

## O futuro dos Carros Elétricos Um artigo para eu ler daqui a 10 anos

*Jayme Buarque de Hollanda*

A história moderna dos carros elétricos (CE) começa em meados dos anos 90 com o lançamento nos EUA e na França de carros elétricos a bateria (CEB) e no Japão, do Prius, um carro elétrico-híbrido (CEH).

Respondiam a políticas de governo para reduzir emissões veiculares urbanas com incentivos fiscais<sup>1</sup>, facilidades no trânsito<sup>2</sup> e compras<sup>3</sup> para órgãos do governo. Embora fossem, também, mais eficientes que os carros convencionais, essa vantagem tinha pouco valor na época quando o preço do petróleo era dos mais baixos da história.

Inicialmente foram tratados como uma mera curiosidade sem grande futuro. Como me explicou, naquela época, um especialista norte-americano: “a novidade não vai pegar, pois, sob o capô do CEH há muito mais componentes que no carro convencional; já o CEB, além de muito caro, usa baterias que pesam mais de uma tonelada, levam oito horas para carregar e têm autonomia de, no máximo, 150 km”. As chances dos CE ganharem alguma importância eram, portanto baixas, ainda mais quando se consideravam as dificuldades inerentes a qualquer nova tecnologia.

### **Carros Elétricos (CE)**

São **carros acionados por pelo menos um motor elétrico**. Há diversos tipos dependendo da origem da energia elétrica. Carro Elétrico a Bateria (CEB): usa energia de baterias carregadas na rede elétrica; Carro Elétrico Híbrido (CEH): a energia elétrica é fornecida por um gerador a bordo acionado por um motor de combustão interna (MCI) que usa um combustível convencional como fonte de energia; e o Carro Elétrico Híbrido “Plug-in” (CEHP), um CEH equipado com mais baterias que tanto usa energia da rede, quanto do gerador embarcado. O Carro Elétrico com Células a Combustível (CECC) usa a energia gerada por uma célula a combustível a partir do hidrogênio.

O mercado, não obstante, aceitou muito bem o CEH. Além de reduzir emissões e ser mais confortável é silencioso, usa menos combustível e tem autonomia maior que um carro convencional de mesmo porte. Em 1998 foram vendidos 19 mil (apenas no Japão) e, em 2009, quase um milhão (mundo); em 2010, 2,2% dos carros vendidos no mundo eram elétrico-híbridos, atingindo 11% no Japão<sup>4</sup>. A evolução dos CEB foi mais lenta<sup>5</sup>, freada pela inexistência de baterias adequadas. Só recentemente algumas montadoras oferecem CEB com baterias bem mais leves e com bom desempenho. Há fabricantes que apostam no CEHP por entenderem que reúne virtudes do CEH e do CEB.

Hoje, todas as grandes montadoras lançaram ou pretendem lançar CE dos vários tipos, surgiram diversas novas marcas, grande número delas na China. Com mais de 3 milhões de CE circulando no mundo, o acionamento elétrico não é mais uma novidade.

Quando foi lançado o primeiro CEH (Prius) no Japão, intuí que o novo acionamento vinha para ficar com o argumento empírico de que sistemas energeticamente eficientes afastam do mercado os ineficientes. Quando falava sobre o futuro dos CE no Brasil, no entanto, encontrava muito ceticismo que aos poucos vem se reduzindo.

Entendo que estamos diante de uma importante inflexão tecnológica, em uma situação, como

<sup>1</sup> Como a redução de imposto de renda para compradores e vários incentivos para os fabricantes.

<sup>2</sup> Em Londres são isentos até hoje de pagar uma taxa para circular no centro e, na Califórnia, tinham acesso a vias expressas em regiões congestionadas.

<sup>3</sup> Na França as empresas estatais (correio e empresa elétrica) compraram frotas de CE que incentivaram o desenvolvimento de diversos modelos de CEB.

<sup>4</sup> Ver <http://www.all-electric-vehicles.com/hybrid-car-statistics.html>, consultado em 15/6/011

<sup>5</sup> Não obstante, há muitos “Carros de Vizinhaça”, CE pequenos com limite de velocidade (60 km/h), que podem circular nas cidades em percursos pequenos e que usam baterias convencionais.

veremos, de mudanças pouco lineares da história. A partir de discussões com especialistas e em particular com os companheiros do INEE e da ABVE<sup>6</sup>, e tendo como referência outras quebras de paradigma tecnológicas, resolvi fazer a presente reflexão com algumas previsões para um horizonte de dez anos. Como há muita divergência em relação aos cenários tecnológicos, em última análise, essas previsões respondem à minha intuição, razão pela qual escrevo na primeira pessoa assumindo a responsabilidade pelas mesmas. Tenho grande curiosidade em ler esse artigo daqui a dez anos!!!!

No texto, avalio, primeiro, a penetração dos CE no mercado brasileiro para, em seguida, mostrar as vantagens sobre o carro convencional. Depois analiso a evolução dos principais componentes do CE, mudanças que o novo equipamento trará para a sociedade, em que sua utilidade vai transcender o tema dos transportes.

