



Ricardo Atta Abrahão

Uma proposta de extensão da linha 4 do metrô do Rio de Janeiro (Barra da Tijuca) pelo sistema Aeromovel

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional).

Orientador: Prof. Celso Romanel

Co-Orientador: Prof. Fernando Luiz Cumplido Mac Dowell da Costa



Ricardo Atta Abrahão

Uma proposta de extensão da linha 4 do metrô do Rio de Janeiro (Barra da Tijuca) pelo sistema Aeromovel

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Celso Romanel

Presidente / Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Fernando Luiz Cumplido Mac Dowell da Costa

Co-orientador – PUC-Rio

Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Paulo Cezar Martins Ribeiro

COPPE – UFRJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de novembro de 2015

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Ricardo Atta Abrahão

Graduou-se em Engenharia Civil na Universidade do Estado do Rio de Janeiro em 1979. Pós graduou-se com especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade Federal Fluminense em 2005. É engenheiro civil, servidor público federal lotado na carreira de Tecnologia Militar, na Marinha do Brasil, exercendo as funções de fiscal de obras, avaliador de imóveis e trabalhos relativos à segurança do trabalho.

Ficha Catalográfica

Atta Abrahão, Ricardo

Uma proposta de extensão da linha 4 do metrô do Rio de Janeiro (Barra da Tijuca) pelo sistema Aeromovel / Ricardo Atta Abrahão; orientador: Celso Romanel; co-orientador: Fernando Luiz Cumplido Mac Dowell da Costa. – 2015.

74 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2015.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Via Elevada. 3. Propulsão Pneumática. 4. Ventiladores Centrífugos Industriais. I. Romanel, Celso. II. Mac Dowell, Fernando Luiz Cumplido. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. IV. Título.

CDD: 624

“Toda invenção é apenas uma descoberta.”

(Oskar Coester)

Aos meus pais Atta (In Memoriam) e Ecylla, por todos os enormes sacrifícios que passaram para que pudessem educar com sucesso seus cinco filhos.

Agradecimentos

À minha esposa Marília e meus filhos Louise e Luis Fernando pelo amor, apoio e paciência no decorrer do Curso.

Aos professores do Curso, que souberam transmitir com brilhantismo todos seus conhecimentos profissionais.

A todos meus colegas de curso pelos dois maravilhosos anos de convivência onde, aos 59 anos de idade, pude compartilhar minha imensa felicidade em estar novamente em uma sala de aula.

Ao Professor Doutor Celso Romanel por acolher e possibilitar minha inscrição no Curso, bem como pelos valiosos aconselhamentos no decorrer desta tese.

Ao Professor Doutor Engenheiro Fernando Luiz Cumplido Mac Dowell da Costa, meu **paciente** orientador, pela amizade, competência profissional bem como pela paixão na defesa do Sistema APM Aeromovel, fator determinante para escolha do tema da presente dissertação.

Ao Engenheiro Oskar Coester, inventor do Aeromovel, pela amável acolhida por ocasião de minha visita a Porto Alegre, onde pude conhecer in loco a concepção e implantação do Aeromovel naquela cidade.

Ao Engenheiro Diego Abs da Aeromovel Brasil S.A. por ter possibilitado o acesso aos novos projetos de implantação em andamento do Aeromovel em território nacional.

Ao Engenheiro Sidemar da Transurb de Porto Alegre, operadora do Aeromovel naquela cidade, pela acolhida durante minha visita técnica.

À Prefeitura da Cidade de Canoas, na pessoa do Secretário de Transportes Euclides Reis, pelas informações relativas ao projeto de implantação do Aeromovel naquele município.

À Paula Enoy, pela amizade sincera e disponibilidade, procurando sempre ajudar da melhor maneira a todos.

À toda minha família pelo apoio recebido durante a realização do curso.

À DEUS por iluminar meus passos neste desafio.

Resumo

Abrahão, Ricardo Atta; Romanel, Celso (Orientador); da Costa, Fernando Luiz Cumplido Mac Dowell (Co-Orientador). **Uma proposta de extensão da linha 4 do metrô do Rio de Janeiro (Barra da Tijuca) pelo sistema Aeromovel.** Rio de Janeiro, 2015. 74p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O Aeromovel é um meio de transporte automatizado em via elevada, de concepção brasileira, que utiliza veículos leves, não motorizados, resultando em estruturas de sustentação mais esbeltas. Sua propulsão é pneumática, na qual o ar é soprado por ventiladores centrífugos industriais de alta eficiência energética através de um duto localizado dentro da via elevada. O vento empurra uma placa metálica (semelhante uma vela de barco invertida), fixada por uma haste ao veículo, que se movimenta sobre rodas de aço apoiadas em trilhos guia. No município do Rio de Janeiro, como parte do projeto de mobilidade urbana para os Jogos Olímpicos de 2016, vem sendo construída a Linha 4 do Metrô que ligará o bairro de Ipanema ao Jardim Oceânico na Barra da Tijuca. Nesse projeto, onde deveria ter sido considerado a extensão da Linha 4 ao Terminal Alvorada do BRT devido ao volume de passageiros previstos bem como para evitar um desnecessário transbordo de passageiros, a ligação ao referido terminal será feito através da Linha 0 do BRT, que certamente não será suficiente para absorver tantos passageiros. Uma solução que poderia ter sido avaliada seria a ligação do referido trecho por veículos do Sistema Aeromovel, cuja economia e capacidade seriam certamente superiores aos dos veículos do BRT além do aspecto relativo a segurança, uma vez que por se tratar de um meio de transporte por via elevada, evitaria a maioria dos acidentes com mortes causados até o momento por aquele meio de transporte.

Palavras-chave

Via Elevada; Propulsão Pneumática; Ventiladores Centrífugos Industriais.

Extended Abstract

Abrahão, Ricardo Atta; Romanel, Celso (Advisor); da Costa, Fernando Luiz Cumplido Mac Dowell (Co-advisor). **A proposal of extension of the line 4 of the subway in Rio de Janeiro (Barra da Tijuca) by the Automated People Movers System.** Rio de Janeiro, 2015. 74p. M.Sc. Dissertation. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The research and development of new alternatives for the improvement of urban transportation of passengers has dizzily increased all over the world.

The population growth is the biggest difficulty for the creation of new lines in dense urban spaces provided with consolidated constructions and equipments, has been lately forced to a more intense search of innovative solutions suitable to these scenes present in big cities.

New concepts resulting from the problems experienced today by urban transportation, has grown stronger, according to time, hierarchy of values and contemporary mentality of our society. In this sense, the efficiency in urban transportation has been related to the existing integration of means of transportation, that is, the more numerous forms and options of transporting, the easier and more comprehensive solutions has been found.

In view of the new transportation needs, public and private companies have been considering a new way or option on the passenger transportation modality, using an elevated track. The elevated road complements the possibility of an underground via (subway) or via in the level of soil (streets, avenues, etc...), frequently as the only viable alternative so as to avoid expropriations, demolitions or even the use of alternatives highly restrictives to the use of street space by the pedestrian and other more noble public services, being applicable where it is not possible anymore to improve or vitalize urban transportation for lack of physical space at ground level and due to the high cost of via underground.

Presently, the elevated roads are the cheapest and rational mode to obtain an exclusive road, free and independent from any obstacle or other elements installed on the ground level, adaptable to any type of geometry or geometrical

accidents (ramps, curves, transitions and railroad switches), allowing an automated regular operation and of high speed.

In Brazil, the concept of means of transportation through an elevated road can be represented by the Aeromovel System, invented by Oskar Coester, an engineer from the South, based on the principle of inverted boat sail. It is constituted by a vehicle whose movement is obtained by a system of pneumatic propulsion, through industrial fans of high energetic efficiency and low power, triggered by stationary engines compressing atmospheric air inside the elevated track and boost a metallic plate (similar to a inverted boat sail), located in its interior and interconnected to the passenger vehicle on the elevated track. The stationary engines are located next to or close do the passenger stations.

Each interval between two passenger stations forms, generally, a circuit of propulsion, separated from the adjacent intervals through interval insulation valves. Several different arrangements of fans and control valves may be employed as needed.

The adopted propulsion system provides an extreme lightness to vehicle eliminating the embedded presence of electric motors, grinding systems and control of electrical current and voltage and other subsystems, characteristics of the traction applied to the wheels of vehicles.

The primary energy of the Aeromovel System is electricity. The propulsion system can optionally operate with gas or diesel engines in the event of a power outage.

In case of power outages, system downtime for other reasons, or in emergencies, passengers may use the road as a runway or access to the nearest station safely since the rails are powered with low voltage, without presenting danger, electrical shock or damage to people if they are reenergized.

Compared with other transportation systems, the Aeromovel System require much less maintenance due to simplicity and robustness of the components parts. The reduced number of system components and the use of market standardized parts makes maintenance possible without exclusive dependence of specific component suppliers or even import parts.

All critical elements for system operation are specifically designed and manufactured to be easily and quickly replaced by spare components. According to the complexity and length of the line, the maintenance of the vehicles can be

performed in the stations themselves, given the simplicity and features of the installed systems.

The Aeromovel System, as it uses electricity, does not pollute the air, being therefore compatible with government energy programs aimed at optimizing costs and improving the quality of the environment.

The noise generated by the vehicle is reduced, below the established levels for urban transport systems in developed countries, since it does not carry engines on board, being automatically eliminated the vibration and noise arising thereof, which does not occur on conventional systems under rails.

The impact caused by the elevated track is lower than in the conventional systems. The lightness of the vehicle holds a road of reduced dimensions, allowing the growth of trees and bushes under the same.

The minimum clear height of the elevated road, usually established by municipalities from 4.5 to 5 meters, allows the development of activities on the ground level with little restraint and minimum influence on ventilation, natural lighting and type of use of the physical space under the road adjacent the same.

The main constituent building blocks of the elevated road, pillars and beams are usually pré-manufactured in concrete and / or steel and then assembled with the aid of cranes, allowing a national project, planned and optimized in its various aspects.

The Aeromovel System had its first patent granted in 1977 by England, later also recognized by Japan, Germany, USA, Brazil and others.

In 1989, the technology was exported to Indonesia for US\$ 10 millions and installed in that same year successfully in the city of Jakarta, capital of Indonesia. The Jakarta Aeromovel System is built with a circular line of 3,2 kilometers built inside an ecological park that houses convention centers, theaters, hotels, etc, operating up to present days without any accidents and with excellent efficiency, having transported more than 20.000.000 people up to the moment.

In 2013, a line started to operate commercially, after years of outages, connecting the train station “Airport Station” to the Salgado Filho International Airport, with an extension of 814 meters. This is the first line of this modality of transportation being used commercially in Brazil. The line is being in progress managed by the company Trensurb of Porto Alegre.

Currently, there are Aeromovel System implementation projects in progress in the municipalities of Canoas-RS, Nova Iguaçu-RJ and Campos-RJ. Moreover, in the state of Rio Grande do Sul, in the city of Porto Alegre, it is also under study the implementation of one more line of approximately 18 km, connecting the Trensurb Market station to the Restinga, in the south of Porto Alegre, passing a good part of the path through the Guaíba River waterfront.

In the municipality of Rio de Janeiro, as part of the Project of urban mobility for the 2016 Olympic Games, Line 4 of the Subway has been being built that will connect the neighborhoods from Ipanema to Jardim Oceânico in Barra da Tijuca.

In this project, where the extension of Line 4 to the BRT Alvorada Terminal should have been considered, due to the volume of expected passengers and to avoid unnecessary passenger interchanges, the connection to the mentioned terminal will be done through the BRT Line 0, that will certainly not be sufficient to absorb so many passengers.

A solution that could have been evaluated would be the connection of the above mentioned space by the Aeromovel System, whose economy and capacity would certainly be superior to the BRT vehicles besides the aspect related to security, as it is a means of transport for elevated track, would avoid the majority of deadly accidents caused up to the moment by that type of transportation.

Keywords

Elevated Tracks; Pneumatically Propelled; Industrial Centrifugal Blowers.

Sumário

1. Introdução	17
1.1. Contexto	17
1.2. Objetivo	18
1.3. Justificativa	19
1.4. Estrutura do Trabalho	19
2. Histórico do Aeromovel	21
3. Características do Aeromovel	28
3.1. Características Funcionais	28
3.2. Capacidade de Transporte	30
3.3. Consumo de Energia	31
3.4. Impactos ao Meio Ambiente	34
3.5. Segurança e Conforto	35
3.6. Custos e Tarifas	36
3.7. Construção	37
	40
4. Projetos de Implantação do Sistema Aeromovel.	
4.1. Sistema Aeromovel de Jacarta – Indonésia – em operação desde 1989	40
4.2. Sistema Aeromovel de Porto Alegre – RS – Trecho Aeroporto Salgado Filho/ Estação Ferroviária Aeroporto - em operação desde 2013	41
4.3. Sistema Aeromovel de Canoas – RS – Trecho Guajuviras/ Estação Ferroviária Matias Velho - Em Fase de Licitação	42
4.4. Sistema Aeromovel de Nova Iguaçu – RJ – Trecho Anel Central - em fase de licitação	43
4.5. Sistema Aeromovel de Campos – RJ - em fase de projeto	44
5. Aplicabilidade do Sistema Aeromovel na Cidade do Rio de Janeiro	45
5.1. Questão Proposta	45
5.2. Modelo Sistêmico de Engenharia Financeira para Concessão à Iniciativa Privada – Aplicabilidade do Sistema Aeromovel na Interligação da Estação Jardim Oceânico da Linha 4 do Metrô ao Terminal Alvorada do BRT	57
6. Considerações Finais	69
7. Referências bibliográficas	71
8. Apêndice	72

