

III CONGRESSO LATINO-AMERICANO GERAÇÃO-TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
Campos do Jordão-São Paulo-Brasil-1997

INFLUÊNCIAS SOBRE OS SISTEMAS DE ENERGIA COM A
INTRODUÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NA SOCIEDADE

Luiz A. Pecorelli Peres Luiz A. H. Nogueira Germano L. Torres
Departamento de Engenharia Elétrica
EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá
37500-000 - Itajubá - MG - Brasil

SUMÁRIO

Este trabalho, apresenta um panorama dos aspectos técnicos mais relevantes a respeito da introdução dos veículos elétricos como meio de transporte. Especialmente é destacada a influência sobre o planejamento e operação das redes de energia bem como os aspectos ambientais decorrentes. Devido às peculiaridades do Brasil é possível se antever ganhos consideráveis para a sociedade e para as empresas de energia elétrica.

INTRODUÇÃO

O início do novo milênio que se avizinha, vem precedido de transformações tecnológicas de vulto. Pode-se destacar, entre elas, a presença maciça da informática, o esgotamento de alguns recursos naturais e as questões ambientais.

No Brasil, estão presentes estas três características. Todavia, certas peculiaridades do país podem vir a ser conjugadas no sentido de se obter, de forma previsível, ganhos consideráveis para a sociedade e para as empresas de energia elétrica. Especialmente, o aspecto que pretende-se destacar é a influência, que se fará cada vez mais presente pela introdução dos veículos elétricos como meio de transporte, e suas consequências no planejamento e operação das redes de energia.

De fato, este assunto vem merecendo uma maior atenção, principalmente, a partir das duas crises do petróleo, acentuando-se com o início da década de 90, em função das melhorias e providências a serem tomadas no sentido do aprimoramento da qualidade do ar nos grandes centros urbanos. Diversas entidades, governamentais ou não, fabricantes, centros de pesquisa, universidades e mais recentemente também empresas de energia elétrica passaram a destinar um significativo empenho e aporte de recursos para esta área. Entre as vantagens da adoção desta tecnologia destaca-se de maneira inofismável a melhoria da qualidade do meio ambiente, já que evita a emissão de gases prejudiciais na atmosfera, como também reduz drasticamente o nível de ruídos, ambos presentes nos veículos convencionais.

Todos esses fatores são indicativos daquilo que os estudiosos do assunto resolveram chamar de "década de transição", os anos 90, podendo-se prever uma crescente presença dos veículos elétricos na sociedade a despeito das limitações que ainda hoje são mencionadas. Há por conseguinte, uma convicção de que os desenvolvimentos tecnológicos em curso são suficientemente capazes de superar, a curto prazo, as restrições por vezes apontadas.

Neste contexto é relevante, tendo em vista as suas peculiaridades, uma maior investigação e desenvolvimento pois, tanto a metodologia tradicional de projeção de mercado, bem como aquela referente à gerência da demanda não levam em conta este novo aspecto. A despeito do esforço de algumas empresas de energia elétrica, no sentido de prepararem guias e procedimentos para detreminação das projeções impostas pelo recarregamento das baterias dos veículos elétricos, constata-se um grande espaço para novas análises e pesquisas mais profundas, já que, de uma forma geral, tais cálculos foram concebidos com base em formulações por demais empíricas. Além disso, os veículos elétricos representam um tipo inteiramente novo de carga não-linear, que

impede que seja tratada por semelhança e adaptação dos modelos previamente existentes. Uma das razões para isso, se deve a mobilidade desses veículos, diferindo portanto, das condições usuais em que as cargas, mesmo sendo variáveis com o tempo, possuem localização fixa. A quantidade de energia, por exemplo, que passa a ser exigida por uma residência típica, cujos moradores possuam pelo menos um veículo elétrico, pode dobrar representando um impacto significativo no consumo desta natureza. Há também, uma grande probabilidade do horário escolhido pelos usuários, para recarga das baterias, ser coincidente com a ponta da carga o que implica numa preparação e estratégia definidas previamente, para lidar com esta condição, até agora, desconhecida.

Sendo notório o interesse dos fabricantes desses veículos, quanto a sua venda para países da América do Sul, em especial o Brasil, visto os potenciais de energia disponíveis, e a agilidade da penetração de inovações convincentes, num cenário de globalização da economia, faz-se mister um estudo minucioso e detalhado das condições emergentes. Os elementos dessa situação, remetem, inclusive, ao estabelecimento de hipóteses adicionais nas simulações das matrizes energéticas de determinadas regiões. Este trabalho pretende apresentar uma retrospectiva dos aspectos técnicos mais relevantes sobre a questão em pauta, destacando-se as oportunidades e tendências mercadológicas para o caso brasileiro, tendo como ênfase as influências que vêm sendo detectadas nos sistemas de energia, ao se contemplar os desafios da inclusão dos veículos elétricos nas atividades de planejamento e operação dos sistemas de potência.

