



**TENDÊNCIAS TÉCNICO-ECONÔMICAS PARA SISTEMAS NÃO
CONVENCIONAIS SOBRE TRILHOS EM VIA ELEVADA**

BRENDA MEDEIROS PEREIRA

RESUMO

Existe uma crescente demanda pela oferta de serviços de melhor qualidade no transporte urbano e por uma melhor conexão entre diferentes modais. Neste contexto, se desenvolveram nos últimos trinta anos, os *Automated People Movers* (APM) e *Automated Guided Transit* (AGT), sistemas que utilizam o controle operacional automatizado e externo ao veículo e operam através de vias elevadas, trazendo conforto, segurança, confiabilidade e inovações ao transporte sobre trilhos. Este trabalho enfoca a comparação de parâmetros técnicos e econômicos de tecnologias APM/AGT e apresenta tendências de evolução do mercado. Em decorrência da inexistência de dados consolidados sobre as diferentes tecnologias implantadas, iniciou-se com a montagem de um banco de dados. O principal objetivo desse trabalho é a identificação de características e tendências das tecnologias APM/AGT. Entre os objetivos específicos constam: a caracterização dos sistemas APM/AGT; a descrição da situação atual dos sistemas APM/AGT; a identificação das principais oportunidades e barreiras encontradas; a caracterização do mercado de APM/AGT e do grau de consolidação das empresas; e a análise comparativa na dimensão técnico-econômica das tecnologias. Como ferramenta de comparação é utilizada a Análise Envoltória de Dados (DEA), método recomendado para determinar a eficiência de unidades produtivas. Através do DEA foi possível mensurar a eficiência das distintas tecnologias. Por fim é desenvolvida uma análise sobre as eficiências obtidas e a adequação do método ao objetivo proposto.

Palavras-chave: Automated People Mover; Automated Guided Transit; Análise Envoltória de Dados; sistemas não-convencionais sobre trilhos.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO

- 1.1 – Tema
- 1.2 – Justificativa
- 1.3 – Objetivos
- 1.4 – Estrutura da Monografia

2– CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS APM/AGT

- 1.5 – Principais Aplicações
- 1.6 – Breve Histórico
- 1.7 – Situação Atual dos APM/AGT
- 1.8 – Oportunidades e Barreiras

3 – MERCADO DE APM/AGT

4 – COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÔMICO DE TECNOLOGIAS

- 4.1 – Descrição da Formação do Banco de Dados
- 4.2 – Análise Envoltória de Dados
- 4.3 – Aplicação do Método DEA
 - 4.3.1 – Determinação de Tecnologias e Parâmetros
 - 4.3.2 – Modelagem
 - 4.3.3 – Resultados Obtidos

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 5.1 – Considerações Quanto ao Comparativo Técnico-Econômico
- 5.2 – Sugestões para Novos Estudos

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema

O transporte é um setor fundamental para o desenvolvimento dos grandes centros urbanos e portanto torna-se necessário prover um transporte urbano eficiente e de qualidade. Neste contexto, vem crescendo a atratividade dos sistemas ditos de média capacidade que empregam vias segregadas e que priorizam a circulação do transporte coletivo sobre o transporte individual por automóvel.

Vuchic (2007) comenta que três modais se destacam entre os sistemas de média capacidade: o *Bus Rapid Transit* (BRT), que é formado pela qualificação do transporte por ônibus através de melhorias em infra-estrutura e operação; o *Light Rail Transit* (LRT), a evoluções do transporte por bondes, tanto fisicamente quanto operacionalmente; e os *Automated People Mover* (APM) e *Automated Guided Transit* (AGT) que são sistemas constituídos por veículos com operação automatizada, em sua grande maioria guiados por trilho.

Esta monografia enfoca os APM e AGT, pois estes vêm ganhando espaço em diversos mercados, entre eles: aeroportos, centro de lazer, instituições e também no transporte urbano, onde operam em *shuttles* ou *loops* (VUCHIC, 2007) provendo tanto acesso a áreas privadas quanto integração a modais públicas de maior capacidade. Além do controle externo ao veículo, entre suas principais características constam: via exclusiva e elevada; pequenos *headways*, conseqüentemente, alta frequência; tamanho reduzido e leveza, facilitando a inserção de veículos na via conforme a demanda.

Lindau et al. (2007) mencionam que o uso da via elevada em APM/AGT proporciona vantagens quando comparado a sistemas convencionais que operam em superfície:

- a) uma operação ininterrupta, em via exclusiva, livre de interferências que ocorrem na superfície;
- b) uma oferta adicional de transporte coletivo, pois os pilares que suportam a via elevada podem ser localizados de forma a minimizar a interferência nas atividades que ocorrem na superfície;
- c) baixo custo em desapropriações na medida em que a via elevada acompanhe o traçado viário já existente;
- d) mínimas interferências para o tráfego na superfície durante a fase de construção da via se os elementos forem modulados e puderem ser pré-fabricados e, apenas, montados no local.
- e) menor custo em relação às vias subterrâneas.

No início de seu desenvolvimento, na década de 70, os sistemas APM/AGT passaram por um processo exploratório, onde diversas tentativas de implantar as mais variadas tecnologias foram feitas. Muitas empresas tentaram entrar no mercado, porém apenas poucas permaneceram. Entende-se, então, que há pouco espaço para tentativas isoladas de inserir novas tecnologias no mercado.

Nota-se que há um número relativamente pequeno de empresas consolidadas operando hoje no mercado. Ainda, pouco se sabe atualmente sobre as características das tecnologias bem sucedidas e

a dimensão do mercado na qual estão inseridas. Pelo recente histórico dos sistemas APM, existe uma escassez de dados agrupados de forma útil para modelagens e comparações.

1.2 Justificativa

O histórico relativamente recente do desenvolvimento e implantação de sistemas APM/AGT e a disputa pelo mercado geram a inexistência de bancos de dados com informações consolidadas e atualizadas sobre as diferentes tecnologias. Logo, a montagem de um banco de dados requer uma pesquisa detalhada, pois cada sistema necessita ser investigado e caracterizado de forma individual, sendo que na maioria das vezes as informações encontram-se dispersas na literatura. A pesquisa deve englobar livros, catálogos de fornecedores e, principalmente, artigos apresentados em congressos específicos da área, além de comunicação direta com responsáveis pela implantação e operação das tecnologias.

Um banco de dados passa a ter grande utilidade para o desenvolvimento desta e de outras pesquisas que caracterizem os sistemas APM/AGT, onde através de modelagens é possível proceder comparações e simulações, no intuito de determinar tendências de mercado. Também, podem ser realizadas análises de *benchmarking*, úteis para fabricantes que desejarem realizar projetos bem estruturados e competitivos.

O trabalho pode ajudar a determinar quais são as principais tecnologias APM/AGT em operação em nível mundial, assim como verificar quais fatores tornam certas tecnologias líderes de mercado, para que novos projetos tenham o seu balizamento feito a partir das mais bem sucedidas implantações.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta monografia é a identificação de características e tendências técnico-econômicas dos sistemas APM/AGT. Entre os objetivos específicos constam: a caracterização dos sistemas APM/AGT; a descrição da situação atual dos sistemas APM/AGT; a identificação das principais oportunidades e barreiras encontradas; a caracterização do mercado de APM/AGT e do grau de consolidação das empresas; e a análise comparativa na dimensão técnico-econômica das tecnologias.