Lista de Figuras

Figura 1 – Detalhe da Vela Invertida no Interior da Viga Pré-Moldada (Coester, 2014).	18
Figura 2 – Protótipo do primeiro veículo de teste do Sistema Aeromovel (Abrahão, 2014).	21
Figura 3 – Veículo Aeromovel operado na Feira Industrial de Hannover (Coester, 2014).	22
Figura 4 – Aeromovel utilizado para interligação do Aeroporto Internacional Salgado Filho à estação de trem “Estação Aeroporto” (Abrahão, 2014).	23
Figura 5 – Inauguração do Aeromovel de Porto Alegre (Coester, 2013).	24
Figura 6 – Engenheiro Coester e Engenheiro Abrahão por Ocasão da Visita Técnica ao Aeromovel de Porto Alegre (Abrahão, 2014).	25
Figura 7 – Estação de transbordo e compartimento de propulsão do Aeromovel sob a via elevada (Abrahão, 2014).	25
Figura 8 – Estação de transbordo Trensurb - Aeromovel (Abrahão, 2014).	26
Figura 9 – Detalhe Interno de uma plataforma de embarque do Aeromovel (Abrahão, 2014).	26
Figura 10 – Vista interna do veículo Aeromovel (Abrahão, 2014).	27
Figura 11 – Sistema de propulsão do Aeromovel (Coester, 2014).	29
Figura 12 – Veículo Aeromovel modelo A100 (Coester, 2014).	30
Figura 13 – Painel de controle do sistema de compressores do Aeromovel (Coester, 2013).	32
Figura 14 – Estrutura de circulação do Aeromovel e sua intervenção no meio urbano (Coester, 2013).	34
Figura 15 – Pilares pré-moldados de concreto armado da via elevada (Coester, 2012).	37
Figura 16 – Vigas pré-moldadas de concreto armado da via elevada (Coester, 2013).	38

Figura 17 – Detalhe Interno da Viga de Sustentação do Aeromovel (Coester, 2014).	38
Figura 18 – Detalhe da fixação dos trilhos à via elevada (Coester, 2013).	39
Figura 19 – Sistema Aeromovel de Jacarta – Indonésia (Coester, 2014).	40
Figura 20 – Traçado do Aeromovel em Porto Alegre – RS (Coester, 2014).	41
Figura 21 – Traçado de Implantação do Aeromovel em Canoas – RS. (MacDowell, 2014).	42
Figura 22 – Traçado de Implantação do Aeromovel em Nova Iguaçu – RJ (Mac Dowell, 2012).	43
Figura 23 – Traçado de Implantação do Aeromovel em Campos – RJ (MacDowell, 2011).	44
Figura 24 – Organograma Conceitual do Sistema Aeromovel.	45
Figura 25 – Acesso indevido de pedestres na via do BRT (Jornal O Dia, 2014).	47
Figura 26 – Aspecto de acidente na via segregada do BRT (Jornal O Dia, 2014)	47
Figura 27 – Traçado de Implantação da Linha 4 do Metrô do RJ (Abrahamo, 2014).	53
Figura 28 – Traçado de Implantação da Linha 0 do BRT (Abrahão, 2015).	55
Figura 29 – Imagem do Terminal Alvorada do BRT na hora do rush (Jornal O DIA, 2015).	56
Figura 30 – Rotas alternativas trecho Terminal Alvorada /Candelária.	62
Figura 31 – Velocidades por trecho analisado trajeto Alvorada/ Candelária	62
Figura 32 – Sede da Coester Automação S.A. (Abrahão, 2014).	72

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tabela Comparativa das Relações de Peso-Morto por Passageiro

33

Lista de Abreviaturas

APM	Automated People Movers
BRT	Bus Rapid Transit
DEC	Departamento de Engenharia Civil
MPOG	Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão
PAC	Plano de Aceleração do Crescimento
PUC-RIO	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
TRANSURB	Companhia de Trens Urbanos de Porto Alegre
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VARIG	Viação Aérea Rio Grandense
VCA	Volts Corrente Alternada
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos

1

Introdução



1.1

Contexto

A pesquisa e o desenvolvimento de novas alternativas para melhoria do transporte urbano de passageiros tem aumentado vertiginosamente em todo o mundo.

O crescimento populacional e a maior dificuldade de inserção de novas linhas em espaços urbanos densos, providos de construções e equipamentos consolidados, tem ultimamente forçado uma busca mais intensa de soluções inovadoras adequadas a esta realidade.

Em vista dos novos enfoques e necessidades do transporte, a via elevada tem sido mundialmente considerada como uma nova forma ou opção de modalidade de transporte.

A via elevada complementa as possibilidades de uma via subterrânea (metrô) e de uma via a nível de solo (ruas, avenidas, ferrovias, ciclovias, etc...), se tornando, em muitos casos, em possibilidade única para evitar desapropriações ou demolições, sendo aplicada sobretudo onde já não é mais possível melhorar ou vitalizar o transporte urbano, por falta de espaço físico a nível de solo, e devido ao custo na maioria dos casos proibitivo da via subterrânea.

Atualmente é a mais racional modalidade, pois é adaptável a qualquer tipo de geometria além de seus principais elementos constituintes (pilares e vigas) serem normalmente pré-fabricados em concreto ou aço e posteriormente montados com auxílio de guindastes, permitindo uma obra planejada e otimizada nos seus mais variados aspectos.

1.2

Objetivo

O objetivo do presente trabalho é possibilitar um maior conhecimento técnico e aplicabilidade do Sistema APM Aeromovel, que é um meio de transporte urbano automatizado em via elevada, de concepção inteiramente brasileira, inventado pelo engenheiro gaúcho Oskar H.W. Coester, utilizando um singular sistema de propulsão pneumática. Seu movimento é produzido pela compressão do ar atmosférico no interior da viga de sustentação da via elevada, através de ventiladores industriais de alta eficiência energética e baixa potência instalados ao nível do solo, que impulsionam uma placa metálica, semelhante a uma vela de barco invertida, interligada ao truque do veículo de passageiros (Figura 1).

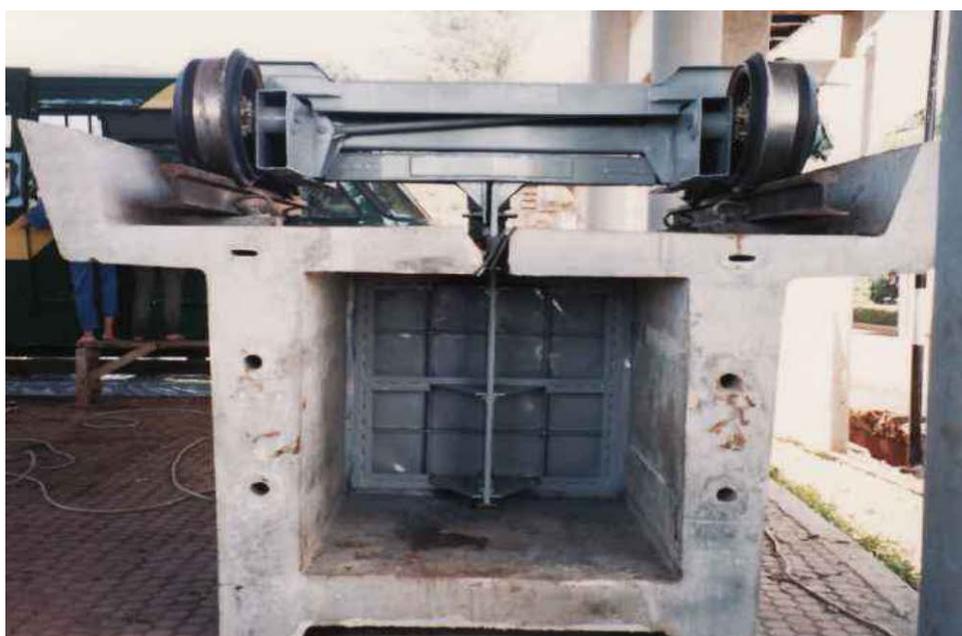


Figura 1 – Detalhe da Vela Invertida no Interior da Viga Pré-Moldada (Coester, 2014).

1.3

Justificativa

O Sistema APM Aeromovel vem sendo operado com sucesso por mais de duas décadas em Jacarta na Indonésia, com mais de 90.000.000 de passageiros transportados desde 1988 bem como no Brasil, na cidade de Porto Alegre, com mais de 1.500.000 de passageiros transportados desde sua entrada em operação em 2013, em ambos os casos, sem quaisquer tipos de acidentes.

Esse meio de transporte por sua maior capacidade e regularidade poderia ter sido considerado como alternativa ao sistema BRT, na ligação do terminal Jardim Oceânico da Linha 4 do Metrô ao Terminal Alvorada, na Barra da Tijuca.

1.4

Estrutura do Trabalho

Visando alcançar o objetivo proposto, este trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

O capítulo 2 apresenta o resumo do histórico do Sistema Aeromovel desde sua concepção nos anos de 1960, até sua implantação nas cidades de Jacarta na Indonésia em 1988 e em Porto Alegre em 2013.

O capítulo 3 apresenta as principais características técnicas e funcionais do Sistema Aeromovel.

O capítulo 4 apresenta os projetos de implantação do Sistema Aeromovel no exterior e em diversas cidades brasileiras.

O capítulo 5 apresenta a possibilidade de implantação do Sistema Aeromovel na interligação do terminal Jardim Oceânico da Linha 4 do Metrô da cidade do Rio de Janeiro ao terminal Alvorada Janeiro como alternativa ao Sistema BRT ora em implantação naquele trecho.

O capítulo 6 apresenta as conclusões do estudo apresentado neste trabalho.

O capítulo 7 apresenta as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

O capítulo 8 apresenta uma entrevista com o Engenheiro Oskar Coester.

2

Histórico do Aeromovel

Os problemas relacionados com as dificuldades de mobilidade nos centros urbanos das grandes cidades começaram a ser estudados por Oskar H.W. Coester no início dos anos 1960, quando ainda era responsável pelo setor de manutenção de aeronaves da então VARIG, sob o comando de Rubem Berta, onde acumulou importantes conhecimentos na área técnica e de automação.

Para Coester o desafio passou a ser, então, encontrar um sistema complementar de mobilidade com baixo custo de implantação, operação e impacto ambiental, cuja sustentação ignorasse os obstáculos já existentes nas ruas e avenidas. Nesse caso, a via elevada se credenciaria como uma alternativa mais simples, moderna e econômica.

Em 1977, Coester requereu a primeira patente de uma nova concepção de transporte urbano em via elevada, o Sistema Aeromovel movido a ar. Em maio do mesmo ano, um protótipo para um passageiro (Figura 2) e um duto de 30m de comprimento serviram para as primeiras análises do desempenho do sistema.



Figura 2 – Protótipo do primeiro veículo de teste do Sistema Aeromovel (Abrahão, 2014).

Em 1978, Coester adquiriu o controle acionário da Metalúrgica Alpair em São Leopoldo, que passou a concentrar as atividades do Aeromovel, passando a chamar-se Aeromovel Brasil S.A. Neste mesmo ano, a primeira patente foi concedida pela Inglaterra, seguindo-se por Japão, Alemanha, Estados Unidos, França e Brasil, entre outros.

Em 1980, um pequeno veículo de teste com capacidade para 12 passageiros foi apresentado e operado na Feira Industrial de Hannover, Alemanha (Figura 3), sendo experimentado por aproximadamente 18.000 pessoas.



Figura 3 – Veículo Aeromovel operado na Feira Industrial de Hannover (Coester, 2014).

Em 1981, o Ministério dos Transportes assinou um contrato para construção de uma linha piloto e do protótipo de um veículo articulado com capacidade para 300 passageiros na cidade de Porto Alegre.

Em 1983, com recursos privados, Coester deu prosseguimento ao projeto e o veículo fez sua primeira viagem com sucesso ao longo da Av. Loureiro da Silva em Porto Alegre, operando numa primeira Linha-Piloto de testes, onde foram certificados os componentes da tecnologia adotada.

Em 1986, um grupo empresarial da Indonésia visitou a citada Linha-Piloto em Porto Alegre, se interessando em construir uma sistema piloto em Jacarta.

Em 1988, a tecnologia foi exportada para a Indonésia por US\$ 10 milhões, implantada na cidade de Jacarta em apenas oito meses e inaugurada no dia 20 de abril de 1989.

Com o advento da Copa do Mundo de Futebol no Brasil em 2014, foi dado prosseguimento ao projeto do Aeromovel de Porto Alegre sendo construída uma linha ligando a estação de trem “Estação Aeroporto” até o Aeroporto Internacional Salgado Filho, com 814 metros de extensão (Figura 4). Esta é a primeira linha desta modalidade de transporte sendo utilizada comercialmente no Brasil. A linha está sendo administrada pela empresa Trensurb.



Figura 4 – Aeromovel utilizado para interligação do Aeroporto Internacional Salgado Filho à estação de trem “Estação Aeroporto” (Abrahão, 2014).

No dia 13 de abril de 2013 o primeiro veículo, com capacidade de 150 usuários começou a operar experimentalmente e inaugurado oficialmente no dia 13 de agosto do mesmo ano pela Presidente Dilma Roussef (Figura 5). Atualmente, esta linha conta com 2 veículos funcionando alternadamente com capacidade de transportar até 300 passageiros (A200), tendo atingido a meta de 1.800.000 passageiros transportados até outubro/2015.



Figura 5 – Inauguração do Aeromovel de Porto Alegre (Coester, 2013).

Com o propósito de possibilitar um maior conhecimento da tecnologia utilizada no Sistema Aeromovel, foi realizada em outubro/2014 uma visita técnica à empresa Aeromovel Brasil S.A. localizada em Porto Alegre, RS bem como às instalações da Coester Automação S.A., localizada em São Leopoldo, RS.

Na ocasião, foi realizada uma visita à linha ligando a estação de trem “Estação Aeroporto” até o Aeroporto Internacional Salgado Filho, com 814 metros de extensão, organizada e acompanhada pelo próprio Engenheiro Coester (Figura 6).



Figura 6 – Engenheiro Coester e Engenheiro Abrahão por Ocasão da Visita Técnica ao Aeromovel de Porto Alegre (Abrahão, 2014).

Nessa visita foi possível efetivamente comprovar a simplicidade e eficácia do sistema, começando pelas vias elevadas, passando pelo sistema de propulsão dos veículos Aeromovel além de toda a operação automatizada dos mesmos e, conseqüentemente, de suas estações (Figuras 7, 8, 9 e 10).



Figura 7 – Estação de transbordo e compartimento de propulsão do Aeromovel sob a via elevada (Abrahão, 2014).



Figura 8 – Estação de transbordo Trensurb - Aeromovel (Abrahão, 2014).