HISTÓRICO

Ao contrário do que muitas vezes se imagina, a invenção dos carros elétricos precedeu ao aparecimento dos automóveis à combustão interna, VCI's. O primeiro veículo elétrico, ou simplesmente VE, que se tem notícia foi montado pelo Professor Stratingh na cidade holandesa de Groningen em 1835, portanto, cinco anos após a invenção do motor a corrente contínua. Nesta fase pioneira pode-se citar os veículos desenvolvidos por Moses Farmer em 1847 e por Charles Page em 1851.

Fato marcante, ocorrido em 1859, que veio a impulsionar a tecnologia então emergente, foi o invento do francês G. Plante, a bateria recarregável. Pouco depois, R. Davidson, em 1873, na Inglaterra, construiu, o primeiro caminhão elétrico alimentado por bateria de ferro-zinco.

Deve-se a G. Trouvé na França, em 1881, o primeiro veículo desenvolvido com bateria secundária.

Logo depois, em 1886, um ômbus elétrico fez a sua aparição nas ruas de Londres. Em 1899, os VE's chamavam a atenção do mundo através do "Jamais Contente", um carro elétrico construído pelo belga Camille Jenatzy, que alcançou o recorde de 103 km/h, impulsionado por dois motores de 12V.

No início deste século, em 1912, havia cerca de 34000 VE's registrados nos Estados Unidos. Em torno de 50 fabricantes estavam envolvidos com a produção destes carros neste país, de 1895 a 1920.

Paralelamente, em 1885, os alemães Daimler e Benz desenvolveram o primeiro veículo de propulsão a gasolina. Entretanto, sua ascensão ao mercado deve-se ao invento, em 1912, da partida elétrica, por Charles Kettering e ao aparecimento, três anos antes, do modelo T de Henry Ford, em 1909.

Na década de 1930, praticamente a manufatura de VE's estava quase que completamente extinta. Desde esta fase este tipo de automóvel passou a ser utilizado única e exclusivamente para aplicações específicas.

Por volta de 1960 uma maior percepção a respeito da degradação do ar, estimulou um interesse renovado pelos VE's. Ainda nesta década foi realizado na cidade de Phoenix, nos EUA, em 1969, o Primeiro Simpósio Internacional sobre Veículos Elétricos. Tanto o choque inicial do petróleo, como o que se sucedeu, posteriormente, fizeram com que diversos países do Mundo Ocidental se debruçassem na pesquisa e produção de VE's de melhor desempenho. Várias associações no Japão, Europa e Estados Unidos surgiram nesta época interessadas, no desenvolvimento de tais veículos. Contudo, a crise do petróleo se desvaneceu antes que os carros elétricos pudessem firmar a sua utilização.

Na década de 80, novamente os problemas ambientais, associados a ultrapassagem dos padrões estabelecidos, quanto a qualidade do ar, tomaram impeto visto que, não foram alcançados os resultados previstos, em especial, no Japão, em 1985. A ocorrência de índices elevados de óxido de nitrogênio e chuva ácida na América do Norte e na Europa, agravadas pelo efeito estufa, motivou investigações quanto ao desenvolvimento de VE's de desempenho bem superior aos anteriores.

Um fator importante desse processo decorreu do Ato da Câmara de Recursos do Ar da Califórnia, EUA, em 1990, que determinou que uma porcentagem crescente das vendas futuras de veículos naquele estado, sejam de emissão nula, ou ZEV, "zero emission vehicles", como são conhecidos. De acordo com esta norma, em 1998, 2% das vendas deverá atender a este requisito, evoluindo para 5% em 2001 e 10% em 2003. Esta determinação vem motivando uma grande concentração de esforços na área dos VE's na América do Norte. Este empenho, não se trata de um fato isolado, pois, em vários países, percebe-se uma busca crescente em prol dos VE's, visando a melhoria das condições ambientais.

