

# VANTAGENS ECONÔMICAS E AMBIENTAIS INERENTES À TECNOLOGIA AEROMOVEL

Banning Garrett

A Aeromovel Brasil oferece uma tecnologia de sistema de trânsito automatizada superior se comparada com outros sistemas existentes ou planejados para o futuro. Em comparação com qualquer outro sistema elevado, o Sistema Aeromovel é substancialmente mais eficiente em termos de energia, com instalação, operação e manutenção menos onerosa, com uma estrutura de via mais esbelta, com seção de pilares menores, ocupando assim menos espaço e causando menos interferência em seu processo de instalação.

As vantagens do sistema recaem na própria natureza de sua tecnologia. É o sistema de propulsão pneumático patenteado da Aeromovel que permite um inerente sistema de transporte automático (APM) mais econômico e ambientalmente sustentável. Além disto, o Aeromovel, assim como o carro elétrico e o hyperloop, é a concretização de uma ideia inovadora do século 19, que somente agora se tornou tecnologicamente realizável e economicamente rentável.

## De volta ao Futuro

A tecnologia pneumática Aeromovel segue um padrão de ideias que nascem em um tempo anterior ao que elas podem ser efetivamente realizadas. É uma invenção brilhante, mas a tecnologia existente na época de sua concepção para efetivar sua inovadora ideia era ainda imatura ou inexistente. Os primeiros experimentos ou produtos são promissores, mas desapontadores como sistemas práticos. Estes sistemas são ultrapassados na prática por sistemas menos avançados em termos tecnológicos, mas mais práticos com base na tecnologia existente. Mas, eventualmente, as soluções tecnológicas mais avançadas amadurecem e possibilitam a realização da ideia anterior. Finalmente, a nova tecnologia vence e vem a substituir a solução provisória adotada anteriormente.

Observamos este padrão no carro elétrico. Os primeiros carros elétricos foram construídos no

início do século 19 e no início do século 20, eles se tornaram mais populares que os carros com motores à combustão interna (MCI), tendo 38% do mercado consumidor, contra os 22% dos carros MCI e com os 40% dos carros movidos a vapor.

O primeiro veículo de qualquer tipo a quebrar a barreira de velocidade dos 100 km/hora foi o elétrico. Mas estes carros tinham pesadas baterias de chumbo com pouca autonomia e eram tão caros quanto os carros com motor à combustão interna. Na década de 1910, Henry Ford os tornou acessíveis com as linhas de produção do carro **Modelo T** e pelo incentivo do estado através de fornecimento de combustível barato com o surgimento da nova indústria do petróleo. Na década de 1930, a produção de carros elétricos se encerrou pela competitividade e escolha do mercado pelos carros de motores de combustão interna.



Fonte: boereport.com



Fonte: www.flickr.com/photos/automobileitalia/44751575205

Fotos de um carro elétrico construído por Thomas Perker na Inglaterra, em 1895, e a Tesla Modelo 3.

O motor de combustão interna (MCI) tem sido a tecnologia dominante para carros e caminhões no último século, mesmo sendo uma tecnologia muito complicada, de construção cara, altamente ineficiente, e tendo um sistema de acionamento pesado que também requer um sistema de transmissão igualmente pesado e complexo.