## Carros Elétricos no Brasil

O tema só começou a ganhar algum espaço no Brasil depois que o governo Obama apostou na nova tecnologia (2009) com o tríplice objetivo de diminuir a dependência do petróleo, reduzir emissões e fazer dessa uma novidade capaz de alavancar a economia norte-americana após a crise dos bancos. A grande imprensa brasileira passou a falar mais regularmente sobre CE e as autoridades de governo envolvidas começaram a se manifestar, mas com poucos avanços e muitos desencontros<sup>7</sup>.

Não obstante, importantes montadoras já oferecem no mercado os primeiros CEH (Ford, Mercedes e Nissan) e CEB (Fiat, Renault e Mitsubishi). Pela pequena escala o objetivo dessas montadoras no curto prazo é, visivelmente, o de marcar posição de pioneirismo.

Com a globalização, essa tendência vai se reforçar e o Brasil vai entrar nesta era com tecnologias que já começam a ser sedimentadas no exterior.

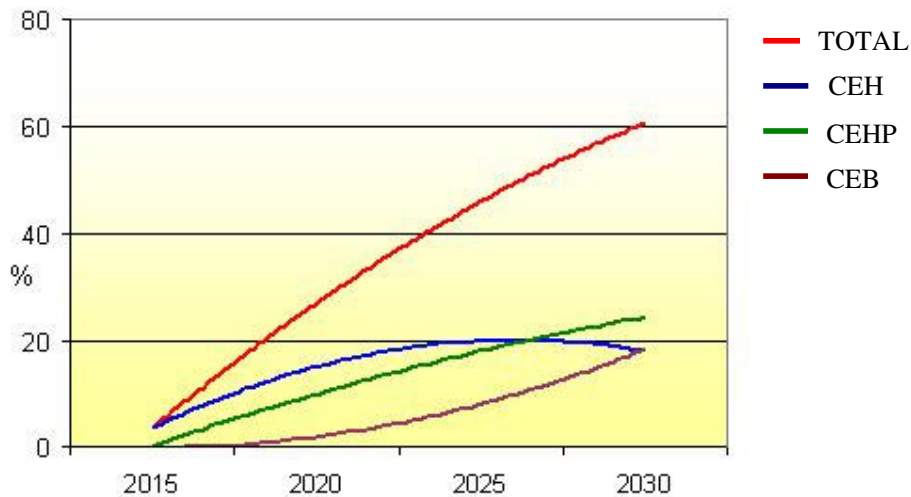
**Em 2021**, seguindo projeções que ajudei a preparar para a ABVE<sup>8</sup>, estimo que cerca de 30% dos novos carros vendidos no Brasil sejam elétricos, híbridos ou a bateria. A penetração ocorrerá inicialmente feita com os CEH, seguidos dos CEHP e, em seguida, os CEB.

---

<sup>6</sup> INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética e ABVE - Associação Brasileira do Veículo Elétrico.

<sup>7</sup> Em 2010, o Ministério da Fazenda, depois de meses de estudo, decidiu modernizar a anacrônica legislação do IPI de automóveis que atribui a mais alta alíquota ao CEB. Em junho, na cerimônia para alterar a tributação dos CE, diante de convidados, o Ministro da Fazenda disse que, atendendo orientação do Presidente da República, dada quinze minutos antes, não iria assinar o dispositivo! Houve grande especulação na imprensa sobre a origem de tal reviravolta. Segundo essas especulações, indícios apontaram para a Petrobrás, indústria automobilística e setor de cana.

<sup>8</sup> Rota para Veículos Elétricos No Brasil – “Road Map”; download em [www.abve.org.br](http://www.abve.org.br).



**Penetração dos CE no mercado de novos carros no Brasil**

## Acionamento veicular elétrico x convencional

O emprego do motor elétrico para acionar um veículo tem uma série de vantagens sobre o acionamento feito diretamente por um motor de combustão interna (MCI):

- converte em energia mecânica mais de 90% da energia elétrica enquanto o MCI converte menos que 25% da energia da gasolina;
- com poucas partes móveis, é consideravelmente mais simples de construir e manter (vida maior e menores custos de manutenção); um MCI tem centenas de peças móveis;
- com um comando pode ser convertido em gerador que freia o carro ao mesmo tempo em que gera e estoca energia nas baterias para uso futuro. Trata-se do freio regenerativo que recupera a energia inercial, dissipada nas lonas de freio dos carros convencionais<sup>9</sup>;
- não consome energia quando o CE fica parado no trânsito, ao contrário do carro convencional, cujo motor fica ligado;
- tem elevado torque de partida. No carro convencional, é preciso um sistema de embreagem e câmbio, sistemas que dissipam até 20% da energia do MCI.

No CEH, além das vantagens acima, o MCI opera na condição ótima de projeto (rotação e torque constantes) e a potência do MCI é próxima à demanda média o que permite que tenha uma potência bem menor que os carros convencionais.

O resultado combinado de todos esses fatores é a redução do consumo de combustível do CEH em até 50% com relação ao carro convencional. A comparação deste com o CEB é mais complexa, pois partem de fontes de energia diferentes<sup>10</sup>. Uma forma indireta de comparar, no entanto, é através do custo de energia. Para percorrer 100 km, um CEB gasta da ordem 15 kWh a um custo de R\$ 6,75 (tarifa residencial de eletricidade com impostos). Para percorrer a mesma distância, um carro a gasolina com consumo de 12 km/l gastaria cerca de R\$24,00!