Vale mencionar a existência, atualmente, no centro Paris, de 21 eletropostos e mais 8 nos seus arredores. Na França, como 95% da energia elétrica gerada é de origem nuclear, há um ganho considerável com a adoção dos VE's, trazendo como consequência um alto benefício para a qualidade da atmosfera desta capital. Ao longo de todo este período os avanços tecnológicos conseguidos, possibilitaram ao Ministério da Indústria e Comércio Internacional do Japão fixar, como metas para o ano de 2000 uma nova geração de veículos elétricos que atendam, no mínimo, aos seguintes requisitos, indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Metas do Japão para 2000

CARACTERÍSTICA	METAS P/ 2000
Autonomia	250 Km
Velocidade	120 Km/h
Vida da Bateria	4 anos

No Brasil, um dos primeiros VE's utilizados, foi um caminhão de transporte de materiais da antiga The Rio de Janeiro Tramways, Light and Power Co. Ltd. Fora isso, ao que se saiba, o interesse maior por este tipo de veículo, surgiu já na época do segundo choque do petróleo quando houve um maior esforço governamental no sentido de procurar reduzir as importações deste combustível. Vale mencionar a realização do "I Seminário sobre Veículos Utilitários a Bateria", realizado em São Paulo, em 1984, e o "Encontro Técnico sobre Utilização de Veículos Elétricos", realizado no Rio de Janeiro no mesmo ano, promovido pela ELETROBRAS. Nesta oportunidade alguns dos trabalhos apresentados versaram sobre a avaliação do uso de VE's em companhias de eletricidade, pois estas haviam adquirido alguns modelos de carros e "vans" elétricos desenvolvidos pioneiramente no Brasil pela Gurgel S.A. Indústria e Comércio de Veículos. Merece ser mencionado que nesta ocasião a COPEL, Companhia Paranaense de Energia Elétrica, apresentou, em associação com diversas indústrias, um trabalho que tratava do protótipo de um veículo dessa natureza. Além disso, coube ao CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, a contribuição de um programa computacional de simulação de desempenho desses veículos.

As conclusões desse encontro consideraram viável a utilização de veículos elétricos no país mediante o apoio das entidades governamentais em conjunto com as indústrias, chamando a atenção da necessidade de solucionar as deficiências detectadas nos veículos, então comercializados bem como a reunião de esforços, recursos e informações no sentido de firmar e aprimorar o uso dessa tecnologia pela sociedade.

Cabe assinalar que, em 1975, já havia sido criado o Próalcohol, Programa Nacional do Alcool, e oito anos depois, em 1983, estava sendo fabricado o milionésimo carro brasileiro movido com este combustível. Apesar das inconsistências técnico-econômicas deste empreendimento, o país pode atestar, nos anos 80, o crescimento da importação de petróleo, mostrando-se eficaz como um dos instrumentos para fazer face às dificuldades apontadas.

Ao final da década de 80, as atividades relacionadas com os VE's, no país, estavam quase totalmente descontinuadas, até mesmo em universidades e centros de pesquisa.

Nos últimos 10 anos, como as investigações relativas a este campo foram quase que abandonadas, consequentemente os desenvolvimentos, a participação e o acompanhamento dos avanços tecnológicos ocorridos, ficaram sensivelmente prejudicados. Entre as exceções a este contexto, merece ser citado os trabalhos da UNICAMP, relativos ao protótipo de carro a bateria solar. Contudo, a globalização da economia impõe a busca por oportunidades deste novo panorama.

Constata-se, assim, a necessidade de uma análise profunda e o estabelecimento de modelos que tratem da inserção dos VE's na sociedade brasileira, identificando-se os benefícios econômicos e ambientais propiciados pelas vantagens estratégicas disponíveis.

PANORAMA DOS ASPECTOS TECNOLÓGICOS

Carroceria

Independentemente do meio de propulsão de um veículo, a força necessária para deslocá-lo é ditada pela Eq. (1), conforme, Azevedo (1984):

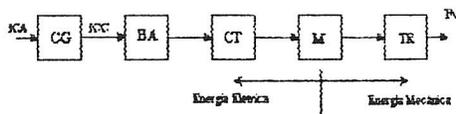
$$F_v = f_r P_v + 0.5 m_a V^2 A_f C_d + 0.5 L_r M_v dV/dt \quad (1)$$

- F_v - Força necessária para deslocar o veículo (N)
- f_r - Coeficiente de atrito de rolamento
- P_v - Peso do veículo (N)
- m_a - Massa específica do ar nas CNTP (Kg/m^3)
- V - Velocidade relativa considerando o vento (m/s)
- A_f - Área frontal do veículo (m^2)
- C_d - Coeficiente global de resistência aerodinâmica
- L_r - Fator de massas rotativas
- M_v - Massa do veículo (Kg)
- dV/dt - Aceleração (m/s^2)

Como pode-se verificar um menor consumo de energia poderá ser conseguido as custas da minimização de f_v , P_v , A_p , C_v e L_v . Nesse sentido, diferentemente dos carros anteriores, os quais, na sua grande maioria eram montados a partir de adaptações dos veículos de combustão interna, atualmente existe a tendência a um desenvolvimento de projetos específicos visando a minimização desses fatores de forma objetiva.

Componentes

Os veículos elétricos atuais são constituídos por cinco componentes principais cuja a concepção é bem mais simples que a dos VCTs. A Figura 1, abaixo, mostra de forma esquemática a interrelação entre eles indicando os processos de conversão de energia existentes.



