

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMA DE PARTIDA A FRIO CONVENCIONAL E ELETRÔNICO PARA VEÍCULOS FLEX
Tatiana M. Motta¹, Lilian L. N. Guarieiro² e Júlio César C. Câmara³

¹SENAI-CIMATEC/ Ford Motor Company, E-mail: tatianamotta1@gmail.com;

²SENAI-CIMATEC/ INCT de Energia e Ambiente, E-mail: lilian.guarieiro@fieb.org.br;

³SENAI-CIMATEC, E-mail: jcamara@fieb.org.br

RESUMO

Motor de combustão interna flex é uma tecnologia brasileira, que trouxe consigo grandes mudanças no mercado automobilístico. Esse trabalho tem como objetivo mostrar um estudo comparativo, através de uma revisão de literatura, entre o sistema de partida a frio utilizando a gasolina e o eletrônico em veículos flex. Além de apresentar os princípios de funcionamento do sistema de partida a frio, bem como os benefícios e inovação envolvendo esta tecnologia, necessária para o funcionamento dos motores a combustão interna flex. A implementação do sistema eletrônico de partida a frio trouxe maior conforto para o usuário, redução na emissão de poluentes e melhorias no processo de fabricação para as montadoras.

Palavras-Chaves: Veículos Flex; Sistema de Partida a Frio; Motor de Combustão Interna; Etanol

ABSTRACT

The flex internal combustion engine is a Brazilian technology that brought exclusive improvements and efficiency challenges. This material compares the conventional cold-start system, which is an auxiliary system with gasoline tank and new electronic cold-start system for flex vehicle, through a literature review. This article explains the main concepts regarding cold-start system, including benefits, innovation involving this necessary technology in order to attend internal combustion engine working. The implementation of the electronic cold start system brought more comfort to the driver, reduction of emissions and improvements in manufacturing process to the automakers.

Keywords: Flex Vehicles; Cold-Start System; Internal Combustion Engine; Ethanol

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a maioria dos veículos produzidos no Brasil possuem o motor de combustão interna flex, que permite o uso da mistura etanol-gasolina. Em 2013, essa tecnologia comemorou 10 anos de sua criação marcando presença em mais que 93% do total de veículos novos [1]. Nesse período de uma década, houveram diversos estudos focados nos principais desafios à utilização do etanol como combustível veicular, que promoveram a popularização da tecnologia, como a redução das emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos e o aperfeiçoamento do sistema de partida a frio [2,3].

Os motores de combustão interna flex possui uma grande vantagem na questão escolha do combustível. O motorista tem a opção de escolher o álcool ou gasolina dependendo do preço ou pelo desempenho do motor, porém para que o etanol seja utilizado, é necessário levar em consideração a sua dificuldade de entrar em combustão em determinadas condições. Para isso foi criado o sistema de partida a frio para viabilizar o funcionamento motor quando este está submetido a temperaturas abaixo de 16°C. Esse sistema por sua vez, sofreu algumas modificações ao longo dos anos e hoje existem diversas configurações.

Neste trabalho será feita uma comparação entre os 2 tipos de sistemas de partida a frio mais utilizados atualmente, o sistema de partida a frio com o tanque de gasolina e o sistema com gerenciamento eletrônico utilizando resistências elétricas.

2. SURGIMENTO DO ÁLCOOL COMO COMBUSTÍVEL NO BRASIL

Na década de 70, mais de 80% do petróleo consumido no país era importado, sendo que os países exportadores e participantes da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) atuavam na forma de cartel, controlando os preços.

O etanol, ou álcool etílico, representado pela fórmula molecular C_2H_6O , obtido pela cana-de-açúcar, mandioca, milho ou beterraba, pode ser utilizado em motores combustão interna de ciclo Otto sob 2 formas: 1) Mistura de álcool e gasolina; 2) Etanol puro, conhecido como hidratado.

O álcool já tinha sido usado experimentalmente na forma pura em automóveis, em 1896 no veículo Ford Modelo A e em 1908 no Ford Modelo T. A ideia de seguir em frente com o uso do álcool como combustível veicular, ocorreu em 1975, no mandato do presidente Ernesto Geisel através do Proálcool – Programa Nacional do Álcool. O principal fator que levou a implementação deste programa foi a redução da dependência da importação do petróleo. O Proálcool proporcionou incentivos em pesquisas, aumento das plantações de cana de açúcar e, conseqüentemente, o desenvolvimento de novas tecnologias para permitir o uso do etanol como combustível veicular. Mesmo com o incentivo do governo na época, vale a pena citar que o primeiro veículo movido a álcool não surgiu a partir do programa. Tem-se notícias de que em 1923, no circuito de corrida da Gávea, um carro movido a álcool participou do evento. Desta forma, podemos concluir que a situação econômica

desfavorável, presente nos Anos 70, e as medidas que foram tomadas em seguida impulsionaram o desenvolvimento de tecnologias alternativas que substituíssem o petróleo [4,5].