Figura 9 – Detalhe Interno de uma plataforma de embarque do Aeromovel (Abrahão, 2014).



Figura 10 – Vista interna do veículo Aeromovel (Abrahão, 2014).

Através de relatos dos próprios usuários, o sistema em operação tem sido considerado como altamente seguro e confiável, uma vez que o mesmo vem operando diariamente por 18 horas sem quaisquer contratempos.

Por ocasião da visita à Coester Automação S.A., foi realizada uma breve entrevista com o Engenheiro Coester, abordando alguns temas relativos ao Sistema Aeromovel, transcrita no apêndice desta dissertação.

3

Características do Aeromovel

3.1

Características Funcionais

O Aeromovel é um meio de transporte 100% automatizado (sem condutores a bordo), movido através de propulsão a ar, sendo uma tecnologia de concepção nacional, inédita e exclusiva, patenteada e reconhecida em diversos países do mundo. Seu movimento é produzido a partir do impulso gerado pela compressão do ar atmosférico, devido à ação de ventiladores industriais de alta eficiência energética e baixa potência que, do solo, enviam o ar pelo interior da via elevada.

Seu movimento baseia-se no princípio de redução do peso-morto por passageiro transportado, uma vez que o Aeromovel não tem motor embarcado. Sua propulsão é pneumática, utilizando-se de gradientes de pressão que se estabelecem no interior de um duto localizado na via elevada logo abaixo do veículo e que propalam o mesmo através do empuxo fornecido a um painel solidário ao veículo (semelhante a uma vela de barco invertida), que se movimenta sob rodas de aço em trilhos tradicionais (Figura 11).

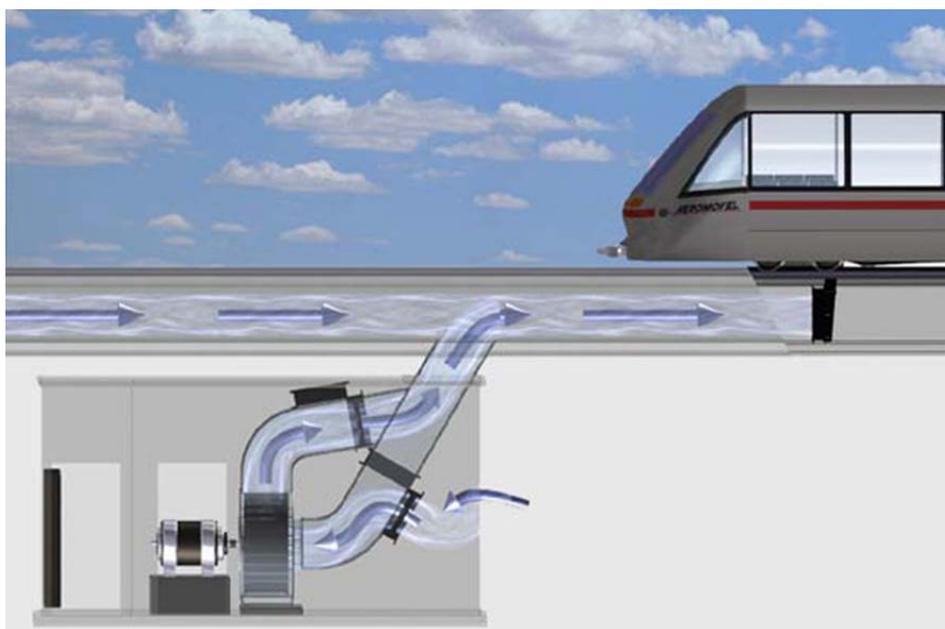


Figura 11 – Sistema de propulsão do Aeromovel (Coester, 2014).

O carro do Sistema de Transporte Aeromovel foi projetado com a mesma bitola de 1,60 m, em uso nos trens dos Metrô do Rio e de São Paulo, com 25 metros de comprimento (Metrô do Rio e de São Paulo - 22 m), pesando apenas 9,9 toneladas, com vãos de porta de 1,50m, opera com pilotagem automática e o seu desempenho operacional na via se aproxima ao dos Metrô em função da simultaneidade dos empuxos gerados na ventilação e sucção.

O Aeromovel chega à velocidade máxima de 80 km/h, 100% mais rápido se comparado aos ônibus normais, em hora de trânsito, e cerca de 30 % em relação ao sistema BRT (Bus Rapid Transit).

A manutenção do Aeromovel é simplificada devido ao reduzido número de componentes do sistema e a utilização de partes padronizadas disponíveis no mercado, sem depender de fornecedores exclusivos ou mesmo de importação de peças. Tanto a manutenção preventiva como a corretiva não necessitam de uma linha exclusiva, podendo a mesma ser feita na própria linha devido a simplicidade e características de projeto dos sistemas instalados.

3.2

Capacidade de Transporte

O Aeromovel é um meio de transporte não convencional classificado na categoria de APM (Automated People Movers), devido ao fato de sua operação ser totalmente automatizada. Caracterizado pela altíssima frequência de serviço, pode ser desenhado para atender demandas de até 25 000 passageiros/hora-sentido.

O Aeromovel não veio para substituir os meios convencionais de transporte, mas sim para complementar, pois satisfaz o transporte de massa de média capacidade atendendo a 25 mil passageiros por hora e se propõe a alimentar o transporte-tronco de alta frequência, como o metrô.

O Aeromovel modelo A100 (Figura 12), com medidas aproximadas de 2,8 metros de largura e 14,5 metros de comprimento, em operação na cidade de Porto Alegre tem capacidade para 150 passageiros, 24 sentados e 126 em pé, 2 vezes mais do que o ônibus comum. O Modelo A200, alternativo ao Modelo A100, tem 2,8 metros de largura e 25 metros de comprimento e capacidade para 300 pessoas, sendo 48 sentados e 252 em pé.



Figura 12 – Veículo Aeromovel modelo A100 (Coester,2014).

3.3

Consumo de Energia

Os equipamentos do sistema de propulsão do Aeromovel são dimensionados conforme as necessidades de cada trecho de via, otimizando e racionalizando os equipamentos e o custo correspondente. Assim sendo, um trecho dotado de rampa e com uma taxa de aceleração superior, irá requerer um conjunto motor-ventilador de maior potência do que um trecho quase em nível ou com aceleração moderada.

O regime de demanda de potência e consumo energético é variável durante a operação do veículo em cada trecho. Quando o veículo está parado na estação, o consumo é bastante reduzido, pois o motor apenas mantém o movimento do ventilador (stand-by). Nesta fase da operação, o ventilador está consumindo energia mínima, como um automóvel em marcha lenta.

Na fase de aceleração, a potência e o consumo vão gradualmente aumentando conforme o veículo vai atingindo maior velocidade. Quando o veículo atinge a velocidade de cruzeiro constante, a potência e o consumo energético baixam de intensidade, pois nesta fase o ventilador necessita fornecer apenas o fluxo de ar e pressão necessários para manter a velocidade do veículo.

Quando o veículo inicia a fase de desaceleração, até a sua efetiva parada na estação, a energia cinética do veículo é suficiente para manter o movimento, possibilitando que o grupo motor-ventilador retome o estado de stand-by, consumindo um mínimo de energia. O veículo controla automaticamente a taxa de desaceleração através de um micro-processador de freio a bordo do mesmo, garantindo também precisão no ponto projetado para parada na estação (Figura 13).

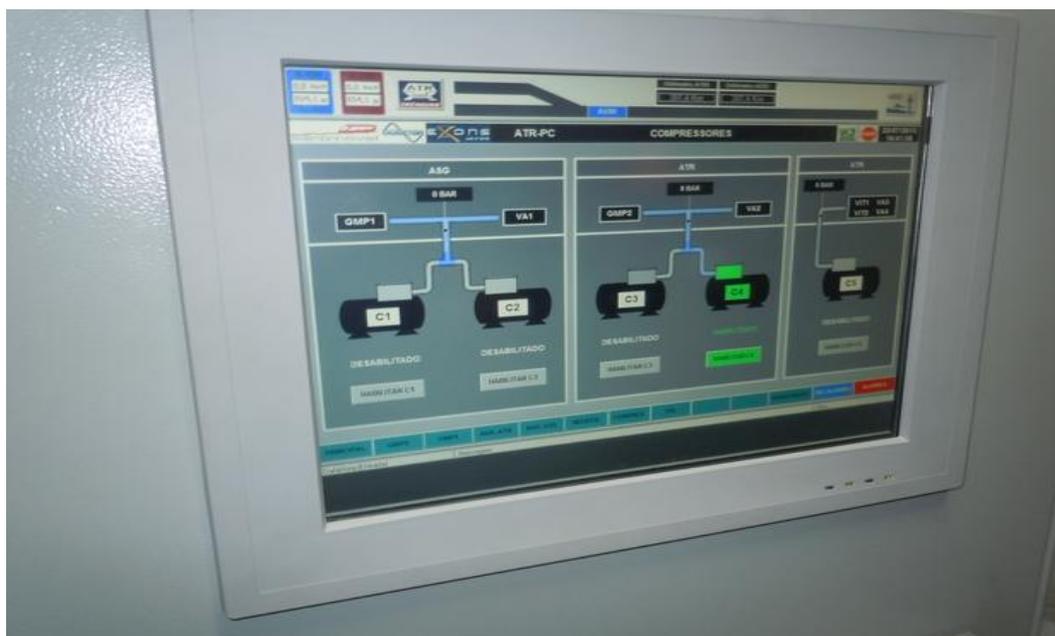


Figura 13 – Painel de controle do sistema de compressores do Aeromovel (Coester, 2013).

O ciclo anteriormente descrito difere de um trecho para outro em decorrência das características geométricas da via e dos parâmetros de velocidade máxima e aceleração projetados ou desejados.

Comparado a qualquer veículo que anda sobre trilhos, o Aeromovel tem quatro vezes menos peso morto (razão entre a massa total do veículo vazio pela lotação máxima de passageiros) em relação à carga útil e mesmo frente a modais distintos leva vantagem.

A tabela abaixo apresenta a comparação entre o peso morto de diversos tipos de modais e a relação da capacidade de transporte pelo comprimento de cada modal.

Tabela 1 – Tabela Comparativa das Relações de Peso-Morto por Passageiro

Sistema	Comp. (m)	Largura (m)	Passageiros (sentado + em pé)	Peso Vazio(t)	Contato	Peso-morto/passa g. (kg/passag.)
Atlanta Airport (VLT)	11,9	2,8	16+128	12,5	Pneus	87
Dallas Airport (VLT)	6,7	2,2	16+44	6,35	Pneus	106
Detroit (VLT)	12,7	2,5	28+88	13,8	Aço	119
Gatwick Airport (VLT)	11,9	2,9	16+128	12,5	pneus	87
Lille VAL (VLT)	26	2,1	44+232	29,6	pneus	107
Miami APM (VLT)	11,9	2,8	16+128	12,5	Pneus	87
Morgantown (VLT)	4,7	2	8+13	3,97	Pneus	189
DEMAG-MBB (VLT) C Bahn	7,8	2,4	14+52	4,65	Pneus	70
Fuji (VLT)	8,8	2,3	24+72	10,5	Pneus	109
Kawasaki (VLT)	8,4	2,4	20+62	9,5	Pneus	116
Kobe (VLT)	8	2,3	20+62	10,5	Pneus	128
Magnetbahn (Trem)	11,6	2,4	26+88	7,5	Magnético	66
Metrô de São Paulo (Trem)	21,7	3,2	66+306	30	Aço	81
Trensurb c/motor (Trem)	22	3	54+262	58,3	Aço	184
Aeromovel (RS) (VLT)	25	2,8	48+252	8,7	Aço	29

O Aeromovel Modelo A100 é leve para a categoria, o vagão pesa 9,9 toneladas, e tem seu peso totalmente em função da carga útil de até 150 pessoas (a inspiração veio da tecnologia aeronáutica), enquanto um automóvel (carro) pesa em média 1,0 tonelada e tem menos de 10% da sua capacidade ocupada, o que aumenta custos e demanda mais energia. Os vagões são produzidos em alumínio, e no futuro pretende-se que sejam de fibra de vidro e carbono, o que os tornariam mais leves ainda, necessitando de menos energia para seu funcionamento.

De acordo com a Aeromovel Brasil S.A. as medições comprovaram que o gasto de energia é metade do consumido por um ônibus convencional e 8,5 vezes inferior ao de um automóvel para carregar uma pessoa por um quilômetro.

3.4

Impactos ao Meio Ambiente

O Aeromovel trata-se de mais uma solução para mobilidade urbana. A novidade é que ele utiliza ar como fonte de energia para sua locomoção, não poluindo o meio ambiente.

Sob o ponto de vista dos impactos ambientais, o Aeromovel provou ser extremamente silencioso, uma vez que as fontes de vibração (motores elétricos) encontram-se afastadas dos veículos, em módulos facilmente isoláveis com métodos tradicionais. Quanto à propulsão, uma vez utilizando-se motores elétricos industriais e corrente alternada de baixa tensão e potência, para o acionamento mecânico dos sopradores, a emissão de poluentes gasosos é nula.

As características naturais de construção e operação do Aeromovel fazem dele um modelo mais sustentável frente aos sistemas de mesmas características. O impacto da construção da via na paisagem urbana também é pequeno (Figura 14), pois os pilares e as vigas de sustentação são menos espessas do que as utilizadas por mon trilhos e não há mudanças bruscas no solo ou necessidades de muitas desapropriações, como na construção do metrô subterrâneo.



Figura 14 – Estrutura de circulação do Aeromovel e sua intervenção no meio urbano (Coester, 2013).

3.5

Segurança e Conforto

Segurança é outro ponto forte do Aeromovel, pois o trem a ar não descarrila e não colide um com outro, devido às características inatas ao projeto, que impedem a colisão entre veículos adjacentes, evitada pela compressão do ar dentro do duto que mantêm afastadas entre si as placas impulsoras dos veículos.

Este atributo caracteriza-se pelo fato de que as placas de propulsão dos veículos atuam como pistões fixos, vedando o duto de propulsão. A aproximação de dois veículos num mesmo circuito implica na formação de uma coluna de ar pressurizada entre os veículos, de forma que quanto maior a velocidade dos mesmos, maior a força gerada no sentido de afastá-los um do outro.