ICA - Corrente elétrica CG - Carregador de bateria
 BA - Bateria CT - Controlador
 M - Motor TR - Transmissão
 F_v - Força de deslocamento

Figura 1 - Interrelação dos Componentes

Carregador de Baterias

Este componente poderá ou não acompanhar o próprio modelo e depende do padrão e controles necessários para a operação de carregamento da bateria. Desta forma, diversos kits conversores CA/CC vêm sendo desenvolvidos.

Inerente a questão dos carregadores de bateria está a instalação de infraestrutura para realização deste procedimento cujo investimento esperado é, em geral, menor do que de um posto de combustível convencional.

Além disso, grande atenção vem sendo dirigida ao tempo de recarga das baterias. Novos conceitos começaram a surgir como o carregamento super-rápido. A Figura 2, a seguir, reproduz esta característica para o caso de baterias Ni/Cd. Como pode ser observado a previsão seria um recarregamento rápido de 40% da capacidade da bateria em apenas 6 minutos.



Figura 2 - Recarga das Baterias

Baterias

Com a finalidade de avaliar as características das baterias para veículos elétricos são adotados vários índices que procuram relacionar a capacidade energia e potência com o peso deste dispositivo, bem como com o volume. Destas relações resultam os termos energia específica (Wh/kg), potência específica (W/kg), densidade de energia (Wh/l) e densidade de potência (W/l). Além disso, vale lembrar que, em geral a capacidade de uma bateria é expressa em Ah, exprimindo assim a quantidade de corrente capaz

de ser fornecida durante um determinado tempo durante o processo de descarga, a uma tensão constante definida pelo seu projeto. Relacionada à capacidade da bateria costuma-se indicar a profundidade de descarga, "depth of discharge", isto é, a parcela de energia total descarregada ao final do processo de utilização que é medida em porcentagem. Desta forma, quando toda energia armazenada fosse consumida teria-se uma profundidade de descarga de 100%. Normalmente fixa-se um limite, por exemplo 80%, pois um descarregamento total provocaria uma queda de tensão que aceleraria sua danificação. A vida útil da bateria é expressa em número de ciclos de carga e descarga com o qual indica-se o fim do seu desempenho. Ao processo de descarga, mesmo em circuito aberto que toda bateria é submetida, denomina-se autodescarga.

Todos esses fatores vem sendo otimizados. Grande ênfase vem sendo conferida a outros eletrólitos na busca de um maior desempenho das baterias. A Tabela 2, em seguida, procura mostrar a evolução e tendências gerais deste dispositivo.

Tabela 2 - Tendências de Evolução das Baterias

Tipos de Bateria	Energia Específica (Wh/kg)	
	Atual	p/2000
Pb-Ácida	Atual	40-55
	Seladas	40-55
Não-Seladas	Atual	40-55
	Alcalinas	
Ni/Cd	50	55-60
Ni/Fe	55	55-60
Ni/MH	55	70-80
Ni/Zn	70	70-80
De Fluxo	Zn/Br	70-80
	Alta Temp.	
Na/S	110	120-130
Na/NiCl ₂	80	100-120
LiAl/FeS	95	100-120
Lítio	Li/MnO ₂	100-180
	Li/LiCoO ₂	115-190
Metal-Ar	Fe/Ar	70-100
	Al/Ar	250-250

Controladores e Motores

A maioria dos motores existentes nos VE's são de corrente contínua, cuja vantagem é a facilidade de alimentação e o controle da velocidade. O controlador e as escovas impedem um melhor desempenho pois ao limitarem a velocidade não permitem que maiores torques possam ser desenvolvidos.

Utilizando-se motores de indução é possível a elevação da velocidade, propiciando potências específicas comparáveis a dos motores a combustão interna, conforme Tabela 3..

Tabela 3 - Potências Específicas dos Motores

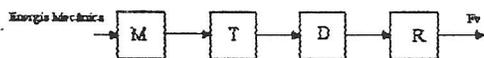
Veículo	Motor	kW/kg
Combustão Interna	Gasolina	0,75 a 1,10
Elétrico	Corrente Contínua	0,37
Elétrico	Indução	1,00

Nos motores de indução as variações de velocidade são obtidas pela modificação da frequência na tensão de alimentação através do uso de inversores. Tais controles são comparativamente mais caros que aqueles para motores de corrente contínua, entretanto, esta tecnologia vem se mostrando bem promissora para os novos modelos desses veículos.

