

A BUSCA DA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICO-AMBIENTAL DO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO PARA O BRASIL

Erika Cristine Kneib
Universidade Federal de Goiás

Giovanna Megumi Ishida Tedesco
Programa de Pós-Graduação em Transportes – Universidade de Brasília

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estabelecer um conjunto de ações que contribuam para a sustentabilidade energético-ambiental e econômica do sistema de transporte público de passageiros - TPU, a partir da combinação de fontes energéticas e da evolução das tecnologias veiculares de TPU. Numa primeira etapa, são analisadas políticas de redução do uso do transporte individual motorizado e ações voltadas à redução do consumo de energia e ao aumento da eficiência energética. Com base nessas ações, numa segunda etapa, avalia-se a utilização de fontes combinadas de energia e de superfícies fotovoltaicas, regeneração e acumulação de energia. A segunda etapa fornece elementos para que, combinadamente, sejam buscadas tecnologias mais eficientes e menos poluentes para o TPU.

1. INTRODUÇÃO

No meio urbano, o transporte motorizado, baseado na queima de combustíveis, é o principal contribuinte das emissões de gases que causam o efeito estufa, levando ao aquecimento global. Na busca pela sustentabilidade das cidades, políticas públicas, que historicamente priorizavam o automóvel, têm procurado discutir a necessidade de priorização ao Transporte Público Urbano - TPU. Nesse sentido, a substituição das fontes de energia, ditas convencionais, atualmente utilizadas no TPU, é atualmente discutida como alternativa e necessidade para reduzir os impactos negativos decorrentes das emissões veiculares.

Esta substituição de fontes energéticas passa por duas questões principais: *i)* pode apenas transferir o foco do problema, pois a simples substituição dos combustíveis fósseis por monoculturas extensivas ou usinas termoelétricas e nucleares não considera o impacto sócio-ambiental resultante do processo produtivo; *ii)* outras fontes de energia consideradas mais limpas, tais como a eólica, fotovoltaica e oceânica, além de ainda possuírem custos elevados de instalação, não produzem quantidades suficientes de energia. Portanto, problemas de sustentabilidade econômica e ambiental não podem ser resolvidos, apenas, a partir da substituição energética ou da incorporação de novas fontes de energia.

Considerando-se que o transporte individual é uma modalidade de transporte altamente ineficiente, apenas a mudança de tipo de combustível ou da própria matriz energética não

será suficiente para resolver os problemas de desperdício de energia e de congestionamentos, que degradam o ambiente urbano e prejudicam a qualidade de vida da população. Além disso, essas mudanças exigem excessivos investimentos financeiros na ampliação ou reforma do sistema viário, cujo principal objetivo é apenas manter a velocidade e fluidez do tráfego. Da mesma forma, alguns modos de transporte público também apresentam altos graus de ineficiência energética, são fontes de poluição e também tendem à saturação, ao congestionamento e aos elevados custos de expansão da infraestrutura.

Em meio a esta problemática, o objetivo deste trabalho é sugerir um conjunto de ações que contribuam para a sustentabilidade energético-ambiental e econômica do TPU, a partir da mudança no comportamento dos usuários do transporte, da combinação de fontes energéticas, da evolução das tecnologias veiculares e da sugestão de políticas e ações públicas inseridas nesse contexto.

Numa primeira etapa, são analisadas políticas públicas, com foco na redução do uso do transporte individual motorizado e nas ações voltadas à redução do consumo de energia e ao aumento da eficiência energética nos veículos. Com base nessas ações, numa segunda etapa, avalia-se a utilização de fontes combinadas de energia e de superfícies fotovoltaicas, regeneração e acumulação de energia como alternativas às fontes de energia mais utilizadas atualmente. A segunda etapa fornece elementos para que, combinadamente e baseadas em experiências bem sucedidas, sejam sugeridas tecnologias mais eficientes e menos poluentes para o TPU no Brasil.

2. TRANSPORTE INDIVIDUAL E CONSUMO DE ENERGIA

Conforme mencionado anteriormente, nos últimos anos, a questão ambiental tem sido considerada prioritária para o estabelecimento das políticas públicas. A degradação ambiental, de uma forma geral, é prejudicial à saúde humana, reduz a produtividade econômica e energética e leva à perda de conforto no meio urbano. O excesso de veículos, tanto privados (Figura 1) como de transporte público (Figura 2), degrada o ambiente. Mesmo que toda a frota utilizasse fonte energética totalmente limpa, ainda assim seriam fatores de deterioração, tanto ambiental como da qualidade da vida.



Figura 1 - Excesso de veículos de transporte privado em São Paulo, Brasil.



Figura 2 - Excesso de veículos de transporte público em São Paulo, Brasil.