1.4 Estrutura da Monografia

Esta monografia está dividida em cinco capítulos. O presente capítulo apresenta o tema, a justificativa, os objetivos, a metodologia e o delineamento da pesquisa.

No capítulo dois é feita a caracterização dos sistemas APM/AGT, referenciando as principais aplicações, o histórico, a situação atual e as principais oportunidades e barreiras encontradas.

O capítulo três descreve o mercado de APM/AGT, apontam-se as tendências de investimento e faz-se uma breve apresentação das principais empresas quanto ao seu nível de consolidação neste mercado.

No quarto capítulo é apresentado o comparativo técnico-econômico das tecnologias APM/AGT. Descreve-se a formação do banco de dados, a Análise Envoltória de Dados, e apresenta-se como esta modelagem foi utilizada para o comparativo. Ainda, mostram-se os resultados obtidos.

O quinto capítulo contempla as considerações finais baseadas nos resultados da modelagem e no contexto apresentado no trabalho. Também são feitas sugestões para outras pesquisas.

2 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS APM/AGT

Embora não haja uma classificação consolidada, Trans.21 (2006) sugere o termo *Automated People Movers* (APM) para todos os sistemas capazes de operar sem auxílio de operadores e atendentes internamente ao veículo, independente de seus cenários de aplicação. Vuchic (2007) separa os sistemas com automação total em dois grupos: APM, sistemas menores, utilizados em locais restritos, na maioria das vezes, aeroportos; e *Automated Guided Transit* (AGT), sistemas maiores, utilizados em linhas regulares de transporte urbano.

O termo APM é utilizado, em geral, para descrever sistemas usados em linhas curtas, em via exclusiva, geralmente elevadas, em forma de *loops* ou *shuttles*, e utilizando o controle operacional automatizado. Os principais mercados para APM são os aeroportos, porém são implantados também em centros de lazer e instituições. Vuchic (2007) menciona a existência de APM em 26 aeroportos, variando em extensão desde 700 metros (Pittsburg, EUA) a 10 quilômetros (São Francisco, EUA), com a maioria na média de 1 a 4 quilômetros.

De forma geral, emprega-se o nome AGT aos sistemas que funcionam como transporte de grande volume de passageiros, como é o caso do transporte em centros urbanos e transporte por eixos troncais. Estes veículos apresentam maior capacidade que os empregados por APM, principalmente devido ao maior número de veículos por composição.

Os veículos usados em sistemas APM, em geral, apresentam capacidade média (em torno de 40 passageiros) mesmo utilizando veículos de tamanhos reduzidos (em torno dos 12 metros de comprimento e 2,8 metros de largura). Esta capacidade é atingida devido ao fato dos veículos disporem de poucos assentos, pois trafegando por linhas curtas a necessidade de assentos fica quase que exclusivamente destinada para finalidades especiais, como é o caso de idosos e portadores de necessidades especiais.

As composições de tecnologias APM são formadas por, em média, dois ou três veículos. Já as composições utilizadas por tecnologias AGT apresentam um número maior de veículos e, por percorrerem trechos mais longos, apresentam capacidade similar à de metrô, pois precisam garantir assentos disponíveis devido às longas viagens.

O uso de veículos menores e mais leves que os convencionais vêm proporcionando a utilização de materiais alternativos na construção das vias, como por exemplo: metal, quando anteriormente utilizava-se apenas o concreto. Esta inovação favorece a redução nos custos com infra-estrutura e permite estruturas visualmente mais leves e menos intrusivas.

Na grande maioria das tecnologias, o veículo apresenta sustentação por pneus de borracha e é guiado através de trilhos. Apesar de grande parte dos sistemas utilizarem veículos com motores internos, atualmente a propulsão externa vem se mostrando bastante competitiva, principalmente no que se refere ao custo de implantação (LINDAU et al., 2007). Pode-se exemplificar este caso com o sistema tracionado a cabo implantado no Aeroporto de Birmingham, Inglaterra, mostrado na figura 1, que sucedeu um sistema de levitação magnética (VUCHIC, 2007).



Figura 1 – Sistema APM tracionado a cabo do aeroporto de Birmingham (DCC DOPPELMAYR CABLE CAR GMBH & CO, 2007a)

2.1 Principais Aplicações

Os sistemas APM/AGT são utilizados em diferentes aplicações. Os principais nichos de mercado destes sistemas são os aeroportos, porém destacam-se outros quatro grandes grupos: centros de lazer, instituições (que são classificadas como aplicações especiais), corredores urbanos e de abrangência local.

Considerando distinção entre APM e AGT, Mori¹ indica a que 69% das tecnologias aplicadas pertencem ao grupo dos sistemas APM, tendo como representantes as aplicações em aeroportos, centros de lazer, *resorts* e as aplicações especiais (que inclui instituições). Os restantes 31% correspondem aos sistemas AGT, representados por implantações em corredores urbanos e de abrangência local, entre eles: alimentadores de transporte de massa e linhas circulares centrais.

Os grandes aeroportos são os principais clientes de APM, sendo utilizadas, em geral, tecnologias de médio porte. Aeroportos desta dimensão necessitam de boas integrações entre terminais e as tecnologias APM propiciam estas ligações de forma rápida, segura e confortável. Atualmente, aeroportos de médio porte já estão também incluindo em seu planejamento a construção de APM.

Alguns centros de atividades e grandes *resorts* utilizam o sistema APM para comodidade de seus clientes. Parques temáticos e grandes hotéis utilizam o APM em primeiro plano para os deslocamentos propriamente ditos, mas também fazem uso do visual futurista da maioria dos veículos como parte da atração ofertada. A ligação entre uma das principais avenidas de Las Vegas e um famoso complexo de hotéis é feita pela tecnologia de cabos em via metálica apresentada na figura 2.

¹ David Mori, engenheiro da Jakes Associates, Inc. em palestra na SEDETEC, UFRGS, 12 mar. 2008



Figura 2 – Aplicação de APM em resorts (JAKES ASSOCIATES, INC., 2007)

Algumas instituições, como, por exemplo: universidades e hospitais, adotam o APM para diminuir determinados deslocamentos e integrar suas diversas áreas físicas. Exemplos de aplicação em instituições são: Universidade de Dortmund, na Alemanha; Hospital Huntsville e Universidade West Virginia, EUA. A tecnologia implantada em Dortmund pode ser vista tanto na figura 3, em detalhe, quanto na figura 4, através de uma vista aérea do campus.



Figura 3 – Tecnologia APM implantada na Universidade de Dortmund (H-BAHN 21, 2008)



Figura 4 – Vista aérea da tecnologia APM utilizada na Universidade de Dortmund (MEIN-DORTMUND, 2008)

Atuantes tanto em corredores urbanos quanto para deslocamentos de abrangência local, os AGT, são responsáveis pela movimentação de grandes volumes de passageiros. Nestas aplicações os AGT se assemelham esteticamente a sistemas mais convencionais, como os metrô e *light rails*, por exemplo. Uma das vantagens do uso do sistema automatizado, neste caso, encontra-se na possibilidade do uso de *headways* menores que os utilizados por sistemas operados manualmente, reduzindo o tempo de espera dos usuários e permitindo o aumento da oferta de transporte. A maioria das implantações desta categoria acontece na Ásia.

2.2 Breve Histórico

Vuchic (2007) aponta um período particular de desenvolvimento de novos modais entre os anos 1960-1980. A principal razão para este avanço decorreu da introdução de métodos computacionais e da operação automática de veículos.