<sup>9</sup> O carro convencional, no trânsito urbano, dissipa uma quantidade de energia equivalente a mais da metade da energia do combustível.

<sup>10</sup> Análises que avaliam as emissões em toda a cadeia de transformações entre a fonte primária e o uso final (“Well to Wheel”) mostram que as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao uso do CEB são menores do que as que seriam emitidas por um carro a diesel, mesmo quando a energia elétrica é gerada com carvão mineral, a fonte mais “suja”.

A arquitetura do CEH tem um grande número de possibilidades, dependendo do papel dos componentes principais, notadamente do MCI, dos sistemas de baterias, do uso de um motor elétrico central ou de um motor em cada roda. A arquitetura dos CEH hoje varia muito de fabricante para fabricante, situação típica das transições tecnológicas. Dependendo da disponibilidade de novos componentes básicos, a tendência natural será algum nível de padronização na indústria.

**Em 2021** estará bem fixada a percepção de que o acionamento elétrico será o novo paradigma da indústria automobilística com preços reduzindo em função das escalas de produção; os avanços da tecnologia dos carros e de seus componentes, comentados a seguir, e o aumento das escalas de produção tornarão os CE carros mais simples, baratos e econômicos<sup>11</sup>.

## Futuro das Tecnologias

O desenvolvimento do CE vai depender do avanço de diversas tecnologias. Algumas vão depender de “break-through” tecnológicos, mas muitas devem evoluir rapidamente, pois só não foram desenvolvidas por falta de mercado. Passarão por uma “seleção de espécies” em que o processo evolutivo será orientado pelo desempenho e preço.



### **Acumuladores de Energia**

A acumulação de energia elétrica a bordo pode ser feita com baterias de tração (processo químico) e supercapacitores (eletrostático).

O desenvolvimento moderno das baterias começou no final do século estimulado pela demanda dos novos veículos elétricos e, em poucos anos multiplicou por seis a capacidade de acumulação por peso<sup>12</sup>. A tecnologia das baterias para laptops e celulares passou por processo semelhante, fácil de perceber quando se compara um celular atual com os primeiros dos anos 80.

Há várias possibilidades tecnológicas de baterias de tração e não há consenso quanto ao futuro. Em curto prazo se aposta na família das baterias de “ion de lítio” desenvolvidas para atender pequenas potências. Alguns fabricantes apostam, inclusive, no aperfeiçoamento da mais antiga tecnologia, baterias chumbo-ácidas. Os grandes investimentos em P&D só se intensificaram a partir de meados da década quando ficou clara a gigantesca dimensão do mercado e as oportunidades de ganhos. Novidades são frequentes, às vezes casadas com outras novidades tecnológicas como, por exemplo, a nanotecnologia. Em todas as frentes de trabalho se buscam soluções para reduzir preço e melhorar performance<sup>13</sup>.

O supercapacitor absorve picos de potência do freio regenerativo que as baterias não conseguem absorver. Caríssimos até pouco tempo atrás, já começam a equipar alguns CE comerciais<sup>14</sup> e há diversos novos fabricantes anunciando o produto. Há notícia de tecnologias que integram baterias e supercapacitores em uma mesma unidade.

Baterias e supercapacitores não têm partes móveis e podem ser produzidos em massa. Os custos de fabricação e, portanto, os preços de venda, são sensíveis às escalas de

---

<sup>11</sup> Gerald Kilman, diretor da Toyota na Europa, resume bem o progresso: “Da primeira para a segunda geração o custo dos componentes reduziu 70% e, da segunda para a terceira reduzimos mais 40%!” (Electric&Hybrid, jan. 2011, pág. 102)

<sup>12</sup> As baterias do EV-1 (CE da GM) pesavam 1,2 toneladas e armazenavam 16 kWh. Seis anos mais tarde, pesavam 600 kg e acumulavam 21 kWh.

<sup>13</sup> Número de cargas, kWh/kg, kW/volume, etc.

<sup>14</sup> Honda FCX, in

[http://www.theregister.co.uk/2007/11/05/honda\\_ultracapacitor\\_mit\\_electric\\_shag\\_nix\\_batteries/](http://www.theregister.co.uk/2007/11/05/honda_ultracapacitor_mit_electric_shag_nix_batteries/)

produção, com tendência a reduzir na medida em que se massifique a produção.

Em 2021 as baterias de tração de íon de lítio vão dominar o mercado, mas haverá o anúncio de diversas outras tecnologias desenvolvidas e testadas ao longo da década com perspectivas de redução de preço e melhora de desempenho. Haverá uma percepção mais clara sobre a(s) tecnologia(s) vencedora(s). O uso de supercapacitores, que já serão relativamente baratos, será, também, generalizado.