Conclui-se que não é somente o uso de transporte individual que contribui para este desconforto, visto que muitos modos de transporte coletivo também podem ser pouco eficientes do ponto de vista energético e, além disto, bastante poluidores. É necessário considerar que os modos de transporte urbano de passageiros atualmente disponíveis foram criados ao longo do século XIX, entre 1820 e 1895 (Tabela 1): trem, metrô, trólebus, ônibus e automóveis. Durante o século XX, foram agregadas tecnologias a esses modos, mas estes não evoluíram conforme esperado no que se refere à evolução tecnológica e à maior eficiência energética. Esses modos, criados ao longo do século XX infelizmente ainda predominam no século XXI, com modernização tecnológica restrita a componentes específicos, em decorrência da cultura conservadora do setor transporte e da predominância dos veículos de transporte individual, principalmente nos USA e países periféricos.

Tabela 1 - Histórico de Criação da Tecnologia Básica dos Modos de Transporte Urbano.

| Ano | Idade | Modalidade | País | Energia | Uso |
|------|-------|------------|------------|--------------|-------------|
| 1825 | 182 | Trem | Inglaterra | vapor | interurbano |
| 1863 | 144 | Metrô | Inglaterra | vapor | urbano |
| 1880 | 127 | Bonde | Alemanha | eletricidade | urbano |
| 1882 | 125 | Trólebus | Alemanha | eletricidade | urbano |
| 1895 | 112 | Ônibus | Alemanha | combustível | interurbano |

Segundo afirmam Bajay *et all* (1996), o consumo de petróleo nos países desenvolvidos representava, no final da década de 80, aproximadamente 60% do consumo total, sendo 50% deste direcionado ao transporte rodoviário. No Brasil, o consumo do petróleo representava, na mesma época, praticamente 50% do consumo total, sendo 80% deste consumo direcionado ao modo rodoviário. Cerca de 25% das emissões de CO² no mundo resultam de atividades desenvolvidas por sistemas de transporte (Gabel e Roller, 1992), sendo o CO² um dos principais gases responsáveis pelo aquecimento e impacto no meio ambiente.

Na conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, mais de 150 países assinaram uma convenção para estabilizar e reduzir as emissões de hidrocarbonetos e outros gases na atmosfera. A idéia central era de que, independentemente da existência de uma conjuntura favorável de preços do petróleo, era necessário estimular o uso de combustíveis e fontes energéticas alternativas, ambientalmente mais sustentáveis, visando melhoria na qualidade de vida, especialmente nos grandes centros.

Mais de 10 anos depois, em 2005, foi assinado o Protocolo de Kyoto, que mais uma vez discutia a necessidade de redução de gases e mudanças nas matrizes energéticas para os diversos setores produtivos e para o transporte. Nota-se, portanto que, nos últimos 15 anos as discussões se mantiveram, mas suas aplicações foram insuficientes. Nos transporte públicos não foi diferente. Os diversos tipos de veículos disponíveis no século XXI ainda são extremamente ineficientes do ponto de vista energético, conforme ilustram as Tabelas 2 e 3.

A busca da sustentabilidade energético-ambiental do sistema de transporte público coletivo para o Brasil
KNEIB, Erika Cristine; TEDESCO, Giovanna Megumi Ishida

Tabela 2 - Ineficiência energética em modalidades de STTP no século XXI

| | Tipo de Veículo | Peso Vazio (kg) | Capacidade | Peso Morto por Passageiro | % Peso Morto |
|----|------------------------------|-----------------|------------|---------------------------|--------------|
| 1 | Trem (Trensurb POA) | 58.300 | 316 | 184 | 246% |
| 2 | Metrô de Valencia, Espanha | 79.050 | 436 | 181 | 242% |
| 3 | VLT - Tramway, bonde moderno | 41.671 | 245 | 170 | 227% |
| 4 | Civis Híbrido | 22.025 | 133 | 166 | 221% |
| 5 | Metrôs Leves (tipo VAL) | 34.625 | 237 | 146 | 195% |
| 6 | Ônibus bi-articulado | 38.700 | 270 | 143 | 191% |
| 7 | Monorail | 13.300 | 116 | 115 | 153% |
| 8 | Trólebus articulado | 17.800 | 156 | 114 | 152% |
| 9 | Ônibus Articulado | 17.000 | 150 | 113 | 151% |
| 10 | Ônibus Convencional | 11.200 | 100 | 112 | 149% |
| 11 | Trólebus | 10.200 | 97 | 105 | 140% |
| 12 | Metrô de SP | 33.000 | 321 | 103 | 137% |

Tabela 3 - Ineficiência energética em tipos de veículos de transporte individual

| Tipo de Veículo – Transporte Individual | Peso | Capacidade | Peso Morto/Pessoa | |
|---|-------|------------|-------------------|-------|
| | | | Peso | Média |
| SUV- Sportive Urban Vehicle | 2.346 | 5,6 | 419 | 572% |
| AUTOS GRANDES - 1.500 a 2.000 kg | 1.722 | 5,0 | 344 | 463% |
| AUTOS MÉDIOS 1.000 a 1.500 kg | 1.245 | 4,9 | 254 | 340% |
| AUTOS PEQUENOS - Abaixo de 1.000 Kg | 906 | 4,7 | 193 | 259% |