2.1. Principais Características do Álcool

O número de pesquisas com o objetivo de encontrar um substituto definitivo aos combustíveis derivados do petróleo não param de crescer, isto porque é um recurso não renovável, ou seja possui reservas limitadas. Mesmo com toda a evolução tecnológica, o álcool permanece entre as melhores opções de combustível renovável e, além disso, possui diversas características vantajosas, sendo que as principais são [2]:

A alta taxa de octanagem permite uma maior taxa de compressão e consequentemente obtêm um melhor rendimento termodinâmico;

Maior aproveitamento de energia pelo motor devido a menor complexidade molecular, ou seja o produto resultante da combustão gera uma quantidade menor de carbono;

O etanol pode ser usado na forma pura ou em mistura com outros combustíveis, como a gasolina, o diesel e o metanol.

Apesar do álcool possuir algumas vantagens, o grande desafio é eliminar os problemas de partida quando o combustível está sob temperaturas menores que 16°C, sendo que em valores de temperatura menores que 13°C, é praticamente impossível o funcionamento. Logo, quando o combustível está em baixas temperaturas é necessário uma energia suficiente para vaporizar a substância antes de ser admitido pelo cilindro e assim realizar a ignição da mistura. Devem ser desenvolvidos dispositivos e sistemas que trabalhem considerando as características e propriedades termodinâmicas do etanol.

3. SURGIMENTO DOS MOTORES FLEX

No início da década de 90, houve uma queda no uso do etanol como combustível. Isso ocorreu devido ao fato de que neste mesmo período o governo não conseguiu subsidiar o preço do álcool e para torná-lo competitivo em relação as quedas do preço da gasolina, a permanência do programa Proálcool tornou-se inviável [4,5]. Porém, durante o período de 1997 a 2003, foram criadas duas importantes instituições: o Conselho Nacional de Energia e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; resultando, em 2003, no lançamento do primeiro veículo com motor flex [6-8]. Atualmente, de acordo com o Anuário da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), publicado em 2015, praticamente mais de 93% dos automóveis produzidos no Brasil são movidos a motor flex (Figura 1) [1].

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

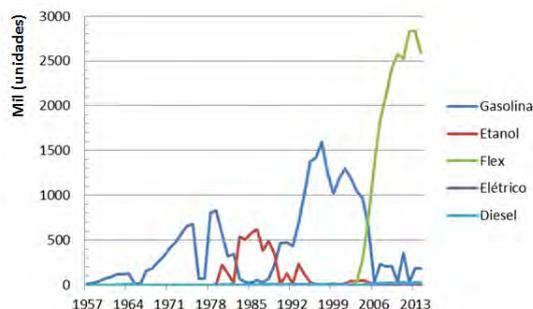


Figura 1 – Licenciamento de Automóveis Novos por Tipo de Combustível no Brasil [1].

De acordo com a Figura 1, pode-se observar que houve uma grande aceitação dos motores flex desde a sua criação em 2003.

4. SISTEMAS DE PARTIDA A FRIO

O sistema de partida a frio, ou também chamado CSS (*Cold Start System*), é uma tecnologia desenvolvida no Brasil com o objetivo de auxiliar na partida do veículo movido a motor flex ou álcool, e quando o combustível se encontra a temperaturas inferiores a 13°C e a mistura possui mais que 85% de álcool em sua composição. Atualmente, esse sistema pode ser encontrado em 2 configurações: Sistema de Partida a Frio com o tanque de gasolina e o sistema eletrônico [9].

4.1. Sistema Partida a Frio com uso da Gasolina

A implementação dos motores Flex trouxe uma grande vantagem ao consumidor que é deixar a critério do cliente a possibilidade de escolha do combustível seja pelo preço, disponibilidade ou performance. Quando o veículo está utilizando mais de 90% de etanol, esse sistema é acionado. A válvula solenoide controla a quantidade de gasolina injetada no motor. Essas pequenas injeções de gasolina ocorrem segundos antes da injeção de álcool, facilitando a partida a frio [10]. O sistema de partida a frio com tanque de gasolina é formado de 8 componentes (Figura 2):



Figura 2 – Diagrama do Sistema de Partida a Frio com Tanque de Gasolina (Adaptado) [10]