### **Gestão de baterias**

Nas carga/descarga das baterias, ocorre grande parte das perdas de energia do CE, hoje da ordem de 10 a 15%. Sistemas de controles estão permitindo usar técnicas de inteligência artificial na gestão das cargas e descargas, considerando as características individualizadas de cada célula<sup>15</sup>. Reduzir este desperdício é um desafio importante, sobretudo para os CEB, pois se trata do principal desperdício a bordo que cria, inclusive, a necessidade de dispersar o calor que, por sua vez, usa de energia para resfriar as baterias reduzindo a autonomia do carro.

Em 2021, as perdas na carga/descarga deverão ser inferiores a 10%. A conferir.

### **Motores de Combustão Interna (MCI) dos CEH**

O MCI só opera a partir de uma rotação mínima e cada motor tem uma rotação e torque ideal de funcionamento<sup>16</sup>. Como no uso automotivo torque e rotação variam muito os carros convencionais dependem da embreagem e sistema de câmbio que combinam a necessidade com as possibilidades<sup>17</sup>. No carro convencional, a potência do MCI tem que igualar a demanda máxima do veículo, muitas vezes cinco vezes maior que a necessidade média. De diversos tipos de MCI possíveis, os ciclos Otto e Diesel acabaram sendo os únicos usados nos carros convencionais.

No CEH e no CEHP, o MCI opera em regime estacionário onde a potência basta ser igual à média das necessidades<sup>18</sup>. Graças a essas características, novos tipos de MCI são usados, enfatizando a maior eficiência no lugar da maior potência como ocorria antes. A maioria dos híbridos atuais, assim, usa o ciclo Atkinson<sup>19</sup> e, outros, o ciclo Miller<sup>20</sup>. São semelhantes ao Otto, porém mais eficientes<sup>21</sup> e melhor adaptados para operarem em regime estacionário.

Outra possibilidade são os MCI rotativos, mais adequados para acionar o gerador, máquina também rotativa. O MCI Wankel<sup>22</sup>, por exemplo, é bem mais leve que o motor a pistão e com poucas partes móveis. Dois fabricantes de CEH (Audi e Cherry) já anunciaram o lançamento de modelos com esse motor. Ainda na linha dos MCI rotativos, há as micro-turbinas a jato (ciclo Bryton) que podem usar vários combustíveis. A Capstone fabrica turbo geradores de 30 a 60 kW<sup>23</sup>, para uso estacionário, e montou o

---

<sup>15</sup> Electric & Development of BMS – Battery Management Systems; pág. 160

<sup>16</sup> Ou seja, baixo consumo e emissões

<sup>17</sup> Além disso, dependem de sistemas de ignição e de controle eletrônicos e catalisadores sem os quais os carros não conseguiriam atingir os padrões de emissões mínimos.

<sup>18</sup> Cerca de 20% da potência máxima.

<sup>19</sup> No Atkinson, os quatro tempos ocorrem em uma única rotação do virabrequim. Ver mais em [http://en.wikipedia.org/wiki/Atkinson\\_cycle](http://en.wikipedia.org/wiki/Atkinson_cycle)

<sup>20</sup> Mais sobre este ciclo, um motor de cinco ciclos usado em geradores de regime estacionário, ver [http://en.wikipedia.org/wiki/Miller\\_cycle](http://en.wikipedia.org/wiki/Miller_cycle)

<sup>21</sup> No Prius, entre 12 e 14% mais eficiente, in <http://pressroom.toyota.com/pr/tms/atkinson-meets-otto--why-the-prius-is-so-efficient.aspx>

<sup>22</sup> Nos anos 60 equipou diversos veículos comerciais e é usado até hoje pela MAZDA em carros esportivos. Ver [http://en.wikipedia.org/wiki/Wankel\\_engine](http://en.wikipedia.org/wiki/Wankel_engine).

<sup>23</sup> com um gerador montado no eixo da turbina que gira a 100 mil rpm

Capstone CX 30<sup>24</sup>, um CEH esportivo. No Salão de Paris de 2009, a Jaguar apresentou o C-X75 um CEHP esportivo equipado com duas turbinas<sup>25</sup>.

Finalmente, o MCI “turbinado” aumenta a sua potência e eficiência. No CEH, o regime estacionário é particularmente adequado ao uso do MCI a etanol. Estudos e demonstrações nos EUA <sup>26</sup> para motores a etanol têm conseguido eficiência assemelhada à dos motores diesel. Note-se que o compressor do CEH pode ser acionado com motor elétrico.

**Em 2021**, os CEH, a gasolina e/ou etanol, estarão equipados com MCI Atkinson, Miller ou assemelhados, com base nos ciclos Otto. Haverá CEH a diesel, mas em menor quantidade, pois o salto de eficiência é menor. Estará em curso uma forte competição para definir o motor mais apto. Consistente com a tese de que os MCI tenderão a simplificar, estimo que o motor rotativo Wankel seja um dos mais sérios candidatos, pois ao longo de 50 anos evoluíram a engenharia e a ciência dos materiais para resolver os problemas observados no passado.

A única previsão suplementar que faço de forma condicionada é a existência de CEH acionados com MCI a etanol de alta performance. Essa é uma possibilidade, no Brasil, mas cuja existência depende de uma pressão dos diretamente interessados. Discuto mais esse tema na parte dedicada ao etanol.