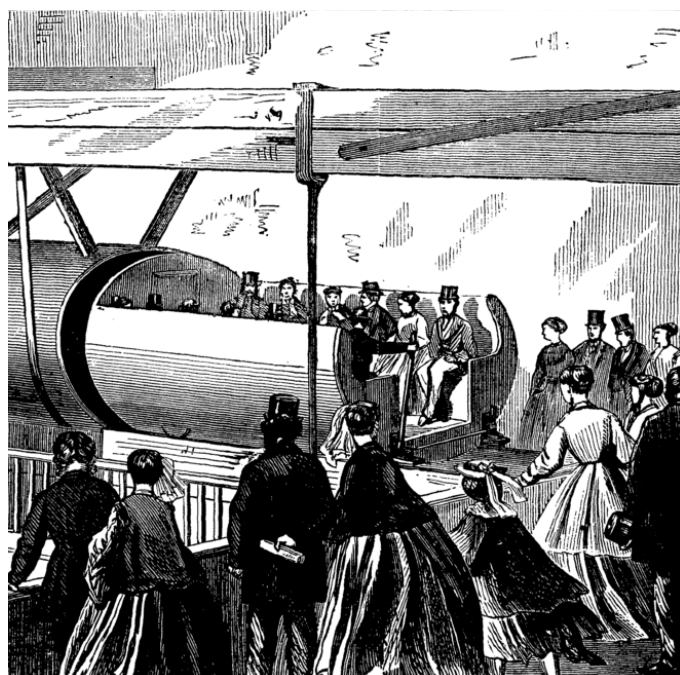
Os carros com motor à combustão interna (MCI) foram desenvolvidos para serem carros com baixo consumo de combustível, mas a tecnologia quase que atingiu seus limites com apenas ganhos incrementais. No meio tempo, desenvolvimentos tecnológicos tornaram os carros elétricos cada vez mais viáveis. Sua principal desvantagem tem sido o custo e a variedade de baterias para alimentá-los. Mas, a tecnologia das baterias vem se desenvolvendo e seu custo caindo rapidamente. Ultimamente, os carros elétricos são mais simples, com poucas partes móveis e com unidades de tração mais leves. Eles terão sua construção, operação e manutenção mais econômica. Além disto, os carros elétricos estão se tornando iPhones com rodas, aproveitando todos os avanços extraordinários das tecnologias e sensores digitais das últimas décadas, desde microchips à internet, passando pelo sistema GPS, até se tornarem em um futuro breve veículos autônomos.

O carro com motor à combustão interna (MCI) não irá desaparecer de um dia para outro, mas é uma tecnologia provisória que provavelmente se tornará uma atração no futuro. Como o The Economist publicou em sua edição de agosto de 2017, "o motor à combustão interna funcionou bem, mas seu fim

é previsível ...". O carro com motor à combustão interna (MCI) pode ser comparado ao Tubo de Raios Catódicos (TRC), monitor de televisão ou de computador que é pesado, grande e caro para ser fabricado e transportado.

Assim que a tela plana se tornou suficientemente boa e suficientemente econômica, ela provou ser superior ao TRC, o qual praticamente desapareceu – e agora as telas planas são muito superiores aos TRCs em termos de performance e de custo. O mesmo é provável que aconteça com os carros com motor à combustão interna (ICE) que serão naturalmente "obsoletos" pelos veículos elétricos.

Similarmente, o "Hyperloop" é uma tecnologia com raízes no século XIX. Inventores construíram sistemas experimentais para lançar trens através de grandes tubos usando pressão de ar pneumática. Embora vários destes sistemas tenham sido construídos até o final do século XIX, inclusive na cidade de Nova York, a tecnologia não estava madura o suficiente para que estes sistemas fossem utilizados na prática. Sistemas de trânsito subterrâneos foram construídos com uma tecnologia mais convencional, primeiramente com motores a vapor e depois motores elétricos, como ainda hoje são utilizados. Atualmente, porém, a tecnologia está amadurecendo para trazer de volta o tubo pneumático para o transporte de pessoas. Começou a corrida para construir o primeiro sistema hyperloop que irá transportar pessoas e carga por centenas de quilômetros a uma velocidade de 700 milhas por hora (aprox. 1.125 km/h).