Uma outra modalidade de motores para veículos elétricos que vem tomando fôlego é a utilização de motores síncronos de ímã permanente visando com isso a diminuição do peso e do volume. A inexistência do sistema de excitação permite uma maior eficiência. Tais motores já demonstraram a sua aplicabilidade no caso de pequenas potências como é o caso dos "disk-drivers" e impressoras para computador. As dificuldades inerentes a essa alternativa estão associadas ao material do ímã permanente. Vale comentar que nos últimos dez anos, com a introdução das ligas conhecidas como NEOMAX, vem se conseguindo energias específicas de até 2.0 kW/kg, com redução de tamanho considerável. Contudo, o preço desses materiais e dos controles envolvidos ainda não resultam em motores suficientemente competitivos se comparados com os de tecnologia tradicional em corrente contínua.

Transmissão do Movimento

Veículos a combustão interna, em geral, funcionam com a seguinte configuração esquemática, conforme Figura 3, do sistema de transmissão do movimento:



M - motor T - transmissão e caixa de câmbio
D - diferencial R - sistema de tração das rodas

Figura 3 - Transmissão do Movimento

Originalmente os veículos elétricos utilizaram sistemas de transmissão desenvolvidos para os VCI's. Entretanto, as características dos motores elétricos diferem significativamente dos motores a combustão interna. Em geral, o motor elétrico dispensa a necessidade de ficar ocioso quando o veículo está parado, por exemplo num semáforo. Além disso, este motor é capaz de desenvolver grandes torques em baixas velocidades e numa enorme faixa de variação. Isto possibilita o desenvolvimento de sistemas de transmissão mais leves, mais compactos e eficientes ao se levar em conta estas vantagens.

Vale mencionar algumas das questões, sobre este assunto, não totalmente respondidas:

- Tração dianteira, traseira ou nas quatro rodas?
- Quantos motores devem ser utilizados?
- Há necessidade de marchas ou será melhor um controle direto e contínuo? Neste caso, quantas marchas seria ideal?

Alguns projetos atuais procuram responder estas perguntas. De qualquer modo, fica bem claro que o sistema de transmissão nos VE's, para uma melhor adequação, deverá ser desenvolvido com o motor a ser utilizado.

Sistemas Auxiliares de Provisão de Energia

Além dos componentes mencionados há que se comentar a respeito de dois dispositivos que devido as suas peculiaridades merecem um comentário especial.

O primeiro deles é quanto ao sistema de frenagem. Nos veículos elétrico tem sido empregados os chamados freios regenerativos, ou seja, o aproveitamento de partes da energia dissipada na frenagem para carregamento das baterias. Uma outra

fonte auxiliar de energia seria provida também através dos chamados ultracapacitores. Tais dispositivos são constituídos por capacitores de dupla camada e de grande capacidade de armazenamento de energia, com a facilidade de fornecê-la em situações que demandam picos de potência. Apesar dos ultracapacitores possuírem grande densidade de potência, cerca de 1.000 W/kg e 1.000 W/litro, e um ciclo de vida abundante (100.000 ciclos), as energias específicas são baixas, em torno de 5 Wh/kg ou 5 Wh/litro o que é suficiente para suportar picos de energia apenas por alguns segundos.

Pesquisas recentes indicam, entretanto, que é possível alcançar a faixa de 20 Wh/kg o que seria bem mais satisfatório.

Índices de Desempenho

Todos os aspectos apresentados tem como finalidade a otimização do desempenhos dos veículos elétricos onde o centro da questão reside na autonomia e tempo de recarga. Para que se tenha uma visão dos projetos recentes, vem apresentado em seguida, na Tabela 4, veículos de nova geração, onde podem ser observados diversas informações de desempenho.:

Tabela 4 - Desempenho dos VE's de Nova Geração

Modelo	Bateria (kg)	Tipo da Bateria	Vel. Máx. (km/h)	Autonomia (km)
Iza	531	Ni/Cd	176	548 (40km/h)
Impact	395	Pb-Ácida	120	192 (estrada)
Fev	200	Ni/Cd	130	250 (40km/h)

CONSEQUÊNCIAS SOBRE O SISTEMA DE ENERGIA

O Sistema Energético

O consumo de energia elétrica em kWh/km, proveniente do uso dos VE's é determinado pelo suprimento ao carregador, bateria, controlador, motor e transmissão dos quais a bateria é o de maior magnitude e importância.

Decorre dessa circunstância um acréscimo da energia elétrica a ser gerada e uma variação do consumo de petróleo devido ao combustível que deixa de ser necessário. Para fins de análise imagina-se o veículo elétrico esteja substituindo o de combustão interna para o mesmo fim, isto é, para percorrer a mesma distância.

Fixando-se esta consideração como premissa, são surpreendentes os valores encontrados por diversos países de vários continentes quando se estabelecem cenários de análise. Enquanto que nos VCI's a energia primária é proveniente do processo pelo qual é submetido o petróleo, nos VE's, por sua vez, a energia é proveniente das variadas fontes que constituem o "mix" característico de suprimento àquela região no qual tais veículos estejam sendo utilizados.

