RBT

REVISTA BRASILEIRA DE TRANSPORTES

BRAZILIAN TRANSPORT JOURNAL

Vol. 1 #1 | MAR 2021



FGV TRANSPORTES

A **Revista Brasileira de Transportes** - **RBT** é uma publicação para difusão científica, bilíngue, com periodicidade semestral, vinculada ao **FGV Transportes**, centro de estudos e pesquisas em transportes, logística e mobilidade urbana da **FGV**.
Para publicação na **RBT**, serão considerados artigos inéditos, que não devem estar sob avaliação de outro periódico, mesmo que em outro idioma, com a exceção de trabalhos apresentados em anais de congressos. O acesso ao conteúdo da **RBT** é aberto, sem cobrança de qualquer valor pecuniário para submissão ou publicação.
Visite a plataforma da **RBT** e submeta o seu artigo:
http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbt/index.





The **Brazilian Transport Journal** (**Revista Brasileira de Transportes - RBT**) is a bilingual scientific jornal, published every six months, linked to the **FGV Transportes**, centre for studies and research in transport, logistics and urban mobility at the **Getulio Vargas Foundation** (**FGV**). Only unpublished papers will be considered by the **RBT** journal; they should not be under assessment by any other periodical, nor be written in any language other than Portuguese and English, except for papers presented in congress proceedings. Access to **RBT** content is open, with no fees charged for either submission or publication. Visit the **RBT** platform and submit your article: http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbt/index.

REVISTA BRASILEIRA DE TRANSPORTES - RBT

PUBLICAÇÃO DO CENTRO DE ESTUDOS FGV TRANSPORTES
FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS – FGV

EQUIPE EDITORIAL

EDITOR CHEFE:
Marcus Vinícius Quintella Cury –
FGV Transportes

EDITOR EXECUTIVO:
Marcelo Prado Sucena – FGV Transportes

EDITORES TEMÁTICOS:
Alan Ricardo da Silva
Universidade de Brasília - UNB.

Álvaro Costa
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, Portugal.

Fariya Sharmeen
KTH Royal Institute of Technology - Stockholm, Sweden.

Gustavo Riente de Andrade
University of Florida Transportation Institute, USA.

Javier Aldecoa
Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Spain

José Carlos Amorim
Instituto Militar de Engenharia - IME.

José Eugênio Leal
Pontifícia Universidade Católica - PUC-Rio.

Kent Gourdin
College of Charleston, USA.

Luiz Antonio Silveira Lopes
Instituto Militar de Engenharia - IME.

Luiz Eduardo Brandão
Pontifícia Universidade Católica - PUC-Rio/IAG.

Patrícia Regina Pinheiro Sampaio
Fundação Getúlio Vargas - FGV Direito.

Priscila Laczynski de Souza Miguel
Fundação Getúlio Vargas - FGV Celog/EAESP.

Respício Antonio do Espírito Santo Jr.
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/POLI.

Rômulo Orrico
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE.

Vânia Barcellos Gouvêa Campos
Instituto Militar de Engenharia – IME.

AVALIADORES CIENTÍFICOS *AD HOC*:
Amir Mattar Valente
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC – PPGTG.

Eduardo Lobo
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC – PPGTG.

Enilson Medeiros
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Leonardo Herszon Meira
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Peter Fernandes Wanke
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPEAD.

Renata Lúcia Magalhães de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG.

Renata Maré
Universidade de São Paulo - USP/Escola Politécnica - Instituto Mauá de Tecnologia.

Richard Magdalena Stephan
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE/POLI.

APOIO ADMINISTRATIVO:
Valdélia Brito

REVISÃO GRAMATICAL E ORTOGRÁFICA:
Jeferson Dantas

TRADUÇÃO E REVISÃO DE INGLÊS:
Patrícia Tate

DIAGRAMAÇÃO:
Bruno Masello e Carlos Quintanilha

REVISTA BRASILEIRA DE TRANSPORTES – RBT / FGV TRANSPORTES
Praia de Botafogo, 190 / 6º andar, Botafogo,
Rio de Janeiro, RJ, Cep. 22.250-900

Submissão de artigos:
http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbt/about/submissions

E-mail:
rbt@fgv.br

Os conceitos, metodologias, métodos, técnicas e propostas expressas nos artigos publicados na RBT são de inteira responsabilidade de seus autores, não representando necessariamente a posição institucional da FGV.

Permitida a reprodução total ou parcial dos artigos, desde que mencionada a fonte.

BRAZILIAN TRANSPORT JOURNAL – RBT

PUBLICATION OF THE FGV TRANSPORTES STUDY CENTER
GETULIO VARGAS FOUNDATION - FGV

EDITORIAL TEAM

EDITOR IN CHIEF:
Marcus Vinícius Quintella Cury –
FGV Transportes, Brasil.

EXECUTIVE EDITOR:
Marcelo Prado Sucena – FGV Transportes, Brasil.

THEME EDITORS:
Alan Ricardo da Silva
University of Brasília (UNB), Brasil.

Álvaro Costa
Faculty of Engineering, University of Porto (FEUP), Portugal.

Fariya Sharmeen
KTH Royal Institute of Technology - Stockholm, Sweden.

Gustavo Riente de Andrade -
University of Florida Transportation Institute, USA.

Javier Aldecoa
Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Spain

José Carlos Amorim
Military Engineering Institute (IME), Brasil.

José Eugênio Leal
Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio), Brasil.

Kent Gourdin
College of Charleston, USA.

Luiz Antonio Silveira Lopes
Military Engineering Institute (IME), Brasil.

Luiz Eduardo Brandão
Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio/ IAG), Brasil.

Patrícia Regina Pinheiro Sampaio
Getulio Vargas Foundation (FGV Law), Brasil.

Priscila Laczynski de Souza Miguel
Getulio Vargas Foundation (FGV/Celog/EAESP), Brasil.

Respício Antonio do Espírito Santo Jr.
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ/POLI), Brasil.

Rômulo Orrico
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ/COPPE), Brasil.

Vânia Barcellos Gouvêa Campos
Military Engineering Institute (IME), Brasil.

SCIENTIFIC REVIEWERS AD HOC:
Amir Mattar Valente
Santa Catarina Federal University (UFSC/PPGTG), Brasil.

Eduardo Lobo
Santa Catarina Federal University (UFSC/PPGTG), Brasil.

Enilson Medeiros
Pernambuco Federal University (UFPE), Brasil.

Leonardo Herszon Meira
Pernambuco Federal University (UFPE), Brasil.

Peter Fernandes Wanke
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ/COPPEAD), Brasil.

Renata Lúcia Magalhães de Oliveira
Federal Technological Education Center (CEFET/MG), Brasil.

Renata Maré
São Paulo University (USP/ Polytechnic School - Mauá Institute of Technology), Brasil.

Richard Magdalena Stephan
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ/COPPE/POLI), Brasil.

ADMINISTRATIVE SUPPORT:
Valdélia Brito

PORTUGUESE SPELLING AND GRAMMAR REVIEW:
Jeferson Dantas

REVISION AND ENGLISH TRANSLATION:
Patrícia Tate

LAYOUT AND FINISHED ARTWORK:
Bruno Masello e Carlos Quintanilha

BRAZILIAN TRANSPORT JOURNAL – RBT / FGV TRANSPORTES
Botafogo Beach, 190 / 6th floor, Botafogo, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, Postal Code 22.250-900

Submissions:
http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbt/about/submissions

E-mail:
rbt@fgv.br

The concepts, methods, methodologies, techniques and proposals expressed in the articles published in the RBT are the sole responsibility of their authors, and do not necessarily represent the institutional position of FGV.

Total or partial reproduction of articles is allowed, provided the source is mentioned.



MAGLEV-COBRA: DA UNIVERSIDADE PARA A SOCIEDADE

Richard Stephan
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Rogério Lacerda
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Felipe Costa
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Elkin Rodriguez
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

RESUMO

Mais de 80% da população brasileira vive em cidades. Como resposta para os graves problemas de mobilidade urbana, a UFRJ desenvolveu o MagLev-Cobra, um veículo que utiliza a técnica de levitação magnética (MagLev) baseada em supercondutores de elevada temperatura crítica e imãs de terras-raras, viabilizada apenas no final do século XX e início do século XXI. O artigo apresenta os elementos essenciais para o entendimento do sistema, comparando-o com outras alternativas de transporte urbano e com outras técnicas de levitação magnética. Inúmeras oportunidades para inovação e crescimento tecnológico são oferecidas. A proposta respeita os preceitos de transporte sustentável, sem a emissão de gases poluentes e ruído, menor consumo energético e custo operacional, além de forte apelo visual futurista. Detalha-se a passagem do projeto MagLev-Cobra pelas quatro etapas evolutivas (prova de conceito, protótipo funcional, protótipo operacional e industrialização) enquadradas na escala TRL (*Technology Readiness Level*) proposta pela NASA. O artigo finaliza com uma discussão sobre os caminhos para o estabelecimento de um empreendimento tecnológico comercial, o esperado retorno para a sociedade.

ABSTRACT

More than 80% of the brazilian population lives in cities. As a response to the serious problem of urban mobility, UFRJ developed the MagLev-Cobra, a vehicle that uses the magnetic levitation (MagLev) method based on superconductors of high critical temperature and rare earth magnets, made possible at the end of XX century and early XXI century. The article presents the essential elements for the understanding of the system, comparing it with other alternatives of urban transportation and with other techniques of magnetic levitation. Numerous opportunities for innovation and technological growth are offered. The proposal respects the precepts of sustainable transportation, without the emission of polluting gases and noise, less energy consumption and operational cost, in addition to a strong futuristic visual appeal. The passage of the MagLev-Cobra project through the four evolutionary stages (proof of concept, functional prototype, operational prototype and industrialization), framed in the TRL (Technology Readiness Level) scale proposed by NASA, is detailed. The paper ends with a discussion on the paths for the establishment of a commercial technological enterprise, the expected return to the society.

Palavras-chave: MagLev-Cobra, Inovação tecnológica, industrialização.

Keywords: MagLev-Cobra, Technological innovation, industrialization.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de transporte público eficiente, não poluidor, com custos de implantação e manutenção competitivos, faz parte das prioridades do mundo moderno, no qual grande parte da população vive em metrópoles. Mais de 80% dos brasileiros mora em cidade, e, na região Sudeste, esse percentual ultrapassa os 90% [Camarano, 2000].

Cidades que dispõem de uma extensa malha de metrôs subterrâneos são consideradas como modelo de solução. No entanto, o custo de implantação destas vias no Brasil encontra-se entre US$20 Mi e US$ 70 Mi por km, ou até superior, dependendo do tipo de solo considerado [Peter Alouche,2015].

A tecnologia MagLev-Cobra propõe um veículo de levitação magnética para aplicações urbanas, que permite efetuar curvas de raios de 50m, vencer aclives de até 15% e operar em vias elevadas a 70km/h ou mais, com custo de implantação da ordem de 1/3 do necessário para um metrô subterrâneo, e comparável ao de um VLT ou de um Monotrilho.

Para obter a levitação, o sistema vale-se da propriedade diamagnética dos supercondutores de elevada temperatura crítica e do campo magnético produzido por imãs de terras-raras. Esses materiais só foram produzidos a partir do final do século passado. Ainda não existe, até a presente data, um veículo como o MagLev-Cobra em uso comercial, o que lhe confere originalidade, oportunidade de inovação e crescimento tecnológico.

Por ser movido à energia elétrica, cuja geração no Brasil é predominantemente de origem hidráulica, o sistema MagLev-Cobra funciona sem a emissão de gases poluentes. Para tração utiliza-se um motor linear, tecnologia que também abre novas perspectivas para o parque industrial brasileiro.

Por não depender de atrito mecânico, o MagLev-Cobra, além de menor consumo energético, não produz poluição sonora, podendo se harmonizar com a arquitetura das cidades em vias elevadas, em perfeita sintonia com as exigências ambientais do mundo moderno e apresentando uma imagem futurista dos locais onde for instalado.

A UFRJ, por intermédio da COPPE, vem trabalhando no desenvolvimento desta tecnologia desde o ano 2000 [Stephan et al, 2017]. Um vídeo, disponibilizado na internet, dá vida e movimento ao dito anteriormente : https://youtu.be/Gny4qgQ0yvQ. A evolução encontra-se organizada em 4 etapas [Stephan, 2015]:

I. Prova de Conceito, que corresponde à construção de um Protótipo em Escala Reduzida, finalizado em 2006 com o apoio do CNPq, CAPES e FAPERJ. O total de recursos investidos nesta etapa foi da ordem de R$100mil.

II. Protótipo Funcional, desenvolvido entre 2008 e 2012 com recursos da FAPERJ e da FUNDAÇÃO COPPETEC, totalizando cerca de R$ 4,8 Milhões. Esse protótipo objetivou demonstrar a viabilidade técnica do veículo em escala real, sua capacidade de suportar cargas, efetuar curvas, vencer declividades, tudo ainda dentro de um ambiente controlado de laboratório.

