

# ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UM TREM DE PASSAGEIROS ENTRE O CENTRO DE SÃO PAULO E O AEROPORTO INTERNACIONAL DE SÃO PAULO/GUARULHOS

**Eduardo Vasconcellos Silva**

eduardo.vasconcellos1@gmail.com

## **Resumo**

*O rápido desenvolvimento dos trens de aeroporto no mundo nos últimos anos decorreu do aumento do tráfego aéreo e do congestionamento dos acessos rodoviários. As ligações ferroviárias cidade-aeroporto contribuem para a redução dos congestionamentos das vias de acesso e provêm*

*Uma alternativa ambientalmente compatível ao transporte individual. Os Airport Express, como são chamados, vem se confirmando como uma solução adequada tanto do ponto de vista técnico, quanto ambiental e econômico.*

*Este estudo visa analisar o projeto de implantação de um trem de passageiro entre o Centro de São Paulo e o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos.*

**Palavras chave:** 1.Trens 2.Transporte de passageiros 3.Aeroportos 4. Planejamento de Transportes

## **1. Introdução**

O desenvolvimento do transporte ferroviário no mundo tem sido uma dos grandes fatores influenciadores da globalização e da integração regional.

O Brasil com suas dimensões continentais adotou durante muitos anos o transporte ferroviário como base da sua matriz de transporte nacional. Este modelo não era perfeito, uma vez que os trens existentes eram lentos, poluidores e desconfortáveis, porém utilizavam a tecnologia disponível na época.

Nos anos 50 o país decidiu começar a abandonar este modelo de transporte para privilegiar o transporte rodoviário, mais fácil de ser implantado pelo governo. A indústria automobilística que é responsável por grande parte do PIB mundial também foi um fator que pesou uma vez que o seu desenvolvimento no Brasil poderia trazer grandes ganhos econômicos.

O país então abandonou o modelo de transporte ferroviário. Durante muitos anos esta decisão não foi questionada. O transporte ferroviário passou a existir apenas no nível metropolitano.

Nos últimos anos, porém, o estrangulamento das vias nas grandes cidades e a crise aérea fizeram com que surgisse um movimento que busca o retorno ao modelo de transporte ferroviário como solução ao esgotamento dos outros meios de transporte.

Novos projetos começaram a surgir, assim como problemas para a sua implantação. Questões técnicas, econômicas, políticas, os problemas são de diversas naturezas.

O desafio de achar soluções para estes problemas é um desafio de toda a sociedade brasileira na busca da melhora da qualidade de vida e competitividade econômica.

Dentre os novos projetos, apresenta-se como uma dos mais viáveis o Trem Expresso Aeroporto. Sendo na verdade a primeira linha de trens interurbanos que o Brasil pretende construir em cerca de 50 anos.

Apresenta as últimas iniciativas na revitalização do transporte ferroviário seguido de uma explicação sobre o modelo de ligação aeroportuária e o projeto de Expresso Aeroporto de São Paulo.

A partir das análises do projeto e dos casos de sucesso de ligações aeroportuárias no resto do mundo define-se uma série de recomendações na implantação do Expresso Aeroporto de São Paulo.

Deve-se ressaltar que o estudo o caráter preliminar e que o projeto esta sujeito a mudanças.

O estudo se foca em alguns aspectos fundamentais do projeto: análise da questão do check-in na estação remota e análise dinâmica do trem. O primeiro objetivo seria definir se o check-in deveria ser implantado ou não na estação central. Na segunda análise buscaram-se verificar a velocidade, aceleração e posição do trem de forma a fazer com que o projeto atingisse os requisitos estabelecidos no caderno funcional, ou seja, que a viagem durasse cerca de 20 minutos e que tivesse um alto grau de conforto e segurança para os passageiros.

## **2. O Modelo de Trem Expresso Aeroporto**

Uma ligação aeroporto-cidade por trilhos é um método de transporte público direto entre um aeroporto e o centro populacional que este atende. Estas linhas diretas podem ser no modelo de trens de metro, VLT, trens de alta velocidade ou outra tecnologia.

Este tipo de ligação é muito comum na Europa e no Japão, porém nos últimos anos o modelo se popularizou por diversos países no mundo inteiro.

A necessidade de uma ligação aeroportuária existe em regiões que são densamente povoadas, com problemas de congestionamento, grande distancia do centro da cidade até o aeroporto e grandes volumes de passageiros. Através de uma análise preliminar pode-se concluir que a Cidade de São Paulo é uma candidata natural para este tipo de transporte.