De acordo com o modelo desenvolvido por Wang e Deluchi, 1992, determinou-se com base em desempenhos pré-fixados de consumo a influência dos veículos elétricos sobre o sistema energético. Para esse cálculo utilizou-se os padrões de desempenho esperados, conforme Tabela 5. Para os VCI's os valores indicados levam em conta o processo de obtenção de combustível. No caso dos VE's refere-se a energia suprida ao carregador.

Tabela 5 - Padrões Esperados de Desempenho

Desempenho	VE's (kWh/km)	VCI's (kJ/km)
Alto	0,25	3500
Baixo	0,40	4655

Tomando-se, portanto, para cada país considerado a eficiência média de cada tipo de geração existente, levando-se em conta também as eficiências de todos o processo de conversão, é possível verificar a energia necessária de cada espécie, por km, para suprir os VE's e compará-los com aquela destinada aos VCI's. Para estes os rendimentos de todos os estágios de produção foram inseridos nos cálculos com a finalidade de tornar equitativa a análise.

Esta metodologia foi utilizada pelos autores citados para diversos países. Consta-se que as consequências favoráveis sobre o sistema energético com a adoção dos VE's depende do avanço da tecnologia destes veículos, do rendimento que vier alcançar os carros à gasolina, bem como no processo para produzi-la e da eficiência do grupo de usinas consideradas disponíveis para a geração de energia elétrica.

No sentido de se dispor de uma variação do impacto dos veículos elétricos numa condição futura foi também verificado a diferença de consumo do petróleo quando se utiliza os VE's em relação ao uso dos veículos à gasolina. Tomando-se vários países, verifica-se que se for considerada as projeções de produção energética para geração de eletricidade do ano de 2003, o balanço energético é bastante favorável aos VE's mesmo em países como a Itália que utiliza cerca de 23,5 % da energia elétrica produzida ainda do petróleo.

O Sistema Elétrico

A presença dos veículos elétricos nos sistemas de potência requer uma análise das possibilidades com as quais tais veículos são recarregados.

Neste contexto, de uma forma global, haverá algumas considerações básicas a serem atendidas com as quais tanto o usuário do veículo como sistema de potência se depararão. Obviamente a utilização mais acentuada dos VE's, principalmente, nos centros urbanos redundará em um aumento da energia a ser produzida. Isto de um lado representa uma oportunidade de maior faturamento para as empresas fornecedoras de energia, mas também, exigirá novos investimentos nos sistemas de geração, transmissão e distribuição. Para que essas empresas possam lidar com essa situação é preciso considerar os desafios pertinentes tanto no que diz respeito à previsão da demanda como a sua gerência.

Ao se deter com neste problema as primeiras perguntas que surgem estão relacionadas com o tempo para recarga para as baterias, em que momento ela se efetuará e onde será realizada. De fato a mobilidade dos VE's ao longo do dia e portanto, a sua recarga, introduz um elemento desconhecidos nos atuais métodos de previsão e gerência da carga requerendo, assim, um maior aprofundamento analítico do assunto.

Para fins de planejamento a longo prazo as estimativas de demanda, P_m , em kW, e energia, E_m , em kWh, podem ser obtidas, de acordo com Rice e Weinreb (1996), através das Equações (2) e (3), respectivamente:

$$P_m = NVE \times PMC \times K \quad (2)$$

NVE - número de veículos elétricos previstos
 PMC - potência esperada de suprimento aos carregadores
 K - fator que considera a diversidade em relação a ponta dos carregadores efetivamente ligados.

$$E_m = NVE \times VMT \times EMCAR \quad (3)$$

NVE = número de veículos elétricos previstos
 VMT = distância média esperada em Km
 EMCAR = energia média para recarregamento por Km

Obs.: EMCAR leva em conta o fato de que a energia para recarga é maior do que a de descarga da bateria, isto é, considera a eficiência da bateria, cerca de 30%

Valores típicos da EMCAR encontram-se na Tabela 6:

Tabela 6 - Valores Típicos da EMCAR

Tipo do Veículo	EMCAR (kWh / km)
Compactos	0,16
Sedan	0,22
Pickup Compacta	0,25
Mínivan	0,47
Pickup Standard	0,47
Van Standard	0,62

Uma curva típica do ciclo de recarga é mostrada a seguir, na Figura 4. Esta poderá ser agregada aos outros tipos de carga com a finalidade de se estabelecer a curva de demanda para o fornecimento de energia total requerida.