III. Protótipo Operacional, para o qual foram levantados recursos de R$ 6,5 Milhões do BNDES/FUNTEC. Ao apoio governamental, somou-se a participação de empresas privadas. Esse protótipo operou desde 2015 até o início da COVID para demonstrações semanais abertas ao público, em uma linha com 200 metros de extensão dentro do campus da UFRJ. Mais de 20 mil visitantes experimentaram

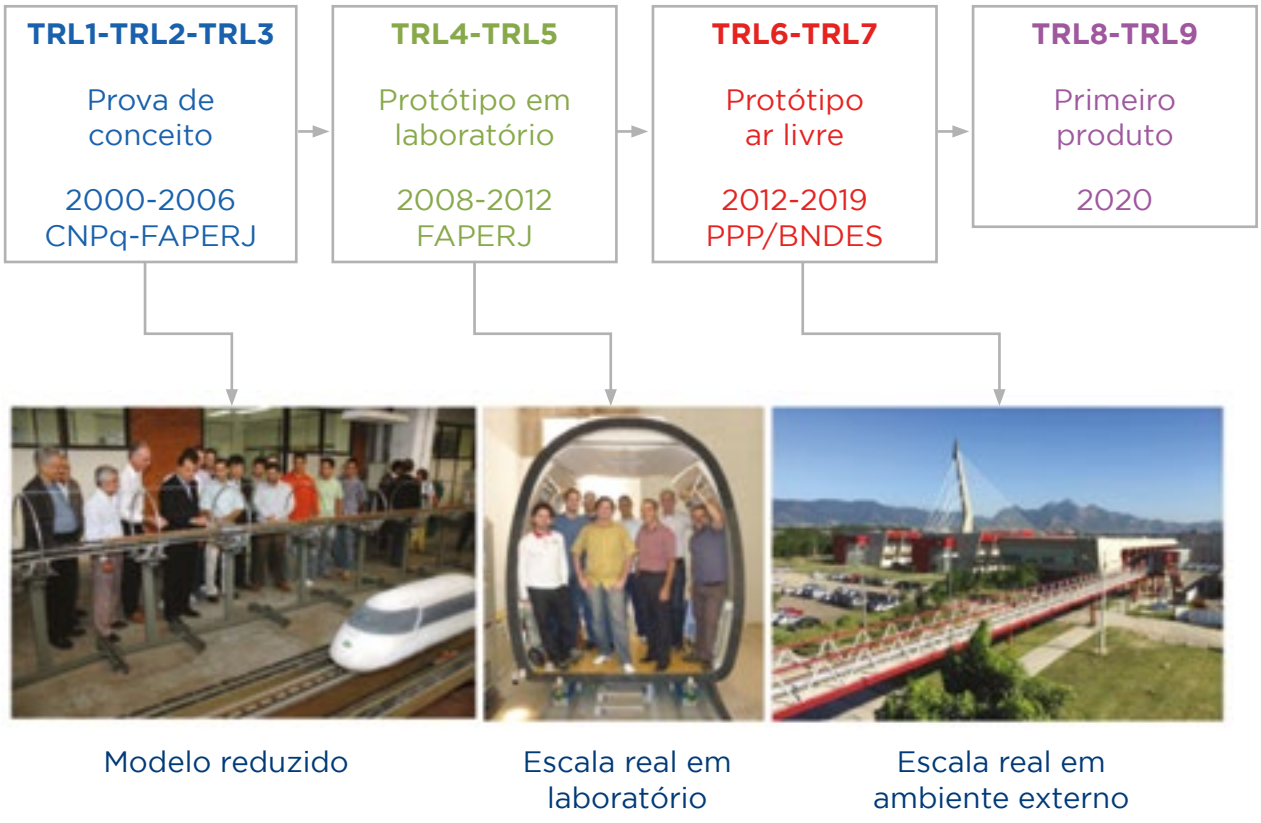
a viagem. Vale destacar que o apoio da FAPERJ, oferecido para a concretização da etapa anterior, desempenhou papel significativo para a aprovação do projeto FUNTEC.

IV. Industrialização, etapa na qual se encontra o MagLev-Cobra, necessita ainda de investimentos públicos e privados para ser devidamente concluída e fornecer os desdobramentos para o crescimento industrial brasileiro e o retorno para a sociedade.

As etapas encontram-se esquematizadas na Figura 1 e enquadradas na escala TRL (*Technology Readiness Level*) proposta pela NASA [Lobo, 2016], também norma brasileira desde 2015, como apresentado no quadro da Figura 2. A escala TRL original limita-se em nove. Entretanto, acrescentou-se o nível TRL10, no qual se registra a industrialização em larga escala, significando novo patamar de dificuldade.

Cada degrau superior da escala TRL exige mais esforço mental, físico e financeiro para ser galgado, como o exigido de um alpinista que quer chegar ao topo do Everest.

Figura 1. As etapas do projeto MagLev-Cobra dentro da Escala TRL[1]



1 As figuras 1-4 e 6-8 foram adaptadas de [Stephan, R. M, 2020]

Figura 2. A escala TRL (Technology Readiness Level) proposta pela NASA com a inclusão de um décimo nível.

NÍVEIS DE MATURIDADE DA TECNOLOGIA

ABNT ISO 16290 de 16/10/2015

Prova de conceito	**TRL1 -** Princípios básicos observados e relatados **TRL2 -** Conceito e/ou aplicação da tecnologia formulados **TRL3 -** Validação experimental da prova de conceito
Protótipo em laboratório	**TRL4 -** Verificação em ambiente laboratorial **TRL5 -** Verificação em ambiente relevante
Protótipo ar livre	**TRL6 -** Verificação em ambiente relevante final **TRL7 -** Verificação em ambiente operacional
Primeiro produto	**TRL8 -** “Qualificação para a missão” - testes e demonstrações **TRL9 -** “Aprovado para a missão” - operações bem sucedidas

TRL8 - INDUSTRIALIZAÇÃO

O presente artigo apresenta os elementos essenciais do sistema MagLev-Cobra, suas aplicações e vantagens, com inúmeras oportunidades para inovação e crescimento tecnológico, culminando com uma análise de modelo de negócios que permitirá a esperada transferência da pesquisa universitária para a sociedade.

2. POSICIONAMENTO

2.1 Tecnológico

As técnicas de levitação magnética (MagLev), promissoras para aplicações em transporte de massa, encontram-se subdivididas em três grupos, descritos nos itens a seguir [Sinha, 1987] e resumidos na Figura 3:

I. Levitação Eletrodinâmica (EDL)

Esse tipo de levitação necessita do movimento de um campo magnético nas proximidades de um material condutor. A proposta japonesa de trem de levitação, JR-MagLev (http://www.rtri.or.jp), aplica esse princípio em uma linha dupla para demonstração e testes em Yamanashi, localidade entre Tóquio e Osaka, operando desde 1997. Em 2013, essa linha foi expandida e possui atualmente 42,8km. O recorde mundial de 603 km/h foi aí atingido em abril de 2015. O Japão planeja prolongá-la para complementar o Shinkansen (TAV roda-trilho), que liga estas duas cidades, mas a tecnologia ainda não foi implantada comercialmente.

Para entender o método, suponha um imã deslocando-se sobre uma lâmina condutora (e.g., alumínio). Sabe-se que correntes parasitas serão induzidas no condutor. Essas correntes, por sua vez, geram um outro campo magnético o qual, pela lei de Lenz, opor-se-á à ação do campo oriundo do imã. A interação entre esses dois campos produz uma força de repulsão, que aumenta com a velocidade e permite a levitação. O sistema, se convenientemente ajustado, pode ser estabilizado lateralmente de forma passiva, mas necessita de rodas de apoio nas baixas velocidades.

II. Levitação Eletromagnética (EML)

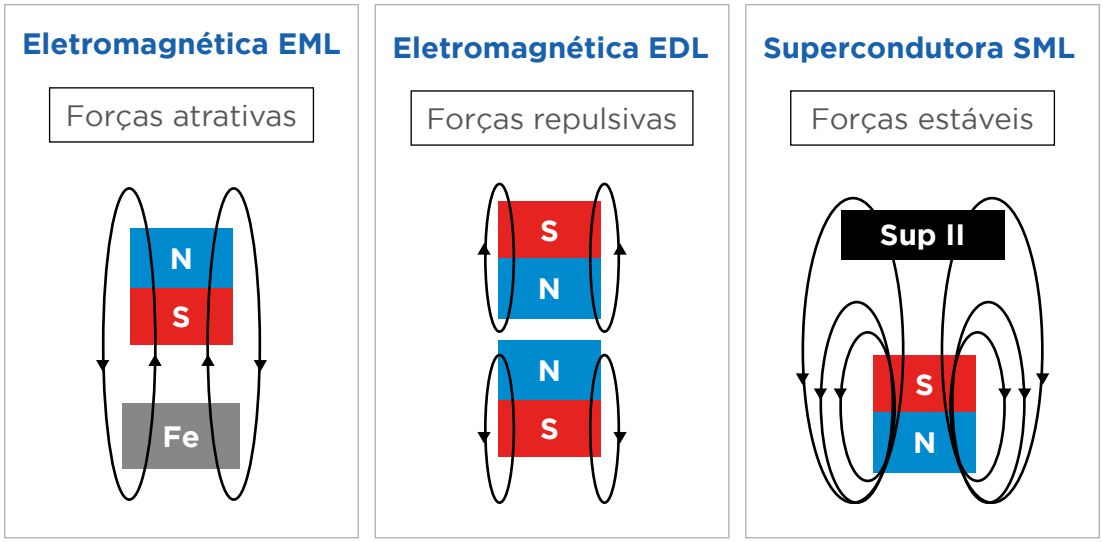
Essa técnica tem sua melhor vitrine na proposta alemã de trem de levitação, Transrapid (http://www.transrapid.de), que está implantada comercialmente, desde 2003, em uma conexão de 30 km, em linha dupla, entre o aeroporto internacional de Pudong, em Shanghai, e Lujiazui, um distrito financeiro da cidade chinesa (http://www.smtdc.com). Os projetos de MagLev em operação urbana comercial no Japão, na China e na Coreia do Sul também empregam a tecnologia EML.

O fundamento físico básico explora a força de atração que existe entre um eletro imã e um material ferromagnético. A estabilização vertical, neste caso, só é possível com um sistema de controle ativo e regulador devidamente sintonizado.

III. Levitação Supercondutora (SML)

Esse método vale-se da propriedade diamagnética dos supercondutores que exclui campos magnéticos externos do seu interior. No caso dos supercondutores do tipo II, esta exclusão é parcial, o que diminui a força de levitação, mas conduz à estabilidade da levitação em função do chamado efeito de "*pinning*" [Sheahen, 1994]. Essa propriedade, que representa o grande diferencial em relação aos métodos EDL e EML, só pôde ser devidamente explorada a partir do final do século XX com o advento de novos materiais magnéticos, como o Nd2Fe14B (NdFeB), e de pastilhas supercondutoras de alta temperatura crítica (HTS), como o YBa2Cu3OX (YBCO).
O Brasil, com o projeto MagLev-Cobra, é o primeiro país do mundo a possuir uma linha de demonstração em escala-real dessa tecnologia.

Figura 3. Métodos de Levitação Magnética



De um modo simplificado, a Levitação Magnética, independentemente de qual técnica, compara-se com a tradicional tecnologia roda-trilho para transporte como indicado na Tabela 1, na qual estão separados aspectos construtivos e aspectos operacionais.

Tabela 1. Comparação MagLev x Roda-Trilho

Características	MagLev	Roda-trilho
Custo do material rodante / levitante	☹	☺
Custo e tempo de execução das obras de construção civil	☺	☹
Tempo de viagem / paradas	☺	☹
Custo operacional: manutenção, combustível	☺	☹
Impacto ambiental: ruído audível, emissão de CO_2	☺	☹

2.2 Histórico

Emile Bachelet (*1863,+1946), francês radicado no EUA, propôs a primeira patente de Levitação Eletrodinâmica (EDL) em 1912, em Nova York. Já a Levitação Eletromagnética (EML) foi proposta pelo alemão Hermann Kemper (*1892,+1977), em 1934. A utilização industrial dessas alternativas dependeu principalmente de dois avanços tecnológicos, nomeadamente:

- 1947 – invenção do transistor (micro eletrônica)
- 1957 – thyristor (eletrônica de potência)

Assim, em 1970, já eram encontrados desenvolvimentos de trens MagLev na Alemanha, Japão e EUA.

A Levitação Supercondutora (SML) teve que aguardar quase quatro décadas, desde a revolução eletrônica, acima destacada, para atingir os marcos tecnológicos que permitiram vislumbrar sua utilização industrial, quais sejam:

- 1983 – imãs de terras raras
- 1987 – supercondutores de elevada temperatura crítica

Considerando que a primeira implementação comercial de veículo MagLev com tecnologia EML ocorreu no ano de 2003, entendemos que o desenvolvimento tecnológico proposto no projeto MagLev-Cobra, cujos alicerces materiais foram lançados 40 anos mais tarde, encontra-se dentro de um cronograma realista.

As conferências MAGLEV (*International Conference on Magnetically Levitated Vehicles and Linear Drives https://www.maglevboard.net/en/the-conferences*), cuja primeira edição data de 1977, também servem como registro histórico. O professor Roberto Nicolsky inseriu o Brasil no circuito internacional das conferências MAGLEV quando, com a coragem e visão de futuro que lhe são características, assumiu a função de *chair* da 16a edição em 2000. Ali, ainda sem esse nome, o MagLev-Cobra foi concebido. Desde então, o avanço tem sido reportado com regularidade nas conferências MAGLEV. O MagLev-Cobra foi inaugurado durante a 22a edição, no dia primeiro de outubro de 2014.

2.3 Geográfico

Os projetos MagLev costumam ser divididos em dois grupos: os de alta velocidade (TAV) e os urbanos. As Tabelas 2 e 3 detalham algumas características marcantes dos principais projetos. Deve-se destacar o maior interesse pelos projetos urbanos, categoria na qual se insere o MagLev-Cobra.