A busca por meios de transporte com maior eficiência energética representa uma das ferramentas mais eficazes para a economia de energia, a redução da emissão de CO₂ e demais poluentes. Neste sentido, qualquer modo de transporte coletivo substitui com enorme vantagem o transporte individual, como demonstra a Tabela 4, o que justifica o aumento da oferta de transporte coletivo de boa qualidade e a diminuição do uso do automóvel e enfatiza a necessidade de políticas públicas que priorizem o TPU.

Tabela 4 - Consumo de Energia por passageiro transportado em São Paulo – Brasil por modo (em kWh por viagem) Fonte: Branco (2006)

| | |
|-----------|-------|
| Metrô | 0,52 |
| Trem | 0,96 |
| Tróleibus | 1,2 |
| Ônibus | 2,00 |
| Automóvel | 13,13 |

3. POLÍTICAS PÚBLICAS NO SETOR DE TRANSPORTE

As cidades brasileiras, analogamente à grande maioria das cidades nos países em desenvolvimento, apresentam graves problemas com relação ao transporte e, conseqüentemente, à sua qualidade de vida. Tal situação, que envolve queda da mobilidade, acessibilidade, degradação das condições ambientais, dentre outras, decorre de fatores históricos, sociais, políticos e econômicos. A relevância dos impactos negativos requer, urgentemente, uma reavaliação do modelo atual de transporte e circulação das cidades, para uma busca de melhor distribuição das oportunidades de deslocamento, consoante com uma maior eficiência geral dos sistemas e uma maior qualidade ambiental.

Para alcançar estes objetivos, são necessárias políticas públicas, relacionadas ao setor de transportes, que priorizem seu desenvolvimento. Nesse contexto, faz-se necessária uma breve discussão sobre o conceito de políticas públicas, como o Estado pode atuar de forma a efetivar tais políticas e quais são os problemas enfrentados pelo Estado no contexto dessa abordagem.

Sobre o conceito e definição de políticas públicas, ressalta-se que são diversos os autores que tratam do tema. Austin Ranney *apud* McCool (1994), afirma que política é um sistema que apresenta os seguintes elementos:

- Um objetivo particular (meta);
- Um curso desejado dos eventos (previsão);
- Uma linha de ação (planejamento);
- Uma declaração de intenções (leis, decretos, resoluções etc.);
- A implementação das intenções.

Segundo Guareschi *et al.* (2004) política pública é um conceito que designa certo tipo de orientação para a tomada de decisões em assuntos públicos, políticos ou coletivos. Segundo os autores, consiste no conjunto de ações coletivas voltadas para a garantia dos direitos sociais, configurando um compromisso público que visa dar conta de determinada demanda, em diversas áreas. Quanto à sua modalidade, as políticas públicas se dão por intervenção direta, por regulamentação, ou contratualismo. A maioria dos instrumentos de política pública é prescritiva ou incentiva. Os mecanismos prescritivos são aqueles que se referem à proibição, autorização, regras obrigatórias etc. Os mecanismos incentivos são aqueles que se referem aos subsídios, penalizações financeiras etc.

Com relação especificamente às políticas de transporte e trânsito, Vasconcellos (2001) ressalta ações de cinco tipos:

- Provisão, como a organização e fornecimento da infra-estrutura e dos meios de circulação;
- Regulamentação, como a definição das regras para uso;
- Operação, como o funcionamento da infra-estrutura e dos meios de circulação;
- Controle, como o acompanhamento da operação;
- Apropriação, como o uso efetivo da infra-estrutura.

Uma característica fundamental das relações Estado-sociedade nos países em desenvolvimento, incluindo-se o Brasil, é a autonomia política do Estado em relação às esferas econômica e social. Embora as políticas públicas sejam resultantes das ações de vários agentes, o Estado é o ator central destes agentes. Porém, suas ações são

freqüentemente contraditórias, baseadas em um conjunto conflitante de lealdades a grupos de interesses diversos (Oszlak e O'Donnell, 1976, *apud* Vasconcellos, 2001). Com relação à esfera econômica, cabe ressaltar que a acentuada participação do Estado, no sentido de que os preços de mercado carregam um forte componente exógeno (representado por subsídios, incentivos, etc.), influencia o funcionamento das chamadas forças de mercado (oferta e demanda).