Fonte: slate.com



Fonte: shutterstock.com

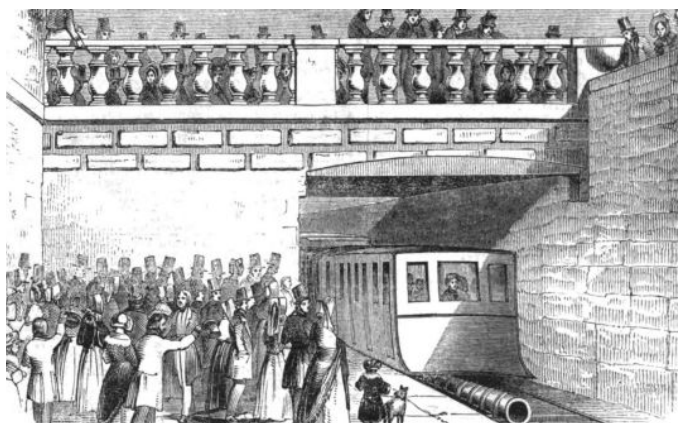
Uma ilustração do sistema de curta duração do Tubo Pneumático de Transporte Beach na cidade de Nova York, 1867, e uma visão de um artista de um trem pneumático de um Hyperloop no futuro próximo.

O Aeromovel também tem suas raízes no século XIX com uma ideia inovadora, porém com tecnologia imatura. No início dos anos 1800, alguns inventores propuseram um sistema de transporte pneumático que tinha várias vantagens potenciais em relação aos trens movidos por motores a vapor. O vagão era mais leve e necessitava de menos energia para ser acionado, uma vez que não havia um motor em seu interior. Ele corria sobre trilhos acima de um tubo de aço, através do qual o ar comprimido empurrava ou puxava o veículo para frente por pressão em um "pistão" através de uma abertura ao longo do tubo, e este fixado na parte inferior do vagão.

O sistema era mais seguro, uma vez que ele era mantido no curso e não poderia descarrilar. O sistema permitia realizar aclives maiores e curvas mais acentuadas. Várias tentativas foram implementadas

para construir um sistema viável no meio do século XIX, incluindo a Ferrovia Atmosférica Dalkey, o primeiro sistema comercial que operou de 1843 a 1855. Enquanto o conceito de ferrovia pneumática era teoricamente superior ao do motor a vapor, a tecnologia dos tempos era primitiva demais para construir um sistema competitivo. A ideia dos trens com motores pneumáticos foi abandonada até que o Aeromovel aproveitou a nova tecnologia, transformando a excelente ideia do século anterior em uma alternativa viável e superior aos outros sistemas.

O Aeromovel projetou e introduziu ventiladores elétricos estacionários de alta performance, uma via elevada que também é um tubo pneumático e o conceito da utilização da baixa pressão. O sistema foi patenteado em cinco países, incluindo o Reino Unido, sendo a primeira patente concedida em 1979.



Fonte: irishtimes.com



Fonte: Aeromovel pictures database

Uma ilustração da Ferrovia Atmosférica Dalkey na Irlanda do "London News", em 06/01/1844, e o Sistema de Transporte Automático (APM) Aeromovel em Porto Alegre, Brasil (Aeromovel 2.0)

## Está na Tecnologia e no Desenho do Sistema

O Aeromovel é a tecnologia do futuro. Ela tornou obsoletas as "tecnologias provisórias" caras, complexas, ineficientes e menos sustentáveis em termos ambientais e econômicos que têm sido empregadas nos APMs convencionais. O Sistema Aeromovel pode contribuir significativamente com os esforços que as cidades em todo o mundo tem feito para alcançar as Metas de Desenvolvimento Sustentável da ONU (SDGs), especialmente a Meta 11 (SDG 11) das cidades e comunidades sustentáveis, a Meta 13 (SDG 13) da ação do clima e a Meta 9 (SDG 9) da indústria, inovação e infraestrutura.