Tabela 2. Projetos MagLev de Alta Velocidade (TAV)

PAÍS	NOME	LOCAL E INFORMAÇÕES ADICIONAIS	LEVITAÇÃO
Alemanha	Transrapid	Emsland linha de teste desativada	EML
China	SMT	Shanghai 30 km – desde 10/2003 - 450 km/h	EML
Japão	JR-MagLev	Yamanashi Test Line – 42,8 km Record - 603 km/h em 4/2015 Tokyo-Nagoya em 2027 Tokyo-Osaka em 2045	EDL
EUA	Hyperloop	Las Vegas 500 m - 173 km/h – 11/2020	EDL

Os motores Lineares Síncronos (LSM) de primário longo promovem a tração em todos os projetos MagLev-TAV citados na Tabela 2. Importante ainda mencionar que o projeto chinês emprega a tecnologia Transrapid alemã.

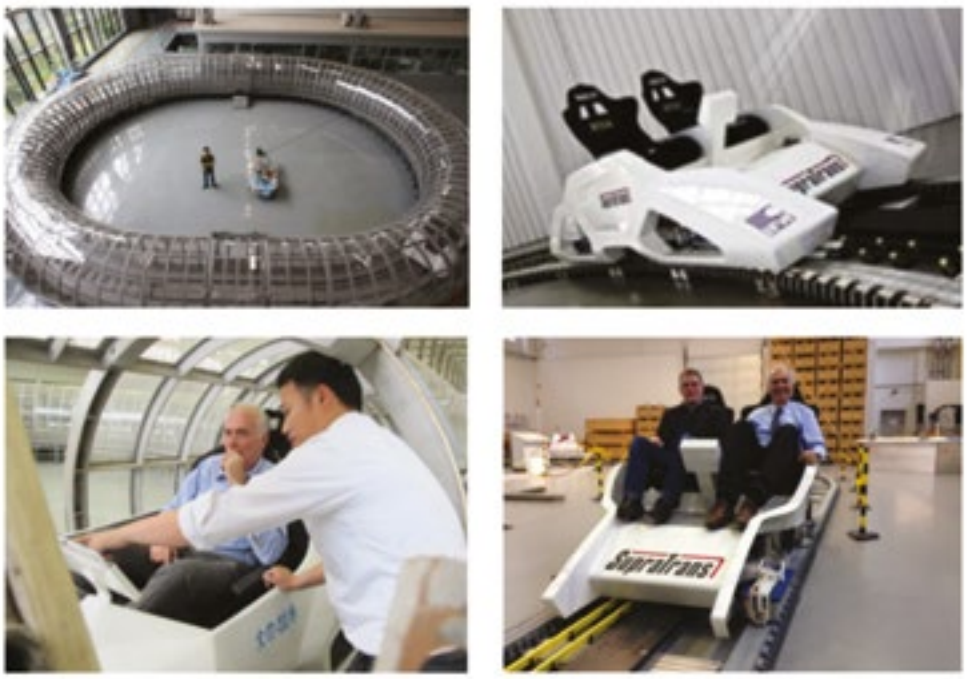
Tabela 3. Projetos MagLev Urbano em Operação Comercial

PAÍS	NOME	LOCAL E INFORMAÇÕES ADICIONAIS
Japão	HSST – Linimo	Nagoya – 9km – desde 3/2005
China	Airport line	Changsha – 18,5km – desde 5/2016
	S1 line	Beijing – 10,2km – desde 12/2017
Coreia do Sul	ECOBEE	Seoul – 6,1km – desde 2/2016

Os motores Lineares de Indução (LIM) de primário curto promovem a tração em todos os projetos MagLev-Urbano citados na Tabela 3 e as atuais linhas comerciais empregam a técnica EML.

A tecnologia SML, adotada no projeto MagLev-Cobra, ainda não possui protótipo comercial, mas desperta a atenção de diversos grupos pelo mundo, sendo os mais ativos o alemão, do IFW/Dresden, e o chinês, da *Southwest Jiaotong University* (SWJTU). Mantemos intercâmbio com esses dois grupos, cujos protótipos ainda se encontram no interior dos laboratórios, como mostra a Figura 4.

Figura 4.Projetos SML desenvolvidos na China (esquerda) e Alemanha (direita)



Chengdu - China
(45m)

Dresden - Alemanha
(80m)

Digno de nota é que, na finalização deste artigo, exatamente no dia 13/01/2021, fomos informados que a SWJTU acabara de inaugurar seu protótipo a céu aberto, como mostra a Figura 5. A linha de teste tem 165 metros de extensão, o veículo com 21 m de comprimento, 3,2 m de largura e 3,4 m de altura, tem capacidade para transportar 50 passageiros, e, como se vê, já foi feito com padrão industrial. Esse fato reforça a importância da tecnologia SML.

Figura 5 Linha de teste da tecnologia SML inaugurada na SWJTU no dia 13/01/2021



2.4 Econômico

A potência necessária para levitar um veículo, com base nos métodos EML ou EDL, é da ordem de 1 a 10W/kg. Por outro lado, a potência necessária para movimentar um veículo MagLev, a uma velocidade constante *v*, depende, principalmente, da resistência do ar, sendo proporcional a *v*3.

Para velocidades elevadas (> 250 km/h), a potência de levitação torna-se relativamente pequena em relação à potência de tração [Schach et al, 2006]. Essa constatação aponta para conexões de longa distância, em que a alta velocidade tem um papel importante.

No caso SML, a potência necessária para levitação é comparativamente menor, no entanto, a linha de ímãs necessários para promover o efeito diamagnético é mais cara do que a infraestrutura das opções EML ou EDL. Distâncias curtas entre as estações e velocidades baixas predominam no transporte urbano, abrindo-se aqui um nicho para o método SML. Assim, o veículo MagLev-Cobra para transporte urbano é baseado no método SML. Para conexão de alta velocidade, as tecnologias EML e EDL revelam-se atualmente mais apropriadas.

2.5 Ambiental

É inegável a necessidade de intensificar o uso do transporte público em detrimento dos veículos particulares para melhoria da mobilidade urbana. Apesar dessa significância para a sociedade, as externalidades operacionais provocadas sobre o meio ambiente também o são. Isto acontece, em parte, devido aos sistemas não constituírem redes otimizadas de transporte eficientes e, em parte, ao fato de que as tecnologias atualmente empregadas não são adequadas para absorverem a demanda existente.

As redes de transporte mais eficientes são aquelas que permitem tirar partido, de uma forma integrada, das vantagens de cada modo de transporte, reduzindo

os custos econômicos, ambientais, associando-as com políticas de transporte público que vislumbrem melhor utilização do solo e ordenamento urbano.

O uso do MagLev-Cobra, como a principal plataforma de transporte para integração modal, permite importantes avanços em matéria de racionalização do sistema público de transporte de passageiros, possibilitando a criação de uma rede periférica dos grandes corredores de transporte reduzindo qualquer efeito de saturação do trânsito urbano.

A tecnologia civil adotada pelo MagLev-Cobra visa aproveitar ao máximo a infraestrutura urbana existente, com vias elevadas ou subterrâneo de acordo com as necessidades de cada mercado e das disponibilidades de recursos para investimento. Além das vantagens de baixo custo e rapidez de implantação por se tratar de via industrializada, outra importante vantagem da tecnologia é sua eficiência energética.

Pensando nesse aspecto, Sucena e Stephan (2012) propuseram um modelo de Sistema de Gestão Ambiental (SGA) que, dentre os oito passos, destacam-se alguns quesitos estudados:

- Divisão do MagLev-Cobra em partes constituintes representadas em diagrama funcional;
- Estudo dos impactos das partes do MagLev-Cobra, em dimensão espacial, destacando as áreas diretamente afetadas e com influências direta e indireta;
- Relacionamento das partes do MagLev-Cobra e identificação dos componentes ambientais inseridos em cada área de influência, separando-os pelos meios físico, biótico e antrópico;
- Estabelecimento de indicadores ambientais e seus padrões de comportamento, permitindo-se modelar matematicamente o Indicador de Sustentabilidade Sistêmica (ISS), usando redes Neuro-Fuzzy;

Geração de etapas do SGA para contemplar os passivos ambientais, com possibilidade de se gerarem planos de contingência.

O MagLev-Cobra é um meio de se pensar o transporte de forma holística, integrando-se os ativos do transporte urbano existente, agregando os recursos operacionais que possibilitam a minimização de impactos ambientais com custos operacionais competitivos, diante de outras alternativas tecnológicas, com aperfeiçoamento da mobilidade para a sociedade.

3. COMPARAÇÃO COM OS ATUAIS MAGLEVS URBANOS

Como apresentado na Tabela 3, todos os MagLevs urbanos em operação comercial empregam tecnologia EML. Já a tecnologia EDL, por só atingir a levitação a partir de uma velocidade superior ao necessário para o transporte urbano, só se justifica para o transporte interurbano de altíssima velocidade.

O veículo MagLev-Cobra, que emprega a tecnologia SML, é mais leve que os veículos MagLev EML, pois o mecanismo de levitação não depende de pesados eletroímãs instalados no veículo, tornando também a via elevada mais esbelta. O Aparelho de Mudança de Via (AMV) dos MagLev EML exige a movimentação da via. No MagLev-Cobra, o AMV resultará da mera energização da via nos locais de mudança, onde os ímãs na via serão substituídos por eletroímãs. As Figuras 6, 7 e 8 seguintes dizem mais do que mil palavras.

Figura 6. Comparação das vias elevadas da tecnologia MagLev por forças atrativas (EML) em operação comercial no Japão, China e Coréia do Sul com o via elevada do MagLev-Cobra, que emprega levitação SML: mais leve e esbelta.

Linimo - Japão



Changsha - China





Ecobee – Coréia



MagLev-Cobra - Brasil

Figura 7. Comparação do sistema necessário para obter a levitação EML (lado esquerdo) com os criostatos necessários para o MagLev-Cobra, que emprega tecnologia SML (lado direito): mais simples e robusto.



Figura 8. Aparelhos de Mudança de Via. EML à esquerda, SML à direita.



Tecnologia EML

Tecnologia SML
(concepção)

4. PROPRIEDADE INTELECTUAL

Atualmente, há três patentes concedidas pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI):

I. PI 1105529-4, de 16/11/2011, Trilhos com Magnetos Permanentes em Geometria Otimizada para Veículo de Levitação Magnética Supercondutora. Nessa patente, descrevemos a configuração de ímãs mais econômica para a produção da força de levitação necessária para suportar o veículo carregado. Trata-se do resultado da tese de doutorado de Eduardo Motta (2011). A patente foi aprovada em 03/06/2020, quase 9 anos após a submissão.

II. PI1105530-8, de 16/11/2011, Mecanismo de Montar Trilhos Magnéticos. Nessa patente, apresentamos a máquina projetada por Ocione José Machado e Felipe Costa que permite a montagem do trilho de ímãs de forma simples e segura. A patente foi aprovada, porém, ainda não concedida mesmo após 9 anos da submissão.

III. PI 1103525-0, de 04/07/2011, Motor Linear Aplicado a Veículos de Transporte por Levitação Magnética. Nessa patente, registramos o motor de indução linear de primário curto, projetado por Ivan Chabu, professor da USP, que aproveita a força de atração existente entre primário e secundário do motor linear para auxiliar no processo de levitação. A patente foi aprovada em 05/05/2020, também perto do aniversário que comemoraria 9 anos da submissão.

Patentes sobre o Sistema de Abastecimento de Nitrogênio Líquido, sobre o Sistema de Frenagem Mecânica e sobre o Aparelho de Mudança de Via foram depositadas durante a pandemia do COVID-19, período em que a reduzida equipe do projeto encontrou tempo para redigir aquilo que já se encontrava pronto (Tabela 4).

Tabela 4. Patentes recentemente depositadas

Título	Inventores	Entrada
Trilho Eletromagnético para Aparelho de Mudança de Via de Sistema de Transporte por Levitação Magnética BR 10 2020 015633 0	Felipe Costa Richard M. Stephan Elkin Rodriguez	31/07/2020
Método de Abastecimento Automático de Nitrogênio Líquido em Múltiplos Tanques Criogênicos Aplicado a um Veículo de Levitação Magnética BR 10 2020 013567 8	Felipe Costa Fernando Castro Pinto Richard M. Stephan	01/07/2020
Sistema de Freios de Emergência e de Estacionamento do Veículo MagLev-Cobra BR 10 2020 012430 7	Paulo Roberto Costa Felipe Costa	18/06/2020
Equipamento de Mudança de Via Eletromagnético	Felipe Costa Richard M. Stephan Elkin Rodriguez	A ser depositada no início de 2021

5. ESTABELECIMENTO DE UM EMPREENDIMENTO TECNOLÓGICO

O sucesso de um empreendimento tecnológico está alicerçado na existência de um mercado ávido do produto, de uma indústria capaz de produzi-lo e, naturalmente, das pessoas capazes de coordenar e executar a tarefa da produção. Esses três elementos funcionam como um tripé de sustentação [Mullins, 2006].

Os telefones móveis exemplificam a situação. Ninguém questiona a utilidade de um telefone portátil. De longa data, existe mercado para esse produto. No entanto, microprocessadores eletrônicos e baterias leves e de longa durabilidade só começaram a ser fabricados no final do século passado. Antes disso, existiam telefones móveis, mas apenas para aplicações militares, por exigirem grande preparo físico para serem transportados. Pessoas capazes de aproveitar essa oportunidade tecnológica apareceram em diversos países. Infelizmente, não no Brasil; nem nesse, nem em muitos outros casos. A procura pelo motivo disso oferece assunto para muita discussão, que queremos provocar com os dois parágrafos seguintes.

