreira dos. Planejamento e mobilidade urbana no Brasil: o uso da bicicleta como uma nova maneira de pensar e construir a cidade. **Revista de Direito da Cidade**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 113 - 137, 2022.

SOUSA, Wesley Tiago Batista de *et al.* Projeto MagLev Cobra: Levitação Supercondutor para Transporte Urbano. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 4, 2016.

STEPHAN, Richard *et al.* MagLev-Cobra: da universidade para a sociedade. **Revista Brasileira de Transportes**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, mar., 2021.