Os governos de vários países, como, por exemplo, Estados Unidos, Alemanha, Japão, investiram em projetos de pesquisa, desenvolvimento e implantação de sistemas automatizados. Diversas foram as tecnologias criadas, algumas atingiram a consolidação e se mantêm no mercado até hoje, porém a maioria das tecnologias não teve condições de competir com modais convencionais (VUCHIC, 2007).

A primeira implantação de uma tecnologia APM deu-se no Aeroporto Internacional de Tampa, EUA, em 1971. Desde então mais de cem implantações foram feitas, algumas continuam em funcionamento até hoje e outras acabaram cessando as atividades por diversos motivos, entre eles, a falta de competitividade em avanços tecnológicos e dificuldades financeiras em manter pesquisas associadas à tecnologia.

2.3 Situação Atual dos APM/AGT

A discussão sobre sistemas APM/AGT vem ganhando espaço no contexto do transporte urbano. Com o crescimento da população urbana e dos congestionamentos, há um correspondente aumento de interesse por uma melhor qualidade de circulação dentro dos principais centros de atividades e por conexões entre estes centros e outros sistemas de transporte urbano (WARREN, 2000). Embora ainda prevaleça o domínio de tecnologias convencionais na oferta do transporte coletivo urbano, caracterizado pelos sistemas sobre pneus e trilhos convencionais, o setor transporte mostra-se historicamente aberto às inovações (VUCHIC, 2007).

Pode-se dizer que os motivos que contribuem para o desenvolvimento dos sistemas APM/AGT residem: na facilidade de construção, pois a maioria das tecnologias utiliza o conceito de modularização de sua estrutura;

na inexistência de conflitos com sistemas tradicionais motorizados e não-motorizados na superfície, pelo fato da circulação acontecer em via elevada; na oportunidade de prover maior conforto aos seus usuários (TRANS. 21, 2006; WARREN, 2000).

Assim como existem pontos positivos, há também características que podem influenciar negativamente a concepção de um sistema APM/AGT. Vuchic (2007) comenta que, apesar do transporte em via elevada ser o principal atrativo do sistema, a aceitação de veículos trafegando entre prédios altos, como os encontrados nos centros urbanos, é menor do que a inicialmente esperada.

2.4 Oportunidades e Barreiras

Existe uma demanda natural pela redução dos custos de sistemas automatizados em todos os segmentos, desde aeroportos até instalações privadas de transporte coletivo. A busca deste objetivo requer a revisão de alguns conceitos, pois atualmente os sistemas automatizados são tidos como

caros e restritos a poucas aplicações. Para que a indústria de sistemas APM/AGT cresça e novas oportunidades sejam bem aproveitadas é necessário que barreiras sejam contornadas ou mesmo extintas.

Para que os sistemas automatizados se tornem atrativos e competitivos em novos mercados, Pedersen (2007) sugere a busca pela redução dos custos globais de implantação, operação e manutenção. Ainda, indica a necessidade de simplificar elementos tecnológicos e aumentar a padronização de componentes. Os fornecedores deveriam também adotar uma postura próativa para abrir novos nichos de aplicações, trabalhando em cooperação com planejadores urbanos, empreendedores e financistas.

Warren (2000) aponta que a redução isolada dos custos de implantação da tecnologia tem pouco efeito sobre o custo de obras civis. Por exemplo, uma redução de 25% no custo da tecnologia, reduziria em menos de 8% o custo total da implantação. Além disso, comenta que uma redução significativa dos custos globais pode ser obtida com o avanço dos materiais e das técnicas de construção.

3 MERCADO DE APM/AGT

O mercado de sistemas automatizados vem crescendo de forma considerável, tendo quadruplicado nas últimas décadas apesar de um declínio em meados da década de 90. Jakes (2003) e Warren (2000) indicam a existência de uma estabilidade atual no mercado de AGT, enquanto os sistemas APM apresentaram bastante variação na quantidade de projetos ao longo dos anos. Mori indica a existência, em 2008, de um mercado potencial de dez bilhões de dólares² para sistemas automatizados de transporte.

No início do desenvolvimento dos APM/AGT muitas empresas se arriscaram com a criação das mais diferentes tecnologias, algumas foram muito bem sucedidas, outras não. Para garantir a entrada neste mercado necessita-se de projetos baseados na redução de custos globais e na busca de nichos atraentes para este tipo de empreendimento, além do conhecimento técnico e econômico (PEDERSEN, 2007). Novos entrantes devem ter conhecimento aprofundado das tecnologias líderes de mercado, de forma a qualificar seus novos produtos e torná-los tão atrativos quanto os ofertados pela concorrência.

Os principais centros de atividades vêm buscando tornar o deslocamento de seus usuários o mais confortável, rápido e seguro possível. Para tal, algumas integrações, antes feitas a pé ou com veículos tradicionais sobre pneus, foram substituídas por sistemas automatizados guiados, em sua maioria, por trilhos. A consolidação e a confiabilidade de algumas tecnologias e empresas contribuíram para que os Sistemas APM/AGT se tornassem uma opção viável de transporte.

Outro ponto contribui para a consolidação de determinadas tecnologias: ter como base de projeto as normas criadas pela *American Society of Civil Engineering* (ASCE). As normas foram elaboradas nos anos 90 e regulamentam questões como: construção, operação, manutenção e design das vias utilizadas. Desde então promover uma tecnologia sintonizada a essas normas passou a ser um ponto muito positivo para os potenciais clientes.

A localização de tecnologias apresenta desigualdade entre o novo e o velho mundo visto que 50% das tecnologias encontram-se na América do Norte, enquanto Europa e Ásia possuem 20% cada. Percebem-se três formas diferentes no que diz respeito ao tipo de implantação. Pode ser feita a opção pelo investimento público, privado ou misto (público-privado). Jakes (2003) menciona que 60% das implantações são realizadas por clientes públicos, destes 20% ocorrem em aeroportos.

O desenvolvimento das tecnologias APM/AGT apresenta-se como um grande desafio para a coordenação das áreas de design, construção, operação e manutenção. Warren (2000) comenta que esta é uma razão para o desenvolvimento de APM/AGT de dimensão local ser realizado pela iniciativa privada. Contudo, lembra que há necessidade de uma definição do setor governamental quanto a uma política de incentivos aos investidores privados, para que juntos possam compartilhar tanto os riscos quanto os lucros.

² David Mori, engenheiro da Jakes Associates, Inc. em palestra na SEDETEC, UFRGS, 12 mar. 2008

A evolução das tecnologias APM/AGT pode ser dividida em três partes: as tecnologias consolidadas e bem sucedidas, as novas tecnologias no mercado e as que ainda estão em desenvolvimento.

Entre as tecnologias consolidadas, destaca-se a empresa canadense Bombardier, com grande experiência nos mercados de aviação e ferroviário. A empresa investe em APM/AGT desde 1970. A primeira implantação da tecnologia automatizada foi feita pela empresa no Aeroporto Internacional de Tampa, EUA, e se mantém em funcionamento até hoje. Em todos estes anos de mercado a empresa investiu em diversas tecnologias, as principais ofertadas pela empresa no ramo de APM são: o C-100, o CX-100 e o *Innovia*. Cabe evidenciar a adequação destas às normas apresentadas pela ASCE, o que facilita a consolidação da Bombardier como a principal participante no mercado de APM.