Como em toda a batalha, ações táticas e decisões estratégicas desempenham um papel decisivo. Em tecnologia, ações táticas são, por exemplo: capacidade de cálculo, conhecimento de materiais, habilidade em estudos analíticos e de simulação, domínio de fundamentos técnicos e científicos, em suma, aquelas coisas que os professores ensinam nas universidades ou fazem parte do acervo intelectual das empresas de engenharia. A decisão estratégica corresponde ao que se chama "política tecnológica", aquelas coisas que poderes executivo e legislativo devem ou deveriam traçar. No Brasil, somos competentes em ações táticas, mas falta estratégia. Ao menor esboço de definições estratégicas, respondemos taticamente com vigor e sucesso. O programa do álcool, a exploração de petróleo, o desenvolvimento da agricultura e pecuária, entre outros casos, comprovam essa tese.

Cabe ainda destacar que o ambiente acadêmico objetiva a transmissão e geração de conhecimento, mas não a produção de equipamentos. A universidade é o local do "*know why*", ou ainda, do "*why not*?". O "*know how*" pertence a empresas. O sucesso das incubadoras, que orbitam todas as universidades modernas, corrobora com essa visão. No caso específico do projeto MagLev-Cobra, chegamos à saturação do que pode ser feito em uma Universidade. A etapa de industrialização, do oferecimento de um produto para a sociedade, terá obrigatoriamente que ser delegada a uma empresa.

6. DESENVOLVENDO O MODELO DE NEGÓCIOS MAGLEV-COBRA

Em vista da dificuldade de levantamento de recursos públicos para a continuidade do Projeto MagLev-Cobra, consequência da carência de uma política industrial bem definida, decidiu-se buscar o capital privado, constituindo uma empresa, a MagLev Company Brazil, elaborando um Modelo de Negócios e conduzindo uma estratégia de busca de investidores nacional e internacional.

Modelo de negócios constitui-se em um conjunto inter-relacionado de elementos que consegue identificar continuamente necessidades de mercado e propor valor por meio dos seus recursos e competências, gerando vantagens competitivas sustentáveis a uma organização por amplos horizontes de tempo (Teece, 2010).

Antes de iniciar as ilustrações das possibilidades de construção de modelos de negócios para MagLev-Cobra, é importante destacar dois elementos teórico-práticos associados ao contexto do produto, que precisam ser tidos em conta para a condução dessas atividades e reflexões.

Primeiramente, o aspecto das incertezas, pois, dado o contexto inovador do projeto, inexiste uma base histórica capaz de servir como projeções de aspectos bem-sucedidos do passado, como DEA e/ou benchmarking (O'Connor & Rice, 2013; Simon, 1991). Como exemplo de incertezas, está a construção de um modelo de como a levitação magnética será utilizada para os meios de transportes e setores adjacentes. Esse contexto incerto, típico de projetos de inovação radical, cria importantes limitações para o uso de ferramentas estatísticas como técnicas clássicas de Gestão de Projetos, BPM e indicadores financeiros baseados em técnicas de otimização (Crawford & Pollack, 2004; de Oliveira Lacerda et al., 2011; Pollack, 2007; Trkman, 2010)identifying and measuring the success parameters for a project in a portfolio. Design/methodology/approach: The research method is a qualitative and quantitative mixture and it is presented as a study case. The primary data were obtained using semi-structured interviews with decision makers. Bibliographic research is used in order to construct the theoretical framework and the intervention instrument adopted is the multicriteria decision aiding methodology - constructivist (MCDA-C.

O segundo aspecto importante na construção do desenvolvimento de negócio do MagLev-Cobra se caracteriza pelo aspecto dinâmico do contexto, que se pode categorizar em aspectos internos e externos, que podem provocar mudanças frequentes de entendimento e cursos de ações possíveis (Eisenhardt & Martin, 2000; Teece et al., 1997, 2009; Winter, 2003)shaped by the firm's (specific. No contexto externo, tem-se a dinâmica do mercado mundial se recuperando da crise provocadas pela pandemia do COVID-19, e para o aspecto interno, tem-se em conta a construção de entendimento nos empreendedores do MagLev-Cobra durante a execução de ações para testar suas hipóteses, fruto de incertezas (Cavalcante et al., 2011).

Com esses dois aspectos em vista, a primeira decisão em torno do modelo de negócios do MagLev-Cobra era a conscientização da equipe em torno desses dois elementos de inovação radical, e apresentando que as ações correntes não significam que estão certas

ou erradas, mas que são hipóteses que precisam ser testadas ou corroboradas com evidências oriundas de ações (Bocken & Snihur, 2020; Bortolini et al., 2018; Frederiksen & Brem, 2017; Ghezzi, 2020; Silva et al., 2019; Yang et al., 2019) however, is not easily defined, being a consequence of the application of tools involving trials, data analyses and testing. The Lean Startup (LS.

Em consequência, para a concepção do primeiro modelo de negócio, foi determinado que o componente de segmento de mercado seriam cidades. Outros componentes de modelo de negócio importantes foram os processos-chave, com foco de pesquisa em engenharia elétrica intensiva com tecnologia de ponta.

O uso intensivo de redes de relacionamento, especificamente parceiros, é outro componente bastante recorrente nas primeiras hipóteses de modelo de negócio do MagLev-Cobra, que contribuíram de forma ímpar para o desenvolvimento do produto como um todo, sendo que o core tecnológico do veículo é a levitação magnética, e os outros aspectos são de menor incerteza, como itens de construção civil, cabines e motores, por exemplo.

Com a análise de eventos passados, a equipe do MagLev-Cobra constatou que essa configuração inicial de modelo de negócios tinha limitações importantes, em virtude da dificuldade de lidar com a (ausência de) política pública de Transportes Urbanos.

Assim, chegou-se à constatação (*sensing*) de que essa configuração de recursos e competências precisa ser aperfeiçoada, uma vez que não se conseguia evoluir nas reuniões com atores públicos para possibilitar o início dos estudos para adoção de tal produto. Buscou-se trabalhar com hipótese de modelo de negócio ligado a empreiteiras já estabelecidas, mas essas são avessas ao risco de investimento.

Aos poucos, os empreendedores realizaram *sensing* que adotar métodos tradicionais de mensuração (como *payback* e *break-even point*) para o MagLev-Cobra não fazem sentido, apesar da demanda dos investidores. Levando a criar alternativas menos intensivas em capital para conseguir evoluir o produto.

Assim, emergiu o uso do capital intelectual da empresa para propor transportes menos massivos de pessoas, como o uso em resorts, parques de diversão, grandes empreendimentos imobiliários, pontos turísticos concessionados, transporte laboral de grandes empresas. Tais públicos-alvo podem ter vantagens em ter um transporte de levitação magnética, ao mesmo tempo que tais projetos possibilitariam uma maneira mais controlada e de menor volume de passageiros e, consequentemente, simplificação do modelo de negócios, sobretudo por lidar com iniciativa privada como público-alvo.

Dentre essas possibilidades, o segmento de negócio de parques de diversões começa a ficar mais atraente na percepção dos empreendedores. O MagLev-Cobra poderia ser adotado tanto para transportes panorâmicos como também para uma diversão lúdica no parque oferecendo aos seus clientes.

Dentre ações e reflexões, emergiu como hipótese um público-alvo sem se relacionar com questões públicas, como também pode ser um projeto mais controlado de até 1 km, mais perto dos 200 m de distância que tem no protótipo atual, além de possibilitar novos incrementos de funcionalidades e inovação tecnológica.

Outra forma alternativa ainda intermediária seria realizar propostas para grandes players que atuam no mercado mundial de transportes ou energia. Essa proposição de valor refere-se a uma aquisição do MagLev-Cobra em um modelo típico de inovação aberta, onde os grandes poderiam incrementar o portfólio

de soluções dessas empresas com uma startup com patentes depositadas e o conhecimento consolidado a respeito de levitação magnética.

A alternativa de continuar buscando fundos de fomento de ciência e tecnologia nacional ainda é uma tônica no MagLev-Cobra, de forma que tal conhecimento continue sendo nacional e dando potencial de inovação a indústria brasileira. Para isso, se torna fundamental o papel crucial do Estado como o fomentador, não só de Ciência e Tecnologia, mas na articulação desses players.

Outra alternativa, de menor prioridade nesse momento, está no modelo de negócio de usar a levitação magnética para projetos de mancais ou outros equipamentos para a indústria.

A partir desses cenários, o MagLev-Cobra não tem apenas um modelo de negócios, mas várias hipóteses de modelos de negócios que estão sendo testadas com ações práticas de campo, se relacionando com parceiros e entidades interessadas, buscando, a cada hipótese, uma "próxima trincheira" (*milestone*), que evidenciam com fatos e dados a confirmação da hipótese prioritária, que poderá ser aperfeiçoada com ações estratégicas e operacionais, ações de mercado e tecnologia, com vistas a construir um modelo de negócios que dê a empresas vantagens competitivas sustentáveis por amplos horizontes de tempo. A Tabela 5 resume os diferentes caminhos.

Tabela 5. Teste de Hipóteses

Versão de apresentação	Target	Proposição de valor do MagLev-Cobra	Próxima trincheira
TRL-b	Grandes players do setor de transportes e energia	"Vocês terão uma técnica de levitação em formato industrial para compor seu portfólio de soluções para cidades!"	*Due diligencie* do projeto (detalhes, prazos e valores)
Parceiros para Empresa de Propósito Específico	Parceiros estratégicos	"Vamos nos unir em uma nova empresa com propósitos específicos para, no futuro, vendermos estudos de viabilidade para parques de diversões (transporte panorâmico interno)"	Desenhar oferta de estudo de viabilidade entre os sócios com aportes (financeiros ou econômicos) prazos e valores
Estudo de viabilidade	Parques, empreendimentos privados (turismo)	"Vocês terão uma proposta específica para seu empreendimento para implementar um transporte panorâmico interno de pequena escala"	Em stand-by
TRL-a ("VITRINE")	Fomento de C&T	"Vocês terão um projeto de carro em formato industrial + um funcionando na UFRJ!"	Em stand-by
Estudo de viabilidade	Parques, empreendimentos privados (turismo)	"Vocês terão uma proposta específica para seu empreendimento para implementar um transporte interno de pequena escala"	Em stand-by
Estudo de viabilidade	Cidades/Estados	"Vocês terão uma proposta específica para seu local para implementar um transporte público de grande escala"	Em stand-by
Solução menor	Empreendimentos privados	"Vocês podem ter vantagens se usarem a tecnologia de supercondutividade"	Em stand-by
Solução de mobilidade completa	Parques, empreendimentos privados (turismo)	"Vocês podem elaborar um projeto e terão uma tecnologia inovadora para seu transporte interno (pequena escala)!"	Em stand-by
Solução de mobilidade completa	Cidades/Estados	"Vocês podem elaborar um projeto e terão uma tecnologia inovadora para seu transporte interno (grande escala)!"	Pivotada Motivo: relacionamento com setor público
Startup	Fundos de investimento	"Vocês terão uma startup com o primeiro faturamento de R$x em x anos"	Pivotada Motivo: incerteza impede uso de indicadores financeiros clássicos

7. CONCLUSÕES

O projeto MagLev-Cobra representa um exemplo de tecnologia sustentável, tendo em vista que contempla os três atributos de sustentabilidade, nomeadamente:

- Baixo impacto ambiental.
  Baixo consumo de energia
  Baixo ruído audível
  Pequeno impacto de construção civil

- Projeto vantajosamente econômico.
  Mais barato para a implantação do que os concorrentes
  Custos operacionais e de manutenção menores

- Projeto de grande alcance social.
  Contribui para a mobilidade urbana de qualidade
  Favorece o desenvolvimento tecnológico brasileiro

Passamos por um momento de transição, no qual a universidade precisa dar continuidade ao desenvolvimento, transferindo-o para consumo comercial, em suma, para a sociedade, como sugere o título desse artigo. Em palavras técnicas, precisamos dar o passo do TRL07 para os níveis 8, 9 e 10.

Essa transição ainda é nebulosa, especialmente no aspecto nacional, pela ausência de políticas públicas claras que consigam arregimentar diferentes atores para que conhecimentos de ponta sejam convertidos em soluções de uso prático e acessível aos cidadãos. Com a COVID19, as fragilidades do projeto tornaram-se ainda mais agudas.

Para enfrentar o grande desafio, a equipe do MagLev-Cobra decidiu trabalhar o produto como uma Startup, usando técnicas para descortinar novos caminhos; diferentes, inclusive, do projeto original de solução para cidades.

Soluções para cidades necessitam de uma política de Estado de mobilidade e não somente de uma oportunidade de negócio emergente. Isso se explica pelo alto investimento, imobilização de capital, e, também, necessidade de incentivo para que os atores públicos consigam visualizar vantagens claras a respeito de soluções sustentáveis, de menor consumo energético, menor poluição visual e sonora, dentre outros benefícios aqui demonstrados.

Opções nas quais a tecnologia possa ser aplicada com menor consumo de recursos e mobilização de capital, ou seja, trabalhando com soluções menores e de menos escalabilidade e impacto, foram apresentadas na Tabela 5.

Qualquer um dos caminhos apontados conduzirá ao sucesso de uma tecnologia comprovadamente vantajosa e genuinamente nacional. A perda dessa oportunidade perpetuará o parque industrial de baixa sofisticação tecnológica que conhecemos desde 1500. O MagLev-Cobra pode ser um divisor de águas.

Agradecimentos. Os autores agradecem o apoio financeiro recebido da FAPERJ através dos projetos E26/010.3029/2014 e E26/190.065/2008; do BNDES, através do projeto FUNTEC 09.2.1416.1 e da SAE através do SICONV 16635. Agradecemos também ao incentivo e às contribuições recebidas do nosso colega D.Sc. Marcelo Sucena.