A ação do Estado não é isolada e independente. Suas ações resultam de uma série de demandas e interesses que se influenciam mutuamente. Ou seja, em uma linguagem mais contemporânea, pode-se concluir que as políticas públicas são resultantes das ações dos *stakeholders* (interessados), sendo o Estado o *stakeholder* central. Neste contexto, para que as mesmas sejam planejadas, implementadas e efetivas, é necessário articular e conciliar interesses, forças políticas e de mercado, o que torna sua efetividade um grande desafio. Para ilustrar este contexto, a seguir apresentam-se dois programas, desenvolvidos e implantados no Brasil: o Proálcool e o Programa Biodiesel. Ambos são relativos às políticas no setor de combustíveis. Neste trabalho procura-se focar a abordagem em relação a estes programas como políticas públicas, com destaque para o papel do Estado neste processo.

3.1 O Proálcool como política pública

O Decreto 76.593, de 1975 (Brasil, 1975) instituiu o Programa Nacional do Álcool, que tinha por objetivo o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos. Este decreto avançava fortemente sobre a disponibilidade de recursos públicos para o incremento da produção de álcool no Brasil, contemplando a oferta de financiamentos. A criação deste programa marca, portanto, a mudança de paradigma, contemplando, inclusive, o uso de recursos públicos para o financiamento da produção de etanol, e também para seu desenvolvimento (Figueiredo, 2006).

Assim, a partir de medidas adotadas no contexto do Programa Proálcool, que incluem o aumento da produção e o estabelecimento de uma rede de distribuição do etanol, o carro movido a álcool se difunde pelo Brasil na década de 1980. Ressaltam-se as principais medidas adotadas: *i)* pesquisas e desenvolvimento, a partir do Programa Tecnológico do Etanol, que contemplou pesquisas, projetos e ações; e *ii)* difusão do etanol.

Em síntese, a concretização do etanol como combustível e do carro movido a álcool se deu a partir de ações com participação do Estado. Dentre estas ações podem ser destacados: *i)* o investimento em pesquisa e desenvolvimento; *ii)* o uso de uma rede técnica de serviços para difusão; *iii)* a disponibilidade de recursos financeiros a custos atrativos para compra de equipamentos e produção de álcool; *iv)* a criação da infra-estrutura de distribuição de álcool em todo o território; *v)* o controle de preços dos combustíveis. Todavia, a viabilidade do etanol, quanto ao preço comparado aos preços da gasolina, não foi alcançada no período de 1975 a 1990, uma vez que a viabilidade proveniente da redução dos custos de sua produção foi prejudicada pela queda dos preços do petróleo no mercado internacional. Quando a manutenção de subsídios se tornou insustentável, a partir de 1990, o programa foi *encerrado*, elevando-se o preço do etanol ao seu custo real, o que inviabilizou o carro a álcool (Figueiredo, 2006).

Como principais críticas ao programa é possível enfatizar que seu objetivo focava o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e a substituição dos derivados de petróleo. Não havia, portanto, uma preocupação direta com a consolidação do álcool

como uma fonte energética menos poluente, que fortalecesse a preocupação com a questão ambiental. Outra crítica pertinente é que seu uso era voltado aos automóveis, estimulando ainda mais o uso do transporte individual motorizado.

3.2 O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel é um programa Federal, instituído em 2003, que objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como economicamente, da produção e uso do Biodiesel. Este programa apresenta relações com a inclusão social e o desenvolvimento regional, por meio da possibilidade de geração de emprego e renda. Desta forma, o PNPB tem como principais diretrizes: *i)* implantar um programa sustentável, promovendo inclusão social; *ii)* garantir preços competitivos, qualidade e suprimento; *iii)* produzir o biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas e em regiões diversas do território nacional (Brasil, 2007).

A Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (Brasil, 2005) estabelece a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor. Esse percentual obrigatório será de 5%, a ser cumprida em até oito anos após a publicação da referida lei, havendo um percentual obrigatório intermediário de 2%, a ser cumprida até três anos após a publicação da mesma. Como elementos que visam garantir a efetividade desta política pública, são ressaltados: a estrutura gerencial, que compete à Comissão Executiva Interministerial (CEIB); o marco regulatório; o regime tributário; financiamento específico, que pretende beneficiar diversos componentes da cadeia produtiva do biodiesel de forma sistêmica; e o módulo de desenvolvimento tecnológico (Brasil, 2007).

Comparando o Programa Biodiesel ao Proálcool, observa-se uma evolução, uma vez que houve, diretamente, uma preocupação com a questão ambiental. Todavia, este não se destinou, diretamente, ao uso no transporte coletivo, que poderia ser muito beneficiado por este programa. Apesar de não haver diretamente o incentivo federal para o uso do biodiesel no transporte público coletivo, foram desencadeadas ações voluntárias e isoladas para o incentivo ao uso do Biodiesel. No Rio de Janeiro uma frota de 3 mil ônibus movida a 5% de biodiesel misturados a 95% de diesel já circula na capital. Em Campinas 100% da frota de 853 ônibus do transporte público é movida com 2% de biodiesel misturado ao diesel.