Esta tecnologia pneumática faz com que o sistema Aeromovel seja inerentemente mais econômico e sustentável em comparação a outros sistemas de transportes Automáticos (APMs) e a outras alternativas de transporte de massa. A Aeromovel tem feito adaptações de desenvolvimento para que seu sistema melhore constantemente, sendo o primeiro

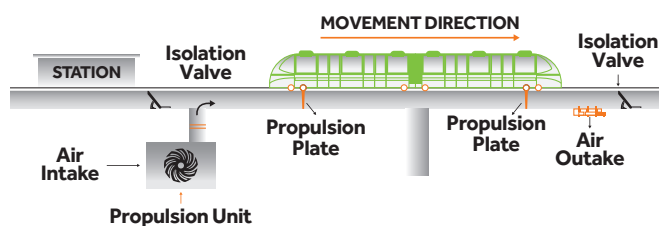
resultado disto a instalação do Aeromovel 1.0 em Jacarta há 30 anos, o qual ainda continua operando. A plataforma do Aeromovel tem espaço para contínuos aperfeiçoamentos. O Aeromovel 2.0, que foi construído em Porto Alegre em 2013, apresenta inúmeras melhorias desde o primeiro sistema. O atual Sistema Aeromovel 3.0 apresenta muitos desenvolvimentos significativos patenteados sobre a versão 2.0, para melhorar ainda mais sua performance.

Interações futuras para a versão 4.0 aproveitarão novos materiais como fibra de carbono e inovações como captura de CO2 em estruturas de concreto, técnicas de fabricação como impressão 3D, sensores avançados integrando a internet das coisas (IoT) e a inteligência artificial para reduzir ainda mais o consumo de energia, aprimorando a eficiência da operação e manutenção e melhorando a sustentabilidade ambiental.

Projetos de Sistemas de Transporte Automático (APMs) convencionais são baseados em veículos com motores elétricos embarcados e energizados por linhas de alta voltagem ao longo das vias. Por consequência, os veículos são pesados, resultado dos grandes motores que alimentam o trem e do reforço do piso dos veículos que protegem os passageiros de defeitos do motor. O peso é um fator importante na questão de consumo de energia do sistema, que aumenta a relação de passageiro e peso morto. O alto peso dos veículos também é um fator crítico no dimensionamento dos pilares e da via permanente (vigas) que suportam o sistema.

O Sistema Aeromovel deu o passo revolucionário em eliminar a necessidade de ter os motores embarcados. Esse passo gera profundas consequências para todo o sistema. Primeiramente, ele reduz o peso dos veículos em quase 50%. Em segundo lugar, os veículos mais leves reduzem substancialmente as necessidades energéticas do sistema como um todo. Em terceiro lugar, os veículos mais leves reduzem a carga estrutural da via elevada no qual eles rodam, o que diminui diretamente o custo e o tempo de construção, com estruturas mais esbeltas e leves.

A chave é que a propulsão dos veículos é feita pelo deslocamento de ar através dos dutos existentes no interior das vigas que permitem a passagem de fluxo de ar. Cada veículo é preso a uma placa de propulsão (um "pistão") dentro do duto, que é conectado por um mastro que corre através de uma abertura longitudinal ao longo da viga, que é selada por uma borracha de vedação especialmente projetada para tal finalidade. Os ventiladores elétricos estacionários, que estão localizados ao longo da linha, ou sopram o ar para dentro do duto e criam uma pressão positiva, ou retiram o ar do duto criando um vácuo parcial. Muito simples – a pressão diferencial que age sobre a placa de propulsão faz com que o veículo se mova ou mesmo pare pela ação do ar com o fechamento do circuito pneumático (junto a estação de passageiros nas portas de acesso ao veículo a frenagem (ajuste fino) é auxiliada pela de atuação de freios a disco com tecnologia ABS existentes em todas as rodas do veículo).



Fonte: Aeromovel database

Imagem ilustrativa do princípio de funcionamento do Aeromovel.

O sistema de propulsão por ventiladores (existentes em todas as estações de passageiros) reduz o consumo de eletricidade por passageiro em 2 ou 3 vezes se comparado aos sistemas convencionais. A propulsão por ar também tem a vantagem de eliminar a necessidade de tração pelas rodas para movimentar o veículo. Isto possibilita o uso de rodas de aço sobre trilhos de aço, uma vez que pneus de borracha sobre concreto ocasionam cinco vezes mais atrito.