Foi a partir desta premissa que no ano 2000 os primeiros estudos começaram a ser feitos para a elaboração do projeto de um Expresso Aeroporto para a Cidade de São Paulo.

A pesquisa para o desenvolvimento de um modelo de ligação aeroportuária que suprisse as necessidades que haviam sido identificadas em um primeiro momento inclui uma extensa busca por modelos implantados em outras cidades do mundo. Esta pesquisa busca identificar elementos similares entre projetos já implantados e o pré-projeto do Expresso Aeroporto da cidade de São Paulo.

Atualmente existem cerca de 120 ligações aeroportuárias no mundo. Porém nem todas são iguais. Podem-se classificá-las nos seguintes grupos:

**Expressos Aeroportos:** ligação direta entre o Aeroporto e o centro populacional, na grande maioria dos casos sem paradas intermediárias. O trem percorre uma linha exclusiva e a estação que esta no centro da cidade não precisa obrigatoriamente estar próxima de uma estação da rede metropolitana, apesar de ser algo desejável. A linha, carro e estação são exclusivos do Expresso. Pode-se citar como exemplo o primeiro Expresso Aeroporto, o Heathrow Express. O custo da tarifa é específico para os usuários do expresso, não sendo influenciado pelo preço de outras passagens. A administração também é exclusiva, não estando sujeita aos administradores de linhas interurbanas e metropolitanas já existentes.

**Trens de linhas de alta velocidade:** o aeroporto esta próximo ou possui uma estação que o conecta com uma linha interurbana de alta velocidade, como as linhas dos TGVs na França. O vagão e o serviço não são exclusivos e pertencem à rede interurbana.

**Trens de linhas regionais:** muito semelhante ao anterior, porém neste caso os trens não são de alta velocidade.

**Metro:** o aeroporto se conecta à rede metropolitana através de uma estação de metro. O vagão e o serviço não são exclusivos.

**VLTs metropolitanos:** semelhantes ao metro, porém neste caso os trens são Veículos Leves de Transporte.

A adoção de um ou outro modelo depende de uma série de variáveis. Atualmente a distribuição de modelos se dá da seguinte forma:

Expressos Aeroportos: 14 ; Trens de linhas de alta velocidade: 9 ; Trens de linhas regionais: 44 ; Metro: 45 ; VLTs: 57

Pode-se identificar os seguintes beneficiários do projeto:

**Aeroporto de Cumbica:** que ganha um novo e rápido serviço de acesso

As **companhias aéreas:** que passam a oferecer uma melhor experiência para seus passageiros. No caso do Arlanda Express na Suécia, a reputação do Airport Express é tão boa com público que seu lema é “Part of the Flight”, ou seja, “Parte do voo”.

A **empresa ou consórcio** que opera a linha de trem que pode cobrar taxas Premium e fazer do serviço lucrativo do ponto de vista econômico.

A **Cidade de São Paulo** que ganha em duas frentes: o novo empreendimento gera desenvolvimento econômico com a geração de empregos e investimentos na cidade e os ganhos de imagem e reputação, já que o expresso e a estação serão um novo cartão de boas vindas para a cidade.

**Funcionários do Aeroporto** que ganham uma nova opção de transporte.

**Usuários do aeroporto** que ganham um novo meio de transporte rápido, eficiente, de alto nível e seguro.

**Cidadãos da RMSP** que ganham um novo meio de transporte e ganham com a diminuição do trânsito, uma vez que menos pessoas usarão o veículo próprio, táxi ou ônibus para se dirigirem até o aeroporto, desta forma impactando positivamente no trânsito da Marginal Tiete. Há também o ganho de saúde e para o meio ambiente, já que com menos carros circulando pelas ruas diminui a emissão de gás carbônico na atmosfera.

### 3. O Projeto do Expresso Aeroporto – Trem de Guarulhos

Na busca por juma projeto que fosse rentável e pudesse trazer de volta o modelo de trens de passageiros, além de expandir o transporte metropolitano, a CPTM divulgou no ano 2000 o projeto do Expresso Aeroporto e o Trem de Guarulhos, dois projetos sobrepostos voltados para as cidades de São Paulo e Guarulhos, ambas no Estado de São Paulo. Juntos, demandarão investimentos da ordem de R\$1,5 bilhões de reais.

O primeiro é um serviço diferenciado com tarifa livre para aqueles que se dirigem ao Aeroporto Internacional Governador Franco Montoro, em Guarulhos. O segundo é, um projeto social com tarifa regulamentada, pretende oferecer um sistema de transporte de alta capacidade para a população da Região Metropolitana.