### ***Eletrônica de controles e de potência***

Os CE dependem fortemente dos sistemas de controles que articulam os componentes eletroeletrônicos desses veículos com destaque para o hardware e software dos dispositivos de microeletrônica e de eletrônica de potência. Ao contrário de outros componentes, notadamente as baterias de tração, essas tecnologias tiveram uma evolução independente da existência dos CE.

Elas, naturalmente, devem ser aperfeiçoadas para o uso automotivo embarcado onde operam em ambiente mais agressivo e com trepidação sendo importante reduzir a emissão de calor dissipado pelos semicondutores de potência.

Em 2021, como acontece atualmente com computadores e celulares, estimo que os CE estarão divididos em umas poucas famílias de sistemas operacionais especialmente desenvolvidos para eles.

A eletrônica de potência também tem espaço para evoluir. A tecnologia de semicondutores baseados no Silício (Si) estará cedendo lugar para outros materiais como o Carbonato de Silício (SiC) e/ou Nitrito de Gálio (GaN)<sup>27</sup>, mais eficientes e que podem evitar a necessidade de resfriamento com água, um estorvo a bordo dos CE.

### ***Freio Regenerativo***

Atualmente, o freio regenerativo recupera até 30% da energia inercial e potencial (quando desce uma rampa) do veículo. É um dos principais fatores para aumento de eficiência dos CE, pois, no carro convencional, essas energias são dissipadas nos freios. No trânsito urbano, caracterizado pelo regime “arranca-para”, essa energia inercial

---

<sup>24</sup> <http://www.capstoneturbine.com/news/story.asp?id=536>

<sup>25</sup> Electric & hybrid; January 2011 issue; pg. 7

<sup>26</sup> L. Bromberg, D.R. Cohn, J.B. Heywood; Calculations Of Knock Suppression In Highly Turbocharged Gasoline/Ethanol Engines Using Direct Ethanol Injection, MIT, February 23, 2006

<sup>27</sup> SAM DAVIS, Vie for Slice of the Electric Vehicle Pie, Nov 1, 2009 Power Electronics Technology in [http://powerelectronics.com/passive\\_components\\_packaging\\_interconnects/resistors/sic-gan-vie-slice-electric-vehicle-pie-20091101/](http://powerelectronics.com/passive_components_packaging_interconnects/resistors/sic-gan-vie-slice-electric-vehicle-pie-20091101/)

corresponde a mais de metade da energia do combustível.

O freio regenerativo ainda se encontra em sua infância tecnológica e, portanto, ainda tem espaço para muito progresso. Só recentemente foi introduzido na F-1 ( KERS - Knectic Energy Recovery Systems).

**Em 2021**, a tecnologia dos freios regenerativos estará generalizada, com capacidade de recuperar até 50% da energia inercial. A maioria dos CE novos será equipada com supercapacitores, mais apropriados que as baterias para recuperar os surtos de potência que caracterizam a frenagem.

### ***Motor Elétrico***

Os motores elétricos são máquinas muito eficientes, mas, de um modo geral foram desenvolvidas para uso estático. Inicialmente os CE usavam motores de CC, mas a tendência tem sido usar motores de corrente alternada. É de se esperar muitas novidades nessa área voltadas para o novo mercado que se abre. Para mencionar uma no Brasil, a WEG desenvolveu um motor refrigerado a água, que permite reduzir peso e custo<sup>28</sup> deste componente.

Outro desenvolvimento importante será o motor embutido na roda (“hub-motors”), como o da figura<sup>29</sup> desenvolvido pela Michelin que vai comercializá-lo a partir de 2012. Além do motor de tração, a roda tem, também, um motor elétrico que faz o papel da suspensão com uma série de vantagens sobre o equipamento convencional pois deixa de ser um componente passivo.

**Em 2021**, fabricantes vão oferecer motores de corrente alternada, mais leves que os atuais e desenvolvidos especialmente para o uso veicular. Nessa altura já deve haver uma indústria bem desenvolvida com modelos padronizados. Já estarão disponíveis no mercado os “hub-motors”.



### ***Acionamento Independente das rodas***

Os motores embutidos nas rodas vão permitir descentralizar o acionamento de tal forma que atenda a necessidade específica em termos de rotação, aceleração, frenagem de cada roda. Em síntese, melhoram o conforto e a estabilidade e reduzem a necessidade de componentes como o diferencial e os complexos sistemas de transmissão dos veículos 4X4, simplificando sobremaneira o projeto de um veículo.

**Em 2011** alguns fabricantes vão basear seus CE nos hub-motors, marcando o início de uma tendência que deverá ser uma das principais revoluções do CE.

### ***Aproveitando a Energia Térmica***

Mais de dois terços da energia usada pelo MCI é dissipada sob a forma de calor nos gases de escape e no bloco do motor. Nos CEH, esta perda sob a forma de calor continuará a existir, além do calor dissipado pelos motores elétricos nas (des)cargas das baterias que vão ocorrer nos CE em geral.