Em comparação com as rodas de aço e trilhos que duram por anos, os pneus de borracha devem ser substituídos frequentemente (a custos significativos) gerando também o desgaste na estrutura de concreto pela pressão constante de tração, exigindo uma manutenção dispendiosa e demorada da via permanente. Enquanto a maioria dos sistemas APMs roda sobre pneus de borracha ao longo de vias de concreto, existem outros APMs, como o Aeromovel, que rodam com rodas de aço sobre trilhos de aço.

Mas existem sistemas com veículos com rodas de aço sobre trilhos, que possuem tração nas rodas para se movimentarem, nestes casos, suas o material rodante também requer reparos e substituições caras e complicadas. Como os veículos do Sistema Aeromovel são impulsionados através do ar e não necessitam de tração, suas rodas têm uma durabilidade bastante superior e seus trilhos duram indefinidamente (os trilhos em Jacarta não foram substituídos mesmo após 30 anos de operação). Além disto, ambos os tipos de APMs com motores embarcados são bastante limitados na questão de vencer aclives, enquanto que os veículos do sistema Aeromovel podem vencer aclives de 7,5% ou maiores, uma vez que eles são empurrados pelo ar e não se movimentam por tração junto as rodas.

Soma-se a isto o fato das rodas do Aeromovel serem montadas de modo independente, ao invés de serem montadas em um eixo rígido, como o usado em veículos com motores elétricos. Portanto, os veículos do Sistema Aeromovel conseguem fazer curvas bem mais acentuadas. Isto possibilita projetar um sistema que se adapta e contorna com facilidade obstáculos pré-existentes, como foi feito na implantação do Sistema Aeromovel na cidade de Porto Alegre, que foi executado para se adaptar construtivamente as rodovias e pontes pré-existentes, sem que nenhuma delas necessitasse ser remodelada, impedida de fluxo ou afetada de qualquer forma durante a construção do sistema.

Sobretudo, a tecnologia e projetos inerentemente superiores do Aeromovel, possibilitam que o sistema seja também superior a todos os outros sistemas APMs nas questões ambientais mais críticas, além do

menor custo de construção, operação e manutenção. O sistema é superior ou igual a todos os outros sistemas no que tange a uma longa lista de requisitos e especificações técnicas. Além disso, a plataforma do

Aeromovel é continuamente desenvolvida e atualizada por novas tecnologias inovadoras que surgem no mercado internacional.

	<b>Aeromovel 1.0</b> Jakarta (1989)	<b>Aeromovel 2.0</b> Porto Alegre (2013)	<b>Aeromovel 3.0</b> Design atual	<b>Aeromovel 4.0</b> Design em 2020
<b>Capacidade de Transporte</b>	De baixa para média	Baixa capacidade	Média para alta	Alta capacidade
<b>Velocidade Máxima</b>	70 km/h	80 km/h	80 km/h	120 km/h
<b>Velocidade Ventilador</b>	Fixo	Variável	Variável realimentado	Variável realimentado
<b>Operação</b>	Semi automática, supervisionada	Automática, supervisionada	Automática sem operador	Automática sem operador
<b>Carroceria do Veículo</b>	Alumínio rebitado numa estrutura de aço	Fibra de vidro	Alumínio colado numa estrutura de aço	Fibra de carbono
<b>Via</b>	Viga isostática de concreto	Viga isostática de concreto	Via dupla e viga hiperestática de concreto	Via dupla e viga hiperestática de concreto
<b>Mudança de Via</b>	Sem mudança de via	Baixa ciclagem de mudança de via	Alta ciclagem de mudança de via	Duplo travessão
<b>Fixadores de Trilhos</b>	Rígidos	Elásticos	Elásticos de baixo ruído e anti-vibração	Avançados de baixo ruído e anti-vibração