Em meio ao programas descritos, para este trabalho é importante destacar o papel essencial do Estado na promoção das condições para pesquisa, desenvolvimento e difusão de novos combustíveis e tecnologias. Essa abordagem ratifica, ainda, o comentado no item anterior, de que as políticas públicas são resultado de ações nas quais o Estado é o *stakeholder* central e que as políticas públicas que visam certa inovação dependem de um complexo processo de coordenação dos *stakeholders* e do desenvolvimento da infraestrutura necessária. É preciso identificar cuidadosamente os interesses envolvidos e as formas como as políticas resolverão conflitos, de forma a alcançar objetivos maiores para todo o país.

4. EXEMPLOS BEM SUCEDIDOS NA BUSCA PELA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo a Associação Nacional de Empresas de Transporte Urbano - NTU (2005), no Brasil, os sistemas de transporte coletivo urbano atendem 59 milhões de passageiros

diariamente, ou cerca de 60 % dos deslocamentos motorizados. A quase totalidade dos veículos utiliza óleo diesel como combustível. Estimativas elaboradas a partir de dados da região metropolitana de São Paulo apontam que os veículos diesel respondem por 32 % das emissões veiculares de poluentes como hidrocarbonetos (HC), 25 % das de monóxido de carbono (CO), 32 % das emissões de particulados e 48 % de óxidos de enxofre (SOx).

Neste item procura-se avaliar a utilização de fontes combinadas de energia, como alternativas à alimentação energética por diesel, e de superfícies fotovoltaicas, regeneração e acumulação de energia, em casos existentes no Brasil e no mundo. O objetivo é fornecer elementos para que, combinadamente e baseadas em experiências bem sucedidas, sejam sugeridas tecnologias mais eficientes e menos poluentes para o TPU no Brasil.

3.1 Etanol celulósico

O Departamento de Agricultura e o de Energia do governo dos EUA, recentemente, publicaram um relatório no qual dizem que é possível, em 25 anos, tornar os Estados Unidos independentes da importação de petróleo, por meio de um gigantesco programa de produção de biocombustíveis associado a novas tecnologias veiculares (Sachs, 2005). Este programa vai envolver um bilhão de toneladas secas de biomassa por ano e está apoiado, essencialmente, num *technological fix*, uma nova geração de veículos ultraleves que vão pesar muito menos que os automóveis de hoje e que, portanto, vão consumir menos da metade do que hoje consome um veículo. Esta proposta está baseada numa outra inovação tecnológica importante, que é a produção do etanol celulósico, ou seja, a produção do etanol a partir da celulose, na qual os resíduos vegetais se tornam uma matéria-prima para produção do etanol celulósico.

3.2 Biodiesel

O Biodiesel é um combustível biodegradável, derivado de fontes renováveis, que pode ser obtido por diferentes processos tais como o craqueamento, a esterificação ou a transesterificação. Apesar de ser constantemente associado somente às fontes vegetais, pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais. No Brasil existem dezenas de espécies vegetais que podem ser utilizadas para sua produção, tais como mamona, dendê, girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja, dentre outras. O biodiesel pode substituir total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores ciclodiesel automotivos (de caminhões, tratores, camionetas, automóveis, etc.) ou estacionários (geradores de eletricidade, calor etc.). Pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções (Brasil, 2007).

3.3 Sistemas BRT (*Bus Rapid Transit*)

Os veículos utilizados em sistemas BRT resultaram de um esforço para levantar o nível, a qualidade e a imagem dos veículos do tipo ônibus, permitindo repensar o sistema de transporte coletivo. Estes veículos possuem grande capacidade de economia energética, sendo mais econômicos do que os ônibus convencionais. Possuem motores de baixa emissão de poluentes, sendo mais limpos e mais silenciosos. Do ponto de vista energético, os BRT operam com motores a gasolina, diesel, gás natural ou elétricos. Os BRT podem ser

também híbridos, combinando mais de uma matriz energética conforme a necessidade (FTA, 2005).

3.4 Veículos Híbridos BRT

Os veículos dos sistemas Híbridos BRT (Phileas, Holanda e Civis, França) operam com tração elétrica em motor cilíndrico. Esta tecnologia consiste na presença de um motor elétrico individual e associado a cada pneu no interior do eixo. Os eixos possuem largura maior que a normal para comportar o pneu e o motor, que aciona diretamente e exclusivamente a roda à qual está associado. São veículos de piso baixo e utilizam ainda sistemas de guiagem automática. Estes veículos permitem que seja escolhida a fonte energética que melhor se adapte aos requisitos dos operadores, podendo utilizar a captação elétrica aérea, motor térmico de baixas emissões de poluentes, baterias ou a combinação de várias fontes.