A energia térmica também pode ser convertida em energia elétrica no CEH, com um motor Stirling<sup>30</sup>, que produz força motriz, diretamente a partir do calor produzido pelo

<sup>28</sup> <http://www.weg.net/files/products/WEG-water-cooled-motor-refrigerado-a-agua-50025025-catalogo-portugues-br.pdf>

<sup>29</sup> [http://www.motorauthority.com/blog/1030025\\_michelins-active-wheel-technology-in-detail](http://www.motorauthority.com/blog/1030025_michelins-active-wheel-technology-in-detail)

<sup>30</sup> Ver, por exemplo, [http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor\\_Stirling](http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_Stirling).

MCI que, por sua vez, aciona um gerador. Dean Kamen<sup>31</sup>, criador do Segway aposta nessa solução.

Outra possibilidade é a produção direta de energia elétrica a partir do “efeito Seebeck” (termopar) em que a junção de dois metais aquecidos produz uma difer. porém, é muito pequena<sup>32</sup>.

**Em 2021**, é pouco provável que os motores Stirling já tenham sido desenvolvidos para uso em CEH, mas estimo que, nessa época, tenham avançado bastante as pesquisas nesse sentido.

### ***Célula a Combustível***

A célula a combustível é um dispositivo eletro-químico que transforma a energia química do hidrogênio diretamente em eletricidade, num ambiente controlado. Esta tecnologia avançou muito neste século, especialmente na gestão Bush (2004) que a adotou como a alternativa norte-americana ao protocolo de Kioto<sup>33</sup>. Foram produzidos diversos CECC e o programa, além da célula em si, investiu em questões complementares, notadamente a produção do hidrogênio (que não é disponível livre na natureza) e a estocagem do gás.

Após cinco anos, o Secretário de Energia da administração Obama, Steven Chu, prêmio Nobel de Física, entendeu que a solução ainda demoraria muito e reduziu os desenvolvimentos nessa área<sup>34</sup>.

**Em 2021**, acredito que continuem as pesquisas e progressos, mas não acredito que haja soluções energeticamente eficientes na cadeia de produção do hidrogênio: como a produção por hidrólise da água, por exemplo, usa energia elétrica, só terá sentido usar esse processo quando usar pouca energia elétrica; caso contrário, será melhor usar a energia elétrica diretamente em um CEB. Acredito, também, que as células a combustível serão usadas primeiro em geradores elétricos instalados junto às cargas (Geração Distribuída), de aplicação mais fácil que o uso veicular que apresenta limitações de espaço e trepidação.

### ***Outras Tecnologias***

Desperdícios não relacionados com o tipo de acionamento vão ficar mais evidentes à medida que aumentar a população de CE, pois os desperdícios vão reduzir a autonomia.

### **Conforto ambiental**

No carro convencional o conforto ambiental é alcançado através do calor liberado pelo MCI para aquecimento. A produção de frio se faz com compressor acionado diretamente pelo eixo do MCI. Como o calor é disponível em grande quantidade e a potência do compressor pequena vis-à-vis à do MCI, é dada pouca atenção à eficiência energética dos equipamentos e ao isolamento térmico da cabine dos carros.

Nos CEB, a energia para o conforto é, necessariamente, elétrica e reduz a autonomia. Assim, é de se prever uma atenção maior à eficiência desses sistemas. Note-se que os CEH já estão saindo de fábrica equipados com compressores acionados por motores

---

<sup>31</sup> <http://www.economist.com/node/16295592>

<sup>32</sup> <http://www.aqpl43.dsl.pipex.com/MUSEUM/POWER/thermoelectric/thermoelectric.htm>

<sup>33</sup> Com a vantagem adicional que o subproduto da produção da energia é o vapor d'água que atenderia, também, a questão das emissões urbanas.

<sup>34</sup> “We asked ourselves, ‘Is it likely in the next 10 or 15, 20 years that we will convert to a hydrogen car economy?’ The answer, we felt, was ‘no.’” Chu said in a briefing today. He cited several barriers, including infrastructure, development of long-lasting portable fuel cells and other problems, citado em <http://thinkprogress.org/romm/2009/05/07/204071/secretary-steven-chu-doe-hydrogen-budget/>

elétricos, bem mais eficientes e fáceis de controlar.

### **Carros mais leves**

Em função da conveniência de tornar os CE mais leves, a indústria metalúrgica discute o uso de ligas de aço com nióbio que reduz o peso de 20 a 30%, sem sacrifício da segurança do carro. O Brasil é o maior produtor de nióbio do mundo.

### **Redução das forças de arrasto**

A principal força a ser vencida pelos carros em alta velocidade é a resistência do ar, que independe da forma de acionamento. A redução desta já teria atingido seus limites práticos com o uso de formatos aerodinâmicos. No entanto, começam a surgir idéias de uso de superfícies rugosas, como no caso das bolas de golfe<sup>35</sup>, para reduzir o atrito.



### **Pneus para CE**

A Michelin, Goodyear e Bridgestone, dentre outros fabricantes, já trabalham para oferecer pneus com menores perdas de energia na deformação e atrito. Uma das razões é que essas perdas, hoje pequenas com relação às demais, vão crescer de importância com o uso generalizado dos CE.

**Em 2021**, os CE devem sair de fábrica com ar-condicionado elétrico. Serão equipamentos muito eficientes e as cabines dos carros deverão ter isolamento térmico de qualidade, com vidros especiais e materiais isolantes, que manterão o calor/frio dentro da cabine, reduzindo a necessidade de energia.