Entre as empresas que recentemente conseguiram se lançar como alternativa às tecnologias mais demandadas estão a DCC Doppelmayr Cable Car GmbH & Co (DCC), empresa austríaca com aproximadamente cem anos no mercado de sistemas de transporte a cabo (DCC DOPPELMAYR CABLE CAR GMBH & CO, 2007b), e a Mitsubishi Heavy Industries (MHI), criada no Japão há mais de quatro décadas (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD., 2007). O Trans. 21 (2006) classifica a tecnologia ofertada pela empresa austríaca como muito eficiente em custo no que diz respeito à manutenção e operação. Uma das diferenças apresentadas pela DCC é a propulsão feita através de cabos que tracionam os veículos. Entre as inovações apresentadas está a via feita em aço, que garante uma imagem leve e possibilita uma melhor integração estética da via com a paisagem local. Apesar de não se adequar às normas da ASCE, pois a via apresenta padrões diferentes dos normatizados, a tecnologia aparece como uma das mais promissoras no mercado.

A Mitsubishi Heavy Industries assim como a DCC, vem mostrando condições de entrar de forma sólida na disputa por um mercado até pouco tempo restrito. A empresa explorava inicialmente apenas o mercado asiático, porém, nos últimos anos, vem dedicando atenção especial a outros continentes (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, 2007). Prevê-se que no ano de 2008 a MHI inaugure cinco linhas, uma em Washington, outra em Atlanta, EUA,

Entre as tecnologias em fase de desenvolvimento encontra-se o Sistema Aeromóvel. Apesar de a idéia ter sido concebida ainda nos anos 70 (LINDAU; FURTADO, 1987), foi no ano de 2006 que se partiu para a busca de certificação da tecnologia (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE DO RIO GRANDE DO SUL, 2007).

Na década de 80 o sistema foi implantado experimentalmente em um trecho na cidade de Porto Alegre, nas imediações da Usina do Gasômetro, e outro em um parque de diversões de Jacarta na Indonésia, como mostra a figura 5. Apesar de muito estudado o projeto ainda não ganhou escala comercial.



Figura 5 – Sistema Aeromóvel implantado em Jacarta, Indonésia (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL, 2007)

No ano de 2006 foi oficializada uma parceria entre Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a FINEP, para a implantação de uma Linha-Laboratório no campus da PUCRS. Também está sendo estudada, desde 2007, a aplicação do Aeromóvel para a conexão da Estação Aeroporto da TRENSURB ao Terminal Novo do Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre (TRENSURB, 2008).

4 COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÔMICO DE TECNOLOGIAS

4.1 Descrição da Formação do Banco de Dados

A falta de informações consolidadas sobre sistemas APM/AGT evidenciou a necessidade da formação de um banco de dados. Para realização desta tarefa foram utilizadas três etapas: a listagem das tecnologias implantadas, a definição de parâmetros a serem estudados e a busca por informações.

O guia intitulado *Planner's Guide to Automated People Movers 2006/2007* proporcionou, em uma primeira etapa, a listagem de todas as tecnologias em operação até o ano de 2005. Identificou-se a existência de aproximadamente 120 implantações, agrupadas quanto a sua aplicação: aeroportos, lazer, institucional, corredores urbanos e abrangência local. As tecnologias estudadas constam do quadro 1. A nomenclatura utilizada nos quadros é a mesma constante da publicação consultada.

A segunda etapa da montagem do banco de dados corresponde à determinação das características a serem estudadas. Buscou-se estabelecer parâmetros que contribuíssem para a avaliação global de um sistema de transporte distribuídos em seis grandes grupos:

Aplicações de APM/AGT				
Aeroportos	Instituições	Centros de Lazer	Corredores Urbanos	Abrangência Local
Atlanta	Belfast Mall	Aeromóvel	Ankara	Bukit Panjang
Cincinnati	Clarian Health	Abu Dhabi Museum	Chiba	Detroit DPM
Dallas-Ft Worth	Dortmund Univ.	Aichi HSST	Ina	Haifa Incline
Denver	Duke University	Bellagio	Kita Kyushu	Hiroshima Skyrail
Detroit	Getty Center	Bronx Zoo	Wuhan	Hong Kong Penny Bay
Frankfurt	Huntsville Hospital	CalExpo	Chongging	Jacksonville Skyway
Hong Kong	Las Colinas	Chester Zoo	Copenhagen	Kobe Portliner
Houston	Las Vegas Monorail	Circus-Circus Reno	Kuala Lumpur	Kobe Rokkoliner
Kuala Lumpur	London Docklands	Hersheypark	Lille 1	Laon
Las Vegas	Milan	Helsinki-Lin Park	Lille 2	Miami Metromover
London Gatwick	Morgantown	Hong Kong	Paris	Nagoya HSST

4º Concurso de Monografia CBTU 2008 – A Cidade nos Trilhos

	PRT	Disney	Meteor	
London Stansted	Moscow Monorail	LotteWorld	Rennes	Osaka New Tram
Madrid	Oerias	Magdeburg	Singapore	Punggol
Miami	Pearlridge	Magic Mt	Taipei-Brown	Scarborough
Minneapolis	Rio Barra Shopping	Mandalay bay	Tokyo Yukarime	Sengkang
Orlando	US Senate Subway	Manila Dreamland	Toulouse	Serfaus
Osaka - Kansai	Shangai Shuttle	Memphis-Mudd Island	Turin	Sydney HarbLink
Pittsburgh	Teajon	Miami Zoo	Vancouver Skytrain	Tokadai(Nagoya)
Rome	Villepinte	Minn Zoo	Vancouver Millenium	Yukarigaoka
Seattle Tacoma	Ziegenhain Hospital	Mirage-Tr Island	Yokohama	
Singapore Changi		Primm Unitrak		
Tampa		ShenzhuenPk		
Tampa Parking		Shenzhuen City		
Taipei		Sun City		
Tokyo – Narita		Tokyo Disneyland		
Toronto		Whiskey Pete's		
Zurich		York		
Birmingham				
Chicago O'Hare				
Dusseldorf				
Minneapolis				
NY JFK Airtrain				
Newark				
Paris OrlyVAL				
San Francisco				

Quadro 1 - Tecnologias APM/AGT implantadas e em funcionamento até o ano de 2005

Identificação: são apresentados os parâmetros que melhor caracterizam uma tecnologia implantada. Classificam-se os tipos de aplicação e o sistema (APM ou AGT), apresenta-se a tecnologia utilizada, assim como o tipo de propulsão. Também neste grupo são identificados o fabricante, o local da implantação e qual o ano de inauguração.

Caracterização da linha: são apresentados os parâmetros que qualificam e quantificam fisicamente a via. Neste grupo são apresentados quantitativamente: extensão; número de estações; greide máximo, que representa a rampa máxima da via; e raio de curvatura mínimo, que indica qual a maior deflexão encontrada. Quanto à configuração da linha, a classificação é feita qualitativamente. Neste item dois parâmetros são abordados: a forma, que classifica o eixo da via quanto à semelhança com os formatos das letras O, Y, X, T e I do alfabeto latino; e o tipo, que separa a linha em simples, que possui apenas um eixo de tráfego, permitindo um sentido de deslocamento por vez, e dupla, que permite deslocamentos nos dois sentidos simultaneamente.

Características do veículo: são identificados os seguintes parâmetros: área, comprimento, largura e peso de um único veículo; a capacidade de passageiros sentados e em pé; o número de veículos de uma composição; e por fim, o peso-morto, que relaciona o peso do veículo com a capacidade de passageiros.