Para os passageiros, em caso de falta de energia elétrica ou paralisação do sistema por outros motivos, estando o veículo fora da estação, saídas de emergência situadas nas cabeceiras dos veículos permitem o acesso dos passageiros à via para servir como passarela ou acesso dos mesmos em segurança até a estação mais próxima. Os trilhos são alimentados com baixa tensão (55VCA), sem apresentar perigo de choque elétrico ou danos às pessoas quando energizados.

O sistema de movimentação e frenagem é totalmente automatizado, sem condutor e controlado em centrais de operação. O sistema de freio pneumático de alta confiabilidade evita frenagens bruscas, de forma a evitar quaisquer tipos de acidentes.

O conforto está relacionado a melhor acessibilidade e distribuição do espaço interno, com espaço reservado para cadeirantes e idosos, deslocamento silencioso sem ruído de motores além de climatização dos veículos.

O ar condicionado de cada veículo é alimentado através de uma sapata coletora de energia que desliza sobre os trilhos ferroviários que possuem uma tensão de 55 V CA. Um transformador eleva a tensão para 220 V CA que é então levada para o compressor do equipamento.

O sistema de controle do Aeromovel abrange todos os aspectos da operação desde a abertura e fechamento das portas, até a velocidade, aceleração, desaceleração, e conforto do veículo durante a viagem.

Durante a operação do veículo, em cada estação de passageiros, localiza-se uma cabine de controle que agrega todos os equipamentos de controle específicos do trecho para o qual o veículo se dirige. Na cabine de controle existe um supervisor de operação no trecho, que orienta o embarque e desembarque de passageiros bem como libera o veículo para partir e operar automaticamente.

3.6

Custos e Tarifas

Outras vantagens do Aeromovel são o fato de a cadeia produtiva ser 100% nacional e o veículo ser até quatro vezes mais leve do que outros modelos sobre trilhos, dois fatores que diminuem os custos.

O reduzido índice de peso-morto por passageiro transportado do sistema proposto (razão entre a massa total do veículo vazio pela lotação máxima de passageiros) é alcançado devido ao caráter passivo do veículo, resultando em um significativo baixo custo relativo de investimento no Aeromovel e em um custo ainda menor de operação e manutenção. O consumo energético equivalente encontra-se em patamares inferiores à metade dos observados nos sistemas sobre pneus.

A implantação custa em média 1/4 menos do que os modais da mesma categoria. Como exemplo temos a linha do Aeromovel, em operação na cidade de Porto Alegre desde 2013, que conta com dois veículos com capacidades para 150 e 300 passageiros, funcionando conforme a demanda. O investimento foi de R\$ 33,8 milhões com recursos federais, cerca de R\$ 40.000,00 por metro. Ao público, a passagem custa R\$1,70 para quem usar apenas o Aeromovel e gratuita para os embarcados em outras estações da Trensurb.

3.7

Construção

A construção da via (trilho) do Sistema Aeromovel é considerada simples. É uma estrutura de concreto pré-moldada elevada, com pilares com 0,90m de largura, formada por sucessivas vigas, que são seladas entre si nas junções por compostos epoxy, quando da montagem final (Figuras 15 e 16).



Figura 15 – Pilares pré-moldados de concreto armado da via elevada (Coester, 2012).



Figura 16 – Vigas pré-moldadas de concreto armado da via elevada (Coester, 2013).

As vigas têm perfil no formato tipo “caixão” aberto, com 2,80m de largura e um rasgo central por onde corre a haste que liga o veículo à aleta, que se movimenta ao longo do duto por ação de um gradiente de pressão. A fenda é eficientemente vedada com uso de borrachas selantes (Figura17).

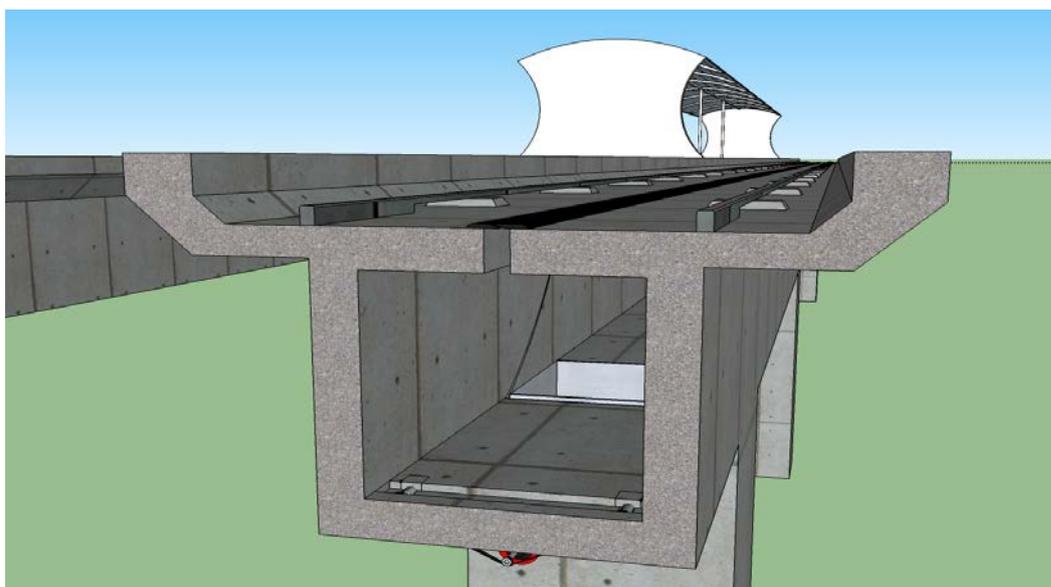


Figura 17 – Detalhe Interno da Viga de Sustentação do Aeromovel (Coester, 2014).

O Aeromovel dispõe ainda dos tradicionais rodeiros de aço que se apoiam em um sistema de trilhos convencionais que são fixados à estrutura da via (Figura 18).

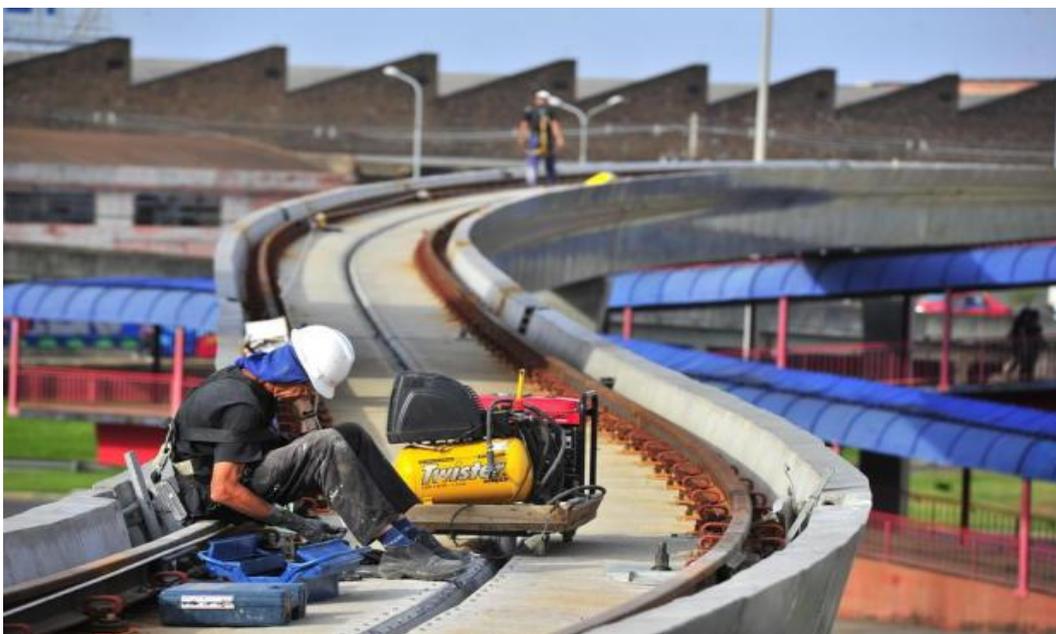


Figura 18 – Detalhe da fixação dos trilhos à via elevada (Coester,2013).

Quanto a rampas e curvas, existe uma peculiaridade interessante do sistema proposto em relação aos demais: é provado matematicamente que pode vencer aclives de até 7,5% sem nenhuma demanda adicional de potência e descrever curvas com raio de até 25m, dada a natureza conceitual de sua propulsão, em que as rodas não são os elementos de tração, sem diminuição considerável de sua velocidade.

4

Projetos de Implantação do Sistema Aeromovel.

4.1

Sistema Aeromovel de Jacarta – Indonésia – em operação desde 1989

O Sistema Aeromovel de Jacarta (Figura 19), construído em apenas oito meses e inaugurado no dia 20 de abril de 1989, é constituído de uma linha circular de 3,2 quilômetros, com seis estações, no interior de um parque ecológico, que abriga centros de convenções, teatros, hotéis etc, tendo transportado até os dias atuais mais de 90.000.000 de passageiros sem quaisquer tipos de acidentes, com excelente eficiência e baixo custo de manutenção.



Figura 19 – Sistema Aeromovel de Jacarta – Indonésia (Coester,2014).

4.2

Sistema Aeromovel de Porto Alegre – RS – Trecho Aeroporto Salgado Filho/ Estação Ferroviária Aeroporto - em operação desde 2013



Figura 20 – Traçado do Aeromovel em Porto Alegre – RS (Coester, 2014).

Dados gerais

- Extensão: 814 metros de trajeto em via elevada (total de 1.010 metros de trilhos, considerando-se terminais de manobra e de manutenção).
- Terminais: dois (um na Estação Aeroporto da Trensurb, outro no Terminal 1 do Aeroporto Salgado Filho).
- Veículos: um com capacidade para 150 e outro para 300 passageiros.
- Tempo do percurso total (Ida e Volta): 2 min 50 s.
- Tarifa: R\$ 1,70 (integração gratuita com o Metrô)
- Investimento: R\$ 38 milhões. Recursos do Governo Federal.
- Demanda prevista do sistema: 7,7 mil passageiros por dia.
- Execução das obras: Aeromovel Brasil S.A.
- Abertura ao público: 10 de agosto de 2013.
- Atualmente, esta linha atingiu a meta de 1.800.000 passageiros transportados até outubro/2015.

4.3

Sistema Aeromovel de Canoas – RS – Trecho Guajuviras/ Estação Ferroviária Matias Velho - Em Fase de Licitação



Figura 21 – Traçado de Implantação do Aeromovel em Canoas – RS. (MacDowell, 2014).

Dados gerais

- Extensão: 5.968m de trajeto em via elevada.
- Terminais: Dez Estações.
- Distância entre Terminais: 600 m.
- Frota Inicial: Seis Veículos.
- Velocidade Comercial: 45,4km/h.
- Velocidade Máxima: 55,5 km/h.
- Tempo do Percurso Guajuviras/Matias Velho: 13,56 min.
- Headway Máximo: 4,5 minutos.
- Demanda Prevista do Sistema: 62850 passageiros/dia.
- Execução das Obras: Aeromovel Brasil S.A. (pacote tecnológico) e T'Trans (veículos).

4.4

Sistema Aeromovel de Nova Iguaçu – RJ – Trecho Anel Central - em fase de licitação



Figura 22 – Traçado de Implantação do Aeromovel em Nova Iguaçu – RJ (Mac Dowell, 2012).

Dados gerais

- Extensão: 4,5 km de trajeto em via elevada.
- Terminais: Oito Estações.
- Distância Média entre Terminais: 636 m.
- Frota Inicial: 1,5 Veículos.
- Velocidade Operacional: 41,2km/h.
- Velocidade Máxima: 70 km/h.
- Tempo do Percorso Total: 9 min.
- Headway Máximo: 3,99 minutos.
- Demanda Prevista do Sistema: 107.000 passageiros/dia.
- Execução das Obras: Aeromovel Brasil S.A. (pacote tecnológico) e T'Trans (veículos).

4.5

Sistema Aeromovel de Campos – RJ - em fase de projeto

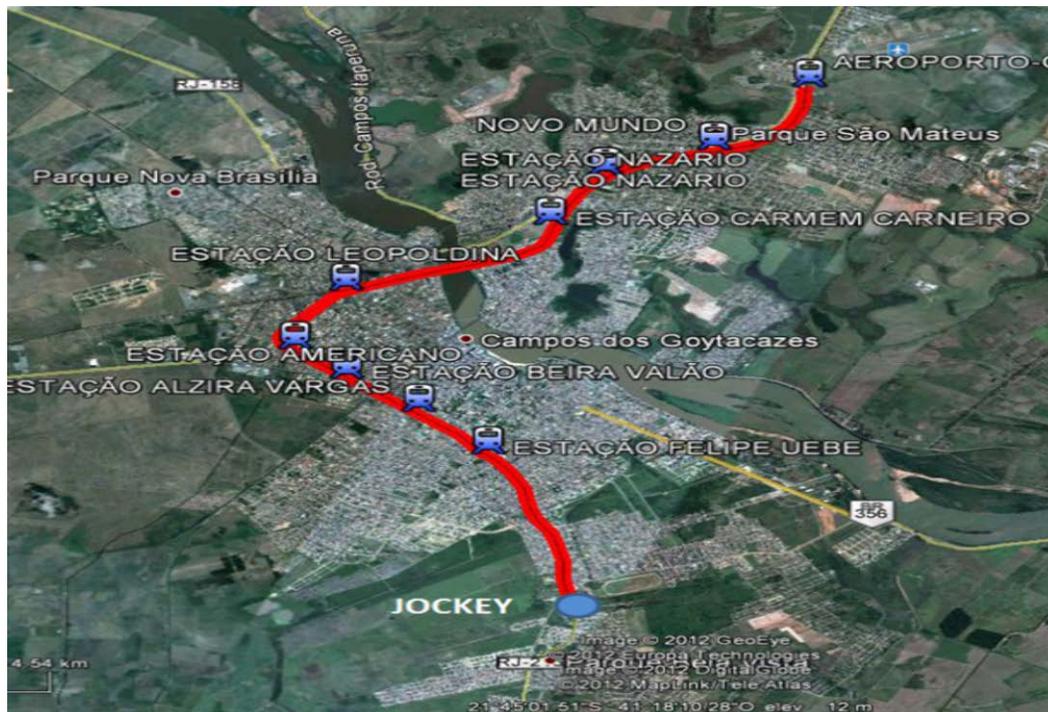


Figura 23 – Traçado de Implantação do Aeromovel em Campos – RJ (MacDowell, 2011).