Nessa época, serão oferecidas novas famílias de pneus projetados para reduzir as perdas de rolamento e atrito<sup>36</sup>. Estimo, também, que carros projetados para deslocamento em altas velocidades tenham superfícies rugosas e que as carrocerias dos carros serão bem mais leves que as atuais, com um uso mais intensivo de ligas de nióbio.

## **Desdobramentos**

A introdução do CE representa mais do que uma simples modificação do acionamento elétrico.

### ***CE e a rede elétrica***

Os CEB diferem das demais cargas da rede elétrica, pois têm energia elétrica estocada e os CEHP, além disso, podem fornecer energia. Esses CE podem inverter o fluxo de energia, em caso de falha do suprimento, mantendo o suprimento de energia do imóvel ao qual estão ligados<sup>37</sup>. Sistemas de tele-comando e controles, além disso, podem permitir uma atuação coordenada de diversos CE para melhorar a qualidade da energia elétrica<sup>38</sup> de um complexo predial.

Como carros, sobretudo os de uso individual, ficam estacionados mais de 90% do tempo, a nova funcionalidade pode tornar o CE uma reserva de potência do setor elétrico, mais

<sup>35</sup> Graças ao formato de sua superfície uma bola de golfe atinge uma distância 30% maior do que uma bola igual com superfície esférica.

<sup>36</sup> Roy, Rex; New Reality: "It's one thing to develop EV power trains, but what about the eco-friendly savior will sit on?"; pág. 48; Electric&Hybrids; January 2011.

<sup>37</sup> A energia estocada nas baterias (10 – 20 kWh) e a capacidade de geração (20 – 30 kW) são muito elevadas vis-à-vis as cargas residenciais.

<sup>38</sup> Regulando a tensão, melhorando o fator de potência e filtrando harmônicos.

lógica do que a construção de longas linhas de transmissão, sobretudo no Brasil. Estudiosos entendem que a existência dos CE será um dos principais fatores no desenvolvimento das chamadas “redes de distribuição inteligentes”.

**Em 2021** os CE já devem sair da fábrica equipados para operar como “no-break” da residência do proprietário e, para tanto, muitas residências estarão preparadas com a instalação complementar necessária. Alguns condomínios, shopping centers e estacionamentos de escritórios, complexos industriais, universidades e hospitais já terão equipamentos que controlem coletivamente a carga otimizada das baterias e tornem os veículos também reservas de energia para atender situações de emergência em prédios e unidades comerciais, de serviços ou industriais.

A regulamentação do setor elétrico terá avançado prevendo sinais tarifários que incentivem o carregamento à noite e introduzam a prestação de serviços “ancilares” dos CE para a rede elétrica.

### ***Indústria***

A introdução dos CE no mercado, pela indústria, deve seguir o padrão usual de oferta de novidades, primeiro para os carros de luxo, e, depois, para os veículos populares, quando os investimentos já estiverem razoavelmente amortizados e os preços reduzidos.

Para uma indústria que teve um desenvolvimento relativamente linear ao longo de um século sem grandes saltos tecnológicos, a introdução dos CE já começa a ter um efeito importante de renovação tecnológica em países como os EUA onde os CE têm pequena importância, mas cuja economia começa a ser afetada, com a abertura de novos postos de trabalho em Detroit<sup>39</sup>.

Uma reação da indústria será aperfeiçoar a tecnologia tradicional que vai ser substituída, melhorando seu desempenho. Esse fenômeno é observado sempre que há uma quebra de paradigma<sup>40</sup> e já se observa com o uso do câmbio automático, mais eficiente que o hidramático, com os controles dos MCI cada vez mais inteligentes e que podem desligar seus cilindros e adaptar sua potência à necessidade de acionamento<sup>41</sup>. As novidades surtem efeito, mas vão acabar absorvidas pela tecnologia híbrida, sistema capaz de incorporar e multiplicar os efeitos de avanço dos MCI.

**Em 2021**, o desenvolvimento do carro elétrico vai ser um propulsor do novo “boom” das economias dos EUA, China, Japão, Coreia e Europa de um modo geral. Dentro da hipótese de trabalho do INEE, a penetração de mercado nos EUA já deve ultrapassar os 50%. Nessa época já começarão a ser oferecidos CE populares. Os carros convencionais ainda devem oferecer alternativas de veículos com performance bem superiores às atuais.

### ***Etanol x CE***

Tem-se argumentado que o CE é uma solução para os problemas de emissões de CO2 nos EUA e Europa, mas discutível no Brasil, pois compete com o uso do etanol que já cumpre esta função. Isto é verdade no que se refere aos CEB, mas não é necessariamente verdade para os CEH e CEHP, que continuarão a depender de combustível líquido.

Vale lembrar que o etanol, apesar de ter menor densidade energética que a gasolina, é

---

<sup>39</sup> Folha de /São Paulo Mercado, SP, 11/01/2011

<sup>40</sup> As melhores locomotivas a vapor surgiram depois da segunda guerra quando se iniciava o uso das diesel-elétricas que dominaram o mercado.