Características operacionais: são relacionados tanto parâmetros de oferta, como, por exemplo: *headway*, aceleração, desaceleração, velocidades alcançadas; quanto parâmetros de demanda, como, por exemplo: o número de passageiros registrado em um certo período. Além disso, é determinada a capacidade da linha.

Custos de implantação: discrimina os diferentes itens que formam os custos de implantação: o custo total, o custo por quilômetro, os gastos com a via e estações e o custo da implantação do sistema de controle

Custos de operação: são referentes à manutenção das instalações construídas e adquiridas, como é o caso da via, das estações e do sistema de controle. São ainda adicionados dois parâmetros: energia gasta, ainda no campo de manutenção; e os gastos com recursos humanos.

Para consolidação dos dados buscou-se auxílio de uma planilha eletrônica Excel®, o conjunto de tecnologias e parâmetros foi montado sob forma de uma matriz, as linhas correspondendo às tecnologias e as colunas aos parâmetros.

Na terceira, e última, parte da formação do banco de dados é feita a coleta de informações, que dão preenchimento à matriz formada. As principais fontes de dados são os artigos publicados nas diversas edições da Conferência Internacional de APM, que ocorre a cada dois anos, desde 1985. Também são utilizados na busca de dados livros e revistas sobre sistemas de transporte, e contatos com consultores e responsáveis por algumas tecnologias.

A maior parte do material disponível na literatura trata de situações pontuais, descreve uma tecnologia em particular e traz apenas alguns dados para contextualizar o tema abordado no texto. A dispersão das informações remete a necessidade de uma longa busca pelos dados desejados. Cada material precisa ser lido e analisado para que os parâmetros desejados sejam obtidos da forma correta.

Após pesquisa no material disponível a matriz encontra-se parcialmente preenchida, cada um dos dados obtidos foi armazenado, juntamente com sua fonte, para que posteriormente este dado possa ser atualizado ou corrigido. Algumas informações apresentaram mais dificuldade para serem encontradas. Os custos de implantação e operação, por exemplo, são informações de difícil acesso. Informações técnicas mostram-se, em geral, mais acessíveis que as econômicas.

4.2 Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados (DEA, do inglês *Data Envelopment Analyses*) é uma técnica não-paramétrica³ de Pesquisa Operacional que se baseia na programação linear para comparar unidades produtivas (COOPER et al., 2006). O objetivo do método é determinar, para um grupo de unidades comparadas, quais são eficientes em relação ao grupo de parâmetros analisados.

O primeiro estudo realizado foi a tese de doutoramento de Edward Rhodes, orientada por Cooper, que tinha como tema avaliar o programa de acompanhamento a estudantes carentes. Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978, propuseram o método com o objetivo de determinar a eficiência tendo como dados de partida múltiplos insumos e produtos (KASSAI, 2002).

As unidades em estudo na DEA são chamadas de Unidades de Tomada de Decisão (DMU, do inglês *Decision Making Units*). Elas podem ser representadas por empresas, instituições, peças de produtos e também sistemas de transporte. Cada DMU pode ser representada por um conjunto de *outputs* (produtos) e um conjunto de *inputs* (insumos).

Para um caso simples em que se considera apenas um insumo e um produto, a eficiência pode ser relacionada com produtividade da DMU, ou seja, para o caso de todo o insumo ser convertido em produto temos um caso com eficiência de 100%, esta relação é expressa como mostra a equação 1.

$$Eficiência = \frac{\textit{produto}}{\textit{insumo}} \quad (\text{Equação 1})$$

Para o caso de haver múltiplos insumos e produtos, como é o caso da maioria das unidades, é preciso que um ajuste seja feito, pois nem sempre as variáveis que compõem o processo apresentam a mesma significância na produção. Para resolver este problema e determinar eficiência, a técnica de DEA propõe que seja feita a razão entre a soma ponderada dos produtos e a soma ponderada dos insumos, como apresenta a equação 2.

$$Eficiência = \frac{\textit{Soma ponderada de produtos}}{\textit{Soma ponderada de insumos}} \quad (\text{Equação 2})$$

O modelo matemático para o calcula da eficiência de uma DMU, apresentado por Cooper et al. (2007 apud Lindau et al.,2007), pode ser observado nas equações 3 e 4.

³ Técnica não-paramétrica: não necessita estimar com antecedência funções de produção.

$$efici\tilde{e}ncia_i = \frac{\sum_{k=1}^s v_k y_{ki}}{\sum_{j=1}^m u_j x_{ji}} \quad (\text{Equa\c{c}\~{a}o 3})$$

$$\theta^* = \max \frac{\sum_{k=1}^s v_k y_{kp}}{\sum_{j=1}^m u_j x_{jp}} \quad (\text{Equa\c{c}\~{a}o 4})$$

$$tal\ que \frac{\sum_{k=1}^s v_k y_{ki}}{\sum_{j=1}^m u_j x_{ji}} \leq 1 \quad \forall i, v_k \geq 0, u_j \geq 0, \forall k, j$$

Onde:

θ^* = efici\~{e}ncia m\~{a}xima;

i e p = representam um dos sistemas considerados;

s = n\~{u}mero de sa\~{i}das;

m = n\~{u}mero de entradas;

v_k = peso atribu\~{i}do para a sa\~{i}da k ;

y_{ki} = valor da sa\~{i}da k do sistema i ;

u_j = peso atribu\~{i}do para a entrada j ;

x_{ji} = valor da entrada j do sistema i .

A combina\c{c}\~{a}o de diferentes DMU forma uma fronteira (ou curva) de efici\~{e}ncia para o conjunto estudado. A fronteira \~{e} formada pelas DMU cujo plano de produ\c{c}\~{a}o n\~{a}o pode ser superado por nenhuma outra, considerando os pesos atribu\~{i}dos pela resolu\c{c}\~{a}o do problema de Programa\c{c}\~{a}o Linear para as suas quantidades de insumo e produto.

As DMU consideradas ineficientes s\~{a}o alocadas abaixo da curva, sendo envolvidas pelas eficientes. Cada combina\c{c}\~{a}o de DMU produz uma fronteira diferente, pois modifica o conjunto de produ\c{c}\~{a}o, ou seja, inserir ou retirar uma DMU do grupo de an\~{a}lise afeta a determina\c{c}\~{a}o das DMU eficientes. Um exemplo de fronteira de efici\~{e}ncia pode ser visto na figura 6, onde as DMU sobre a curva s\~{a}o as consideradas eficientes e as demais ineficientes.