Dados gerais

- Extensão: 12,9 km de trajeto em via elevada.
- Terminais: Dez Estações.
- Distância entre Terminais: 1290m.
- Frota Inicial: Onze Veículos.
- Velocidade Comercial: 42,4km/h.
- Velocidade Máxima: 54,5 km/h.
- Tempo do Percurso Aeroporto/Jockey: 18 min.
- Headway Máximo: 3,59 minutos.
- Demanda Prevista do Sistema: 120.000 passageiros/dia.
- Execução das Obras: Aeromovel Brasil S.A. (pacote tecnológico) e TTrans (veículos).

5

Aplicabilidade do Sistema Aeromovel na Cidade do Rio de Janeiro

5.1

Questão Proposta

O Sistema de Transporte Aeromovel poderia ter sido considerado como alternativa em relação ao BRT, na futura interligação do terminal Jardim Oceânico da Linha 4 do Metrô ao Terminal Alvorada do BRT na Barra da Tijuca - RJ?

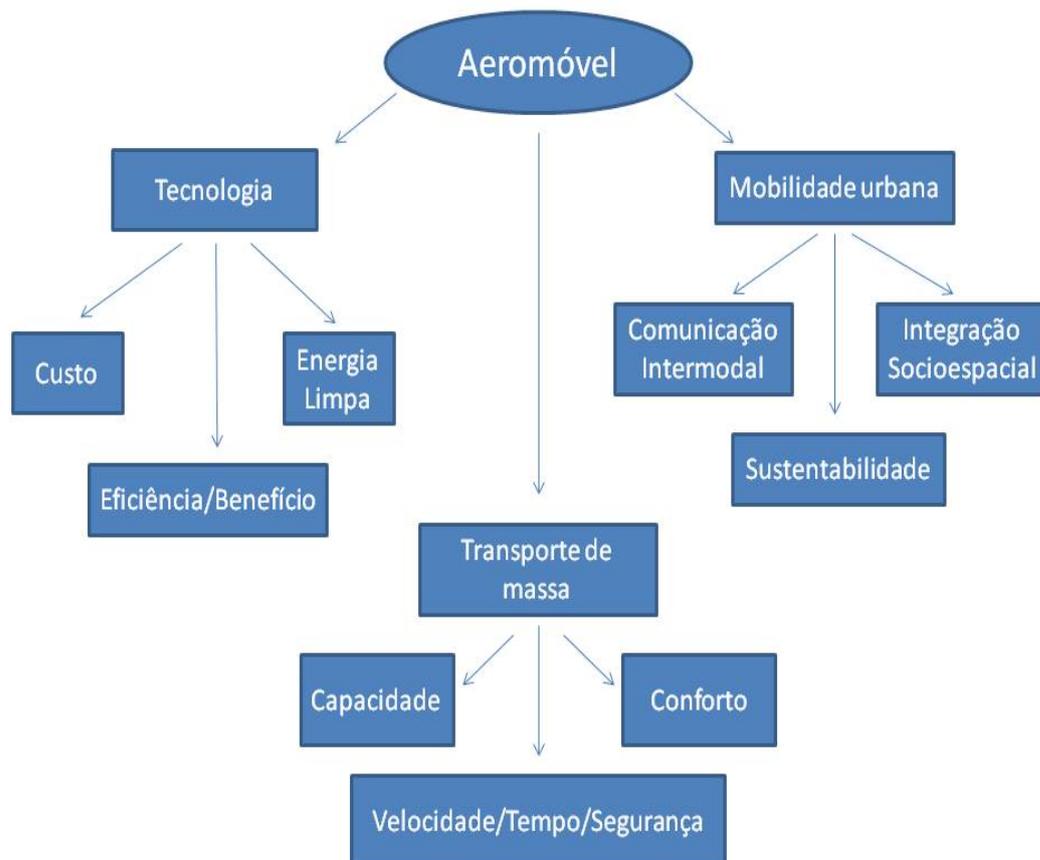


Figura 24 – Organograma Conceitual do Sistema Aeromovel.

A Cidade do Rio de Janeiro, em função da realização dos Jogos Olímpicos de 2016, vem passando por uma série de intervenções em sua área de transportes com o objetivo de possibilitar uma melhor mobilidade urbana no decorrer da referida competição.

Para tanto, vem sendo implantados sucessivamente diversos corredores expressos segregados do sistema de transporte BRT, entre eles a Transbrasil, Transoeste e Transolímpica, com o objetivo de ordenar e reduzir o número excessivo de ônibus em trânsito pela cidade e, ainda, permitir um acesso mais rápido e eficiente aos diversos locais de competição.

Esses corredores expressos, concebidos para introduzir o conceito de substituição do trânsito individual por um sistema de transporte coletivo, tem como principal atrativo proporcionar uma diminuição do tempo de deslocamento uma vez que os coletivos não enfrentariam os constantes engarrafamentos das vias.

Entretanto, o sistema BRT não vem obtendo o resultado esperado, uma vez que os ônibus articulados, devido a sua pouca capacidade, não vem conseguindo absorver todos os usuários direcionados a essas linhas tronco, resultando na superlotação dos mesmos.

Apesar das vias segregadas, o sistema vem enfrentando dificuldades na regularidade de sua operação, uma vez o BRT, por estar situado ao nível do solo, é refém de interrupções do trajeto devido a cruzamentos na via além de inúmeros acidentes provocados por acesso indevido de pedestres e veículos diversos na via resultando em graves acidentes na via (Figuras 25 e 26).



Figura 25 – Acesso indevido de pedestres na via do BRT (Jornal O Dia, 2014).



Figura 26 – Aspecto de acidente na via segregada do BRT (Jornal O Dia, 2014)

Em relação à falta de segurança na operação do BRT, apesar da via segregada, diversos casos de acidentes e atropelamentos já foram registrados entre o início de sua operação em 2012 e o ano de 2015, segundo dados divulgados pelo jornal O GLOBO e a seguir relacionados:

2012

JUNHO

26, terça-feira – Um homem foi atropelado na pista exclusiva para ônibus BRT da Transoeste, na Avenida das Américas, na Barra.

28, quinta-feira - Um motociclista morreu atropelado na Avenida das Américas, em Guaratiba, na Zona Oeste, na pista do BRT: ele foi projetado para fora da moto após ser atingido por um carro.

JULHO

3, terça-feira - Um estudante foi atropelado por um ônibus BRT, na Avenida das Américas, na Barra da Tijuca, na Zona Oeste.

6, sexta-feira – Um homem morreu atropelado por um ônibus BRT na Barra da Tijuca, Zona Oeste. O acidente ocorreu a 100 metros da estação Bosque da Barra, na Avenida das Américas, sentido Santa Cruz.

AGOSTO

22, quarta-feira - Um ônibus BRT colidiu com um carro, que avançou o sinal no Recreio dos Bandeirantes, Zona Oeste. Três passageiros do carro ficaram feridos.

28, terça-feira - Um carro bateu num ônibus do BRT na Avenida das Américas, no sentido Barra da Tijuca, Zona Oeste. A colisão foi perto da estação Mato Alto, em Guaratiba.

31, sexta-feira - Um carro e um ônibus do BRT Transoeste bateram na Avenida das Américas, próximo da estação Barra Sul, na Barra da Tijuca, na Zona Oeste.

SETEMBRO

13, quinta-feira – Uma mulher morreu atropelada por um carro que avançou um sinal no Terminal Alvorada e bateu num ônibus do BRT Transoeste entre as estações Américas Park e Novo Leblon, na Barra da Tijuca, Zona Oeste. O carro foi arrastado pelo ônibus e acabou atropelando a mulher.

2013

MARÇO

22, sexta-feira – Um homem morreu num acidente com um ônibus BRT, na altura da estação Benvindo de Novaes, no Recreio dos Bandeirantes, Zona Oeste. A vítima era o motorista de um carro que avançou o sinal e se chocou com o ônibus.

SETEMBRO

9, segunda-feira – Na Avenida das Américas, na Barra, Zona Oeste, um coletivo articulado bateu do BRT bateu em um carro na altura estação Barrasul. O motorista do carro ficou ferido.

9, segunda-feira - Um ônibus do BRT Transoeste bateu num ônibus comum em frente à estação Interlagos, na Avenida das Américas, entre a Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, na Zona Oeste. Foram atendidas no hospital 25 pessoas.

NOVEMBRO

11, segunda-feira – Um carro entrou na faixa exclusiva do BRT Transoeste, na altura da Estação Gelson Fonseca, no Recreio dos Bandeirantes, Zona Oeste e bateu num ônibus. Seis passageiros se feriram.

2014**JANEIRO**

31, sexta-feira - Um acidente com um ônibus BRT Transoeste deixou 12 pessoas feridas na Barra da Tijuca, Zona Oeste. Por causa de um problema no pneu, o ônibus teria perdido o controle e batido no meio-fio na altura da estação Santa Mônica Jardins.

MARÇO

27 – quinta-feira - Um ônibus do BRT e um caminhão bateram na saída do Túnel da Grota Funda, na Avenida das Américas, em Guaratiba, Zona Oeste. Ficaram feridas 32 pessoas, a maioria com lesões leves.

31 – segunda-feira - Quatro pessoas ficaram feridas no choque entre um ônibus do BRT e um carro na Avenida das Américas, na Barra da Tijuca, Zona Oeste.

JUNHO

5, quinta-feira - Um ônibus articulado e um carro se envolveram numa batida na pista sentido Galeão, num cruzamento na altura da estação Aracy Cabral, entre Tanque e Taquara, na Zona Oeste. O carro teria tentado fazer um retorno irregular e foi atingido pelo coletivo.

21, sábado – Um homem morreu e duas pessoas ficaram feridas num acidente envolvendo um ônibus BRT e duas motocicletas na Avenida Nelson Cardoso, sentido Tanque, na Taquara, Zona Oeste.

30, segunda-feira - Uma idosa ficou gravemente ferida após ser atropelada por um ônibus do BRT Transcarioca na Avenida Nelson Cardoso, altura da estação Aracy Cabral, na Taquara, Zona Oeste.

AGOSTO

20, quarta-feira - Um motociclista foi atropelado na pista do BRT, perto da estação Ipase na região do Mato Alto, em Jacarepaguá, na Zona Oeste.

22, sexta-feira - Uma jovem de 19 anos morreu atropelada por um ônibus do BRT Transoeste, na altura da Estação Interlagos, na Barra da Tijuca, Zona Oeste. Ela teria atravessado fora da faixa e foi atingida na pista sentido Alvorada.

SETEMBRO

16, terça-feira - Um motociclista morreu ao se chocar com um ônibus do BRT na Barra da Tijuca, Zona Oeste do Rio. A batida foi na altura da estação Bosque da Barra, no sentido Recreio.

25, quinta-feira - Um homem foi atropelado por um ônibus articulado do BRT Transcarioca na altura da estação de Vicente de Carvalho, sentido Galeão.

26, sexta-feira - Um carro invadiu a faixa do BRT Transoeste e bateu num ônibus na Avenida Cesário de Melo, em Campo Grande, Zona Oeste.

OUTUBRO

9, quinta-feira - Um ônibus articulado do BRT Transcarioca se chocou com um carro que invadiu a pista exclusiva na altura da estação Vila Kosmos, na Avenida Vicente de Carvalho, no Subúrbio.

13, segunda-feira - Um ciclista colidiu com um ônibus do BRT Transoeste na Avenida das Américas, altura do Bosque da Barra.

NOVEMBRO

3, segunda-feira - Um carro e um ônibus do BRT colidiram na Estrada do Mato Alto, altura da Vila Olímpica, Zona Oeste. O carro invadiu a pista do BRT no sentido Alvorada.

5, quarta-feira - Um homem foi atropelado por um ônibus do BRT Transcarioca na Avenida Ayrton Senna, na Barra da Tijuca, Zona Oeste, na altura do terminal Alvorada.

12, quarta-feira - Um carro e um ônibus do BRT Transcarioca se envolveram em um acidente em Jacarepaguá, na altura da estação Merck, na Zona Oeste.

19, quarta-feira - Dois ônibus do BRT colidiram na Avenida das Américas, pista sentido Santa Cruz, próximo à Estação Magarça, em Guaratiba, na Zona Oeste do Rio. Duas pessoas ficaram feridas.

29, sábado - Uma mulher ficou ferida em um acidente entre um carro e um ônibus do BRT Transoeste. A colisão foi na Avenida Nelson Cardoso, no Tanque, perto da estação Aracy Cardoso, na Zona Oeste.

DEZEMBRO

8, segunda-feira - Um ônibus articulado do BRT e um carro de passeio colidiram na Avenida Ministro Edgard Romero, em Madureira, Zona Norte, próximo à estação Otaviano.

9, terça-feira - Um carro invadiu a faixa exclusiva do BRT Transoeste e bateu em um ônibus articulado, na Avenida das Américas, na Barra da Tijuca, Zona Oeste. O acidente ocorreu na pista sentido Alvorada, na altura da estação Bosque da Barra.

19, sexta-feira - Um ônibus articulado do BRT Transcarioca e um carro de passeio colidiram na Av. Edgard Romero, em Madureira, Zona Norte. O carro teria executado uma conversão proibida.

30, terça-feira - Um ônibus do BRT Transcarioca e um carro colidiram na Avenida Embaixador Abelardo Bueno, na Barra, Zona Oeste. O carro fez uma manobra e invadiu a pista do BRT na altura da estação Metropolitana.

2015

JANEIRO

5, segunda-feira - Um acidente envolvendo um ônibus do BRT e um carro na altura na Avenida Ministro Edgar Romero deixou dois feridos. O acidente aconteceu na altura da estação Vila Queiroz, em Vaz Lobo, no Subúrbio.

7, quarta-feira - Um acidente envolvendo um ônibus do BRT e um carro deixou quatro pessoas feridas na Barra da Tijuca, Zona Oeste.

