

O Sistema Aeromovel como Proposta de Extensão da Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro (Barra da Tijuca)

Ricardo Atta Abrahão

Mestrado Profissional em Engenharia Urbana e Ambiental, PUC-Rio, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, ricardoatta@terra.com.br

Fernando Luiz Cumplido Mac Dowell da Costa

PUC-Rio, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, fmcdowl7@uol.com.br

Celso Romanel

PUC-Rio, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, romanel@puc-rio.br

RESUMO: O Sistema Aeromovel é um meio de transporte automatizado em via elevada, de concepção brasileira, que utiliza veículos leves, não motorizados, sem condutores a bordo, necessitando de estruturas de sustentação esbeltas. Sua propulsão é pneumática, na qual uma corrente de ar é gerada por ventiladores centrífugos industriais de alta eficiência energética, conduzida através de um duto localizado dentro da via elevada. A pressão do ar atua sobre uma placa metálica, semelhante uma vela de barco invertida fixada por uma haste ao veículo, que provoca o movimento do mesmo sobre rodas de aço apoiadas em trilhos guia. No município do Rio de Janeiro, como parte do legado dos Jogos Olímpicos de 2016, a recém construída Linha 4 do Metrô ligará o bairro de Ipanema ao Jardim Oceânico na Barra da Tijuca, uma antiga reivindicação dos seus moradores. Nesse projeto, como extensão da Linha 4 ao Terminal Alvorada de ônibus, distante 6km pela avenida das Américas, optou-se pela continuidade do chamado trecho 0 da linha Transoeste do Sistema BRT que, certamente, não será suficiente para absorver os passageiros que utilizam o Metrô. Uma solução alternativa, que poderia ter sido avaliada, seria a ligação do referido trecho por veículos do Sistema Aeromovel, cuja economia e capacidade seriam certamente superiores as dos veículos BRT, além de apresentarem vantagens importantes nos aspectos de segurança, economia, eficiência e por não emitirem gases poluentes para a atmosfera.

Palavras chave Aeromovel; Via elevada; Propulsão Pneumática; BRT; Rio de Janeiro

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa e o desenvolvimento de novas alternativas para melhoria do transporte urbano de passageiros têm aumentado 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 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 vias a nível do solo (ruas, avenidas, ferrovias, ciclovias, etc...), se tornando, em muitos casos, em possibilidade única para evitar desapropriações ou demolições, sobretudo onde já não é mais possível melhorar ou revitalizar o transporte urbano, por falta de espaço físico no terreno ou devido aos custos, na maioria dos casos proibitivos, de vias subterrâneas.

O objetivo do presente trabalho é divulgar a aplicabilidade do sistema APM Aeromovel, meio de transporte urbano automatizado em via elevada, de concepção inteiramente brasileira, como alternativa de transporte urbano em grandes cidades brasileiras. O sistema 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 acidente.

Esse meio de transporte, por sua maior capacidade e regularidade, poderia então ter sido considerado como alternativa ao sistema BRT para ligação de 6km, inaugurada em agosto de 2016, entre a estação Jardim Oceânico, término da Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro, ao Terminal de Ônibus Alvorada, na Barra da Tijuca.

2. O AEROMOVEL

O Aeromovel é um meio de transporte 100% automatizado, sem condutores a bordo, movido por meio de propulsão a ar. É 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, localizados junto às estações de passageiros, enviam o ar pelo interior da via elevada. A propulsão é pneumática, utilizando gradientes de pressão que se estabelecem no interior de um duto localizado na via elevada logo abaixo do veículo (Figura 1) e que movimentam o mesmo através do empuxo fornecido a um painel solidário ao veículo, semelhante a uma vela de barco invertida (Figura 2). A operação do veículo se beneficia da redução do peso-morto por passageiro transportado, uma vez que não tem motor embarcado. Comparado a qualquer veículo que se desloca 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.

Trata-se de um meio de transporte não convencional classificado na categoria APM (*Automated People Movers*), que não veio para substituir os meios convencionais de

transporte, mas sim para complementá-los, pois atende ao transporte de massa de média capacidade (25 mil passageiros por hora) e se propõe alimentar o transporte-tronco de alta frequência, como o metrô.