8. REFERÊNCIAS

Bocken, N., & Snihur, Y. (2020). **Lean Startup and the business model: Experimenting for novelty and impact.** *Long Range Planning*, 53(4), 101953. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2019.101953

Bortolini, R. F., Nogueira Cortimiglia, M., Danilevicz, A. de M. F., & Ghezzi, A. (2018). **Lean Startup: a comprehensive historical review. Management Decision.** https://doi.org/10.1108/MD-07-2017-0663

Camarano, A.A.; Beltrão, K. I. **Distribuição espacial da população brasileira: mudanças na segunda metade deste século.** *IPEA, 2000*. Accessed on: January 8, 2021 http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2372/1/TD_766.pdf

Cavalcante, S., Kesting, P., & Ulhøi, J. (2011). **Business model dynamics and innovation: (re)establishing the missing linkages.** *Management Decision,* 49(8), 1327–1342. https://doi.org/10.1108/00251741111163142

Chesbrough, H. (2010). **Business Model Innovation: Opportunities and Barriers.** *Long Range Planning*, 43(2–3), 354–363. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.010

Crawford, L., & Pollack, J. (2004). **Hard and soft projects: A framework for analysis.** *International Journal of Project Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.04.004

de Oliveira Lacerda, R. T., Ensslin, L., & Ensslin, S. R. (2011). **A performance measurement framework in portfolio management: A constructivist case.** *Management Decision*. https://doi.org/10.1108/00251741111126530

De Reuver, M., Bouwman, H., & Haaker, T. (2013). **Business model roadmapping: A practical approach to come from an existing to a desired business model.** *International Journal of Innovation Management*, 17(1). https://doi.org/10.1142/S1363919613400069

Dvir, D., & Lechler, T. (2004). **Plans are nothing, changing plans is everything: The impact of changes on project success.** *Research Policy*. https://doi.org/10.1016/j.respol.2003.04.001

Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A. (2000). **Dynamic capabilities: What are they?** *Strategic Management Journal*. https://doi.org/10.1002/1097-0266(200010/11)21:10/11<1105:AID-SMJ133>3.0.CO;2-E

Frederiksen, D. L., & Brem, A. (2017). **How do entrepreneurs think they create value? A scientific reflection of Eric Ries' Lean Startup approach.** *International Entrepreneurship and Management Journal,* 13(1), 169–189. https://doi.org/10.1007/s11365-016-0411-x

Ghezzi, A. (2020). **How Entrepreneurs make sense of Lean Startup Approaches: Business Models as cognitive lenses to generate fast and frugal Heuristics.** *Technological Forecasting and Social Change*, 161(June), 120324. https://doi.

org/10.1016/j.techfore.2020.120324

Lobo, L. (2016) **“Trilhos nas Estrelas: o projeto MagLev-Cobra à luz das ´Technology Readiness Levels` da NASA”.** *Dissertation (Production Engineer) – COPPE/UFRJ.*

Motta, E. (2011) **“Otimização de Trilho Magnético de um Sistema de Levitação Supercondutora para Veículo MagLev.** *Thesis (Electrical Engineering) – COPPE/UFRJ.*

Mullins, J. (2006) **“The New Business Road”**, Prentice Hall.

O’Connor, G. C., & Rice, M. P. (2013). **A comprehensive model of uncertainty associated with radical innovation.** *Journal of Product Innovation Management.* https://doi.org/10.1111/jpim.12060

Peter Alouche,2015 **“Qual é o custo dos metrôs?”**. 21ª Semana de Tecnologia Metroferroviária. Centro de Convenções Frei Caneca, São Paulo

Pollack, J. (2007). T**he changing paradigms of project management.** *International Journal of Project Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.08.002

Roy, B. (1993). **Decision science or decision-aid science?** *European Journal of Operational Research*. https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90312-B

Schach, R.; Jehle, P.; Naumann, R. (2006) **“Transrapid und Rad Shine System”**, Springer.

Sheahen, T. (1994) **“Introduction to High-Temperature Superconductivity”** Plenum Press.

Silva, D. S., Ghezzi, A., Aguiar, R. B. de, Cortimiglia, M. N., & ten Caten, C. S. (2019). **Lean Startup, Agile Methodologies and Customer Development for business model innovation: A systematic review and research agenda.** *International Journal of Entrepreneurial Behaviour and Research*, 26(4), 595–628. https://doi.org/10.1108/IJEBR-07-2019-0425

Simon, H. A. (1991). **Bounded Rationality and Organizational Learning.** *Organization Science*. https://doi.org/10.1287/orsc.2.1.125

Sinha, P.K. (1987) **“Magnetic Levitation”**, *IEE Press*.

Stephan, R. M., & Pereira, A. O., Jr. (2020). **The Vital Contribution of MagLev Vehicles for the Mobility in Smart Cities.** *Electronics, 9(6), 978*. https://doi.org/10.3390/electronics9060978

Stephan, R. (2015) **“MagLev-Cobra: Tecnologia de levitação magnética no Brasil”**, *Ciência Hoje*, v.55, p.20 - 25.

Stephan, R.; de Andrade, R.; Ferreira, A. C.; Sotelo, G. G. (2017) **"Superconducting Levitation Applied to Urban Transportation"**. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering.* DOI /10.1002/047134608X.W8346.

Sucena, M. P., & Stephan, R. M. (2012). **Modelo para gestão ambiental de sistemas de transporte urbano por levitação magnética com aplicação da teoria fuzzy.** *Journal of Transport Literature*, 6(3), 152–179. https://doi.org/10.1590/s2238-10312012000300010

Teece, D. J. (2010). **Business models, business strategy and innovation.** *Long Range Planning*, 43(2–3), 172–194. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003

Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). **Dynamic capabilities and strategic management.** *Strategic Management Journal.* https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z

Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (2009). D**ynamic capabilities and strategic management.** *In Knowledge and Strategy.* https://doi.org/10.1142/9789812796929_0004

Toro-Jarrín, M. A., Ponce-Jaramillo, I. E., & Güemes-Castorena, D. (2016). **Methodology for the of building process integration of Business Model Canvas and Technological Roadmap.** *Technological Forecasting and Social Change*, 110, 213–225. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.01.009

Trkman, P. (2010). **The critical success factors of business process management.** *International Journal of Information Management.* https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2009.07.003

Winter, S. G. (2003). **Understanding dynamic capabilities.** *Strategic Management Journal.* https://doi.org/10.1002/smj.318

Yang, X., Sun, S. L., & Zhao, X. (2019). **Search and execution: examining the entrepreneurial cognitions behind the lean startup model.** *Small Business Economics*, 52(3), 667–679. https://doi.org/10.1007/s11187-017-9978-z



ARTICLE 3

THE MAGLEV-COBRA PROJECT: FROM INCUBATOR TO INDUSTRY

Richard Stephan
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ)

Rogério Lacerda
Santa Catarina Federal University (UFSC)

Felipe Costa
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ)

Elkin Rodriguez
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ)

RESUMO

Mais de 80% da população brasileira vive em cidades. Como resposta para os graves problemas de mobilidade urbana, a UFRJ desenvolveu o MagLev-Cobra, um veículo que utiliza a técnica de levitação magnética (MagLev) baseada em supercondutores de elevada temperatura crítica e imãs de terras-raras, viabilizada apenas no final do século XX e início do século XXI. O artigo apresenta os elementos essenciais para o entendimento do sistema, comparando-o com outras alternativas de transporte urbano e com outras técnicas de levitação magnética. Inúmeras oportunidades para inovação e crescimento tecnológico são oferecidas. A proposta respeita os preceitos de transporte sustentável, sem a emissão de gases poluentes e ruído, menor consumo energético e custo operacional, além de forte apelo visual futurista. Detalha-se a passagem do projeto MagLev-Cobra pelas quatro etapas evolutivas (prova de conceito, protótipo funcional, protótipo operacional e industrialização) enquadradas na escala TRL (*Technology Readiness Level*) proposta pela NASA. O artigo finaliza com uma discussão sobre os caminhos para o estabelecimento de um empreendimento tecnológico comercial, o esperado retorno para a sociedade.

ABSTRACT

More than 80% of the Brazilian population lives in cities. In response to the serious problem of urban mobility, UFRJ developed the MagLev-Cobra project. This vehicle uses magnetic levitation (MagLev), based on superconductors with high critical temperatures and rare earth magnets, which became feasible only by the late XX century and early XXI century. This paper presents the essential elements for understanding the system, comparing it two other urban transport alternatives and other magnetic levitation techniques, opening up many opportunities for innovation and technological growth. This proposal complies with sustainable transport precepts, with no noise or pollutive gas emissions, reduced energy consumption and lower operating costs, together with a strongly futuristic visual appeal. The progression of the MagLev-Cobra project through four of the development stages (proof of concept, functional prototype, operational prototype and industrial-scale production) listed on the Technology Readiness Level (TRL) scale proposed by NASA, is explained in detail. The paper ends with a discussion exploring ways of establishing a commercial technological enterprise and the expected payback for society.

Palavras-chave: MagLev-Cobra, inovação tecnológica, industrialização.

Keywords: MagLev-Cobra, technological innovation, industrial-scale production.

1. INTRODUCTION

The need for efficient and non-pollutive public transport, with competitive implementation and upkeep costs, is among the priorities of the modern world, where much of the population lives in metropolises. More than 80% of Brazilians live in cities, topping 90% in the Southeast [Camarano, 2000].

Cities with an ample network of underground subways are viewed as a model solution. However, the cost of implementing this option in Brazil ranges from USD 20 million and USD 70 million per kilometre, or even more, depending on soil types, according to [Peter Alouche, 2015].

The MagLev-Cobra technology underpins a magnetic levitation vehicle for urban use that can handle curves with a radius of 50 metres and gradients of up to 15%. It can run on elevated tracks at 70km/h or more, with implementation costs at around a third of the cost of an underground rail system, comparable to a light rail vehicle (LRV) or monorail.

In order to achieve levitation, the system uses the diamagnetic properties of high critical temperature superconductors and the magnetic field produced by rare-earth magnets. These materials have been produced since only the late XX century. There are no MagLev-Cobra vehicles in commercial use so far, endowing this project with originality and opportunities for innovation and technological progress.

Running on electricity (which is predominantly hydro-based in Brazil) the MagLev-Cobra system emits no pollutive gases. For traction, it uses a linear motor, a technology that also opens up new horizons for Brazil's industrial sector.

Not dependent on mechanical friction and with low energy consumption, the MagLev-Cobra technology is soundless, blending in seamlessly with urban architecture through elevated tracks, smoothly aligned with today's environmental requirements, while endowing its host cities with a futuristic image.

Through its Graduate Engineering Programme Coordination Unit (COPPE), the Rio de Janeiro Federal University (UFRJ) has been working on the development of this technology since 2000 [Stephan et al, 2017]. A video released through the internet endows this description with life and movement: https://youtu.be/Gny4qgQ0yvQ. Its progress is organised into four stages [Stephan, 2015]:

I. Proof of Concept, which consists of building a Small-Scale Prototype, completed in 2006 with support from the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the University Level Staff Further Education Coordination Office (CAPES) and the Rio de Janeiro State Research Support Foundation (FAPERJ). The total amount of funding invested in this stage was around BRL 100,000.

II. Functional Prototype, developed between 2008 and 2012 with funds from FAPERJ and the COPPETEC FOUNDATION, totalling BRL 4.8 million. This prototype was intended to demonstrate the technical feasibility of the vehicle at full scale, its ability to carry cargo, round curves and handle gradients, all within a controlled laboratory environment.

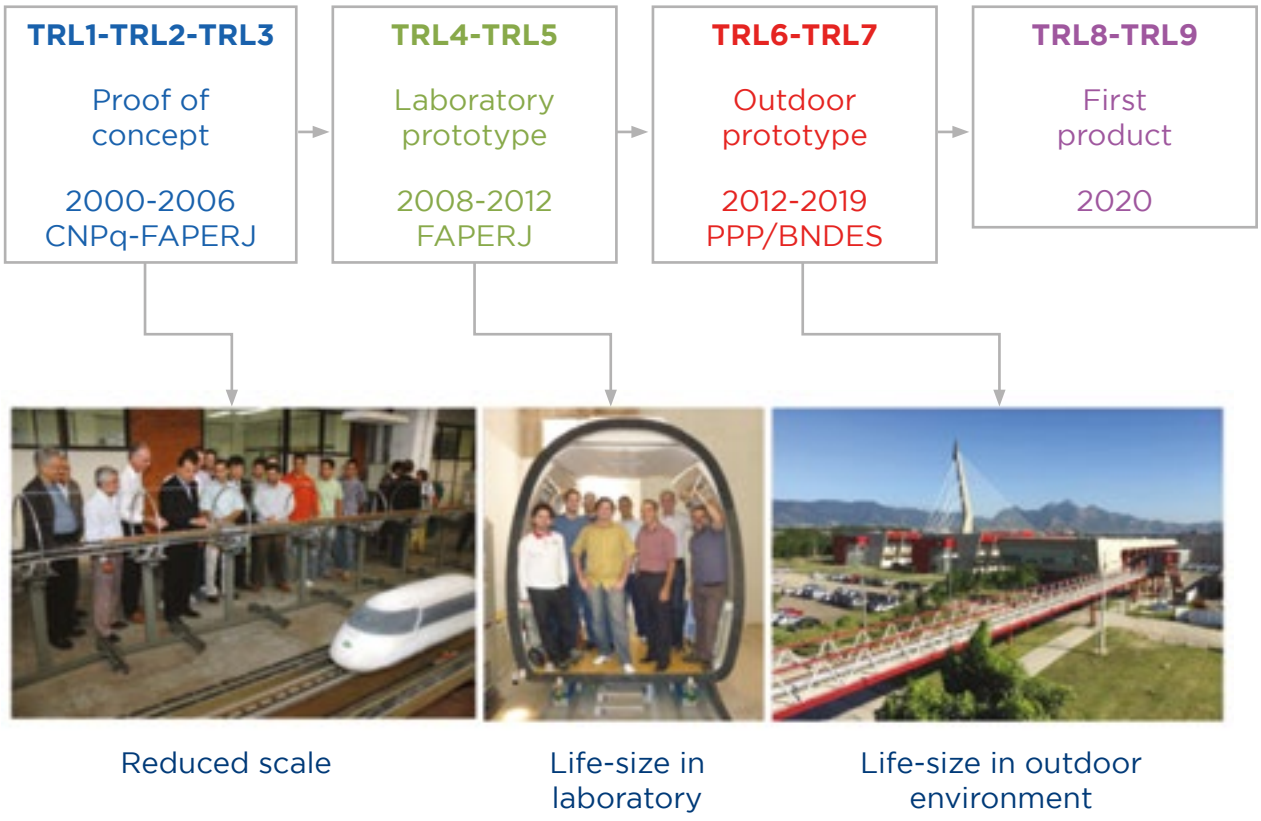
III. Operating Prototype, which absorbed BRL 6.5 million in funding from the Technical and Scientific Development Fund at Brazil's National Social and Economic Development Bank (BNDES/FUNTEC). Government support was buttressed by input from private businesses. This prototype ran from 2015 through to the start of the COVID pandemic, with weekly demonstrations open to the public on a line running 200 metres through the UFRJ campus. More than 20,000 visitors took a trip. It is worth stressing that FAPERJ support for the materialisation of the previous stage played a significant role in the approval of the FUNTEC project.