Em se tratando de um projeto de engenharia, é válido citar todas as etapas que compõem um projeto de Expresso Aeroporto:

Estudo de Viabilidade Econômica e Financeira; Audiência pública; Prospecção de possíveis interessados na Outorga; Definição do processo de licitação e editais; Definição do ganhador; Captação de financiamento; Projeto básico e executivo; Fabricação de trens e execução de obras de melhorias; Obtenção da outorga; Testes; Entrada em operação

Na fase preliminar do projeto entre 2000 e 2003, a CPTM elaborou a concepção e o Plano Funcional, estabeleceu as Diretrizes Técnicas, fez simulações de circulações, realizou a avaliação financeira e Institucional preliminar. Também foi realizada uma pesquisa de mercado realizada pela Toledo & Toledo Associados. Alguns resultados da pesquisa estão apresentados a seguir:

**Tabela 1:** Pretensão de usar o trem

Pretensão de usar o trem	Viajantes	Acompanhantes	Total	Funcionários
Certamente	62,00%	60,00%	62,00%	59,00%
Provavelmente	24,00%	25,00%	24,00%	18,00%
Total	86,00%	85,00%	86,00%	17,00%

Fonte: CPTM

**Tabela 2:** Tempo de viagem

Modo	Percurso	Tempo(min)	Tarifa(R\$)
Trem	Aeroporto-BFU	20	20,00
Taxi	Aeroporto-BFU	65	60,00
Onibus	Aeroporto-Eldorado	80	14,00

Fonte: CPTM

A concepção proposta feita pela CPTM foi a seguinte:

O projeto da Linha 14 - Ônix seguiria as seguintes diretrizes:

Aproveitamento da faixa ferroviária; Ligação ponto a ponto com serviço dedicado; Via exclusiva; Terminal central aeroportuário; Tempo de viagem de 20 minutos

Oferta: passageiros sentados com alto padrão de conforto

Possibilidade de receitas alternativas e de projetos / empreendimentos associados

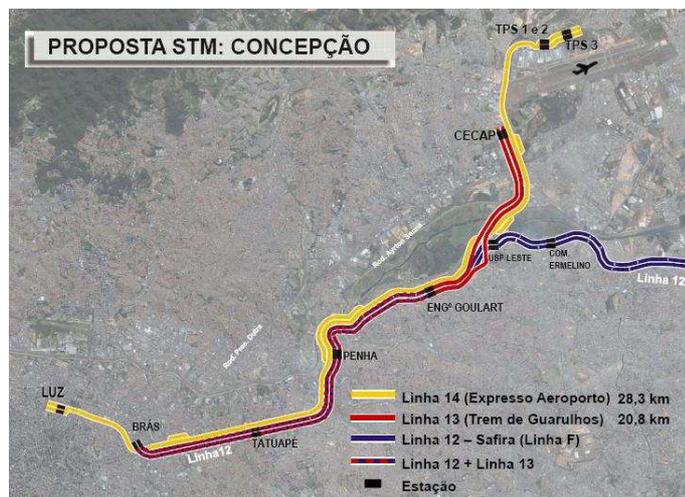
Ao apresentar o projeto para o conselho gestor, a CPTM explicou a relevância do projeto pelo fato de que o Expresso Aeroporto seria um transporte ferroviário rápido, seguro, confortável e confiável ligando o aeroporto ao centro de São Paulo. O Tempo de viagem seria de 20 minutos.

Viabilizaria a ampliação da capacidade do aeroporto, principalmente para possibilitar a transferência de vôos nacionais de Congonhas para Guarulhos.

É um projeto estratégico para a afirmação e consolidação da vocação e imagem da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP como centro de negócios internacionais (um “cartão de visitas”). Passa a ser uma infra-estrutura de acesso de alto nível, beneficiando empreendimentos de grande porte, como feiras internacionais, eventos culturais e esportivos com a geração de novas oportunidades de negócios, empregos, renda e arrecadação para o Estado.

Projeto apresentado:

**Figura (1):** Concepção apresentada pela CPTM



Fonte: CPTM

Do projeto original apresentado no ano 2000 para o de 2008 houve uma série de mudanças, mas basicamente podem-se destacar três itens fundamentais:

O primeiro item foi definição da estação do Centro de São Paulo. Uma série de estações foram cogitadas, porém a escolha final foi de que o trem vai partir de São Paulo em um terminal exclusivo, que será construído onde hoje fica a Oficina de Trens da Luz da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM).

O segundo item foi seu trajeto. O Expresso inicialmente iria dividir parte do percurso com os trilhos do futuro Trem de Guarulhos (Brás-Parque Cecap).