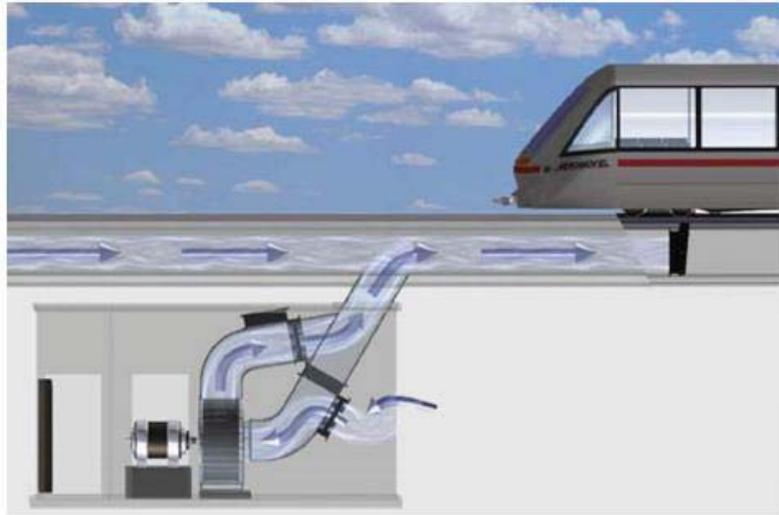


Figura 1 – Sistema de propulsão do aeromóvel (Coester, 2014).

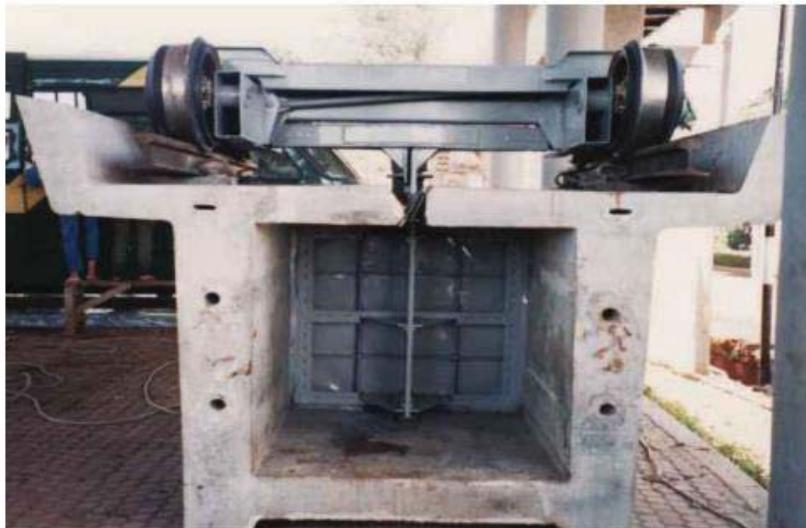


Figura 2 - Detalhe da vela invertida no interior da viga pré-moldada (Coester, 2014).

O vagão do Sistema Aeromovel foi projetado com a mesma bitola de 1,60 m em uso nos trens dos metrô do Rio e de São Paulo, com vãos de porta de 1,50m. Pode atingir velocidade máxima de 80 km/h, com capacidade de até 300 passageiros, sendo 100% mais rápido se comparado aos ônibus convencionais, em horário de trânsito, e cerca de 30% mais rápido em relação ao sistema BRT (*Bus Rapid Transit*).

O regime de demanda de potência e consumo energético é variável durante a operação do veículo em cada trecho. Quando o mesmo está parado na estação, o consumo é bastante reduzido, pois o motor apenas mantém o movimento do ventilador. Na fase de aceleração, a potência e o consumo vão gradualmente aumentando conforme o veículo atinge maior velocidade; quando esta se torna 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. Na fase de desaceleração, até a efetiva

parada do veículo na estação, a energia cinética é suficiente para manter o movimento, possibilitando que o grupo motor-ventilador retorne o estado de consumo de energia mínimo. O veículo controla automaticamente a taxa de desaceleração através de um microprocessador de freio a bordo, garantindo também precisão na parada na estação.

Uma descrição mais detalhada do Aeromovel sob ponto de vista mecânico e operacional pode ser encontrada em várias publicações da literatura, dentre as quais Abs et al. (2016), Silva (2013), Kunz et al. (2011), Brito (2008), Perondi et al. (2008) e Rogers (1997).

2.1 Principais características

- a) Tecnologia inovadora, inventada e desenvolvida no Brasil
- b) Cadeia de suprimentos locais baseada em componentes industriais padrão (*off-the self*)
- c) Baixos custos de implantação
- d) Construção rápida em módulos de concreto pré-fabricados
- e) Via elevada esbelta e de baixo impacto visual
- f) Baixo consumo de energia por utilizar veículos leves
- g) Estações compactas, pequenos intervalos entre viagens
- h) Operacional em curvas fechadas (25m) e subidas íngremes (até 12%)
- i) Descarrilamento é impedido pela placa de propulsão que prende o veículo na via elevada
- j) Seguro contra colisões devido ao colchão de ar comprimido formado entre dois veículos
- k) Duplo sistema de frenagem (pneumático e de fricção)

2.2 Impactos ambientais

Sob o ponto de vista de impactos ambientais, o Aeromovel utiliza ar como fonte de energia para sua locomoção, não poluindo o ambiente. É extremamente silencioso, uma vez que as fontes de vibração (motores elétricos) encontram-se afastadas dos veículos, em módulos facilmente isoláveis com métodos tradicionais. O impacto da construção da via na paisagem urbana também é pequeno, pois os pilares e as vigas de sustentação são menos espessas do que as utilizadas por mon trilhos e também não há necessidade de muitas desapropriações de imóveis, como na construção de trechos de metrô ou BRT.