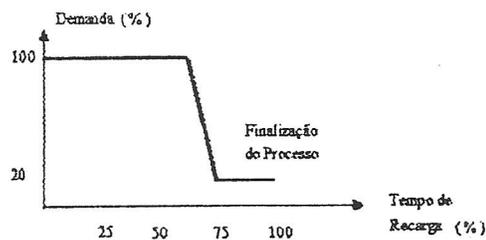


Figura 4 - Curva Típica do Ciclo de Recarga

Os estudos e análises dessa natureza deverão conduzir a uma maior sofisticação das ferramentas de planejamento das redes ao se incluir a questão dos VE's. Os seguintes elementos adicionais devem ser colocados em perspectiva para o aprimoramento das técnicas envolvidas:

- Curva de carga anual prevista das cargas decorrentes do uso dos VE's por subestação.
- Correlação do momento de ocorrência das cargas decorrentes do uso dos VE's com a capacidade dos equipamentos e instalações de forma a subsidiar as estratégias e desenvolvimento de dispositivos para a gerência da carga.
- Avaliação do efeito dos múltiplos VE's sobre o fator de potência e penetração de harmônicos na rede elétrica.
- Identificação dos locais de recarregamento concentrado de VE's, visando determinar reforços necessários à rede.

A QUESTÃO AMBIENTAL

Os VCI's são responsáveis pela emissão de um número e quantidade considerável de poluentes na atmosfera. Os poluentes mais destacados são: o monóxido e bióxido de carbono, os hidrocarbonetos, os óxidos de nitrogênio, os óxidos de enxofre e as partículas de matéria em suspensão.

Acrescente-se ainda que a queima incompleta de combustíveis, além de permitir a emissão de monóxido de carbono, ao liberar os chamados hidrocarbonetos juntamente com óxidos de nitrogênio, estes reagem na atmosfera. Quando ativados pela luz solar, formam um conjunto de compostos agressivos chamados genericamente de oxidantes fotoquímicos, sendo dentre eles o mais grave o ozônio, que contribui para a formação do "smog".

As usinas térmicas a carvão, gás natural e óleo combustível, todas elas são responsáveis pela emissão dos mesmos poluentes na atmosfera. As quantidades maiores desses elementos poluidores são provenientes, em geral, das usinas à carvão seguida das de óleo combustível e gás natural.

Estudos realizados para diversos países demonstram que a substituição dos veículos a gasolina por veículos elétricos, em todos eles, eliminam a emissão de CO e HC. Como consequência haverá um decréscimo sensível dos níveis de ozônio, pois a

eliminação do HC por parte dos veículos evita uma maior combinação com o NO existente. Apenas nos países com grandes porcentagens de usinas à carvão é que poderá haver um aumento considerável dos níveis do SO₂.

Há que se comentar ainda sobre os componentes secundários, isto é, substâncias formadas a partir de reações que também passaram a ser objeto de investigação devido aos efeitos prejudiciais que elas ocasionam. Mais particularmente tem sido objeto de destaque pela literatura técnica o chamado PAN, peroxiacetilnitrato, (CH₃CO₂NO₂), classificado como poluente fotoquímico relacionado com a formação de "smog". Tal fenômeno não exige o etanol pois tanto os veículos que funcionam com este combustível como a sua adição à gasolina, apesar de reduzir a emissão de CO, aumenta substancialmente a presença de aldeídos, também considerado tóxico.

Os veículos elétricos que utilizam hidroeletricidade para seu suprimento acentuam os mais baixos níveis de emissão que qualquer outra tecnologia de transporte.

Merece destaque especial a questão da poluição sonora, pois os VE's por serem tão silenciosos que alguns necessitam até de buzinas especiais, por questão de segurança, para a sua operação, o mesmo não ocorre com os VCT's que constituem indiscutivelmente numa das maiores fontes de poluição sonora nos centros urbanos, conforme constatado por diversos pesquisadores.

CUSTOS E ASPECTOS MERCADOLÓGICOS

Os levantamentos disponíveis relativos aos preços dos VE's são, de uma maneira geral, atualmente, superiores aos VCT's similares. Esta diferença se deve fundamentalmente às baterias que são determinantes do custo inicial mais alto. Contudo, as despesas operacionais são atraídas podendo compensar essa desvantagem inicial, mesmo considerando os custos de manutenção, que podem exigir a troca das baterias em um período de 3 a 5 anos.

É preciso que se diga, entretanto, que o consumo de petróleo e o uso dos VCT's são "subsidiados", isto é, o custo econômico para a sociedade no consumo do bem e do serviço excede o preço efetivamente pago. As externalidades são prejuízos não monetários impostos pelos VCT's sem que haja nenhum pagamento sobre eles. Vários autores realizaram estudos avaliando as externalidades. Dados recentes, levantados pelo U.S. Congress, Office of Technology Assessment, estimam, entre 50 e 256 bilhões de dólares, o total das externalidades, no ano de 1990, sendo a maior parcela devido a mortalidade e doenças como consequência da poluição do ar.