3.5 Alimentação híbrida em veículos de transporte público no Brasil

O município de São Paulo, no Brasil, está testando 38 ônibus híbridos em seu sistema de transporte coletivo. O funcionamento dos ônibus híbridos se baseia num sistema com um motor de combustão interna, um motor elétrico, um gerador e um conjunto de baterias, administrados por um sistema eletrônico que calcula, a cada momento, a necessidade energética do veículo. Quando comparado ao trólebus, o híbrido tem a vantagem de não depender da rede de fiação aérea para obter energia elétrica. Nos percursos planos, quando a demanda do motor elétrico é reduzida, a energia excedente é armazenada. O aproveitamento energético se dá, ainda, durante a frenagem (FAPESP, 2003). O fato de o motor a combustão ser usado apenas para acionar o gerador possibilita que sua potência seja bem inferior à utilizada em veículos convencionais de mesmo porte. Para movimentar um ônibus padrão de 12 metros com sistema de tração convencional é necessário um motor de pelo menos 210 cavalos. O ônibus híbrido demanda somente 80 cavalos. Isso diminui o consumo de combustível e de óleo lubrificante, além de reduzir os gastos com manutenção do motor.

3.5.1 Protótipo de Ônibus Híbrido- diesel, biodiesel, energia elétrica e solar

Está em desenvolvimento, no Brasil, o protótipo de um ônibus híbrido que utiliza, além do diesel convencional, o biodiesel e a energia solar, contribuindo para redução das emissões de CO₂. O veículo híbrido utiliza combustível líquido e gera energia elétrica própria a bordo, através de um gerador a diesel, complementado por energia solar, proveniente de painéis fotovoltaicos localizados no teto e conectados ao sistema elétrico. Essa energia é armazenada em um banco de baterias e liberada para os motores elétricos, que tracionam o ônibus à medida da necessidade. O veículo foi testado nos jogos Pan Americanos, em 2007. O projeto permitirá aos pesquisadores avaliarem e desenvolverem um sistema híbrido de propulsão para veículos, com utilização de fontes renováveis (ABVE, 2007).

3.5.2 Etanol

Está em desenvolvimento, no Brasil, pela Universidade de São Paulo, o protótipo de um ônibus movido a álcool combustível, o etanol. O veículo irá circular por corredores da cidade de São Paulo, durante um ano, a partir de dezembro de 2007. A tecnologia veio da Suécia, assim como o motor e o aditivo usado no combustível (A Tribuna, 2007).

3.5 Superfícies fotovoltaicas aplicadas ao transporte ferroviário

Neste campo, o PVTRAIN (Trenitalia, 2007) é o primeiro veículo que utiliza fontes renováveis e superfícies fotovoltaicas no setor de transportes por trilhos (Figura 3). Considerando a utilização da tecnologia fotovoltaica coletada através de painéis fotovoltaicos, o uso nos sistemas por trilhos na Itália mostra-se pioneiro na preocupação em desenvolver "o trem ambiental", com menores impactos e a possibilidade concreta de operar com menor consumo de energia; sistemas auxiliares como iluminação e refrigeração podem funcionar com energia fornecida por baterias. Tecnicamente estes trens operam com painéis fotovoltaicos de silicone amorfo (aplicados na superfície curvada dos tetos dos trens). Além de coletarem a energia solar, o sistema possui acumuladores montados na placa, de forma que, mesmo já carregados, possam aproveitar a energia solar captada.

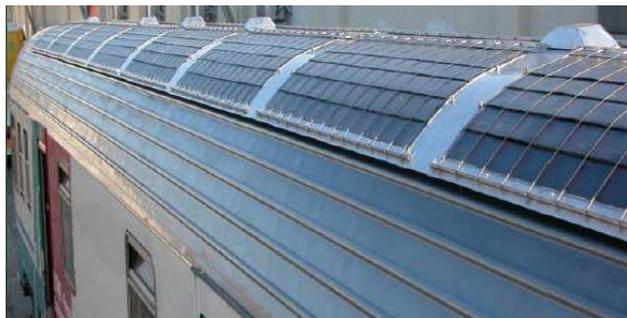


Figura 3 - Superfícies fotovoltaicas nos trens do sistema Trenitalia

4. A BUSCA PELA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Considerando o contexto de políticas públicas nacionais e internacionais e os exemplos supramencionados de experiências bem sucedidas de alternativas energéticas já em funcionamento no Brasil e em outros países, este trabalho procura sugerir um conjunto de ações públicas e privadas e de alternativas energéticas que considerem tecnologias mais eficientes e menos poluentes para o TPU no Brasil.

Considerando as ações por meio de políticas públicas, ressalta-se a necessidade de reforçar:

- **Racionalização do uso do transporte individual:** determinação de políticas de transporte urbano caracterizadas pelo incentivo à transferência da maior parte dos usuários do transporte individual para o transporte público e ao maior uso dos modos não motorizados; estabelecimento de regras limitadoras da circulação do transporte

individual relativas a áreas, dias ou horários, taxaço de congestionamento e de excessos na emissão de poluentes e material particulado.