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

De acordo com a Figura 2, o sistema de partida a frio, possui um reservatório (1) feito de polietileno de alta densidade (HDPE), uma bomba elétrica (2) que envia o combustível para o coletor de admissão. A válvula solenóide (3) não permite a formação de vácuo e desta forma evita consumo de gasolina do reservatório, já a tampa do combustível (4), possui uma válvula de alívio para evitar o aumento de pressão dentro do reservatório. O sensor de nível (5) informa a quantidade de combustível do reservatório, sendo que alguns veículos não possuem essa informação no painel, é um atributo opcional do veículo. Em seguida temos, os tubos de nylon (6) permitindo a ligação entre a bomba, a válvula solenoide e o motor. Além disso, o sistema possui as mangueiras de borracha (7) para realizar as conexões entre o nylon e a bomba, nylon e a válvula, e finalmente o nylon com o motor. As conexões em T (8) também fazem parte do sistema e permite uma melhor distribuição da gasolina e o coletor de admissão. [10].

4.2.Sistema de Partida a Frio Eletrônico

O primeiro sistema de partida a frio sem utilização do tanque auxiliar de gasolina foi lançado em 2009 no veículo Polo implementado pela Bosch chamado sistema Flex Start. O sistema desenvolvido pela Bosch, possui os seguintes componentes: a galeria de combustíveis conhecido também como *fuel rail*, que tem a função de disponibilizar o combustível na injeção nos cilindros. A lança aquecedora realiza o aquecimento do combustível, por sua vez possui uma alta resistência a temperatura. A unidade de controle de aquecimento gerencia individualmente o fluxo de energia para as lanças aquecedoras, além disso existe diagnose do sistema de aquecimento e proteção contra sobreaquecimento na galeria. O último componente parte desse sistema é a unidade de controle motor que gerencia a operação do motor, controlando o sistema de injeção, ignição, admissão de ar e controle de partida assistida. O Quadro1 sumariza os principais componentes [11].

Definição do Componente	Componente do Sistema Flex Start
Galeria de Combustível: Garante que o combustível seja disponibilizado e assegura a distribuição uniforme de temperatura.	
Lança Aquecedora: Realiza o aquecimento do combustível.	
Unidade de Controle de Aquecimento: Gerencia individualmente o fluxo de energia para as lanças aquecedoras.	
Unidade de Controle Motor: Gerenciamento da operação do motor controlando injeção, ignição e admissão de ar.	

Quadro 1 – Principais Componentes do Sistema Flex Start da Bosch [11].

Existe também uma outra configuração de partida a frio desenvolvido pela Mahle. Esta configuração aquece o etanol utiliza resistências elétricas com alta temperatura. As resistências são acionadas antes da partida (pré-aquecimento),

para que o combustível atinja a temperatura ideal. O novo sistema possui uma unidade eletrônica que controla a temperatura do combustível evitando a formação de vapores indesejáveis, que impedem o funcionamento do motor e que podem causar danos ao sistema de aquecimento e vazamentos. A diferença entre os sistemas criados pela Bosch e pela Mahle, é que no segundo não é necessário o uso da unidade de controle motor, trazendo conseqüentemente uma redução do custo (Figura 3). Neste caso, o controle da temperatura do combustível é realizado por um termistor de coeficiente de temperatura positiva (PTC), ou seja, é um espécie de aquecedor fabricado de material cerâmico policristalino e semicondutor.

Desta forma, quando uma corrente elétrica é aplicada ao termistor a tensão elétrica é convertida em tensão térmica. O termistor é feito de um material que permite aumento de resistência elétrica e diminui a potência elétrica e por conta disso não necessita de nenhum sinal de controle. Em baixas temperaturas, o PTC estará submetido a uma potência elétrica maior, um fluxo de combustível maior e conseqüentemente o mesmo terá uma troca térmica rápida mantendo o seu aquecimento. No caso de não haver passagem de combustível o PTC atinge a temperatura definida e interrompe o aquecimento [12].



Figura 3 – Ilustração do Sistema de Partida a Frio Eletrônico Auto-Controlável montado em Aplicação Veicular [12].

Vale a pena citar, que existe um sistema de partida de injeção direta, onde ocorre a compressão do combustível antes de injetar nos cilindros dispensando o tanque de gasolina. Há apenas alteração na configuração do software de injeção de combustível. Esse sistema foi lançado no veículo Focus 2.0L [13].

5. COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE PARTIDA A FRIO

Os principais veículos comercializados no Brasil que possuem o sistema de partida a frio eletrônico estão ilustrados no Quadro 2. Em março de 2009, apenas o veículo polo possuía a tecnologia eletrônica, atualmente temos 22 veículos sem o tanque de gasolina como pode ser visto na figura 8.