Quanto aos aspectos mercadológicos é digno de nota que a penetração mais rápida dos veículos elétricos no mercado dependerá fundamentalmente, não só, da continuidade dos esforços e investimentos em curso na melhoria do desempenho dos VE's, em especial das baterias, como também numa melhor identificação do espaços em que tais veículos sejam superiores aos VCT's.

Para terminar este ponto pode-se afirmar que o desenvolvimento de novas áreas do Direito, como a Ambiental, ao sedimentar seus conceitos e normas, permitirá o questionamento não apenas técnico mas também legal da inobservância dos preceitos jurídicos com este fim.

O CASO BRASILEIRO

Com base no panorama apresentado, no qual se procurou expor o estágio atual de evolução tecnológica dos VE's, pode-se destacar alguns aspectos de relevância para o caso brasileiro

Sem dúvida, entre os fatores favoráveis para a utilização dos VE's no Brasil, o mais importante é a composição do "mix" de geração de energia elétrica, no qual, mesmo considerando um cenário de médio e longo prazos, as usinas hidroelétricas terão papel preponderante. Desta forma, a redução de consumo de petróleo não somente através do álcool é uma consequência óbvia,

que promove em termos globais, a conservação de energia em virtude da maior eficiência dos processos e componentes que embasam a utilização dos VE's.

Os registros de enfermidades decorrentes dos níveis de poluição no Brasil, causados por emissões de VCT's, constituem uma sinalização da gravidade do problema para que medidas mais efetivas venham a ser tomadas merecendo assim uma ação de planejamento coordenado.

CONCLUSÕES

As conclusões do Encontro Técnico sobre Utilização dos Veículos Elétricos, em 1984, podem ser resgatadas, no sentido de ser viável a utilização dos VE's no Brasil. Esta afirmação, com base na análise conceitual procedida neste trabalho se acentua, em virtude do panorama atual e do aprimoramento considerável que os VE's tiveram desde esta época.

Todavia, o deslocamento da forma de emprego da fonte primária de energia, petróleo para hidroeletricidade, impõe uma maior solicitação dos sistemas elétricos de potência, cujos reforços a nosso ver, sejam de geração ou de transmissão podem ser efetivamente minimizados através de metodologias apropriadas de gerência da carga e estratégias mercadológicas ainda por serem desenvolvidas.

ABSTRACT

This text presents a view of the relevant technical considerations relative to the introduction of electric vehicles, as a transportation mode. It is emphasized the influences on the planning and operation of the energy systems and also on the environmental aspects. Owing to the Brazilian special characteristics it is possible to see considerable earnings for the society and electric energy companies

REFERÊNCIAS

- Alonso, Claudio Darwin, 1996, "Aspectos da Poluição do Ar em S.Paulo", Meio Ambiente Industrial, Revista, Ano I, Edição 2, número 1
- Anais do Encontro Técnico sobre Utilização dos Veículos Elétricos, Rio de Janeiro, 1984, Eletrobras, RJ, Brasil
- Azevedo, Hélio Ricardo Teles, 1984, "Simulação Digital de Desempenho de Veículos Híbridos Bateria/Motor de Combustão em Configuração Série", Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ
- Carvalho, Suelly Maria M. e Silva Dias, Pedro L., 1996, "Poluição Atmosférica no Estado de S.Paulo: Um Caso de Parceria entre o Setor Público, a Universidade e o Setor Privado" IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, S.P
- CESP, Companhia Energética de São Paulo, 1981 "Eletropostos Alternativas, Características e Perspectivas", Relatório Técnico, S.Paulo, SP
- CNI Confederação Nacional de Indústria, 1994, "O transporte nas megacidades brasileiras", relatório técnico, RJ
- Heton, Robert A., 1996, "Electric Vehicles Load Management Issues", publicação do EPRI
- Hwang, Roland J., 1996, "Políticas para a Redução dos Custos Sociais no Setor Transporte", Seminário *Perspectivas do Alcool Combustível no Brasil*, publicado pela USP.
- International Energy Agency, 1983, "Electric Vehicles Technology, Performance and Potential", OECD/IEA, book
- Pimentel, André Silva e Arbila, Gracileia, 1996, "Submodelo Químico para Atmosfera Urbana no Brasil" IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, S.P
- Rice, Richard E. e Weinreb, Manfred, 1996, "Guidelines for EV Load Forecasting", publicação do EPRI
- Tokio Electric Power Co., Inc., 1992, "Development of Electric Vehicle (EV)" JAPAN IERE COUNCIL, R-9124