<sup>41</sup> Equipa, por exemplo, o Chevrolet Camaro SSum carro esportivo da GM

um combustível superior à gasolina desde que usado em motor apropriado. Hoje, porém, ele é usado nos MCI “flex”, ineficientes, sobretudo com etanol. Usando um MCI a etanol o CEH seria, hoje, de longe, o veículo mais “verde” do mundo. A possibilidade de usar o etanol, porém, vai depender do interesse das montadoras brasileiras, como já fizeram na época do PROALCOOL, mas a tendência será manterem a solução flex.

A meu ver, o maior potencial de ampliar o uso veicular do etanol, porém, está na possibilidade de substituir o diesel no transporte urbano de passageiros e cargas, pois no CEH, a potência do MCI é compatível com motores a etanol<sup>42</sup>. Já há algumas experiências internacionais<sup>43</sup> em curso e no Brasil uma experiência importante liderada pela Itaipu binacional.

**Em 2021**, De todas as previsões esta é a única que faço de forma condicionada: o desenvolvimento dos CEH a etanol só vai acontecer se os principais atores, fora da indústria automobilista (produtores de etanol e governo), pressionarem. Nesse caso a tecnologia veicular elétrica será uma alavancadora do uso do etanol. Embora fora do objetivo do presente texto, estimo que devam circular muitos ônibus e caminhões leves elétrico-híbridos (de entrega urbana) a etanol, pois esses veículos podem ser construídos por empresas de nichos que saberão aproveitar a oportunidade.

### **Venda de energia elétrica para CE: eletropostos e baterias**

O CE abastecido em uma residência é uma carga comum. O abastecimento em garagens de condomínio, de empresas ou estacionamentos públicos necessita de uma regulamentação de modo a proporcionar um sistema de cobrança adequado.

Os veículos poderão ser abastecidos em eletropostos. Note-se, porém, que para abastecer o equivalente a 50 l de gasolina em 2 minutos, como fazem as bombas de combustível, é necessária uma potência de 15 MW, incompatível com as redes de distribuição.

O projeto Better Place<sup>44</sup> propõe a venda de energia da mesma forma como é comercializado o GLP, onde a bateria é um mero recipiente de energia: quando a carga ficar baixa, ela pode ser trocada por outra carregada em uma operação que dura poucos minutos<sup>45</sup>, em um posto de abastecimento.

Seja como for a forma de abastecimento, levantam-se novas questões regulatórias a resolver, tais como: incidência de impostos, eletropostos, “vis\_à\_vis” o monopólio das distribuidoras, especificidades do modelo Better Place e revenda de energia em estacionamentos.

**Em 2021:** Não acredito que se desenvolva a atividade de eletropostos com a mesma abrangência que os postos de combustíveis atuais. As cargas elétricas serão feitas nos locais onde os carros estacionam. Acredito que a energia possa ser comercializada com cartões pré-pagos à semelhança do que ocorre com telefones celulares. Nessa época, as distribuidoras mais avançadas em projetos de rede inteligente já aceitarão a prestação de serviços ancilares (ver “CE e a Rede Elétrica”).

### **Potência do CE como apelo de Marketing**

A potência dos MCI dos CEH varia de metade a um terço da necessária a um carro

---

<sup>42</sup> Existe, ainda, a possibilidade de usar dois geradores em paralelo, solução já usada pela WEG em navios híbrido-elétricos.

<sup>43</sup> Scania n Suécia. Ver <http://www.greencarcongress.com/2008/04/scania-double-d.html>

<sup>44</sup> Avançado para uso em Israel. Ver [www.betterplace.com](http://www.betterplace.com).

<sup>45</sup> Esse modelo de comércio reduz o custo inicial do CE, e cria um novo negócio de leasing de baterias.

convencional equivalente<sup>46</sup>.

Em um mundo onde as velocidades máximas permitidas são bem menores que as atingidas pelos carros populares, é um contrasenso. Mas é, também, uma realidade que o marketing dos carros impôs e que vai permanecer, independente da forma de acionamento.

No carro convencional, a potência do MCI tem que ser igual à solicitação máxima, muito superior à necessidade média do carro que é da ordem de 15% da potência máxima. Esse superdimensionamento tem um custo em termos de eficiência.

Motores elétricos, por outro lado, embora dimensionados para uma determinada potência, podem, em períodos curtos, atender o dobro da potência nominal. Como estes surtos de potência (normalmente arrancadas com aceleração elevadas) tipicamente duram pouco tempo, os CE conseguirão manter recordes de aceleração sem necessidade de superdimensionar o motor. Assim, os CE poderão atender a grandes potências sem a necessidade de investimentos em MCI. O Tesla, um CE esportivo que já é vendido nos EUA, pode chegar a 100 km/h em 4 segundos, superando a aceleração de carros como a Ferrari e Lamborghini.

**Em 2021**, o apelo de marketing dos CE continuará a fazer da potência do carro um cavalo de batalha, inclusive em carros populares, atendendo um apelo mais freudiano do que uma necessidade prática.

---

<sup>46</sup> No Prius I, por exemplo, a potência do MCI é de 70 HP para um desempenho que, em um veículo convencional usaria 110 HP.