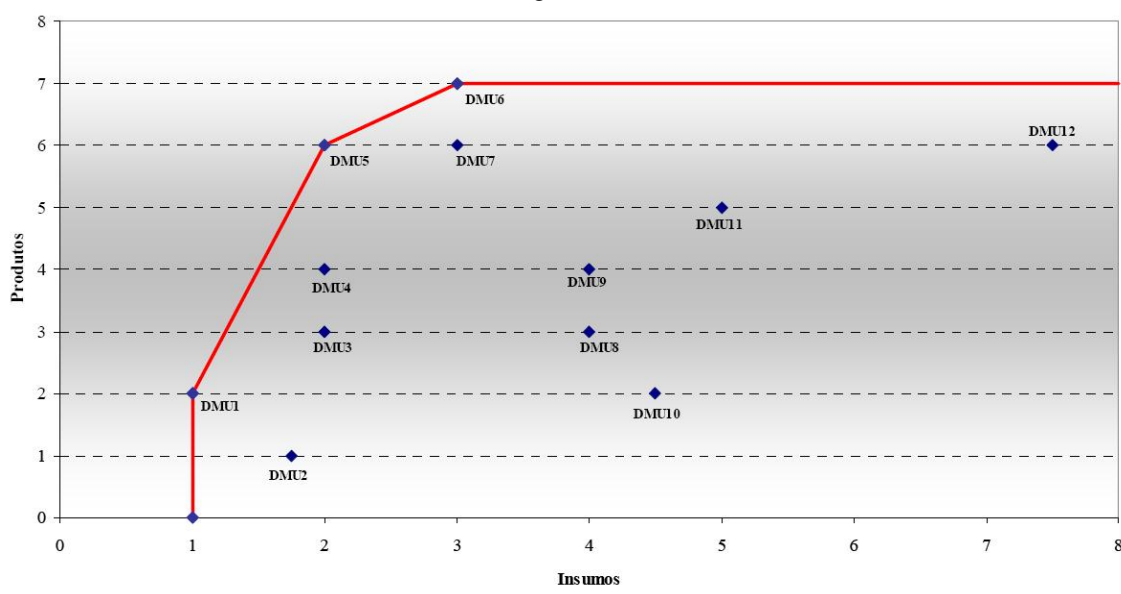


Figura 6 - Fronteira de eficiência (GUERREIRO, 2006)

Azambuja (2002) comenta que uma característica chave dos modelos de DEA é que os pesos não precisam ser previamente estabelecidos. Eles são escolhidos para maximizar a eficiência de uma DMU. Uma unidade será eficiente quando obtiver valor igual a 1 (um) ou 100% em relação ao conjunto DMU estudado, e ineficiente se obtiver valor menor a 1 (um).

Anjos (2002) cita como principais características de modelos de DEA:

- não ser necessária a conversão das variáveis em unidades monetárias;
- os índices de eficiência se originam de dados reais;
- as organizações que se encontram fora da média de comportamento podem ser considerados *benchmarks* e estudados;
- permitir considerar vários critérios para determinação de unidades eficientes;
- ser uma eficiência relativa, pois parte de dados apresentados.

Como todos os métodos, a DEA apresenta algumas limitações. Kassai (2002) aponta as seguintes:

- erros de medição podem comprometer sensivelmente a análise, pois um dado colocado de forma errada pode alterar a avaliação de todo o grupo de DMU;
- por ser uma técnica não-paramétrica, torna-se difícil formular hipóteses estatísticas;
- por criar um avaliação para cada DMU sob análise, problemas muito extensos podem levar um tempo computacional elevado.

Os modelos de DEA permitem que os pesos e as variáveis mudem sem nenhuma restrição inicial, o que pode causar algumas distorções nos resultados. A presença de valores extremos dentro dos fatores analisados pode fazer com que os pesos tornem-se irrealistas, como por exemplo: dar peso zero

a uma variável conhecidamente importante na produção, por esta apresentar valor muito diferente dos apresentados pela mesma variável de outras unidades presentes no grupo analisado. Caso haja necessidade, é preciso proceder a uma ponderação dos pesos antes de iniciar a modelagem.

O estudo de eficiência por modelos de DEA passa por três pontos principais: definição e seleção das DMU a serem estudadas, a determinação dos *inputs* e *outputs* e aplicação da DEA através de softwares. São apontados por Anjos (2005) e Kassai (2002) alguns cuidados na seleção de DMU, *inputs* e *outputs*:

- as DMU devem ser comparáveis;
- convergência das atividades desenvolvidas e objetivos, ou seja, devem atuar sob as mesmas condições;
- os fatores (*input*, *outputs*) devem ser os mesmos para cada unidade, diferindo apenas na intensidade ou magnitude;
- avaliar o número de DMU, *inputs* e *outputs*, pois se houver um baixo número de DMU em relação aos fatores pode ocorrer uma elevação dos indicadores de desempenho, tornando um grande número de DMU eficientes;
- aumento da amostra pode incorporar uma certa heterogeneidade às DMU, possibilitando que os resultados sejam afetados por fatores externos.

Deve-se observar que os modelos DEA possuem duas opções quanto a orientação: orientado para *inputs*, no qual se obtém o máximo nível de *outputs* mantendo os *inputs* fixos, ou um modelo orientado a *outputs*, visando obter um menor uso de *inputs* dado o nível dos *outputs*. A escolha da orientação é feita pelo pesquisador responsável pelo estudo.

4.3 Aplicação do Método DEA

4.3.1 Determinação de Tecnologias e Parâmetros

O estudo em questão tem como um de seus objetivos fazer comparações técnico-econômicas entre tecnologias APM/AGT. Parte-se do princípio que, considerando os parâmetros estudados, os custos representam as questões econômicas enquanto os demais são parâmetros técnicos.

O passo inicial para aplicação do método de DEA é determinar quais são as tecnologias (DMU) que estão aptas a fazer parte do grupo de análise. A próxima etapa, em geral, é determinar quais são os fatores que serão tratados como *inputs* e *output*. Considerando a dificuldade e escassez de dados disponíveis, nem toda a matriz pode ser preenchida, logo a ordem dos passos de aplicação da DEA foi alterada.

No caso desta pesquisa, primeiro foram observados quais parâmetros apresentavam um volume significativo de dados para serem analisados, ou seja, apresentavam valores para os mesmos parâmetros de várias tecnologias; só depois desta verificação foram escolhidos os parâmetros e as tecnologias a serem analisadas.

Como *input* do comparativo de tecnologias foi adotado apenas o custo de implantação, considerando dois aspectos: que o custo de implantação (em milhões de dólares) é o investimento necessário para atingir um nível específico de produção (*output*) e que este parâmetro apresenta dados em quantidade significativa para proceder a análise.

Tomou-se o cuidado de escolher como *outputs* fatores que abrangessem os parâmetros básicos da avaliação de um sistema de transporte. Para isto foram escolhidos como *outputs*: extensão (em quilômetros), número de estações, velocidade máxima (em quilômetros por hora) e capacidade da linha (em passageiros por hora por sentido).

Observa-se que a dificuldade de preencher completamente a matriz levou a um cuidado maior na escolha dos fatores, pois para se proceder a análise é necessária uma matriz completa de dados. Inicialmente foram selecionadas as tecnologias que possuíam dados para custos de implantação, após foi adicionado o parâmetro extensão da linha, com isso as tecnologias que apresentavam dados para custos de implantação, mas não para extensão da linha foram eliminadas. Este processo foi repetido até se chegar aos quatro parâmetros de saída adotados. As tecnologias que possuem valores para todos os parâmetros formam o grupo de DMU disponíveis para comparação. Nota-se que, caso se optasse por adicionar mais *outputs*, poderia ocorrer a diminuição do número de DMU estudadas, pois se houvesse algum campo sem dado, esta DMU seria retirada da análise. Proceder a análise com um grupo muito reduzido de tecnologias poderia causar a perda do caráter comparativo do estudo, além de interferir negativamente nos resultados encontrados.

Definidos os parâmetros para *input* e *outputs* e quais tecnologias apresentavam um conjunto completo dados para análise, foi possível sintetizar a matriz original e então formar uma nova matriz pronta para análise, esta está apresentada no quadro 2.