IV. Industrial-scale production, the current stage of the MagLev-Cobra project, still requiring public and private investments for its completion, in order to spur industrial growth, with benefits for society.

These stages are set forth in Figure 1 and shown in the Technology Readiness Level (TRL) scale proposed by NASA [Lobo, 2016], which has also been a Brazilian Standard since 2015, as shown in Figure 2. The original TRL scale consisted of nine items. However, the TRL10 level was added, for industrial-scale production, indicating a new level of difficulty.

Each subsequent level of the TRL scale demands massive mental, physical and financial efforts, similar to a mountain climber battling their way up to the top of Everest.

Figure 1. The MagLev-Cobra project stages on the TRL scale[1]



1 Figures 1-4 and 6-8 were adapted from [Stephan, R. M, 2020]

Figure 2. The Technology Readiness Level (TRL) scale proposed by NASA, with an added tenth level.

TECHNOLOGY READINESS LEVELS

ABNT ISO 16290 dated October 16, 2015

Proof of concept	**TRL1 -** Basic principles observed and reported **TRL2 -** Concept and/or technology application formulated **TRL3 -** Experimental validation of proof of concept
Laboratory prototype	**TRL4 -** Verification in laboratory environment **TRL5 -** Verification in relevant environment
Outdoor environment	**TRL6 -** Validation in final relevant environment **TRL7 -** Validation in operating environment
First product	**TRL8 -** "Mission qualified" through tests and demonstrations **TRL9 -** "Mission proven" through successful operations

TRL8 - INDUSTRIAL-SCALE PRODUCTION

This paper presents the essential elements of the MagLev-Cobra system, its applications and advantages, with countless opportunities for technical growth and innovation. It culminates in an analysis of the business model that will allow the expected transfer from the university research field to society.

2. POSITIONING

2.1 Technology

Magnetic levitation (MagLev) techniques are promising for mass transport applications. They are divided into three groups, described in the following items [Sinha, 1987] and summarised in Figure 3:

Electrodynamic Levitation (EDL)

This type of levitation needs the movement of a magnetic field close to a conductor material. Japan's proposed levitation train, the JR-MagLev (http://www.rtri.or.jp), applies this principle on a double line built for tests and demonstrations at Yamanashi, running between Tokyo and Osaka since 1997. In 2013, this line was expanded, and is currently 42.8km long. The world record of 603 km/h was set in April 2015. Japan plans to extend it in order to supplement the Shinkansen (high-speed wheel-rail), running between these two cities, but the technology has not yet been implemented at the commercial level.

In order to understand the method, imagine a magnet sliding over a conductive sheet (e.g., aluminium). It is known that parasitic currents will be induced in the conductor. In turn, these currents generate another magnetic field which runs counter to the action of the magnet-guided field, according to Lenz's law. The interaction between these two fields produces a repelling force that increases with speed and allows levitation. Properly adjusted, this system can be stabilised laterally in a passive manner, but requires support wheels at low speeds.

Electromagnetic levitation (EML)

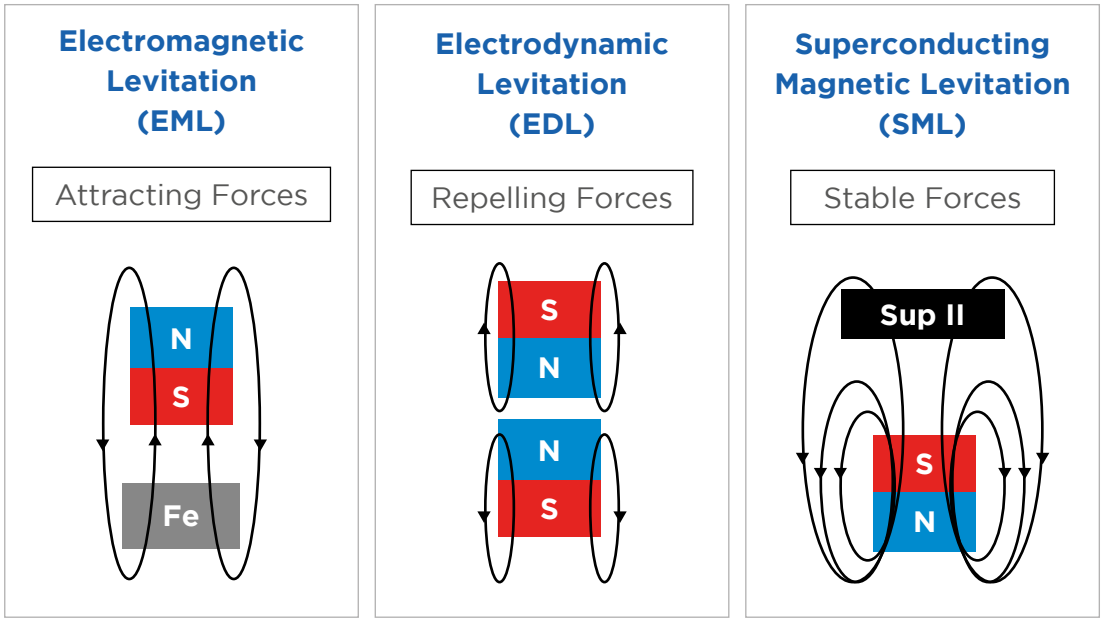
The best showcase for this technique is Germany's levitation train proposal, the Transrapid (http://www.transrapid.de). Implemented at a commercial scale, it has been running since 2003 on a double line running 30 kilometres between the Pudong international airport in Shanghai and the Lujiazui financial district (http://www.smtdc.com). Already in urban commercial operation in Japan, China and South Korea also use EML technology.

The basic physical grounds use the traction force between an electromagnet and ferromagnetic matter. In this case, vertical stabilisation is possible only with an active control and regulation system that is properly tuned.

Superconducting Magnetic Levitation (SML)

This method uses the diamagnetic property of superconductors that excludes external magnetic fields from their interiors. For Type II superconductors, this exclusion is partial, lessening the levitation force but leading to levitation stability through what is known as the pinning effect [Sheahen, 1994]. Offering a major comparative advantage over the EDL and EML methods, this property could be used to the full only from the late XX century onwards, with the advent of new magnetic materials such as Nd2Fe14B (NdFeB), and high-temperature superconducting (HTS) pads, such as YBa2Cu3OX (YBCO). With the MagLev-Cobra project, Brazil is the first country in the world to have a full-scale demonstration line using this technology.

Figura 3. Magnetic Levitation Methods



In a simplified manner, Table 1 compares magnetic levitation with traditional wheel-rail technology for transport purposes, regardless of the selected technique, showing the construction and operating aspects separately.

Table 1. Comparison: MagLev x Wheel-Rail

Characteristics	Maglev	Wheel-Rail
Cost of rolling/levitating material	☹	☺
Civil construction work implementation time and cost	☺	☹
Trip time / Halts	☺	☹
Operating costs: maintenance, fuel	☺	☹
Environmental impacts: noise, CO_2 emissions	☺	☹

2.2 Background

A Frenchman who settled in the USA, Emile Bachelet (*1863, +1946), filed the first Electrodynamic Levitation (EDL) patent in 1912 in New York. An electromagnetic levitation (EML) patent was filed by Germany's Hermann Kemper (*1892, +1977) in 1934. Industrial use of these alternatives depended mainly on two technological advances:

- 1947 – invention of the transistor (micro-electronics)
- 1957 – invention of the thyristor (electronic power)

Consequently, MagLev trains were already under development by 1970 in Germany, Japan and the USA.

Superconducting Magnetic Levitation (SML) had to wait almost four decades after the electronic revolution (as mentioned above) in order to reach the technological milestones that were to allow glimpses of their industrial use:

- 1983 – rare earth magnets;
- 1987 – high critical temperature superconductors.

As the first commercial implementation of a MagLev vehicle running on EML technology took place only in 2003, we believe that the technological development proposed through the MagLev-Cobra project falls within a realistic timeframe, with material foundations laid forty years later.

Beginning in 1977, the MAGLEV conferences (International Conference on Magnetically Levitated Vehicles and Linear Drives https://www.maglevboard.net/en/the-conferences) also act as historical records. Professor Roberto Nicolsky added Brazil to the international MAGLEV conference circuit when he agreed to chair the sixteenth event in 2000, with his characteristic courage and vision of the future. This was where the MagLev-Cobra project was conceptualised, although not yet under this name. Since then, its progress has been reported back regularly at the MAGLEV conferences. In fact, the MagLev-Cobra project was inaugurated during the 22nd event on October 1, 2014.

2.3 Geographical aspects

MagLev projects are usually divided into two groups: high speed (bullet trains) and urban. Tables 2 and 3 present some striking characteristics of the main projects. Particularly noteworthy is a keen interest in urban projects, which is the category encompassing the MagLev-Cobra project.

Table 2. High Speed (Bullet Train) MagLev Projects

COUNTRY	NAME	LOCATION AND ADDITIONAL INFORMATION	LEVITATION
Germany	Transrapid	Emsland Test line shut down	EML
China	SMT	Shanghai 30 km – since 10/2003 - 450 km/h	EML
Japan	JR-MagLev	Yamanashi Test Line – 42.8 km Record - 603 km/h on April 2015 Tokyo-Nagoya in 2027 Tokyo-Osaka in 2045	EDL
USA	Hyperloop	Las Vegas 500 metres - 173 km/h – November 2020	EDL

Long primary Linear Synchronous Motors (LSM) provide traction for all the MagLev-high-speed train projects mentioned in Table 2. It is also important to mention that the Chinese project uses Germany's Transrapid technology.

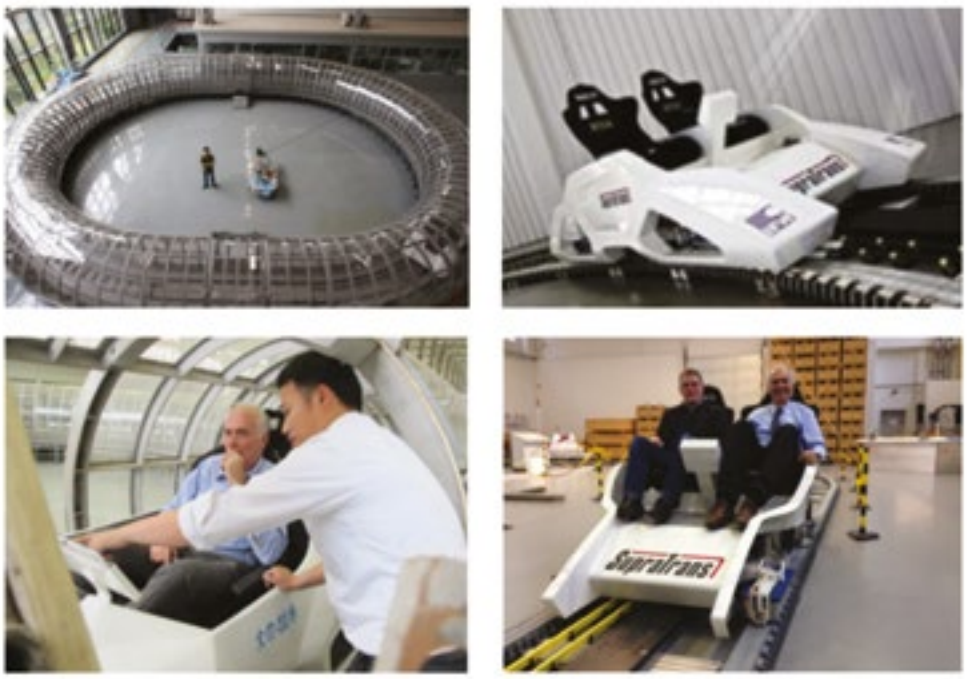
Table 3. Urban MagLev Projects in Commercial Operation

COUNTRY	NAME	LOCATION AND ADDITIONAL INFORMATION
Japan	HSST – Linimo	Nagoya – 9km – since March 2005
China	Airport line	Changsha – 18.5km – since May 2016
	S1 line	Beijing – 10.2km – since December 2017
South Korea	ECOBEE	Seoul – 6.1km – since February 2016

Short primary Linear Induction Motors (LIM) provide traction for all the Urban MagLev- projects listed in Table 3, and the current commercial lines using the EML technology.