2.3 Conforto e segurança

Segurança é outro ponto positivo do Aeromovel, pois o trem a ar não descarrila e não colide com outro, devido às características inatas do projeto, que impedem a aproximação entre veículos adjacentes, evitada pela compressão do ar dentro do duto que mantém afastadas entre si as placas que impulsionam os veículos. Este atributo caracteriza-se pelo fato de que as placas de propulsão atuam como pistões fixos, vedando o duto de propulsão.

Para os passageiros, em caso de falta de energia elétrica ou paralisação do sistema por outros motivos, com o veículo fora da estação, saídas de emergência situadas nas cabeceiras dos veículos permitem o acesso dos passageiros à via elevada para servir como passarela até a estação mais próxima. Os trilhos são alimentados com baixa tensão (55V

CA), sem apresentar perigo de choque elétrico quando energizados. O sistema de movimentação e frenagem é totalmente automatizado, sem intervenção de condutor e controlado em centrais de operação.

O conforto está relacionado à melhor acessibilidade e distribuição do espaço interno, com espaço reservado para cadeirantes e idosos, deslocamento silencioso sem ruído de motores além de climatização interna dos veículos. O sistema de controle do Aeromovel abrange todos os aspectos da operação, desde a abertura e fechamento das portas, velocidade, aceleração / desaceleração durante a viagem. 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.

2.4 Custos

Outra vantagem do Aeromovel é o fato da cadeia de suprimentos ser 100% nacional e o veículo ser até quatro vezes mais leve do que outros modelos sobre trilhos, fatores que diminuem os custos do sistema. O reduzido peso-morto por passageiro transportado é alcançado devido ao caráter passivo do veículo, resultando em um baixo custo de investimento e baixos custos de operação e manutenção. O consumo energético equivalente encontra-se em patamares inferiores à metade dos observados nos sistemas sobre pneus e a sua implantação custa em média 1/4 menos do que os modais da mesma categoria.

3. APLICABILIDADE DO AEROMOVEL NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

A cidade do Rio de Janeiro recentemente passou por uma série de intervenções na área de transportes urbano com o objetivo de melhorar a mobilidade urbana e prepara-la para sediar competições esportivas internacionais como a Copa do Mundo de 2014 e os Jogos Olímpicos de 2016. Foram implantados diversos corredores segregados para ônibus expressos (BRT), formando as linhas Transbrasil, Transoeste e Transolímpica. Esses corredores, concebidos para introduzir o conceito de substituição do trânsito individual por um sistema de transporte coletivo, teve como principal atrativo a possibilidade de proporcionar uma diminuição do tempo de deslocamento, uma vez que os coletivos não enfrentariam os constantes engarrafamentos das vias da cidade.

Entretanto, o sistema BRT não vem obtendo os resultados anunciados e esperados, uma vez que os ônibus articulados, devido a sua atual pouca capacidade de transporte, não tem conseguindo absorver todos os usuários, resultando em problemas crônicos de superlotação e reclamação de usuários nos horários de pico.

Desconsiderando a opinião de diversos especialistas da área de transportes, a Linha 4 do Metrô, ligando os bairros de Ipanema à Barra da Tijuca, inaugurada em agosto de 2016 com capacidade de transportar aproximadamente 100.000 passageiros/dia, não foi estendida até o Terminal Rodoviário Alvorada, 6km além da estação final Jardim Oceânico na Barra da Tijuca. Com isto, houve a necessidade de providenciar uma interligação entre o metrô e os sistemas BRT, concentrados no terminal rodoviário, optando-se pela

construção da extensão da linha BRT Transoeste ao longo da avenida das Américas (Figura 3).

Devido à baixa capacidade dos ônibus BRT (200 pessoas), provavelmente operado em intervalos inconstantes, não se conseguirá absorver o fluxo de passageiros previsto na linha 4 do metrô, gerando problemas de superlotação similares aos existentes nas demais linhas BRT.



Figura 3 - Traçado do BRT Transoeste na Barra da Tijuca entre o Terminal Alvorada e a estação Jardim Oceânico do metrô (Fonte: Abrahão, 2015)

O principal problema desta ligação baseada em BRT, com capacidade para até 3.400 passageiros por hora, será atender à demanda do metrô de até 8.000 passageiros por hora, com intervalo programado de aproximadamente 4 minutos. Isto significa dizer que para integração destes dois sistemas haveria necessidade de diminuir consideravelmente os intervalos de viagens entre ônibus, situação que deve provocar superlotação da estação Jardim Oceânico, com dificuldades de transbordo de passageiros principalmente nos horários de maior demanda.