10, sábado - Um homem de 70 anos morreu após ser atropelado por um ônibus do BRT Transcarioca na Taquara, em Jacarepaguá, na Zona Oeste. O acidente ocorreu na altura da estação Nelson Cardoso.

13, terça-feira - Dois ônibus bateram na Avenida das Américas, pista sentido Alvorada, na altura da estação Pontal, na Zona Oeste. O acidente deixou 30 feridos.

13, terça-feira - Dois ônibus se chocaram na pista Avenida das Américas, sentido Alvorada, próximo à estação Cetex. Ficaram feridas 120 pessoas.

FEVEREIRO

4, quarta-feira - Uma mulher morreu após ser atropelada por um ônibus do BRT Transoeste na estação Cesarão III, em Santa Cruz, na Zona Oeste.

25, quarta-feira - Um caminhão bateu em um ônibus BRT na saída do Túnel da Grota Funda, na Avenida das Américas, na zona oeste do Rio. O caminhão, que transportava papelão, acabou tombando, e 32 passageiros sofreram lesões leves.

JULHO

20, segunda-feira - Um ônibus articulado do BRT Transcarioca e um ciclista se envolveram em um acidente próximo à estação Otaviano, em Madureira, na pista sentido Fundão.

20, segunda-feira - Três pessoas ficaram feridas em um acidente envolvendo um ônibus do BRT e um carro da polícia na manhã desta segunda-feira (20). A colisão ocorreu na Rua Domingos Lopes, próximo ao mergulhão de Campinho, na pista sentido Galeão.

AGOSTO

17, segunda-feira - Um ônibus do BRT Transcarioca e um táxi bateram na entrada na Cidade Universitária, nas imediações da Ilha do Fundão, na pista sentido Alvorada. Os dois veículos pegaram fogo na hora.

24, segunda-feira - Três crianças foram atropeladas por um ônibus BRT, na estrada do Mato Alto.

OUTUBRO

28, segunda-feira - Um acidente envolvendo um carro e um caminhão na pista expressa do BRT, perto da estação Cândido Benício, sentido Largo do Tanque, na Zona Oeste do Rio.

Ainda em função, principalmente, da mobilidade urbana para os Jogos Olímpicos de 2016, além do BRT, vem sendo construída pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro a Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro, que ligará a praça General Osório em Ipanema ao Jardim Oceânico na Barra da Tijuca (Figura 27).



Figura 27 – Traçado de Implantação da Linha 4 do Metrô do RJ (Abraham, 2014).

Desconsiderando a opinião de diversos especialistas da área de transportes, a Linha 4 do Metrô, com previsão de transportar aproximadamente **100.000 passageiros/dia, não foi estendida até o Terminal Alvorada para uma interligação aos sistemas BRT Transoeste e Transcarioca já em operação, o que evitaria a necessidade de transbordo no Jardim Oceânico.**

Em função de um possível estudo para implantação do Sistema Aeromovel naquele trecho, uma simulação comparativa abaixo apresenta a relação custo benefício em relação ao Metrô e ao BRT.

Aeromovel – referência Aeromovel de Porto Alegre:

Trajetos: 814 metros de trajeto em via elevada (total de 1.010 metros de trilhos, considerando-se terminais de manobra e de manutenção);

Terminais: 2 (dois), sendo um na Estação Aeroporto da Trensurb e outro no Terminal do Aeroporto Salgado Filho;

Veículos: dois (um com capacidade para 150 passageiros e outro para 300);

Velocidade média: 30 a 40 km/h (máxima de até 65 km/h);

Tempo estimado do percurso total: dois minutos;

Tarifa: R\$ 1,70, a passagem é gratuita para usuários do Trensurb;

Capacidade: Está previsto o transporte de até 9.292 passageiros/hora, com taxa de ocupação de 4 passageiros /m², para composição de 2 vagões; e

Custo: R\$ 60.000.000,00/km.

Metrô – referência projeto em andamento da Linha 4A do Metrô - RJ:

Trajetos: aproximadamente 13Km, da Estação da Praça General Osório (Ipanema) até o Jardim Oceânico (Barra da Tijuca);

Terminais (Estações): 7 estações (General Osório, N.S^a Da Paz, Jardim de Alah, Leblon, Gávea, São Conrado e Jardim Oceânico);

Veículos: composição de 6 carros, lotação de 1.800 passageiros;

Velocidade média: 55Km/h (máximas de 80 a 100 km/h);

Tempo estimado do percurso total: estimado em 14 minutos das Estações Jardim Oceânico até a General Osório;

Tarifa: valor do bilhete unitário é de R\$ 3,20 (atualmente);

Capacidade: considerando um “headway” ou intervalo de tempo entre dois trens consecutivos de 4 minutos, cerca de 40.000 passageiros/hora/sentido; e

Custo total: R\$ 208 a 367.000.000,00/km.

BRT – referência Linha Transoeste - RJ

Trajetos: 56 km, ligação Terminal Alvorada e a Estação Santa Cruz;

Terminais (Estações): 34 estações;

Veículos: ônibus articulado com capacidade para até 200 passageiros;

Velocidade média: 27 a 48 km/h (máxima 80km/h);

Tarifa: valor do bilhete unitário é de R\$ 2,75;

Capacidade: considerando um “headway” de aproximadamente 3 minutos, capacidade de 3400 passageiros por hora e “headway” de 2 minutos até 8100 passageiros por hora; e

Custo total: R\$ 25.000.000,00/km.

Inegável que, **devido a sua maior capacidade, o Metrô** seria a melhor solução de transporte tanto para o trecho analisado como sua utilização como sistema de transporte de massa para a região metropolitana do Rio de Janeiro (e adjacências), integrado as demais formas de transporte público (como trens, barcas, entre outros).

Contudo, igualmente inegável que as décadas de suspensão de investimento na ampliação da rede de metrô no Rio de Janeiro (depois da grande expansão vista nos anos 70 e 80), e das demais alternativas de transporte público de massas, trouxe como consequência um déficit de transporte público nos últimos anos, especialmente para atender a demanda dos Jogos Olímpicos de 2016.

Isso fez com que o Administrador Público tivesse que optar pela instalação de diferentes alternativas de transporte (BRT, VLT, entre outras), considerando principalmente o custo de instalação de cada sistema, buscando, sempre que possível, integrá-los.

Neste contexto, como solução alternativa econômica para interligação da Linha 4 do Metrô ao Terminal Alvorada, vem sendo construída a Linha 0 do BRT (Figura 28), com previsão de implantação de sete estações ao longo de 6 km da Avenida das Américas, que devido a baixa capacidade de seus veículos (200 pessoas) e intervalos inconstantes, certamente não conseguirá absorver o fluxo de passageiros previsto, gerando uma superlotação já observada atualmente nos demais trechos do BRT.

LINHA 0 - BRT - JARDIM OCEÂNICO / ALVORADA



ESTAÇÕES

- | | |
|--------------------|----------------------|
| ① BARRA SHOPPING | ⑤ BARRA SQUARE |
| ② PARQUE DAS ROSAS | ⑥ EXTRA |
| ③ RICARDO MARINHO | ⑦ PORTO DOS CABRITOS |
| ④ LE MONDE | |

Figura 28 – Traçado de Implantação da Linha 0 do BRT (Abrahão, 2015).

O principal problema desta ligação através do BRT, com capacidade para atender até 3.400 passageiros por hora, seria atender a demanda do Metrô de até 8.000 passageiros por hora, ambos com intervalos (“headways”) programados para aproximadamente 4 minutos. Isto significa dizer que para integração destes dois sistemas haveria necessidade de diminuir consideravelmente os intervalos do BRT. Esta situação provavelmente provocaria engarrafamentos de ônibus nos terminais e conseqüentemente problemas com o transbordo dos passageiros, principalmente na hora do rush (ou ponta), sendo possível prever, como já ocorre atualmente, grandes filas e aglomerados de passageiros nas plataformas de embarque e desembarque (Figura 29), causando, especialmente, desconforto e insegurança aos passageiros.



Figura 29 – Imagem do Terminal Alvorada do BRT na hora do rush (Jornal O DIA, 2015).

Nesse contexto, uma alternativa viável a ser considerada, portanto, seria a implantação no trecho Jardim Oceânico/ Terminal Alvorada do Sistema APM Aeromovel, cujos veículos teriam no mínimo capacidade para 450 passageiros, ou seja, o dobro da capacidade dos veículos articulados do BRT.

Outra grande vantagem do Aeromovel em relação ao BRT, para ligação entre o Terminal Alvorada e o Jardim Oceânico, por ser em via elevada, seria a liberdade de traçado para suas vias, possibilitando seu cruzamento de forma quase incólume pelos canteiros da Avenida das Américas, sem grandes interferências no sistema de tráfego e intrusões nas áreas verdes da região, resultando em regularidade constante de operação.

A característica adaptativa e a grande versatilidade de projeto do Aeromovel conferem-lhe o vantajoso trunfo de poder estabelecer conexões entre diferentes sistemas modais, principalmente com o Metrô, preenchendo a lacuna deixada pela decisão de não levar o metrô até o Terminal da Alvorada, e ainda, com as existentes e deficitárias redes de transportes de ônibus da Barra da Tijuca, com o benefício da ausência de qualquer ônus ao meio ambiente no que concerne ao aumento de emissões.

Com relação aos tempos médios de viagem, o Aeromovel tiraria proveito de sua racional ocupação vertical do espaço urbano, que dispensa em grande parte

as onerosas ampliações nas pistas de rolagem e demais intervenções, se tornando tão rápido quanto a outros modais de características semelhantes (Metrô).

A capacidade do Aeromovel seria de 25.000 passageiros por hora, dependendo da configuração dos seus trens e intervalos. Com esta capacidade, o problema de integração entre os modais estaria solucionado para o Trecho Jardim Oceânico/Alvorada.

5.2

Modelo Sistêmico de Engenharia Financeira para Concessão à Iniciativa Privada – Aplicabilidade do Sistema Aeromovel na Interligação da Estação Jardim Oceânico da Linha 4 do Metrô ao Terminal Alvorada do BRT

O Governo Federal, através do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) e do Ministério dos Transportes, por falta de recursos, vem incentivando através do processo de concessão à iniciativa privada a construção e operação de meios transportes de massa em todo o território nacional, através de proposições de estados e municípios.

Para padronizar o encaminhamento dos estudos de concessões a serem propostos, foi elaborado por aquele Ministério o “MANUAL DE APRESENTAÇÃO DE ESTUDOS DE VIABILIDADE DE PROJETOS DE GRANDE VULTO”, que define toda a estrutura técnica necessária à sua apreciação.

Segundo Mac Dowell (2013), para que o projeto pretendido seja viabilizado é necessário que o valor da tarifa, que equilibra financeiramente a Concessão sob a responsabilidade da iniciativa privada, seja compatível com o poder aquisitivo da população usuária, que considere as isenções previstas em Lei sem que para isso os usuários pagantes tenham que arcar com essa despesa de responsabilidade do Estado, mas que sejam mantidos os tributos e os impostos, e que o Poder Público não arque com qualquer tipo de subsídio direto durante todo período de operação da Concessão.

Segundo Mac Dowell (2013), para atingir os objetivos propostos, é necessário sua verificação através de modelagem matemática alicerçada a partir do *MODELO SISTÊMICO DE ENGENHARIA FINANCEIRA* com vista ao

estabelecimento do equilíbrio econômico financeiro do futuro contrato de concessão, normalmente a princípio por 25 anos, considerando que o montante dos investimentos relativos à implantação do sistema até o início da operação e durante todo o período de concessão será arcado em sua totalidade pela Concessionária Privada.

Assim, o Modelo Sistêmico de Engenharia Financeira deve necessariamente satisfazer simultaneamente aos seguintes grupos de equilíbrio durante todo o período da Concessão, a saber:

Grupo 1: Equilíbrio Econômico, Social, Ambiental e Urbanístico.

Grupo 2: Equilíbrio Técnico e Operacional.

Grupo 3: Equilíbrio Financeiro.

GRUPO 1: EQUILÍBRIO ECONÔMICO, SOCIAL, AMBIENTAL E URBANÍSTICO

Equilíbrio Econômico

Visa promover a utilização da capacidade econômica do transporte ressaltando os custos operacionais, reduções dos tempos de viagem do usuário com a minimização das horas de tráfego congestionado por ano, compatibilidade dos tempos de espera vis a vis a demanda nas estações e simultaneamente a adequação evolutiva dessa demanda à situação operacional do Sistema de Transporte.

Equilíbrio Social

Visa maximizar o benefício social através do novo Sistema de Transporte Aeromovel que operará as mencionadas linhas, com adequação do valor da tarifa ao perfil de renda do usuário sem onerar o Poder Público, durante o período de concessão.

Entretanto, quando esse valor é ultrapassado, como resultado do Modelo Sistêmico de Engenharia Financeira, compensa-se o equilíbrio financeiro da linha através de menor custo operação em todo o período da concessão, menor investimento inicial e ainda menor prazo de execução.

Além disso, leva-se em consideração a gratuidade para idosos e estudantes estabelecidas em Lei no transporte público que chega a representar quase 20% (17,6%) da demanda atual bem como a manutenção do mesmo valor da tarifa da linha, mesmo na fase de integração com outros sistemas de transporte.

Equilíbrio Ambiental

Visa garantir a compatibilidade das taxas de ocupação de passageiros por m² no interior dos veículos em função do tempo de viagem e da mesma forma nas plataformas das estações em função do tempo de espera pelo Sistema de Transporte.

Tendo como premissa que “o sistema de transporte público não pode ser um indutor de custo social” (Mac Dowell, 2013), o limite fisiológico do Homem precisa necessariamente ser respeitado sob a pena de que o próprio sistema de transporte venha gerar custo social a rede pública de saúde.

Segundo o Prof. Mac Dowell, baseado em estudos realizados pelo Instituto Batelli, para a taxa de ocupação de 4 pass./m² no interior do veículo a viagem nessa situação não deverá ter uma duração superior a 25 min., devendo ser reduzido para apenas 2 minutos para o caso de 6 pass./m².

Além disso, é importante a redução de índices de acidente no sistema viário decorrente em relação à situação atual, redução de emissão de gases poluentes dos veículos rodoviários na Região em face da redução das horas de tráfego congestionado.