Tecnologias	Custo de implantação [\$ M]	Comprimento [km]	Número de estações	Velocidade máxima [km/h]	Capacidade da linha [pphs]
Dallas-FtWorth	864	8	10	56	5270
Denver	102	1,48	4	48	6000
Toronto	40	1,422	3	43,2	1090
Birmingham	16	0,588	2	36	804
San Francisco	104	4,27	9	48	6000
Aeromóvel	12	3,2	6	80	10000
Aichi HSST	955	8,9	9	100	4000
Mandalay bay	16	0,82	4	36	1480
Ina	266,5	12,6	13	60	3480
Taipei-Brown	920	10,5	12	80	30 000
Tokyo Yukarimome	1456,5	11,9	12	60	7 200
Yokohama	570	10,8	14	60	4 320
Hiroshima Skyrail	1542,7	18,4	21	60	5720
Kobe Portliner	383	6,4	9	60	3840
Kobe Rokkoliner	367,3	4,5	6	63	972
Miami Metromover	424	7,1	21	48	3200
Tokadai(Nagoya)	283	7,4	7	55	965
Yukarigaoka	18,4	4,1	6	50	1630

Quadro 2 – Banco de dados analisado (BOMBARDIER, INC., 2007; AEROMOVEL, INC , 2006; YAMAMOTO, NAKAZUMI, 2001; VUCHIC, 2007; DCC DOPPELMAYR CABLE CAR GMBH & CO, 2007b; PLANNER'S GUIDE TO APM, 2006; SFO AIRTRAIN TECHNICAL DATA SHEET, 2007; JAKES ASSOCIATES, INC., 2007)

4.3.2 Modelagem

A modelagem de DEA é feita com o auxílio de softwares específicos; os mais conhecidos são: EMS (*Efficiency Measurement System*), *DEA Solver*, DEA-SEAD (Software de Análise por Envoltória de Dados), DEAFrontier. Para este trabalho foi escolhido o EMS 1.3, por ser de fácil obtenção haja vista que é um software livre para uso acadêmico, disponibilizado pela Universidade de Dortmund, Alemanha.

O software necessita de algumas condições iniciais para fazer a modelagem, logo é preciso que alguns pontos sejam pré-determinados (EMS DATA ENVELOPMENT ANALYSIS SOFTWARE, 2008):

- estrutura: define se o modelo será convexo ou não-convexo;
- tipo de retorno de escala: pode-se optar por constante, variável, não-crescente ou não-decrescente;
- distância: pode ser radial, aditiva, média máxima ou média mínima;
- orientação: pode-se orientar o modelo para inputs ou outputs;
- uso da supereficiência: para o caso em que se queira classificar DMU eficientes.

Para este trabalho foram assumidas as seguintes condições: estrutura convexa, para que haja convergência do processo; retorno de escala variável, admitindo que a relação entre insumos e produtos possa não ser linear; distância radial, para garantir a simplicidade da modelagem, outras formas de distância necessitam estudos mais elaborados; orientação para *inputs* e não será usada a supereficiência, pois o principal interesse é saber quais são eficientes e não qual a melhor entre todas.

Definidas as condições iniciais, a modelagem pode ser iniciada. Considera-se a utilização completa do banco de dados selecionado para análise. Com isso chega-se ao resultado de eficiência para cada tecnologia apresentado numericamente na tabela 1, onde podem ser observados os *scores* de eficiência obtidos pelas tecnologias assim como os pesos atribuídos para cada uma das variáveis.

É importante ressaltar que todos os dados utilizados na modelagem foram obtidos a partir de aplicações reais, exceto os referentes ao Aeromóvel. Como ainda não apresenta operação comercial, os dados sobre o desempenho da tecnologia são obtidos de aplicações experimentais e da empresa Aeromovel Inc.

Tecnologias	Score de Eficiência	Pesos				
		input		output		
		Custo de implantação	Extensão	Número de estações	Velocidade máxima	Capacidade da linha
Aeromóvel	100,00%	1	0	0	0,92	0,08
Aichi HSST	100,00%	1	0	0	1	0
Ina	100,00%	1	0,86	0	0,14	0
Taipei-Brown	100,00%	1	0,09	0	0	0,91
Hiroshima Skyrail	100,00%	1	0,55	0,43	0	0,02
Miami Metromover	100,00%	1	0	1	0	0
Yukarigaoka	100,00%	1	1	0	0	0
San Francisco	92,76%	1	0,13	0,86	0	0
Birmingham	75,00%	1	0,01	0,01	0,95	0,03
Mandalay bay	75,00%	1	0,01	0,36	0,62	0,02
Yokohama	52,97%	1	0,1	0,36	0,52	0,01
Tokadai(Nagoya)	40,79%	1	0,86	0	0,14	0
Toronto	30,00%	1	0,24	0,1	0,46	0,2
Kobe Portliner	29,73%	1	0,19	0,81	0,01	0
Tokyo Yukarimome	23,29%	1	0,73	0	0	0,27
Dallas-Ft Worth	17,66%	1	0,21	0,79	0	0
Denver	11,76%	1	0,02	0,08	0,05	0,85
Kobe Rokkoliner	10,37%	1	0,76	0	0,24	0

Tabela 1 – Score de eficiência e pesos obtidos na modelagem

4.3.3 Resultados Obtidos

Da modelagem resultaram eficientes sete das dezoito tecnologias utilizadas na comparação, sendo estas apresentadas em destaque na tabela 1. Este resultado é obtido considerando que o método atribui pesos distintos de tal forma a tornar a DMU o mais eficiente possível e isto inclui pesos extremos (0 ou 1), como acontece em algumas situações. O método valoriza ao máximo o desempenho de cada DMU ao atribuir pesos maiores aos produtos em que esta se destaca frente às outras.

Em alguns casos, a tecnologia só se mostrou eficiente por receber peso 1 (um) em um dos parâmetros em que se sobressai frente às outras tecnologias. Neste caso os demais parâmetros recebem peso 0 (zero), o que, na prática, faz com que sejam desconsiderados na avaliação.

No modelo criado, por exemplo, a tecnologia Aichi HSST se mostrou eficiente apenas por receber peso 1 (um) no parâmetro velocidade máxima, foram desconsideradas as outras variáveis, que também tem importância na avaliação de um sistema de transportes. Nesta situação, não é feita a avaliação da extensão que, em sendo pequena, nem permitirá que esta velocidade máxima se desenvolva. O mesmo ocorre às tecnologias Miami Metromover e Yukarigaoka, que receberam peso 1(um) nos parâmetros número de estações e extensão, respectivamente.

As tecnologias que obtiveram *score* menor que 100%, sendo consideradas ineficientes, apresentaram uma distribuição de pesos diferente das consideradas eficientes. Na maioria dos casos, foram atribuídos pesos para todos os parâmetros, indicando que nenhum destes apresenta valores extremos dentro do grupo de tecnologias estudado. Porém, observa-se pontos positivos neste resultado, na medida que a tecnologia apresenta vários parâmetros homogêneos em relação ao

grupo, sendo que nenhum parâmetro é tão bom frente aos demais para receber peso 1(um), nem é tão ruim para merecer peso 0 (zero).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade atual de criar formas de deslocamento e conexões mais eficientes, seguras e confiáveis alavanca a busca por alternativas ao transporte convencional. Neste contexto, cresce o mercado dos sistemas APM/AGT. A variedade de aplicações e a possibilidade de utilizar diferentes tecnologias permitem a abertura de vários nichos de mercado.