Adopted for the MagLev-Cobra project, SML technology has no commercial prototype as yet, but is drawing attention from several groups all over the world, with the most active being IFW/Dresden in Germany and Southwest Jiaotong University (SWJTU) in China. We are exchanging information with these two groups, whose prototypes are still at the laboratory stage, as shown in Figure 4.

Figure 4. SML Projects developed in China (left) and Germany (right)



Chengdu - China (45m)

Dresden - Germany (80m)

It is worth noting that on January 13, 2021 (the day on which this paper was completed) we were advised that the SWJTU had just inaugurated its open-air prototype, as shown in Figure 5. The test line is 165 metres long, and the vehicle has a length of 21 metres, being 3.2 metres wide and 3.4 metres high, with a capacity for fifty passengers. As shown, it was produced at an industrial scale. This event underscores the importance of SML technology.

Figure 5. SML technology test line inaugurated at SWJTU on January 13, 2021



2.4 Economic Aspects

The power needed to levitate a vehicle using the EML or EDL methods is around 1 to 10W/kg. On the other hand, the power needed to drive a MagLev vehicle at a steady speed of *v* depends mainly on air resistance, being proportional to *v*3.

At high speeds (> 250 km/h), the levitation power becomes relatively minor compared to the traction power [Schach et al, 2006]. This situation supports long-distance connections where high speed plays an important role.

For SML, a comparatively small amount of levitation power is needed, although the line of magnets powering the diamagnetic effect is more expensive than the infrastructure for the EML or EDL options. Short distances between stations and low speeds predominate in urban transport, forming a niche for the SML method. Consequently, use of the MagLev-Cobra vehicle for urban transport is based on the SML method. For high-speed connections, the EML and EDL technologies are currently more appropriate.

2.5 Environmental Aspects

There is no denying the need to step up the use of public transport, reducing the use of private vehicles for better urban mobility. Despite its importance to society, external operating factors on the environment are also crucial. This is partly due to the fact that many systems do not form efficiently streamlined transport networks, and partly to the fact that the technologies in use today are unable to cope with current demands.

The most efficient transport networks are those that benefit from the advantages of each mode of transport in an integrated manner, with lower economic and environmental costs, linked to public transport policies pursuing better land use and more orderly urban layouts.

The use of MagLev-Cobra technology as a core transport platform for inter-mode integration paves the way for significant advances in terms of rationalising public passenger transport systems. This allows the establishment of an outlying network of major transport corridors, easing urban traffic saturation effects.

The civil technology adopted by the MagLev-Cobra project is intended to make the best possible use of the current urban infrastructure, with underground or elevated tracks, tailored to the needs of each market and funds available for investment. In addition to the advantages of low cost and fast implementation, as the track is produced at an industrial scale, another important advantage of this technology is its energy efficiency.

Thinking about this aspect, Sucena and Stephan (2012) proposed an eight-step Environmental Management System (SGA) model, highlighting some of the issues analysed:

- Division of the MagLev-Cobra project into constituent parts, shown in a functional diagram;
- Impact study of the MagLev-Cobra project parts in a spatial dimension, highlighting areas directly affected and direct and indirect influences;
- Relationships between the MagLev-Cobra project parts and identification of environmental components in each area of influence, separated out by physical, biotic and anthropic factors;
- Establishing environmental indicators and their behaviour standards, allowing mathematical modelling of the Systemic Sustainability Indicator (SSI), using Neuro-Fuzzy networks;
- Generation of SGA stages addressing environmental liabilities, with the possibility of drawing up contingency plans.

The MagLev-Cobra project is a means of considering transport in a holistic manner, integrating it with current urban transport assets and adding operating resources that help minimise environmental impacts with competitive operating costs, compared to other alternative technologies, thus upgrading mobility for society.

3. COMPARISON WITH CURRENT URBAN MAGLEV PROJECTS

As shown in Table 3, all the urban MagLev projects in commercial operation run on EML technology. As EDL technology achieves levitation only at speeds higher than those needed for urban transport, its use is justified only for ultra-high speed intercity trips.

The MagLev-Cobra vehicle using SML technology is lighter than EML MagLev vehicles, as the levitation mechanism does not depend on heavy electro-magnets installed on the vehicle, so the elevated track is also slimmer. The EML MagLev Switchgear (AMV) requires moving the actual track. However, the switchgear for the MagLev-Cobra vehicle requires merely energising the track at the switch points, where magnets in the rail are replaced by electromagnets. Figures 6, 7 and 8 below say more than a thousand words.

Figure 6. Comparison between elevated tracks using MagLev technology through forces of attraction (EML) in commercial operation in Japan, China and South Korea, and the MagLev-Cobra elevated track using SML levitation, which is lighter and slimmer.

Linimo - Japan



Changsha - China





Ecobee – South Korea

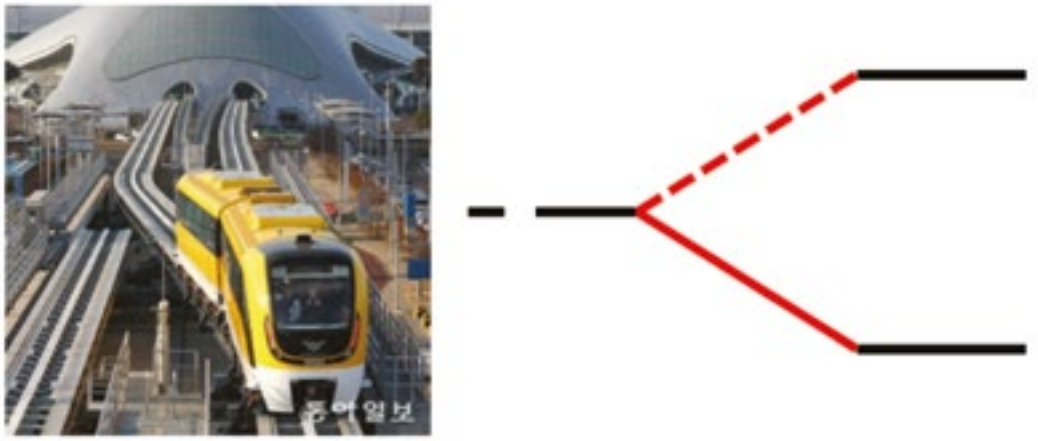


MagLev-Cobra - Brazil

Figure 7. Comparison between the system needed to obtain EML levitation (left) with the cryostats needed for the MagLev-Cobra project using SML technology (right): simpler and more robust.



Figure 8. Switchgears. EML (left); SML (right).



EML Technology

SML Technology
(concept)

4. INTELLECTUAL PROPERTY

So far, three patents have been granted by the Brazilian Patents and Trademarks Office (INPI - *Instituto Nacional da Propriedade Industrial*):

I. PI 1105529-4 dated November 16, 2011, Rails with Permanent Magnets in Optimised Geometry for Superconductor Magnetic Levitation Vehicle. In this patent, we describe the most economical magnet layout for producing the levitation force needed to carry the loaded vehicle. This is the outcome of the PhD thesis written by Eduardo Motta (2011). The patent was approved on June 3, 2020, almost nine years after its application was filed.

II. PI1105530-8 dated November 16, 2011, Mechanism for Assembling Magnetic Rails. This patent presents the machine designed by Ocione José Machado and Felipe Costa which allows safe and simple magnet rail assembly. Although this patent has been approved, it has not yet been granted, even nine years after the application was submitted.

III. PI 1103525-0 dated July 4, 2011, Linear Motor Applied to Transport Vehicles through Magnetic Levitation. This patent addresses the short primary linear induction motor designed by Professor Ivan Chabu at the University of São Paulo (USP), using the power of attraction between the primary and secondary linear motor to assist in the levitation process. This patent was granted on May 5, 2020, close to the ninth anniversary of its application submission date.

Patents on the Liquid Nitrogen Supply System, Mechanical Braking System and the Switchgear System were filed during the COVID-19 pandemic, when the small project design staff found time to set forth on paper matters that were already ready (Table 4).

Table 4. Recently filed patents

Title	Inventors	Filing Date
Electromagnetic Rail for Magnetic Levitation Transport System Switchgear BR 10 2020 015633 0	Felipe Costa Richard M. Stephan Elkin Rodriguez	July 31, 2020
Automatic Liquid Nitrogen Supply Method from Multiple Cryogenic Tanks Applied to a Magnetic Levitation Vehicle BR 10 2020 013567 8	Felipe Costa Fernando Castro Pinto Richard M. Stephan	July 1, 2020
Emergency and Parking Brakes System for a MagLev-Cobra Vehicle BR 10 2020 012430 7	Paulo Roberto Costa Felipe Costa	June 18, 2020
Electromagnetic Switchgear Equipment	Felipe Costa Richard M. Stephan Elkin Rodriguez	To be filed in early 2021

5. SETTING UP A TECHNOLOGY-BASED BUSINESS

The success of a technology-based business is founded on the existence of a market eager for the product, an industry able to produce it and naturally, people qualified to coordinate and handle production tasks. These three elements serve as a supportive tripod [Mullins, 2006].

Mobile phones are a great example of this situation. Nobody questions the use of a mobile telephone. The market for this product has long existed. However, electronic microprocessors and long-lasting but light batteries came into production only towards the end of the XX century. Previously, mobile telephones were used only for military applications, as they were extremely difficult to transport. People qualified to seize this technological opportunity appeared in several countries (but unfortunately not in Brazil at that time and on many other occasions). The search for the reason behind this situation is a matter for much discussion, that we wish to encourage in the next two paragraphs.

As in every battle, tactical actions and strategic decisions play decisive roles. In technology, tactical actions are, for example: calculation capacity, materials knowledge, simulation and analytical study skills, mastery of basic technical and scientific expertise, in brief, everything that lecturers teach at universities or are encompassed by the intellectual assets of engineering firms. A strategic decision corresponds to what is known as "technology policy", meaning things that the executive and legislative branches of government must or should outline. In Brazil, we are skilled in tactical actions, but lack strategy, responding tactically with vigour and success to even the slightest hint of strategic definitions. This claim is proven by Brazil's fuel alcohol programme and oil exploration activities, together with the development of the nation's farming and ranching segments, among others.

It is also worthwhile stressing that academic settings are designed to transmit and generate knowledge, but not to produce equipment. The university is the place of the "*know why*", or the "*why not*?", while the "*know how*" is held by businesses. This view is corroborated by successful incubators orbiting all modern universities. Specifically for the MagLev-Cobra project, saturation point has been reached for what can be done at a University. The industrial-scale production stage that offers a product to society must necessarily be delegated to a company.

6. DEVELOPING THE MAGLEV-COBRA BUSINESS MODEL

In view of difficulties in finding public funding to underwrite the continuation of the MagLev-Cobra project, resulting from the lack of a clearly-defined industrial policy, the decision was taken to seek private capital, setting up a corporation: MagLev Company Brazil. Additionally, a business model was drawn up, in parallel to a strategy for seeking domestic and international investors.

A business model consists of a set of interrelated elements that can continuously identify market needs and propose value through resources and competences, generating sustainable competitive advantages for an organisation over lengthy time horizons (Teece, 2010).

Before moving on to illustrate the construction possibilities for MagLev-Cobra business models, it is important to stress two theoretical-practical elements associated with the product context, which must be borne in mind for handling these activities and reflections.

Initially, there is the uncertainties aspect, with no historical background that could be used to project aspects that were successful in the past, such as Data Envelopment Analysis (DEA) and/or benchmarking due to the innovative context of this project (O'Connor & Rice, 2013; Simon, 1991). As an example, these uncertainties include the construction of a model showing how magnetic levitation will be used for means of transport and adjacent sectors. Typical of radical innovation projects, this hazy context imposes major constraints on the use of statistical tools, including classic Project Management techniques, Business Process Management (BPM) and financial indicators based on optimisation techniques (Crawford & Pollack, 2004; de Oliveira Lacerda et al., 2011; Pollack, 2007; Trkman, 2010)identifying and measuring the success parameters for a project in a portfolio. Design/methodology/approach: The research method is a qualitative and quantitative mixture and it is presented as a study case. The primary data were obtained using semi-structured interviews with decision makers. Bibliographic research is used in order to construct the theoretical framework and the intervention instrument adopted is the multicriteria decision aiding methodology - constructivist (MCDA-C.

The second important aspect in the MagLev-Cobra business development construction is the dynamic aspect of the context, which may be split into internal and external aspects, resulting in frequent shifts in understanding and alterations to the courses of possible actions (Eisenhardt & Martin, 2000; Teece et al., 1997, 2009; Winter, 2003)shaped by the firm's (specific. The external context includes global market dynamics during the recovery from the crises triggered by the COVID-19 pandemic. The internal aspect encompasses building up and understanding among MagLev-Cobra entrepreneurs while actions are underway to test its hypothesis, prompted by uncertainties (Cavalcante et al., 2011).

With these two aspects in mind, the first decision taken on the MagLev-Cobra business model was to heighten staff awareness of these two elements of radical innovation, showing that current

actions do not mean that they are right or wrong, but rather that they are mere hypotheses that must be tested or corroborated through action-based evidence (Bocken & Snihur, 2020; Bortolini et al., 2018; Frederiksen & Brem, 2017; Ghezzi, 2020; Silva et al., 2019; Yang et al., 2019)however, is not easily defined, being a consequence of the application of tools involving trials, data analyses and testing. The Lean Startup (LS.