- **Planejamento urbano:** Criação ou fortalecimento de pólos geradores de viagens nas regiões habitacionais periféricas: industriais, de comércio e serviços públicos e privados.
- **Planejamento e investimento em sistemas de transporte:** Implantação de sistemas integrados multimodais de transporte público, estruturados por eixos rápidos e de média e grande capacidade como Metro, Bus Rapid Transit (BR), Light Rail Transit – LRT e Monorail; implantação de redes e equipamentos voltados para o transporte não motorizado; integração entre os eixos de transporte público e transporte individual, serviços de transporte público alimentadores e fortalecimento dos modos não motorizados.
- **Uso de fontes energéticas combinadas:** para veículos de tração elétrica podem ser combinadas diferentes fontes, como motores pouco poluentes acionando geradores, painéis fotovoltaicos nos veículos e em edificações (terminais, estações e garagens, onde se carreguem as baterias dos veículos quando parados), de forma a minimizar a necessidade de grandes equipamentos geradores.
- **Melhoria da relação peso morto/passageiros dos veículos:** maior uso de materiais leves e eliminação de todo o peso supérfluo.
- **Busca de tecnologias baseadas em deslocamentos mais suaves:** menores taxas de aceleração e frenagem causam menor consumo de energia; a maior eficiência na operação (minimização dos tempos parados em embarque/desembarque, semáforos, caminhadas em estações etc). Ou seja: manter ou até melhorar a velocidade do usuário de transporte público com o menor dispêndio de energia.
- **Desenvolvimento de novas tecnologias de transporte:** considerando que os atuais modos de transporte urbano de passageiros foram criados no Século XIX, mostram-se extremamente necessários os investimentos na área de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias veiculares e energéticas. Partindo-se da premissa de que o Estado é o *stakeholder* central, este deve incentivar e financiar este desenvolvimento.

Em relação ao transporte público, devem ser considerados dois aspectos básicos com relação à sustentabilidade energética de um Sistema de Transporte Público de Passageiros: ao uso de fontes energéticas de baixo impacto ambiental e uma maior eficiência, considerando a minimização da energia necessária para o deslocamento dos veículos e pessoas. Inicialmente, é necessário refletir acerca da baixa utilidade quanto à atuação exclusivamente sobre o TPU para o uso de fontes energéticas mais limpas. Isto decorre do fato de que, nas metrópoles brasileiras, a proporção média de veículos de TPC em relação à frota total é inferior a 0,77% (DENATRAN, 2007). Desta forma, a busca de uso de energia mais limpa no TPU representa apenas uma contribuição marginal na minimização dos impactos negativos do uso do diesel no setor transporte. A contribuição mais efetiva em relação ao transporte público seria o incentivo ao uso do transporte público coletivo em detrimento do transporte individual, regulando e fornecendo condições para que esse sistema utilize combustíveis menos poluentes e energeticamente mais eficientes. No entanto o uso de veículos mais limpos no transporte público urbano é um importante fator psicológico para a mudança da cultura de transporte.

O re-planejamento dos transportes públicos, tanto na concepção do sistema quanto dos veículos utilizados, pode ser uma das melhores ferramentas para a economia de energia e a redução da poluição do ar, especialmente se priorizar a implantação de sistemas que ofereçam melhor qualidade de transporte e com tecnologias limpas, como o trólebus, as alternativas de veículos limpos e a implantação de sistemas de *retrofit* para os veículos em

uso. O automóvel é a opção a ser evitada por consumir de 6 a 26 vezes mais energia do que as demais.

Associados à transferência de usuários do transporte privado para o transporte público e à melhor eficiência nos veículos, um papel importante do Estado seria a criação de linhas de crédito para o financiamento e incentivo à redução de emissões das frotas dedicadas à prestação de serviços públicos. Desta forma, o uso do transporte coletivo seria repensado, ao contrário de incentivar apenas as iniciativas baseadas em combustíveis alternativos sem a devida redução do impacto ambiental, como ocorreu com os veículos a álcool, a gás natural e atualmente com o biodiesel, sem a imposição de qualquer critério ambiental com a competente comprovação e certificação do benefício em relação às soluções convencionais. Diante destes conceitos a estratégia ambiental permanece sempre como um desafio a novos desenvolvimentos tecnológicos, pois qualquer tipo de tecnologia ou de combustível que propicie benefícios ambientais efetivos poderá ser automaticamente incentivado.