Apesar do Sistema de Transporte Aeromovel apresentar baixos níveis de ruído, caso necessário, poderá ser utilizada proteção acústica, através de adoção de barreiras acústicas.

Equilíbrio Urbanístico

Visa induzir a ocupação do solo com o objetivo de racionalizar o uso dos sistema de transporte coletivo ou de massa, através da ampliação do intercâmbio de viagens entre os pontos, ou estações de embarque, com o intuito de reduzir a concentração da demanda no pico horário de entrada de passageiros, ao longo do dia na linha.

GRUPO 2: EQUILÍBRIO TÉCNICO e OPERACIONAL

Equilíbrio Técnico

Visa estabelecer um cronograma de investimento prospectivo em frota, sistemas e equipamentos vinculados tecnicamente e otimizados no tempo a valor presente, compatibilizada a observância dos índices de qualidade pré-estabelecidos para garantir o grupo de equilíbrio descrito no item anterior, (ano a ano por todo período da concessão).

No sistema Aeromovel as obras são executadas com peças pré-moldadas, ressaltando que em Jacarta (Indonésia), a linha de Aeromovel com 3,5 km de extensão e 6 estações foi construída e posta em operação em 8 meses.

Equilíbrio Operacional

Visa estabelecer a capacidade de escoamento compatível com a demanda, evitar acúmulo de veículos nas estações de integração com sistema de ônibus, bem como a compatibilidade das capacidades de transporte dos sistemas que farão integração. Para tanto, a estrutura dos sistemas deve obedecer ao nível de ocupação no interior dos veículos de até 4 passageiros por metro quadrado para tempo de viagem não superior a 25 min, ou de 6 passageiros por metro quadrado não superior a 2 min, como já dito anteriormente.

GRUPO 3: EQUILÍBRIO FINANCEIRO

Visa zerar, além do déficit operacional, os investimentos prospectivos em sistemas e equipamentos vinculados à manutenção da qualidade do nível operacional, para a Sociedade, através da transferência dos encargos à Concessionária privada, mantendo para tal a Taxa Interna de Retorno e o Payback do Acionista. Assim, garantindo que as ações do item anterior satisfaçam simultaneamente ainda o Índice de Cobertura Anual no período do serviço da dívida, portanto relativos aos empréstimos financeiros à Concessionária, que são de sua exclusiva responsabilidade, mas que é fundamental verificar se a solução para cada tecnologia apresenta exequibilidade financeira.

Os riscos podem ser de diversas naturezas:

- a.) Risco Político: mudanças na política pública afetando o Projeto;

- b.) Risco de Frustração de Receitas: principalmente a variação nas projeções de crescimento;
- c.) Risco de Incremento de Custos: variações imprevistas nos custos dos insumos;
- d.) Risco Jurídico: impugnações e reivindicações de direitos adquiridos;
- e.) Risco Cambial: defasagens bruscas entre cotações de moedas vinculadas ao financiamento do Projeto.

Além dos equilíbrios anteriormente citados, tem sido utilizada pelo Prof. Mac Dowell uma modelagem, cuja solução matemática somente foi equacionada em 1985 por SHEFFI¹ e que ainda não se encontra divulgada comercialmente, que distribui o tráfego em uma rota principal para chegada em um determinado ponto de tal maneira que, para se chegar a esse mesmo ponto por rotas alternativas, os tempos se tornam iguais.

Para cada volume horário de tráfego em cada rota, a medida que uma parte do tráfego é absorvida por um outro meio de transporte alternativo, há uma tendência matemática que cada rota tenha o mesmo tempo de viagem que o transporte alternativo. Como exemplo típico, desde que o metrô chegou a Copacabana, o aterro do Flamengo tem tráfego livre durante todo o dia.

Tal modelagem foi utilizada em uma simulação supondo a presença do Aeromovel no trecho Alvorada – Jardim Oceânico e o tempo de chegada ao centro da cidade – Igreja da Candelária, a partir de rotas alternativas (Figura 30) e respectivas velocidades obtidas nesses trajetos (Figura 31).

¹Sheffi, Y. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Models, 1985.

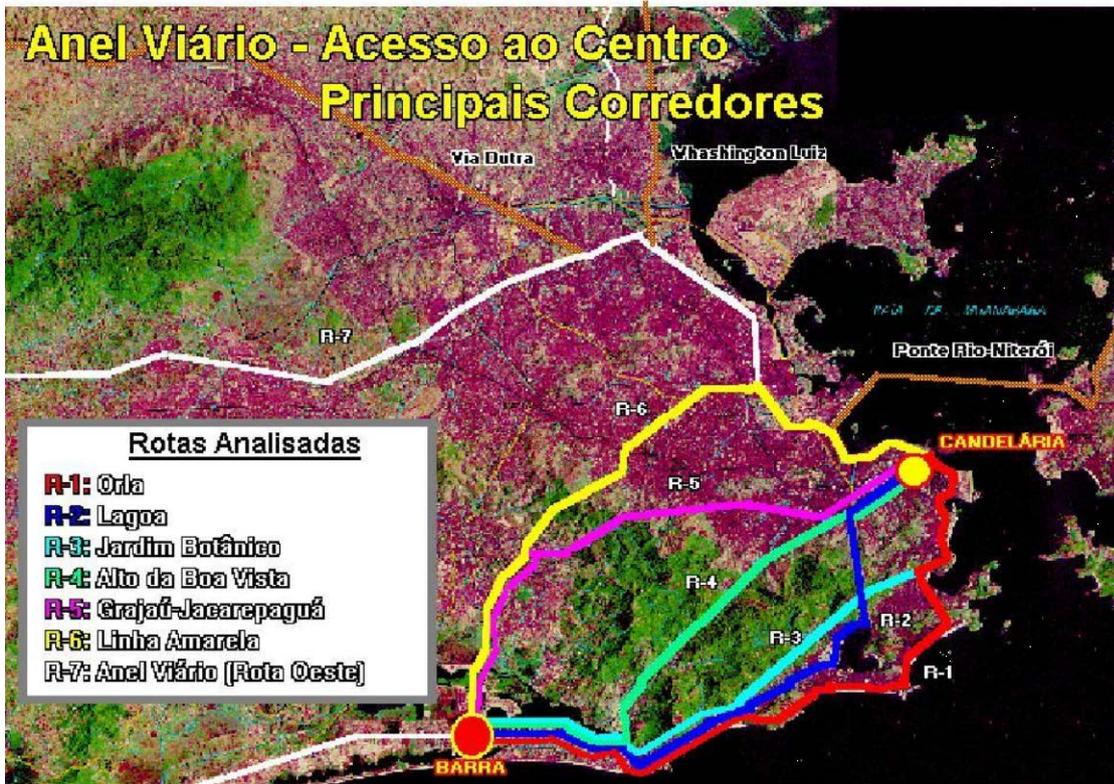


Figura 30 – Rotas alternativas trecho Terminal Alvorada /Candelária.

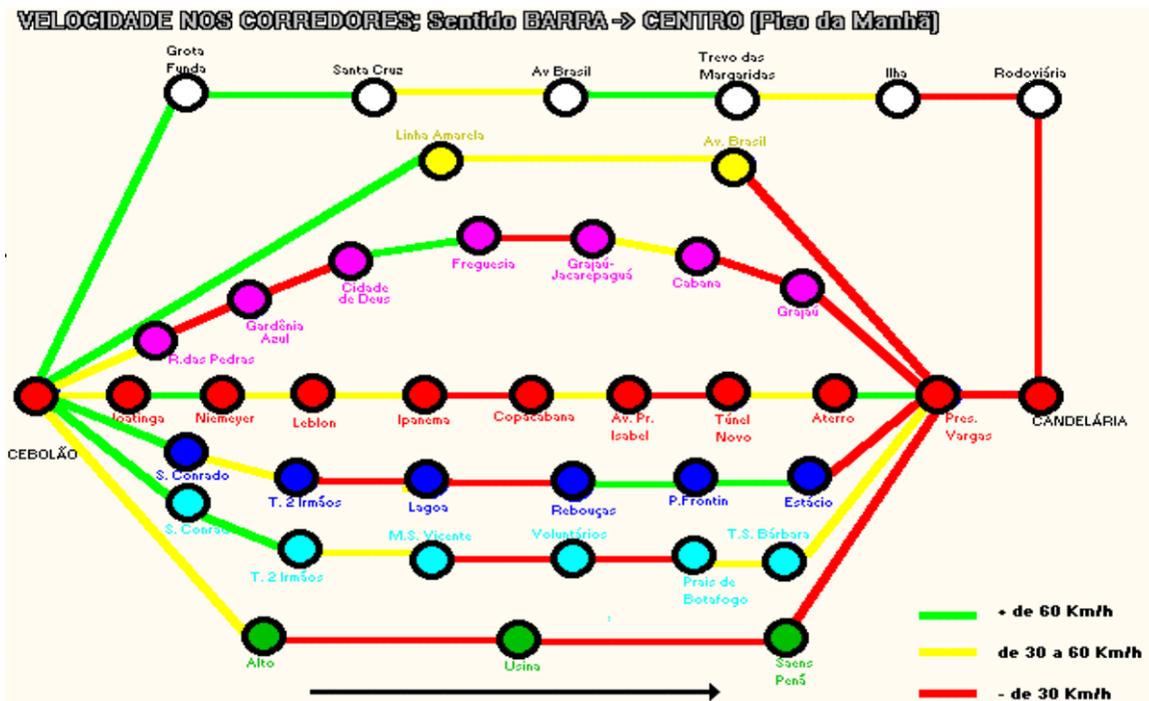


Figura 31 – Velocidades por trecho analisado trajeto Alvorada/ Candelária

A função de SHEFFI é a seguinte:

min

$$y(x) = \sum_n \int_0^{x_n} t_n(w) dw \leftarrow SHEFFI(85)$$

Onde, (n) é a rota específica, (t_n(w)) é a performance da rota (n) (tempo, por exemplo), função do volume de tráfego (w, x_n), sujeita as restrições que todos os volumes em todas as rotas sejam maiores que zero e o fluxo total seja preservado.

$$T_a = \sum_n x_n$$

Os tempos médios de viagem por rota em função do volume horário de tráfego

CÂNDIDO BENICIO/SUBURBANA

$$T1(X1, z1) := 33.07 + 9.59 X1 \cdot z1$$

GRAJAÚ/JACAREPAGUÁ

$$T2(X2, z2) := 31.46 + 12.39 X2 \cdot z2$$

ALTO DA BOA VISTA

$$T3(X3, z3) := 31.34 + 42.55 X3 \cdot z3$$

AV DA AMÉRICAS, JOATINGA

$$T4(X4, z4) := (39.84 X4 z4 + 16.82) \cdot \eta_{44} \left(16.82 + 19.92 X4 \frac{z4}{\alpha} \right) \cdot \eta_{4b}$$

LINHA AMARELA

$$\eta_{5b} = 0.737$$

$$T5(X5, z5) := (4.64 + 12.22 X5 \cdot z5) \cdot \eta_{5b} + (24.44 X5 \cdot z5 + 4.64) \cdot \eta_{5r}$$

$$T5(X5, z5) = 66.534$$

$$\beta := 1$$

$$XI = 2.288$$

$$T_a = 16$$

Volume em função do Volume horário de tráfego X1

CÂNDIDO BENÍCIO/SUBURBANA

$$XI = 2.288$$

GRAJAÚ/JACAREPAGUÁ

$$X2(X1) := 5.649710^{-3} \cdot \frac{(23+137.X1.z1)}{z2}$$

$$X2(XI) = 1.735$$

ALTO DA BOA VISTA

$$X2(X1) := 2.3510^{-4} \cdot \frac{(173+959.X1.z1)}{z3}$$

$$X3(XI) = 0.479$$

AV DAS AMÉRICAS, JOATINGA

$$X4(X1) := 5.0210^{-4} \cdot \frac{(1682.\eta4r + 1682.\eta4b - 3307 - 959.X1.z1)}{z4(2.\eta4r\alpha + \eta4b)}$$

$$X4(XI) = 7.138$$

LINHA AMARELA

$$X5(X1) := 8.183310^{-4} \cdot \frac{(-464.\eta5r + 3307 + 959.X1.z1)}{z5(\eta5b + 2.\eta5r)}$$

$$X5(XI) = 4.36$$

Onde (X), é o volume horário em mil veículos, (T) é o tempo de viagem segundo as rotas indicadas e (z) os fatores de calibração com os tempos observados nas diversas rotas estabelecidas.

Na alternativa, Av. das Américas/Joatinga foi considerada via Lagoa, pelos gargalos que apresenta, portanto, a favor da segurança, razão pela qual foi utilizada a parcela adicional de tempo marginal.

O primeiro passo é a obtenção dos fatores de calibração (x), segundo os tempos obtidos nas rotas estabelecidas.

Dado o sistema:

Given

T1 (X1, z1) = 75 ⇐ via Candido Benício/Suburbana

T2 (X2, z2) = 80 ⇐ via Grajaú/Jacarepaguá

T3 (X3, z3) = 83 ⇐ via Alto da Boa Vista

T4 (X4, z4) = 60 ⇐ via Av. das Américas/Joatinga

T5 (X5, z5) = 59 ⇐ via Linha Amarela

Os resultados:

z1 = 1.525

z2 = 1.631

z3 = 1.726 ⇐ VALORES DA CALIBRAÇÃO

z4 = 0.243

z5 = 0.92

Dessa forma, aplicando o modelo Mac Dowell (MACFUGA 15 02. mcd), para diferentes configurações mostradas anteriormente, quais sejam, situação atual (2015), com e sem a ampliação da Lagoa/Barra, mantendo-se as demais rotas nos esquemas operacionais atuais.

Chega-se, a partir da igualdade dos tempos as equações dos volumes horários no pico matinal de cada alternativa, em função do volume horário X1, da rota alternativa 1.