Nesse contexto, uma alternativa viável seria a implantação do Sistema Aeromovel no trecho Jardim Oceânico/ Terminal Alvorada, infelizmente não contemplada, 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, pelo fato do trajeto ser em via elevada pelo canteiro central da avenida das Américas, seria evitar cruzamentos de trânsito, sem grandes interferências nesta importante via de tráfego, ou modificações nas áreas verdes da região.

A grande versatilidade do Sistema Aeromovel lhe conferem grande vantagem entre conexões de diferentes modos de transporte, neste caso específico entre o metrô e linhas de ônibus existentes no terminal rodoviário. Com relação aos custos de implantação, o Aeromovel também se beneficia da ocupação vertical do espaço urbano, com a dispensa de onerosas ampliações nas pistas de rolagem e outras intervenções como construção de viadutos e mergulhões.

4. CONCLUSÃO

Comparativamente com outros sistemas de transporte de média capacidade, o Aeromovel requer muito menos manutenção devido à sua inerente simplicidade e robustez. O reduzido número de componentes do sistema e a utilização de peças padronizadas disponíveis no mercado tornam os procedimentos de manutenção independentes de fornecedores exclusivos ou de importação de componentes especiais.

Trata-se de um sistema seguro, trafegando em via elevada para evitar colisões e atropelamentos, silencioso, econômico, que não prejudica o meio ambiente em virtude de operar com ar sem geração de gases poluentes liberados para a atmosfera.

Sua possível implementação na cidade do Rio de Janeiro, na ligação entre o Terminal Rodoviário Alvorada (ônibus BRT) e o Terminal do Jardim Oceânico (linha 4 do Metrô) foi discutida neste trabalho e apontada como solução mais eficiente do que a alternativa de extensão da linha BRT Transoeste. A maior capacidade de transporte de passageiros, com regularidade de operação, poderia absorver a demanda de todos os passageiros do metrô, além de possibilitar maior equilíbrio no volume de tráfego nas demais rotas alternativas entre o bairro da Barra da Tijuca e o centro da cidade do Rio de Janeiro .

REFERÊNCIAS

- ABRAÃO, R. A. 2015. *Uma proposta de extensão da linha 4 do metrô do Rio de Janeiro (Barra da Tijuca) pelo sistema Aeromovel*. Dissertação de Mestrado Profissional em Engenharia Urbana e Ambiental. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio. 74pp.
- ABS, D.; COESTER, M.; DETONI, J.; MORI, D.; CASTANEDA, S.; KASPER, H. e REIS, E. 2016. The Aeromovel Project for Airport Applications. *Proceedings of the 15th International Conference on Automated People Movers and Automated Transit Systems*. Ontario, Canada. ASCE. pp. 41-56.
- BRITTO, J.F.F.H. 2008. Dynamic Modelling of the Aeromovel Transport System. *Master's Dissertation*. UFRGS. (in Portuguese)
- KUNZ, G.; PERONDI, E.A.; Machado, J. 2011. A Dependable Automated People Mover System Modeled and Verified Using Timed Automata: A Case Study, *Proceedings of the 21st International Congress on Mechanical Engineering*, Natal, RN. Brasil.
- MAC DOWELL DA COSTA, F.L.C. 2012. 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. 101pp. Trabalho Vencedor do PAC das Médias Cidades.
- MAC DOWELL DA COSTA, F.L.C. 2014. 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. 82pp. Trabalho Vencedor do PAC das Médias Cidades.

- PERONDI, E.A.; SOBCYKS, M.R.; BRITTO, J.F.F.H. 2008. Controle em cascata e a Estrutura Variável Aplicada ao Seguimento de Trajetória de um Trem Urbano Movido a Ar (Sistema Aeromovel). Anais do XVII Congresso Brasileiro de Automática. Porto Alegre, RS.
- ROGERS, L.H. 1997. Aeromovel's Participation in the International Quest for Effective Mobility. *Proceedings of the 6th International Conference on Automated People Movers*. Las Vegas, Nevada. ASCE. pp. 563-574.
- SILVA, S.N. 2013. Análise da Sustentabilidade e Eficiência de Sistemas de Transporte Urbano por Meio de Ferramentas Termodinâmicas. *Tese de Doutorado*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PERONDI, E.A.; SOBCYKS, M.R.; BRITTO, J.F.F.H. 2008. Controle em cascata e a Estrutura Variável Aplicada ao Seguimento de Trajetória de um Trem Urbano Movido a Ar (Sistema Aromovel). Anais do XVII Congresso Brasileiro de Automática. Porto Alegre, RS.