As a result, it was decided that the concept underpinning the first business model was that the market segment component would be cities. Other important business model components were the key processes, focused on intensive electrical engineering research using cutting-edge technology.

Intensive use of relationship networks, specifically with partners, is another recurrent component in the initial business model hypothesis for the MagLev-Cobra project. They provided priceless contributions to the development of the product as a whole, with the core technology of the vehicle being magnetic levitation, while other aspects are less uncertain, including civil construction items, railcars and motors for example.

Through analysing past events, the MagLev-Cobra team found that this initial business model configuration was subject to major constraints, due to difficulties caused by coping with the (lack of) an Urban Public Transport Policy.

It was thus sensed that this resources and competencies structure needed to be fine-tuned, as no progress was made in meetings with public players that could pave the way to studies on adopting this product. Efforts were made to work on a business model hypothesis linked to established construction firms, but they are averse to investment risks.

The entrepreneurs slowly became aware that it made little sense to pursue traditional metrics (such as paybacks and break-even points) for the MagLev-Cobra project, despite investor demands. This prompted them to create alternatives that were less capital-intensive, in order to move ahead with the product.

This led to the use of the intellectual capital of the company, proposing mass transport options that were less intensive, particularly at locations like resorts, theme parks, large housing complexes, tourist attractions covered by concessions and worker transport for major corporations. For these target publics, magnetic levitation transport could offer significant advantages, while also providing tighter controls and lower passenger volumes, thus simplifying the business model, particularly through focusing on the private sector as the target public.

Among these possibilities, the appeal of the theme park segment gradually increased for the entrepreneurs. The MagLev-Cobra technology could be adopted for sight-seeing trips, as well as enjoyable rides that these parks could offer their visitors.

A hypothesis emerged from these actions and reflections of a target public unrelated to public issues, particularly as these projects could be better controlled over up to one kilometre. This distance is closer to the 200 metres covered by the current prototype, while also opening up possibilities of adding functions and technological innovations.

Another compromise alternative would be to submit proposals to major players on the global transport or energy markets. These value proposals would suggest the acquisition of the MagLev-Cobra technology in a typical open innovation model, through which larger models could expand the solutions portfolios of these companies through start-ups with patents already filed and consolidated magnetic levitation expertise.

The alternative of continuing to seek science and technology development funding in Brazil is still a key guideline for

MagLev-Cobra, ensuring that this expertise remains Brazilian, offering local industry the potential for innovation. In order to ensure this, it is vital that the State play a leading role in this development, not only through Science and Technology, but also through linking up these players.

Although currently ranked as lower priority, another alternative business model is to use magnetic levitation for bearing designs or other equipment designs for industry.

Based on these scenarios, the MagLev-Cobra project does not have only one business model. Instead, several business model hypotheses are being tested through practical actions in the field, reaching out to partners and other possible stakeholders, in each case seeking milestones that confirm the underlying hypothesis through facts and data. This can then be fine-tuned through strategic and operating actions, together with technology and market activities, in order to build up a business model that endows companies with sustainable competitive advantages over lengthy time horizons. Table 5 summarises the different paths.

Table 5. Hypotheses Tests

Presentation version	Target	MagLev-Cobra Value Proposal	Next milestone
TRL-b	Major players in the transport and energy sectors	"You will have an industrial-format levitation technology to extend your portfolio of solutions for cities!"	*Due diligence* on the project (details, deadlines and amounts)
Partners for Specific Purpose Enterprise (SPE)	Strategic partners	"We will unite in a new business with specific purposes so that we can sell feasibility studies to theme parks in future (scenic site tours)"	Design feasibility study offers among partners with inputs (financial or economic) deadlines and amounts
Feasibility study	Parks, private enterprises (tourism)	"you will have a specific proposal for your enterprise for implementing an internal small-scale scenic transport option"	On stand-by
TRL-a ("SHOWCASE")	S&C development	"You will have a railcar design in an industrial format + a full-scale functioning model at UFRJ!"	On stand-by
Feasibility study	Parks, private enterprises (tourism)	"You will have a specific proposal for your enterprise for implementing an internal small-scale scenic transport option"	On stand-by
Feasibility study	Cities/States	"You will have a site-specific proposal for implementing large-scale public transport"	On stand-by
Smaller solutions	Private enterprises	"You will have advantages if you use superconductivity technology"	On stand-by
Complete mobility solution	Parks, private enterprises (tourism)	"You can design a project with innovative technology for your internal scenic (small scale)!"	On stand-by
Complete mobility solution	Cities/States	"You can design a project with innovative technology for your internal scenic (large scale)!"	Pivoted Reason: relationship with the public sector
Startup	Investment funds	"You will have a start-up with the first revenues of BRL X in x years "	Pivoted Reason: uncertainty hampers the use of classic financial indicators

7. CONCLUSIONS

The MagLev-Cobra project is an example of sustainable technology, as it encompasses the three attributes of sustainability:

- Low environmental impact.
  Low energy consumption
  Low noise levels
  Light civil construction impacts

- Economically interesting project.
  Cheaper to implement than those of its competitors
  Lower operating and upkeep costs

- Project with widespread social consequences.
  Contributes to good quality urban mobility
  Fosters technological development in Brazil

We are going through a time of transition, when universities must ensure continuity of development, transferring this to the commercial sector for consumption, meaning to society, as suggested by the title of this paper. In technical terms, we need to progress from the TRL07 step to TRL steps 8, 9 and 10.

This transition is still unclear, particularly in terms of local aspects, due to the absence of clear public policies that line up different players in order to ensure that latest-generation expertise is converted into solutions whose use is practical and accessible to citizens. With the COVID19 pandemic, the weak points of the project become even more acute.

In order to face up to this massive challenge, the MagLev-Cobra team decided to work on the project as a start-up, using techniques to explore new paths, particularly those differing from the original solution for this project, focused on cities.

Solutions for cities need a State mobility policy, rather than just an emerging business opportunity. This is explained by heavy investments, frozen capital and the need for incentives to ensure that public players can glimpse clear advantages in sustainable solutions with lower energy consumption, and less visual and sound pollution, among other benefits demonstrated here.

Options where technology can be applied with lighter resource consumption, together with less capital mobilisation and funding, meaning smaller-scale solutions with milder impacts are presented in Table 5.

Any of the suggested paths will lead to the success of a technology that has proven beneficial and is 100% Brazilian. Losing this opportunity will perpetuate an industrial sector working with outdated technology, familiar in Brazil since 1500. The MagLev-Cobra project could be a watershed.

Thanks. The authors offer their thanks for the financial support received from the Rio de Janeiro State Research Support Foundation (FAPERJ) through Projects E26/010.3029/2014 and E26/190.065/2008; and Brazil's National Social and Economic Development Bank (BNDES), through Project FUNTEC 09.2.1416.1 and the SAE through SICONV 16635. We also offer our thanks for the encouragement and input received from our colleague, Dr. Marcelo Sucena, DSc.

8. REFERENCES

Bocken, N., & Snihur, Y. (2020). **Lean Startup and the business model: Experimenting for novelty and impact.** *Long Range Planning*, 53(4), 101953. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2019.101953

Bortolini, R. F., Nogueira Cortimiglia, M., Danilevicz, A. de M. F., & Ghezzi, A. (2018). **Lean Startup: a comprehensive historical review. Management Decision.** https://doi.org/10.1108/MD-07-2017-0663

Camarano, A.A.; Beltrão, K. I. **Distribuição espacial da população brasileira: mudanças na segunda metade deste século.** *IPEA, 2000*. Accessed on: January 8, 2021 http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2372/1/TD_766.pdf

Cavalcante, S., Kesting, P., & Ulhøi, J. (2011). **Business model dynamics and innovation: (re)establishing the missing linkages.** *Management Decision,* 49(8), 1327–1342. https://doi.org/10.1108/00251741111163142

Chesbrough, H. (2010). **Business Model Innovation: Opportunities and Barriers.** *Long Range Planning*, 43(2–3), 354–363. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.010

Crawford, L., & Pollack, J. (2004). **Hard and soft projects: A framework for analysis.** *International Journal of Project Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.04.004

de Oliveira Lacerda, R. T., Ensslin, L., & Ensslin, S. R. (2011). **A performance measurement framework in portfolio management: A constructivist case.** *Management Decision*. https://doi.org/10.1108/00251741111126530

De Reuver, M., Bouwman, H., & Haaker, T. (2013). **Business model roadmapping: A practical approach to come from an existing to a desired business model.** *International Journal of Innovation Management*, 17(1). https://doi.org/10.1142/S1363919613400069

Dvir, D., & Lechler, T. (2004). **Plans are nothing, changing plans is everything: The impact of changes on project success.** *Research Policy*. https://doi.org/10.1016/j.respol.2003.04.001

Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A. (2000). **Dynamic capabilities: What are they?** *Strategic Management Journal.* https://doi.org/10.1002/1097-0266(200010/11)21:10/11<1105:AID-SMJ133>3.0.CO;2-E

Frederiksen, D. L., & Brem, A. (2017). **How do entrepreneurs think they create value? A scientific reflection of Eric Ries' Lean Startup approach.** *International Entrepreneurship and Management Journal,* 13(1), 169–189. https://doi.org/10.1007/s11365-016-0411-x

Ghezzi, A. (2020). **How Entrepreneurs make sense of Lean Startup Approaches: Business Models as cognitive lenses to generate fast and frugal Heuristics.** *Technological Forecasting and Social Change*, 161(June), 120324. https://doi.

org/10.1016/j.techfore.2020.120324

Lobo, L. (2016) **“Trilhos nas Estrelas: o projeto MagLev-Cobra à luz das ´Technology Readiness Levels` da NASA”.** *Dissertation (Production Engineer) – COPPE/UFRJ.*

Motta, E. (2011) **“Otimização de Trilho Magnético de um Sistema de Levitação Supercondutora para Veículo MagLev.** *Thesis (Electrical Engineering) – COPPE/UFRJ.*

Mullins, J. (2006) **“The New Business Road”**, Prentice Hall.

O’Connor, G. C., & Rice, M. P. (2013). **A comprehensive model of uncertainty associated with radical innovation.** *Journal of Product Innovation Management.* https://doi.org/10.1111/jpim.12060

Peter Alouche,2015 **“Qual é o custo dos metrôs?”**. 21ª Semana de Tecnologia Metroferroviária. Centro de Convenções Frei Caneca, São Paulo

Pollack, J. (2007). T**he changing paradigms of project management.** *International Journal of Project Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.08.002

Roy, B. (1993). **Decision science or decision-aid science?** *European Journal of Operational Research*. https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90312-B

Schach, R.; Jehle, P.; Naumann, R. (2006) **“Transrapid und Rad Shine System”**, Springer.

Sheahen, T. (1994) **“Introduction to High-Temperature Superconductivity”** Plenum Press.

Silva, D. S., Ghezzi, A., Aguiar, R. B. de, Cortimiglia, M. N., & ten Caten, C. S. (2019). **Lean Startup, Agile Methodologies and Customer Development for business model innovation: A systematic review and research agenda.** *International Journal of Entrepreneurial Behaviour and Research*, 26(4), 595–628. https://doi.org/10.1108/IJEBR-07-2019-0425

Simon, H. A. (1991). **Bounded Rationality and Organizational Learning.** *Organization Science*. https://doi.org/10.1287/orsc.2.1.125

Sinha, P.K. (1987) **“Magnetic Levitation”**, *IEE Press*.

Stephan, R. M., & Pereira, A. O., Jr. (2020). **The Vital Contribution of MagLev Vehicles for the Mobility in Smart Cities.** *Electronics, 9(6), 978*. https://doi.org/10.3390/electronics9060978

Stephan, R. (2015) **“MagLev-Cobra: Tecnologia de levitação magnética no Brasil”**, *Ciência Hoje*, v.55, p.20 - 25.

Stephan, R.; de Andrade, R.; Ferreira, A. C.; Sotelo, G. G. (2017) **"Superconducting Levitation Applied to Urban Transportation"**. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering.* DOI /10.1002/047134608X.W8346.

Sucena, M. P., & Stephan, R. M. (2012). **Modelo para gestão ambiental de sistemas de transporte urbano por levitação magnética com aplicação da teoria fuzzy.** *Journal of Transport Literature*, 6(3), 152–179. https://doi.org/10.1590/s2238-10312012000300010

Teece, D. J. (2010). **Business models, business strategy and innovation.** *Long Range Planning*, 43(2–3), 172–194. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003

Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). **Dynamic capabilities and strategic management.** *Strategic Management Journal*. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z

Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (2009). D**ynamic capabilities and strategic management.** *In Knowledge and Strategy.* https://doi.org/10.1142/9789812796929_0004

Toro-Jarrín, M. A., Ponce-Jaramillo, I. E., & Güemes-Castorena, D. (2016). **Methodology for the of building process integration of Business Model Canvas and Technological Roadmap.** *Technological Forecasting and Social Change*, 110, 213–225. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.01.009

Trkman, P. (2010). **The critical success factors of business process management.** *International Journal of Information Management.* https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2009.07.003

Winter, S. G. (2003). **Understanding dynamic capabilities.** *Strategic Management Journal.* https://doi.org/10.1002/smj.318

Yang, X., Sun, S. L., & Zhao, X. (2019). **Search and execution: examining the entrepreneurial cognitions behind the lean startup model.** *Small Business Economics*, 52(3), 667–679. https://doi.org/10.1007/s11187-017-9978-z

FGV TRANSPORTES

https://transportes.fgv.br