O histórico recente dos sistemas APM/AGT e a pouca consolidação de dados acaba por limitar a possibilidade de comparação entre as diversas tecnologias e sistemas existentes. Estudos que permitam uma melhor caracterização comparativa das tecnologias disponíveis no mercado podem auxiliar tomadores de decisões. A apresentação de valores relativos a custos e desempenho pode também contribuir para pressionar a queda de preços destes sistemas, pois os investidores têm a possibilidade de tomar decisões baseadas em comparativos reais de custo-benefício.

As consolidações de algumas empresas vêm acelerando a concorrência entre elas, e o mercado que antes era dominado por uma única empresa, agora se mostra aberto a novas possibilidades. Tecnologias de bom desempenho, como é o caso da austríaca DCC e limita o mercado potencial para novos entrantes.

Projetos que envolvam parcerias público-privadas (PPP) devem ser incentivados. Na busca pela promoção de novas oportunidades de transporte, as PPP podem ser úteis. O setor privado apoiado pelo poder público, através de incentivos fiscais e econômicos, tem possibilidade de investir em transporte valores hoje não disponíveis em muitos cofres públicos.

Os APM/AGT ainda precisam evoluir em custos e padronização de equipamentos, mas já se apresentam como uma alternativa concreta para auxiliar na redução de conflitos e de tempo gastos em deslocamentos e conexões atualmente ineficientes.

5.1 Considerações Quanto ao Comparativo Técnico-Econômico

O Método de Análise Envoltória de Dados, em sua forma mais simples, mostra-se parcialmente adequado para a avaliação das tecnologias APM/AGT. Quanto à determinação da eficiência global das tecnologias, o método apresenta resultados um tanto limitados. Sem o uso de restrições aos pesos, todos os insumos e produtos são iguais em importância. Se a análise incluir somente fatores relevantes, os resultados de eficiência podem ser representativos. Por vezes, uma tecnologia torna-se eficiente por apenas um dos parâmetros ser considerado importante na composição de eficiência. O principal motivo para isto é a possibilidade da presença de valores extremos para os parâmetros estudados, fazendo com que um receba todo o peso e os demais nenhum.

Por outro lado, o método mostra significativa utilidade para avaliar de forma isolada os parâmetros de uma tecnologia. Através do peso atribuído a determinado parâmetro é possível analisar a importância deste para a composição da eficiência da tecnologia. A análise dos pesos pode auxiliar no diagnóstico sobre parâmetros que devam ser melhorados e os que estão em um padrão que possa ser considerado satisfatório. Além disso, o estudo dos pesos atribuídos pode auxiliar novos investidores através da indicação de onde as tecnologias já implantadas se destacam e quais seus pontos positivos e negativos.

5.2 Sugestões para Novos Estudos

Algumas sugestões são feitas para novos trabalho e continuidade deste. A primeira: que se continue a busca por dados que complementem a matriz de tecnologias e parâmetros. Quanto maior o número de dados consolidados, mais completa e consistente torna-se a análise e as conclusões obtidas sobre estes dados.

A segunda medida diz respeito ao método de Análise Envoltória de Dados. Existem possibilidades para tentar reverter os efeitos causados nos pesos pela presença de valores extremos no banco de dados. Técnicas que possibilitem, por exemplo, restringir pesos, evitariam que parâmetros recebam peso nulo ou unitário.

Ainda, outros métodos de análise poderiam ser considerados para fins da comparação global de tecnologias.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aeromovel Inc. Disponível em: < <http://www.aeromovel.com> > Acesso em: 7 maio 2006.

ANJOS, M. A. **Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) no estudo da eficiência econômica da indústria têxtil brasileira nos anos 90.** 2005. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

AZAMBUJA, A. M. V. **Análise de eficiência na gestão do transporte urbano por ônibus em municípios brasileiros.** 2002. 385 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BOMBARDIER, INC. 2007. [catálogo distribuído em evento: 11th International Conference on Automated People Movers]

COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. **Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses.** New York, USA. 2006

DCC Dopplemayr Cable Car GmbH & Co, Disponível em: < <http://www.dcc.at> >. Acesso em: 8 nov. 2007a.

DCC Dopplemayr Cable Car GmbH & Co. 2007b. [catálogo distribuído em evento: 11th International Conference on Automated People Movers].

EMS DATA ENVELOPMENT ANALYSIS SOFTWARE. Disponível em: < <http://www.wiso.uni-dortmund.de/lsg/or/scheel/ems/> > Acesso em: 13 mar. 2008

GUERREIRO, A.S. **Análise da Eficiência de Empresas de Comércio Eletrônico usando Técnicas da Análise Envoltória de Dados.** 2006. 90p. Dissertação (Mestrado Engenharia Industrial, Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

H-BAHN 21. Disponível em: < <http://www.h-bahn.info/en/gallery.php> >.

Acesso em: 9 abr. 2008.

JAKES, A.S.; Reasons why people movers are underutilized in solving traffic problems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATED PEOPLE MOVERS. 9., 2003, Singapore. **Proceedings...** ASCE.

JAKES ASSOCIATES, INC. Disponível em: < http://www.jakesassociates.com/projects_showcase.htm > Acesso em: 08 nov. 2007.

KASSAI, S. **Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na Análise de Demonstrações Contábeis.** 2002. Tese (Doutorado em contabilidade e controladoria). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de São Paulo, São Paulo.

LINDAU, L.A.; LEAO, A.; TODT, E. ; PEREIRA, B. M. Tendências de mercado e estudo comparativo de parâmetros técnicos e econômicos de tecnologias APM no contexto do Sistema Aeromóvel. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PUBLICO Y URBANO, 14., 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro.

LINDAU, L. A.; FURTADO, S. M. L.; Aeromóvel: uma contribuição tecnológica no campo dos sistemas não-convencionais. **Revista dos Transportes Públicos**, v. 37, n. 37, p. 33-45, 1987.

MEIN-DORTMUND. Disponível em: <<http://www.mein-dortmund.de/h-bahn.html>>. Acesso em: 9 abr. 2008.

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES. 2007. [catálogo distribuído em evento: 11th International Conference on Automated People Movers]

PEDERSEN, B. B., A new business model for APM systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATED PEOPLE MOVERS, 11., 2007, Viena, Austria. **Proceedings...** ASCE.

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/aeromovel/historico.php>>. Acesso em: 14 nov. 2007.

SFO AIRTRAIN TECHNICAL DATA SHEET. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <brenda@producao.ufrgs.br> em 12 abr. 2007.

TRANS. 21. **Planner's Guide to Automated People Movers**. Boston, USA: Trans.21, 2006.

TRENSURB. **Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S/A**. Disponível em: <http://www.trensurb.com.br/php/estudos_projetos/aeromovel.php>. Acesso em: 30 jul 2008

VUCHIC, V. **Urban Public Transportation: Systems and Technology**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

WARREN, R. Automated People Movers. A1E11 Committee on Major Activity Center Circulation Systems. **Transportation Research Board**, Washington, USA: 2000.

Disponível em: < <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/millennium/00008.pdf> > Acesso em: 19 nov. 2007.

YAMAMOTO, K., NAKAZUMI, S. An Update of the ATS and AFC Systems for Kobe Portliner. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATED PEOPLE MOVERS, 8., 2001, California, USA. **Proceedings....** ASCE. 1 CD.