Após uma série de mudanças ficou decidido que este contará com via única e exclusiva, sem estações ao longo dos 28 quilômetros entre o centro paulistano e Cumbica. A velocidade padrão será de 100 quilômetros por hora.

Do Brás até Engenheiro Goulart (zona leste), os trilhos do Expresso seguirão paralelamente aos da atual Linha F (Brás-Calmon Viana). Haverá quatro by-pass, que permitem a ultrapassagem das composições.

A terceira mudança no projeto do trem do aeroporto será na forma de financiamento uma vez que ao invés de uma PPP será na forma de concessão simples. A STM acredita que o projeto é viável economicamente para que a iniciativa privada financie todos os custos do projeto. Nesse modelo, o investidor constrói e opera a via, sendo depois reembolsado com o pagamento das tarifas. A PPP é uma concessão patrocinada, em que o Estado entra com parte dos recursos para a construção.

#### 4. Check-in na Estação Remota

Muito tem sido comentando sobre a questão do check-in e os impactos que o Expresso Aeroporto teria nesse processo. Esta é uma questão complexa que está longe de um consenso. Foi realizado um estudo visando analisar o processo de check-in e as possíveis mudanças que podem ocorrer com a implantação do check-in remoto, ou seja, na estação localizada no Centro de São Paulo. Essa análise foi baseada no estudo de caso de outras conexões aeroportuárias e em possíveis modelos que podem ser adotados. No fim concluiu-se que esta opção não deve ser adotada.

Muitos Aeroportos que possuem conexões aeroportuárias atualmente oferecem outra opção de check-in: check-in na estação remota. Nesta modalidade de serviço, o passageiro tem a opção de encontrar na estação remota um guichê da Cia aérea pela qual pretende voar e despachar sua mala, checar as informações e retirar o bilhete de embarque. Dessa forma o passageiro leva dentro do trem apenas sua bagagem de mão, não precisando passar pelo guichê dentro do aeroporto e retirando sua bagagem apenas no aeroporto de destino.

O serviço traz grandes vantagens para o usuário, porém acarreta uma série de novos problemas e desafios principalmente relacionados com segurança.

Analisaram-se três casos de conexões aeroportuárias que tem ou tiveram check-in na estação remota: Heathrow Express, Klia Express e Hong Kong Express.

No HEX a opção de check-in na estação deixou de ser utilizada. Os problemas foram diversos, sendo o estopim para a mudança os eventos de 11 de Setembro.

O Klia Express é uma das poucas conexões que oferece o serviço de check-in nos dois sentidos do trem. Já o Hong-Kong Express tem um processo automatizado considerado benchmark. Analisou-se o fluxo das bagagens e dos passageiros.

Um sistema de transporte e distribuição de bagagens pode ser estruturado de diferentes maneiras de acordo com o local onde a bagagem é identificada, podendo ser na estação central, na estação do aeroporto ou simplesmente no sistema de distribuição do próprio aeroporto. O local de identificação da mala também está relacionado com segurança.

O serviço de transporte das bagagens pode ser oferecido da estação central para o aeroporto ou vice-versa.

Diferentes formas de integrar o serviço de transporte de bagagens estão listadas a seguir:

- a. Do trem para o avião, com o sistema de transporte e identificação na estação central.
- b. Do trem para o avião, com o sistema de identificação e transporte na estação do aeroporto.
- c. Do trem para o avião, utilizando o sistema de identificação, transporte e distribuição do aeroporto
- d. do avião para o trem.

A opção 'a' traz altos custos que não estão ligados diretamente com o volume de bagagem transportada. Custos ligados com o aparato de segurança necessário para manter as bagagens em um "ambiente estéril" depois que passam pelo check-in e por todos os rígidos procedimentos de segurança da aviação civil. Seriam necessárias diversas aprovações dos órgãos reguladores e a instalação teria que ser vistoriada frequentemente, especialmente no caso de um aeroporto que tivesse vôos para os EUA.

O principal desafio é criar um sistema automatizado que evite que as pessoas que trabalham no Expresso tenham contato com a bagagem, o que é proibido de acordo com as novas regras de segurança. No entanto a bagagem de mão caso não é escaneada no aeroporto e sim nos trens, o que tende a reduzir as filas, sendo esta a principal vantagem. (Steer Davies Gleave, 2006).

A opção 'b' foi implantada no Aeroporto de Frankfurt antes do sistema ser alterado. Esta opção traz os mesmos problemas de custo da opção 'a'. No entanto não possui as mesmas vantagens daquela opção. (Steer Davies Gleave, 2006).

Opção 'c' é muito próxima do sistema operado pela Lufthansa no aeroporto de Frankfurt e o que era utilizado na estação de London Paddington. É a opção que representa o menor risco.