Para matrizes energéticas, uma das proposições de substituição seria a produção do etanol a partir da celulose, considerando a proposta estadunidense. Esta importante inovação tecnológica já é conhecida no Brasil, mas infelizmente não é praticada. Esta proposta permite pensar numa base de matéria-prima totalmente diferente da atual, porque todos os resíduos vegetais brasileiros, como por exemplo o bagaço da cana, se tornam matéria-prima para produção do etanol celulósico. Segundo esclarece Sachs (2005) isso permitiria praticamente dobrar a produção energética de álcool a partir da tonelada de cana. Dentro desse panorama, deve-se considerar o interesse do Brasil, como país pioneiro com 30 anos de experiência de Proálcool e como país que é recordista em diversos setores de produção agrícola.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em meio à problemática da degradação ambiental e da ineficiência energética dos atuais sistemas de transporte, que priorizam o transporte individual, este trabalho procurou sugerir um conjunto de ações que podem contribuir para a sustentabilidade energético-ambiental e econômica do TPU. Cabe destacar ainda a necessidade urgente de uma reavaliação do modelo atual de transporte e circulação das cidades, para uma busca de melhor distribuição das oportunidades de deslocamento, consoante com uma maior eficiência geral dos sistemas e uma maior qualidade ambiental.

Nessa abordagem, as políticas públicas, conforme tratado neste trabalho (relacionadas à racionalização do uso do transporte individual, planejamento urbano, planejamento e investimento nos sistemas de transporte, combinação de fontes energéticas, desenvolvimento de novas tecnologias, dentre outras), apresentam-se como um fator determinante para propiciar uma mudança nos hábitos, comportamentos e paradigmas, seja dos tomadores de decisão, seja dos usuários, com vistas a uma maior eficiência geral dos sistemas de transporte e qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABVE (2007) Associação Brasileira do veículo elétrico. Disponível em <http://www.abve.org.br/destaques/destaque107.shtml>. Acesso em outubro de 2007.

A busca da sustentabilidade energético-ambiental do sistema de transporte público coletivo para o Brasil

KNEIB, Erika Cristine; TEDESCO, Giovanna Megumi Ishida

- A Tribuna (2007) São Paulo terá ônibus movido a etanol. Disponível em http://atribunadigital.globo.com/bn_conteudo.asp?cod=324908&opr=72.
- Branco, G. M. (2006) Redução de emissões do transporte público através de melhores tecnologias e combustíveis. CAI-LAC 2006. Biannual conference and exhibit of the clean air initiative for Latin American cities. São Paulo, Brasil.
- Brasil (1975) Decreto 76.593 de 14 de novembro de 1975. Institui o Proálcool.
- Brasil (2005) Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira.
- Brasil (2007) Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Disponível em <http://www.biodiesel.gov.br/>. Acesso em outubro de 2009.
- Bajav, S. V.; Berni, M. D.; Pereira, W. A. A. (1996). Revistas dos Transportes Públicos, n. 73, pág 15-28, ANTP – Associação Nacional dos Transportes Públicos.
- DENATRAN (2007). Frota de veículos, por tipo e com placa, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação. Disponível em www.denatran.gov.br. Acesso em setembro de 2009.
- FAPESP (2003) Revista Pesquisa Fapesp. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Disponível em <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/index.php?art=2293&bd=1&pg=1&lg=>. Acesso em outubro de 2009.
- FTA (2005) Department of Transportation in United States of America. Vehicle Catalog 2005, A Compendium of Vehicles and Hybrid Drive Systems for Bus Rapid Transit Service.
- Figueiredo, S. (2006) O carro a álcool: uma experiência de política pública para inovação no Brasil. Dissertação de mestrado em políticas de ciência e tecnologia. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília.
- Gabel, H. K.; Roller, L. H. (1992). Trade liberalization, transportation, and the environment, *The Energy Journal*, v. 13, nº 3.
- Guareschi, N.; Comunello, L. N. ; Nardini, M.; Hoenisch, J. C. (2004). Problematizando as práticas psicológicas no modo de entender a violência. *In: Violência, gênero e Políticas Públicas*. Orgs: Strey, M. N.; Azambuja, M. P. R.; Jaeger, F. P. Ed: EDIPUCRS, Porto Alegre.
- Mccool, D. (1994). *Public Policy Theories, Models and Concepts*, Prentice Hall, 1º Edition – December.
- NTU (2005): Anuário NTU 2004/2005. Núcleo de Transportes Urbanos (NTU) da Associação Nacional das Empresas de Transportes Públicos.
- Sachs, I. (2005). Da civilização do petróleo a uma nova civilização verde. Transcrição da palestra revista pelo autor no Instituto de Estudos Avançados da USP, no dia 28.6.2005. *Revista Estudos Avançados* n. 19.
- Siemens (2007). *Civis en armonía con la ciudad, acercando el futuro del transporte urbano al presente*. Disponível em www.siemens-ts.fr. Acesso em setembro de 2009.
- Trenitalia (2004). PVTRAIN: Photovoltaic Train PVTRAIN: Photovoltaic Train The application of innovative photovoltaic technology to the railway trains. Disponível em www.trenitalia.com. Acesso em setembro de 2009.
- Vasconcellos, E. A. (2001) *Transporte Urbano nos Países em Desenvolvimento: Reflexões e Propostas*. São Paulo, Annablume.