## Superioridade Tecnológica reduz o custo e o impacto ambiental

**Custo de aquisição de imóveis e terrenos:** A aquisição de terrenos (desapropriações) para implantação de um sistema de trânsito pode facilmente custar até U\$ 50 milhões por quilômetro e pode dificultar ou mesmo inviabilizar um projeto de mobilidade com variáveis legais e alteração de via pública. O Aeromovel pode trazer enormes vantagens nas interferências junto a estes imóveis em comparação aos metrôs de superfície, trens leves e mesmo outras tecnologias em vias elevadas, incluindo monotrilhos e APMs convencionais. Devido ao seu perfil esbelto e elevado e curvas acentuadas, o Aeromovel pode reduzir significativamente os custos de aquisição de imóveis e, em alguns casos, praticamente eliminá-los, utilizando direitos de passagem existentes. O sistema pode apresentar

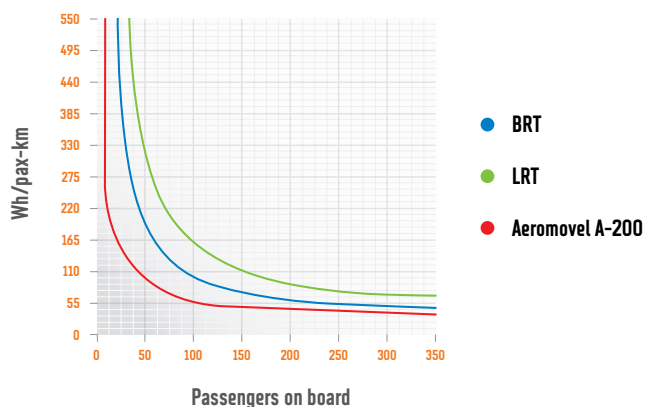
curvas acentuadas (20 metros comparados a 100 metros de outros sistemas) e inclinações de 7,5% ou mais, uma vez que os veículos são impulsionados pelo ar, não necessitando assim de tração, o que limita outros sistemas. Os pilares que sustentam a via elevada têm uma base substancialmente menor do que as dos outros sistemas, devido aos veículos mais leves. Todas estas características do sistema reduzem seu impacto ambiental em comparação a outras opções de sistemas de trânsito.

**Custo de construção da via e das estações:** Devido ao reduzido peso dos veículos, as estruturas elevadas do Aeromovel são significativamente menos onerosas para serem construídas do que as estruturas elevadas para outros sistemas APMs.

Elas requerem de 20% a 60% menos concreto para a via permanente, pilares e estações, reduzindo substancialmente os custos de construção e o impacto ambiental. Além disto, o projeto do sistema permite que as distâncias entre os pilares e as fundações estruturais variem, possibilitando que o sistema contorne obstáculos subterrâneos urbanos, que seguidamente requerem tempo e recursos para serem realocados. Somado a isto, os pilares e as vias podem ser pré-moldados e adquiridos localmente, instalados rapidamente, com um mínimo de tempo e de interferência urbana, se comparada à instalação de outros sistemas.

**Custos dos equipamentos:** Uma vez que a maioria dos equipamentos de propulsão e elétricos estão localizados no solo ou instalados junto a via, eles não necessitam de projeto especial e oneroso para motores elétricos embarcados. Os ventiladores e demais equipamentos elétricos são equipamentos industriais standard, o que é extremamente confiável, pois são produzidos em larga escala e de custo de manutenção e de reposição relativamente de baixo. Além disto, ao contrário dos sistemas de propulsão embarcados, estes equipamentos não sofrem constantes choques, vibrações, ação da água, repentinas mudanças de temperatura e poeira. Em vez disto, o sistema de propulsão é instalado em abrigos no solo ou em compartimentos ao longo do eixo de implantação do sistema. Uma vez que o sistema de propulsão não está dentro dos veículos, sua construção é muito mais econômica. Eles também podem ser feitos de materiais bem mais leves, incluindo fibra carbono, já que não necessitam ser pesados para assegurar que não descarrilhem, uma vez que eles estão presos à via pela “vela” que dá a propulsão.