Na verdade o risco neste tipo de transporte é função direta do tempo que demora entre a mala passar pelo sistema de segurança e ser embarcada e também do número de pessoas que mexem diretamente na bagagem.

No entanto a possibilidade de integrar o sistema de distribuição do aeroporto com o sistema da estação central depende muito das características físicas do aeroporto e das duas estações.

Nesta opção os passageiros chegam à estação, fazem o check-in, entregam a bagagem e recebem dois tickets de embarque, do trem e do avião. Ao mesmo tempo sua bagagem é marcada com um código antes de ser carregada em um container ou diretamente no trem. No Aeroporto os passageiros procedem para o terminal enquanto as malas são descarregadas no sistema de distribuição e transporte do aeroporto. A mala passa pelo sistema de segurança central do

aeroporto que faz parte do sistema de distribuição. A partir deste momento as malas já fazem o percurso que todas as outras malas fazem que é de que logo após ter sido confirmado que o passageiro em questão está a bordo do voo a sua bagagem pode entrar no avião.

Pode-se notar que em todas as opções seja, 'a', 'b' ou 'c', os passageiros não precisam embarcar no mesmo trem que a sua bagagem. Isso pode ocorrer dependendo do tempo em que o passageiro fez o check-in comparado com o tempo em que ele embarca no trem.

Na opção 'd' do ar para os trilhos, os passageiros saindo do avião procedem para a alfândega e balcões de imigração e então embarcam no Expresso Aeroporto. Durante esse processo suas bagagens de mão são direcionadas diretamente para a estação de trem. Esta opção é menos utilizada, pois traz problemas de difícil resolução.

Conexões aeroportuárias que oferecem tickets e sistema de transporte de bagagem integrados trazem benefícios para todos as partes envolvidas. É atraente para as Cias aéreas uma vez que aumenta o nível de conforto de seu serviço já que seus passageiros não precisam carregar bagagem e ao chegarem no aeroporto podem se dirigir diretamente para o portão de embarque. Para os aeroportos uma vez que estes podem diminuir o número de guichês de embarque cujos locais podem ser alugados. Também diminui o fluxo de pessoas no aeroporto, o que em momentos de pico é muito benéfico.

No entanto novas modalidades de check-in já são uma tendência na indústria de forma que o serviço enfrentará uma crescente competição. Os clientes Premium dos aeroportos que são o público-alvo do Expresso Aeroporto são também os grandes usuários destas modalidades.

O serviço de check-in na estação remota deve estar integrado com o sistema de distribuição e transporte de bagagens do aeroporto. Como um dos sistemas é operado pela Infraero e o outro pelo concessionário um dos dois terá que abrir mão do controle. A única opção de sistema integrado encontrado foi o Sistema SIBAG da Siemens que é utilizado em todos os Expressos que oferecem o serviço.

A opção de transporte de bagagem só pode existir no sentido estação central-aeroporto e não no inverso, devido a todos os problemas discutidos nos itens acima. Os principais problemas são a logística do sistema, ligado com a velocidade com que as malas teriam que ser direcionadas para a estação e o custo da infra-estrutura necessária na estação central.

Apenas trabalhadores das Cias aéreas podem manusear as bagagens, portanto o sistema deve ser totalmente automatizado, o que implica em altos investimentos, o que diminui a rentabilidade do projeto que já enfrenta este problema no formato atual.

Utilizando o serviço de check-in ou não, a forma mais rápida de ser carregado o trem é através do uso de containeres. Como a CPTM pretende fazer com que o trem fique apenas dois minutos na estação, as bagagens devem ser carregadas e descarregadas com grande velocidade, o que não é possível se cada pessoa for responsável por suas bagagens. Caso o tempo na estação seja maior, em torno de cinco a dez minutos não será necessário o uso dos containeres.

A melhor opção para o sistema de check-in do trem para o aeroporto é a que utilizam o sistema de identificação, transporte e distribuição do próprio aeroporto. O sistema de distribuição teria que ser totalmente automatizado para que nenhum funcionário entrasse em contato com as bagagens. O modelo ideal seria o sistema SIBAG com alto grau de automação tendo como base o sistema do Hong Kong Express.

No entanto a decisão ainda não foi tomada, o que permite que uma discussão mais aprofundada possa ser feita:

Caso seja adotado o sistema precisará do trabalho em conjunto das diversas partes interessadas como a CPTM, Infraero, Governo Federal, Estadual, organizações reguladoras da aviação civis nacionais e internacionais, seguradoras, a concessionária do Expresso e da empresa que irá implantar o sistema de fato. As dificuldades que o Brasil enfrenta no campo judiciário e na questão de marcos regulatórios dificultam muito uma atuação conjunta na implantação desse serviço. Os casos dos acidentes aéreos são exemplos dessa situação.