Volume em função do Volume horário de tráfego X1

CANDIDO BENÍCIO/SUBURBANA

X1

GRAJAÚ/JACAREPAGUÁ

$X2(X1) := 5.6497 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(23+137 \cdot X1 \cdot Z1)}{z2}$

ALTO DA BOA VISTA

$$X3(X1) := 2.35 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(173+959 \cdot X1 \cdot z1)}{z3}$$

AV. DAS AMÉRICAS, JOATINGA

$$X5(X1) := 8.1833 \cdot 10^{-4} \frac{(1682 \cdot \eta4r + 1682 \cdot \eta4b - 3307 - 959 \cdot X1 \cdot z1)}{z4(2 \cdot \eta4r\alpha + \eta4b)}$$

LINHA AMARELA

$$X5(X1) := 8.1833 \cdot 10^{-4} \frac{(-464 \cdot \eta5b - 464 \cdot \eta5r + 3307 + 959 \cdot X1 \cdot z1)}{z5(\eta5b + 2 \cdot \eta5r)}$$

Linha 4

O percentual de retirada de veículos a partir da Barra, em função do tempo de viagem no metrô T_m .

Esse tempo na Linha 4 entre a Barra e a Arcoverde é de 20 min, mais o tempo de viagem de 13 min na Linha 1 entre a estação Arcoverde e a estação Uruguaiana, perfaz o tempo total de 33 min.

$$P(T_m, X1) := \left[1 - \int_0^{\frac{T_m}{T_4(X_4(X1), z4)}} \beta 1^{n1+1} \cdot (X)^{n1} \cdot e^{-\beta 1 X} \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot n1 \cdot n1^{n1} \cdot e^{-n1}}} dX \right]$$

De quanto será aliviado o tráfego apenas por conta do tempo de viagem com a re-arrumação do tráfego quando a Linha 4 estiver operando completa?

Linha 4

$$X6(X1, Ta) := Ta \cdot P(T_m, X1)$$

Dessa forma, minimizando a função de SHEFFI.

$$E(X_1) = \left[\int_0^{T_a - \beta - X_1 - X_2(X_1) - X_3(X_1) - X_4(X_1) - X_5(X_1) - X_6(X_1, T_a)} T_1(X, z) dX + \int_0^{T_a - \beta - X_1 - X_2(X_1) - X_3(X_1) - X_4(X_1) - X_5(X_1) - X_6(X_1, T_a)} T_2(X, z) dX \dots \right]$$

$$+ \int_0^{T_a - \beta - X_1 - X_2(X_1) - X_4(X_1) - X_5(X_1) - X_6(X_1, T_a)} T_3(X, z) dX \dots$$

$$+ \int_0^{T_a - \beta - X_1 - X_2(X_1) - X_3(X_1) - X_5(X_1) - X_6(X_1, T_a)} T_4(X, z) dX \dots$$

$$+ \int_0^{T_a - \beta - X_1 - X_3(X_1) - X_4(X_1) - X_5(X_1) - X_6(X_1, T_a)} T_5(X, z) dX \dots$$

$$+ \int_0^{T_a - \beta - X_1 - X_2(X_1) - X_3(X_1) - X_4(X_1) - X_5(X_1)} T_m dX$$

Given $T_a := 10000$

$$X_1 + X_2(X_1) + X_3(X_1) + X_4(X_1) + X_5(X_1) + X_6(X_1, T_a) = T_a$$

$X_1 := \text{Minimize (F, } X_1)$

$$X_1 = 0.405$$

$$X_1 = 0.405$$

Os resultados:

Substituindo a variável X_1 (volume horário) nas respectivas expressões obtém-se em cada rota os novos volumes que fornecem a tendência de tempos iguais.

SITUAÇÃO DO AEROMOVEL: CHEGANDO NA ESTAÇÃO JARDIM OCEÂNICO DA LINHA 4 DO METRÔ. (x 100 veículos/hora de pico)

$X_1 = 0.405$ \Leftarrow via Cândido Benício/Suburbana

$X_2(X_1) = 0.373$ \Leftarrow via Grajaú/Jacarepaguá

$X_3(X_1) = 0.104$ \Leftarrow via Alto da Boa Vista

$X_4(X_1) = 3.185$ \Leftarrow via Av. Das Américas/Joatinga

$X_5(X_1) = 2.42$ \Leftarrow LINHA AMARELA

$X_6(X_1, T_a) = 9.994 \times 10^3$ \Leftarrow ENTRADA DE PASSAGEIROS NO METRÔ

Linha 4 na Estação Jardim Oceânico

Estes volumes em cada uma destas rotas garantem respectivamente o mesmo tempo médio de viagem (min) entre a Barra e o Centro, que na situação atual é de 39 min, a tendência dos tempos iguais nas rotas alternativas.

Observe os resultados.

RESULTADO: Observa-se os tempos iguais nas rotas alternativas.

T1(X1, z1) = 39min	⇐ via Cândido Benício/Suburbana
T2(X2(X1), z2) = 39min	⇐ via Grajaú/Jacarepaguá
T3(X3(X1), z3) = 39min	⇐ via Alto da Boa Vista
T4(X4(X1), z4) = 39min	⇐ via Av. Das Américas/Joatinga
T5(X5(X1), z5) = 39min	⇐ Linha Amarela

$T_m = 39 \leftarrow$ minutos

Para confirmação da demanda de passageiros, obtida por ocasião da utilização da função de SHEFFI, foi realizada ao longo dos 6 km das Av. das Américas onde poderia ter sido implantado o sistema Aeromovel, uma amostragem para verificar o quantitativo de pessoas por hora que poderiam utilizar o referido sistema, considerando as mesmas localizações das sete futuras estações do BRT. Esta amostragem verificou um quantitativo de demanda de 10.000 pessoas por hora no referido trecho, confirmando a ordem de grandeza da demanda obtida a função de SHEFFI.

6

Considerações Finais

O tema do presente trabalho é voltado para um melhor conhecimento e divulgação do Sistema APM Aeromovel, cuja efetiva implantação operacional só foi possível após décadas de perseverança pessoal do seu inventor Oskar Coester.

Comparativamente com outros sistemas de transporte de média capacidade, o Aeromovel requer muito menos manutenção devido a simplicidade e robustez das partes componentes. O reduzido número de componentes do sistema e a utilização de partes padronizadas do mercado tornam possível a manutenção sem dependência exclusiva de fornecedores de componentes específicos ou mesmo de importação de peças.

Todos os elementos críticos para a operação do sistema são especificamente projetados e fabricados para serem fácil e rapidamente substituídos por componentes reservas. Conforme a complexidade e extensão da linha, é possível realizar toda a manutenção dos veículos nas próprias estações, dada a simplicidade e características dos sistemas instalados.

O Sistema Aeromovel tem como vantagem primordial o fato de que todos os seus componentes serem fabricados e fornecidos por empresas brasileiras, de fácil obtenção no mercado, bem como baixa manutenção devido a simplicidade de seu projeto.

Com relação a segurança, a via elevada evitaria completamente todas as ocorrências de atropelamentos por invasão da via por pedestres e colisões com outros veículos, como já ocorre frequentemente com o BRT, garantindo a regularidade na operação.

A partir da inauguração da primeira linha comercial em Porto Alegre no ano de 2013, onde até o momento já foram transportados mais de 1.800.000 de passageiros, foi possível comprovar a eficácia do sistema e sua regularidade por ser totalmente automatizado. Devido ao sucesso comercial dessa linha, já encontra-se licitado e em fase de projeto desde junho/2015, a implantação do Aeromovel no município de Canoas – RS, em um trecho de 12km, com previsão de início de operação em novembro de 2016.

Em particular na cidade do Rio de Janeiro, sua implantação em lugar do BRT em determinados casos como transporte intermodal, certamente seria mais eficiente devido a sua maior capacidade e regularidade de operação.

Os resultados obtidos na simulação de implantação do Sistema Aeromovel no trecho Jardim Oceânico/ Terminal Alvorada, através da modelagem utilizada pelo Prof. Mac Dowell, a partir da minimização da função de SHEFFI, confirmam que o mesmo é capaz de absorver com regularidade e capacidade toda a demanda de passageiros provenientes da estação Jardim Oceânico da Linha 4 da Metrô além de possibilitar um equilíbrio no volume de tráfego nas demais rotas alternativas em direção ao centro da cidade.

A partir de agora, faz-se necessário para a continuidade de desenvolvimento do Sistema Aeromovel, um olhar diferenciado do poder público para os resultados expressivos já alcançados e coragem para apoiar um projeto de transporte genuinamente brasileiro, idealizado dentro de suas fronteiras, que compete com interesses e investimentos gigantescos feitos em outras tecnologias com a mesma finalidade.

Referências bibliográficas

EDITORA PINI – Infraestrutura Urbana – Aeromovel de Porto Alegre, 2014.

MAC DOWELL DA COSTA, F.L.C. Estudo Sistêmico de Concessão à Iniciativa Privada para Implantação do Aeromovel: Linha Anel Central e Linha Santa Rita no Município de Nova Iguaçu. 185fl, 2012 – Trabalho Vencedor do PAC das Médias Cidades.

MAC DOWELL DA COSTA, F.L.C. Estudo Sistêmico de Viabilidade Técnico, Socioeconômica, Financeira e Ambiental para Implantação do Sistema Aeromovel em Campos dos Goitacases - RJ, LINHA 1 entre os bairros Aeroporto e Jockey, com extensão aproximada de 13 km. 101fl, 2012 – Trabalho Vencedor do PAC das Médias Cidades.

MAC DOWELL DA COSTA, F.L.C. Elaboração de Estudo Sistêmico de Demanda e de Engenharia Financeira, para implantação da linha Aeromovel Guajuviras, na cidade de Canoas, com extensão de 6 km e 10 estações. 82fl, 2014 - Trabalho Vencedor do PAC das Médias Cidades.

MAC DOWELL DA COSTA, F.L.C. Análise Sistêmica da Ligação São Gonçalo à Estação Parada 40 da Linha 3 do Metrô do Rio de Janeiro. 142fl, 2008.

MANNERING, F.H. Pennsylvania State University. **Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis**, 5ª Edição, 2012.

MEDEIROS, C.M. Tecnologia Aeromovel no Transporte de Massa, 204fl, 1985.

SHEFFI, Y. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Models, 1985.

TRENSURB – Estudo de Viabilidade Urbana do Aeromovel em Porto Alegre, 15fl, 2009.

8

Apêndice

Por ocasião da visita à Coester Automação S.A. (Figura 32), foi realizada uma breve entrevista com o Engenheiro Coester, abordando alguns temas relativos ao Aeromovel, transcrita a seguir:



Figura 32 – Sede da Coester Automação S.A. (Abrahão, 2014).

Quais princípios definiram a concepção do Aeromovel?

Coester – O Aeromovel foi concebido para funcionar vencendo os obstáculos naturais do cenário urbano, por isso projetado em vias elevadas, no sistema roda-trilho, propulsão baseada no barco à vela e com drástica redução do peso morto. Isso porque, o desperdício de energia na movimentação de muito peso morto e com pouca carga útil tem um preço ambiental incalculável.

A principal vantagem do Aeromovel é a capacidade de levar mais carga útil e menos peso morto, ou seja, esse sistema gasta muito menos recursos com

infraestrutura, resultando em eficiência e um baixo impacto ambiental. Isto é, mais carga útil, pessoas e menos peso morto.

Poderia citar um exemplo?

Coester - O que considero mais importante é que um automóvel, em média, pesa mais 1000 kg cada um e a ocupação dos automóveis nos centros urbanos é 1,2 passageiros por veículo. A média de carga útil desse tipo de veículo é em torno de 100 kg, assim se está aproveitando cerca de 10% do peso do veículo para transportar carga útil, sendo que tudo se desgasta em função do peso. O custo que se tem na mobilidade não interessa se está carregando peso morto ou carga útil e esse é um dos fatores de maior importância no conceito do Aeromovel, transportar pessoas e não peso morto.

E quanto a eficiência energética?

Coester – Todos os meios de sustentação, roda-trilho, pneu, colchão magnético, colchão de ar, todos são meios de sustentar e movimentar veículos e tem um gasto de energia para vencer o atrito e começar a andar. Um exemplo, uma carga de 1 tonelada em cima do sistema roda-trilho não sobe grandes elevações, ao contrário do pneu que sobe qualquer rampa, é o caso do automóvel.

Contudo, ambos são importantes, cada um dentro de um contexto específico e com finalidades diferentes. O Aeromovel foi desenvolvido para ser uma alternativa para o transporte público urbano de forma segura, rápida e eficiente.

O Sistema Aeromovel é uma alternativa para o transporte público urbano?

Coester – O Aeromovel é uma nova e moderna opção de transporte público, um sistema com tecnologia 100% nacional, podendo chegar a 80 km/h. Um sistema de transporte em via elevada que ignora os obstáculos existentes nas ruas e avenidas, simples de operar e de rápida e fácil implantação. Possui operação automática requerendo reduzido número de funcionários, baixo consumo energético decorrente do pouco peso morto transportado além de não poluente e ainda Headway reduzido ou seja elevada frequência.

Trata-se de um projeto flexível, adaptável a diferentes locais, podendo ser expandido gradativamente.

O Aeromovel poderia representar a efetivação de uma cultura de inovação tecnológica no Brasil?

Coester - A dificuldade é entender o que está se fazendo, e isso se aplica a diversas áreas, não somente ao Aeromovel e é um processo demorado. No entanto, é preciso repensar o planejamento urbano, a forma de organizar a cidade, trabalho, comércio, o desenvolvimento social e econômico, os fatores que estruturam a vida. Por exemplo, porque não fazer centros industriais próximos a bairros residenciais, desde que não seja poluente?

O problema começa quando se tem que transportar milhares de pessoas ao trabalho. Hoje não se coloca transporte num lugar em que não há morador e ninguém mora lá se não tiver transporte. A partir daí começa a existir uma série de complicações.

O Aeromovel é um conceito novo e tem várias aplicações, é uma alternativa para movimentar pessoas e cargas com qualidade. A sobrevivência do conceito Aeromovel em todos esse anos e com todas as dificuldades, é um indício que o projeto tem méritos para vencer por conta própria.

O Sistema Aeromovel será um meio de transporte viável?

Coester – Se considerarmos somente os fatores técnicos, não há nenhuma dúvida. Agora se dependermos dos fatores políticos, a realidade pode ser outra. O investimento do Aeromovel é um terço menor do que qualquer outra tecnologia APM – Automated People Movers, comprovado por estudo de uma consultoria norte-americana, mas, infelizmente, compete com interesses e investimentos gigantescos feitos em outras tecnologias com a mesma finalidade.