**Custos de operação:** O Aeromovel, como outros sistemas APMs, tem vantagem similar no custo operacional sobre trens leves e sistemas BRT, que requerem operadores embarcados. Porém, ao contrário de outros sistemas APMs, o Aeromovel também tem uma grande vantagem em eficiência energética por seu peso leve e por seu sistema de propulsão pneumática. O Aeromovel utiliza pelo menos 30% menos energia do que outras tecnologias ferroviárias elétricas ou sistemas APMs. Nas operações fora de pico, quando os veículos rodam com menos passageiros, esta diferença de necessidade de energia aumenta para 70% (ou mais) comparado com outros sistemas pesados, dependendo do sistema. Esta redução acentuada no consumo de energia traz benefícios ambientais significativos, bem como nos custos operacionais, mesmo com fontes de energia elétrica convencional. Se o sistema for alimentado por fontes de energia renováveis, o Aeromovel fornece um transporte com zero de emissões.



Fonte: Serguei Nogueira da Silva - PhD, 2013

### Consumo de energia por modo de transporte público

**Custos de manutenção:** Com um número mínimo de partes móveis embarcadas e ventiladores industriais com alta durabilidade para a propulsão, o Aeromovel demanda uma manutenção bastante limitada, com um custo bastante reduzido. Além disto, como o equipamento industrial é mais de “prateleira” do que customizado e proprietário, qualquer reposição ou reparo de peças é significativamente mais econômico do que sistemas com motores elétricos proprietários embarcados. O sistema rodante também requer muito pouco reparo ou reposição, uma vez que utiliza rodas de aço sobre trilhos de aço, sem o desgaste de atrito nas rodas. As rodas do Sistema Aeromovel têm uma expectativa de durabilidade de mais de um milhão de quilômetros sem reposição. Outros sistemas APMs com rodas de borracha e atrito para a tração requerem reposições de rodas frequentes e caras, bem como vias de concreto maiores e mais caras que, diferente que trilhos de aço, podem deteriorar ao longo do tempo e requerem revisões dispendiosas. O sistema longitudinal de vedação (borracha do rasgo do duto) de ar está projetado para ser substituído a cada 10 – 15 anos, quando sujeito a operações de alta frequência.

**Segurança:** O Aeromovel não é apenas comparável às normas de segurança de outros sistemas APM ou monotrinhos. Seu projeto prevê características inerentes de segurança que não estão disponíveis nesses outros sistemas. A “vela”, fixada à parte inferior dos veículos e que se movimenta dentro dos dutos da via, segura os carros no trajeto percorrido e assegura que eles não descarrilhem, a não ser em circunstâncias catastróficas. O sistema de propulsão de ar fornece uma “bolsa de ar” entre os veículos (ou conjuntos de carros interligados), impedindo que haja colisões. Além disto, se os ventiladores pararem por falta de energia, os veículos simplesmente irão parar. Assim, a segurança é reforçada pelo próprio projeto

do sistema, uma vez que o que proporciona o controle é principalmente o controle da pressão do ar dentro do duto da via e não através do controle dos motores elétricos nos veículos. O sistema de controle consiste principalmente em controlar os ventiladores fixos, as válvulas de controle, e o uso de equipamentos industriais seguros e altamente

confiáveis, similar aos equipamentos utilizados em gasodutos, refinarias e plantas nucleares. Existem também os freios de fricção nos veículos para frenagens de precisão junto as portas das plataformas de estações que proporcionam segurança adicional ao sistema.



**Banning Garrett**

PhD, Conselheiro Estratégico da Aeromovel;

Membro Sênior da Global Federation of Competitiveness Councils;

Membro Sênior da Global Urban Development and Faculty, Singularity University.

---

[www.aerom.com](http://www.aerom.com)