O principal problema, no entanto é a segurança. A dificuldade em se criar um "ambiente estéril" de segurança, ou seja, após a mala passar pelo sistema de segurança da estação ela não entra em contato com nenhuma pessoa além das que trabalham no aeroporto, é enorme. O problema é que as bagagens precisam fazer a viagem para o aeroporto e serem carregadas e descarregadas dos trens. Mesmo com a utilização de containeres com altos índices de segurança estes ainda precisam ser eventualmente abertos e fechados o que abre espaço para falhas de segurança. Somente aeroportos que nunca perderam uma bagagem possuem o sistema de check-in na estação remota. (Steer Davies Gleave, 2006).

O último problema é a preferência dos usuários. Pesquisas apresentadas mostram que as pessoas preferem viajar ao lado de suas bagagens e que abrem mão de conforto por isso.

Uma pesquisa conduzida pela CPTM em 2006 sobre o Expresso Aeroporto indicou que os principais aspectos positivos levantados foram a praticidade, a segurança e o conforto. Os procedimentos de segurança a serem instalados no trem, segundo os viajantes são: policiamento, equipamentos e cuidados com bagagens. 59% dos viajantes acham que as bagagens devem ser transportadas próximas a eles, no mesmo carro, e 40% acham que devem ser transportadas em carros específicos

O principal argumento em favor do sistema dizia que os usuários do Expresso Aeroporto não andariam com suas malas da estação do Aeroporto até o mesmo, uma distância grande comparada com a de outros lugares sistemas semelhantes. Mas a experiência nos aeroportos alemães enfraquece esse argumento. Apesar de que como o tempo de permanência na estação ser de apenas dois minutos será necessário o uso de containeres então em ambas as soluções propostas o usuário não terá completo acesso à sua bagagem. A situação é pior no caso do check-in na estação central.

Devido a estes argumentos se propõem que o sistema de check-in na estação central não seja utilizado.

As bagagens poderiam ser transportadas em um vagão exclusivo dentro de containers que seriam carregados e descarregados na estação. Logo após um container ter sido completamente carregado este seria lacrado.

Existe uma perda de apelo comercial devido ao fato dos passageiros ficarem longe de suas bagagens, mas a questão é que o trem ficará parado na estação por apenas dois minutos o que faz com que o desembarque tenha que ser feito rapidamente. No entanto se faz uma ressalva para que a CPTM considere estender o tempo de parada nas estações o que permitiria um aumento na qualidade do serviço.

Deve-se lembrar que o Expresso Aeroporto é uma opção de transporte que terá que competir com outras e que para o público-alvo a qualidade é algo essencial. O modelo de Gatwick em existe sempre um trem parado na estação aparenta ser o modelo mais adequado para o Expresso Aeroporto de São Paulo.

O custo de implementação do sistema varia de acordo com o instante em que este será implantado. Caso seja após o Expresso já estiver operando, acarretará em mudanças na estação central que fazem com que a obra seja inviável financeiramente. Isso porque os guichês devem estar localizados de forma que possam alimentar o sistema de transporte de bagagens.

## 5. Análise Dinâmica

Como parte do estudo decidiu-se realizar uma análise dinâmica do trem por todo o trajeto. Dos cadernos obtiveram-se as seguintes informações:

- No projeto do Expresso Aeroporto deve ser previsto o controle de velocidade por “perfil contínuo” de forma a diminuir o desgaste de materiais, bem como aumentar o nível de conforto do usuário.
- Aceleração inferior a  $1,2\text{m/s}^2$
- Taxa de frenagem inferior a  $1,3\text{m/s}^2$ .
- Solavanco na propulsão, na frenagem e na transição propulsão-frenagem inferior a  $1,5\text{m/s}^3$ .
- Comprimento do Trajeto: 28,3 km
- Tempo de viagem: 20 minutos
- Velocidade Média:  $85\text{ km/h} = 23,6\text{m/s}$
- Tempo parado na estação: 2 minutos
- Velocidade máxima:  $160\text{km/h}$

De acordo com a CPTM as taxas do Metro e dos trens da CPTM apenas para comparação são:

	Aceleração ( $\text{m/s}^2$ )	Frenagem ( $\text{m/s}^2$ )
Metro	1	1,2
CPTM	0,08	1

De acordo com a equipe de engenheiros do ADFR-Agrupamento de Desenvolvimento Ferroviário e Rodoviário do IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas, a maior aceleração tolerável pelos passageiros de um trem urbano é  $1,5\text{m/s}^2$ . Acelerações maiores que esta causam mal-estar e enjoos.

A principal questão na análise dinâmica é determinar a velocidade por todo o trajeto. Caso não houvesse nenhum tipo de limitação seria possível fazer o trajeto com a velocidade máxima. No entanto existem limitações à velocidade máxima que o trem pode andar.

Existem três limitações:

1. Tráfego – dependente do serviço
2. Dinâmica – dependente das características físicas da via (modelo de trilho, estado de conservação, outros) e do modelo de trem
3. Geométrica – dependente das características geométricas da via

A primeira limitação de tráfego seria um problema relevante caso o Expresso Aeroporto tivesse via compartilhada com o Trem de Guarulhos. Como esse seria um grande limitante, dado que o Expresso Aeroporto terá uma velocidade de cruzeiro maior do que a do Trem de Guarulhos. Dessa forma adotou-se que o Expresso Aeroporto terá uma única via exclusiva

Existem, no entanto limitações dinâmicas. Estas limitações visam evitar o descarrilamento do trem tendo as curvas como regiões críticas do percurso.

No entanto é preciso entender como que ocorre o descarrilamento:

Primeiramente a ferrovia deve estar alinhada de uma forma que a distancia entre as duas rodas do trem se encaixem a não deixar que ocorra uma folga muito grande.

Dentre as potenciais causas do descarrilamento pode-se destacar:

Friso falso - Durante a passagem do vagão numa junção do trilho, este funciona como “degrau” vindo a ocorrer o descarrilamento quando a roda sobe no trilho.

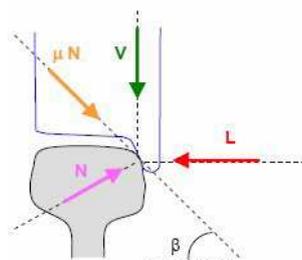
Viga central e adaptação do pião - Durante a passagem dos vagões na curva quando o setor de graduação encosta na viga elimina o efeito da suspensão, tornando rígida e alterando relação LV (esforços laterais e verticais que será explicado a seguir)

Mola dos truques cansada - Mola de truque cansada faz com que as espiras encostem uma nas outras eliminando o efeito da suspensão (força elástica).

Outro aspecto relevante é a equação de NADAL, em que a partir das forças existentes na roda e da relação L/V (L força lateral e V força vertical) que também pode ser chamada de coeficiente de descarrilamento, pode-se deduzir uma fórmula capaz de prever quando, ou em que limiar aproximadamente, pode ocorrer o descarrilamento.

$$\frac{L}{V} = \frac{\operatorname{tg}\beta - \mu}{1 + \mu * \operatorname{tg}\beta}$$

Esta fórmula apresenta o coeficiente de descarrilamento crítico. A figura a seguir explica as grandezas presentes na fórmula de Nadal.



**Figura 2:** Forças atuantes no trilho

No entanto não é possível saber qual a situação que excederia este limite sem que sejam feitos ensaios de campo. Dessa forma não é possível determinar a velocidade máxima por este critério. No entanto o cálculo serve como base para análises posteriores.

Atualmente se usa Fibra Óptica para medir as deformações dos trilhos e medir as cargas nas rodas. Esta monitoração é permanente no caso de conexões aeroportuárias como o HEX e o Klia Express.

Foi encontrada uma empresa chamada **AnjoVision** – Tecnologia e Serviços que desenvolve um sistema de detecção de descarrilamento. Esse sistema poderia ser adotado no Expresso Aeroporto.

Diferentemente dos outros meios de transporte, o sistema ferroviário não possui mobilidade quanto à direção do veículo. Seu trajeto é guiado pelos trilhos. A distância entre os trilhos, denominada de bitola é de 1.435mm.

Devido à robustez do trem, as rodas são solidárias ao eixo, não permitindo movimento relativo. Como consequência aparece escorregamento entre as rodas e os trilhos quando o trem descreve uma trajetória curvilínea. Além disso, os eixos são montados paralelamente numa estrutura denominada truque. A dificuldade de inscrição do truque (com seus eixos paralelos e solidários às rodas) nos trilhos de uma curva limita os raios mínimos em valores bastante superiores aos das rodovias.

Sistemas que não exigissem paralelismo entre os eixos a fim de facilitar a inscrição nos trilhos seriam muito complexos e frágeis devido, mais uma vez, à robustez do trem.

As ferrovias têm exigências mais severas quanto às características das curvas que as rodovias. A questão da aderência nas rampas, solidariedade rodas-eixo e o paralelismo dos eixos de mesmo truque impõe a necessidade de raios mínimos maiores que os das rodovias.

O raio mínimo para uma via férrea é estabelecido por normas e deve permitir a inscrição da base rígida dos truques dos carros e locomotivas, além de limitar o escorregamento entre roda e trilho.

A velocidade máxima de um determinado trecho (que possui em geral mais de uma curva) será definida considerando o raio da curva mais “fechada”. No caso do traçado do Expresso Aeroporto, o raio mínimo é de 320 metros (R=320m)

Para aumentar o conforto dos passageiros será utilizada a técnica de superelevação. A superelevação consiste em elevar o nível do trilho externo de uma curva. Esta técnica reduz o desconforto gerado pela mudança de direção, diminui o desgaste no contato metal-metal e o risco de tombamento devido a força centrífuga que aparece nas curvas. Utilizar a superelevação implica em alterar a velocidade máxima de projeto.

O cálculo da velocidade máxima foi feito utilizando os critérios de segurança e de conforto. De acordo com a equipe de engenharia do IPT-Instituto de Pesquisas tecnológicas, em especial o Dr. Sérgio Inácio Ferreira especialista em dinâmica de corpos aplicada na área ferroviária, o método geométrico é superdimensionado. Dessa forma poderiam ser utilizados apenas o método dinâmico e as fórmulas de Nadal. Sendo possível realizar todo o trajeto com velocidade constante em menos tempo do que os 20 minutos limites e mantendo o alto grau de conforto. Como não foi encontrada nenhuma evidência em livros que comprovassem esta teoria foi utilizado o método geométrico como base para as análises de velocidade, aceleração e posição.

O principal problema na análise é que pelo critério geométrico a velocidade do trem por todo percurso deve ser de 83Km/h dessa forma o trem demora mais de 20 minutos, tempo máximo que para completar o trajeto. No entanto

uma viagem feita com velocidade constante tem um grau de conforto maior do que qualquer outro tipo de configuração de viagem.

Para discutir o problema se propôs dois casos: no primeiro a velocidade é constante e tem o valor máximo que o trem pode fazer de acordo com os critérios discutidos acima. No segundo caso a velocidade varia, aumentando após o trem passar pelas duas curvas em que o raio mínimo é igual a 320 metros. No trecho seguinte o raio mínimo é de 400 metros, sendo a velocidade máxima igual a 97 km/h.

A partir destes valores obtiveram-se os gráficos de velocidade, aceleração e posição em função do tempo e velocidade em função da posição.

## 6. Agradecimentos

Agradeço à CPTM, Revista Ferroviária e a AD-TREM pela grande cooperação através da disponibilização de estudos que foram essenciais no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também à I.A.R.O. que gentilmente respondeu minhas diversas perguntas sobre as conexões aeroportuárias.

## 7. Lista de referências

IPEA e ANTP, Redução das Deseconomias Urbanas Com a Melhoria do Transporte Público-Relat. Síntese. Maio e Agosto de 1998 Ed. IPEA e ANTP

IPEA e ANTP, Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas Brasileiras- Relat. Executivo. IPEA-ANTP Brasília 2003

Vasconcellos, Eduardo de Alcântara. Transporte e Meio Ambiente- Conceitos e Informações para Análise de Impactos. Ed. do Autor SP. 2006

Secretaria dos Transportes Metropolitanos STM  
Disponível em: <<http://www.stm.sp.gov.br/>>  
Acesso em: 10/5/2008

CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos  
Disponível em: <<http://www.cptm.sp.gov.br/default.asp>>  
Acesso em: 14/5/2008

## 8. Direitos autorais

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## STUDY OF THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF AN AIRPORT EXPRESS BETWEEN DOWNTOWN SÃO PAULO AND THE INTERNATIONAL AIRPORT OF SÃO PAULO/GUARULHOS

**Eduardo Vasconcellos Silva**

eduardo.vasconcellos1@gmail.com

*Abstract. The fast development of airport-rail links around the world in the past few years has been motivated by the growing of air traffic and traffic jam around the airports.*

*An airport rail link is a service providing passenger rail transport from an airport to a nearby city; by mainline- or commuter trains, rapid transit, people mover or light rail.*

*An Airport Express as they are also called is an integrated air-rail intermodality that helps to diminish traffic jam in the region around the airport, also increase the level of quality and comfort of the trip.*

*This study will analyze the construction and operation project of the São Paulo Airport Express, that will connect Downtown São Paulo with the International airport of São Paulo/Guarulhos*

**Keywords.** Transport, train, passengers, airport, link