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

								
Up!	New Fiesta	Honda CR-V	Novo Nissan Sentra	208	C3 Picasso	Corolla	J3 S	Série 3
Gol Rallye 1.6L	Novo Ka	Honda Civic	Livina S	308	AirCross		J3 Turin S	
Saveiro Cross 1.6L	Focus	Honda Fit			C3			
Fox Blue Motion								
Polo Blue Motion								

Quadro 2 – Veículos Flex que possuem o sistema de partida a frio sem tanque de gasolina [14, 15].

Considerando os 10 veículos mais vendidos, de acordo com dados da Fenabrave e fazendo uma estimativa, 60% possui o tanque de gasolina [14-16]. A substituição do sistema que possui o tanque de gasolina auxiliar pela tecnologia eletrônica vem crescendo por diversos motivos, tais como:

- O motorista precisa abastecer o tanque auxiliar com gasolina;
- O sistema convencional é susceptível a vazamentos e respingos;
- A proximidade do tanque de gasolina auxiliar com o motor pode causar acidentes;
- O sistema eletrônico de partida a frio possui as seguintes características:

Não é necessário abastecer com gasolina, pois o tanque auxiliar foi eliminado;
 Precisa aguardar o tempo de partida para acionar o veículo;
 Há redução de emissões e custo [4];
 Segue abaixo um resumo comparando os sistemas de partida a frio com o tanque de gasolina e o sistema eletrônico (Tabela 1):

Tabela 1. Comparação entre o sistema de partida a frio com tanque e o sistema eletrônico [4, 10, 11, 12].

	Tanque de Gasolina	Eletrônico
Operação	Abastecer regularmente com gasolina	Não necessita abastecimento
Eficiência na partida a frio	Boa	Boa
Espaço	Exige maior espaço	Necessita de menor espaço
Injetor	Aproveita o injetor do motor	Aproveita o injetor do motor
Painel de Instrumento	Luz de advertência para indicar nível de combustível	Não precisa da luz de advertência no painel
Número de Componentes	Maior número	Menor número
Custo do Conjunto	\$\$	\$
Segurança	Necessita de um bom sistema de vedação para evitar vazamentos	Tubos e conexões foram eliminados
Calibração	Sim	Sim

Observando a tabela acima, os dois sistemas são eficientes e realizam a partida quando o etanol está submetido a baixas temperaturas. A redução de componentes do sistema eletrônico, trouxe mais espaço para o veículo, o que de certa forma é um

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

fator positivo, pois quando está desenvolvendo um produto existe um grande desafio da engenharia em conseguir atender as dimensões de projeto e distâncias de segurança entre os outros sistemas. Essa mudança também trouxe segurança para o motorista, pois a instalação e desenvolvimento de um sistema de partida a frio com tanque de gasolina, necessita de tubos e conexões devidamente vedadas para evitar vazamentos e acidentes. No caso do sistema eletrônico, o tanque é eliminado, assim como tubos e conexões, trazendo assim uma redução de custo no valor total do conjunto. Os 2 sistemas aproveitam o mesmo injetor instalado no motor, assim como ambos precisam realizar uma calibração na implementação do sistema de partida a frio, porém a calibração do sistema eletrônico demanda muito mais tempo.

6. SISTEMA DE PARTIDA A FRIO E EMISSÕES

Além das diferenças entre os componentes de cada sistema a frio, há estudos que comprovam que o sistema de partida frio eletrônica com o uso de resistências, para aquecimento do etanol e ar, reduz o nível de emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) em relação ao sistema convencional, com o tanque de gasolina (Figura 4).

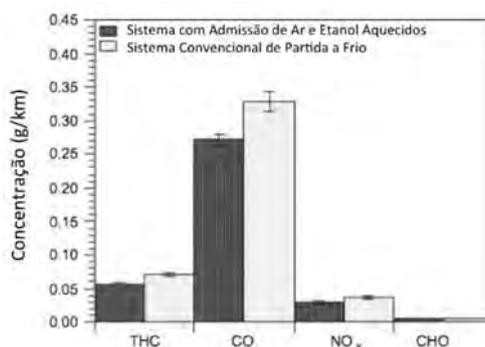


Figura 4 – Concentração de hidrocarbonetos, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrogênio no teste US FTP-75. [3]

Foi também observado que a concentração pós catalítica de aldeídos foi alterada em relação ao sistema convencional. Há outros estudos que verificaram a redução 21,5% e 28,0% nas emissões de HC e CO, utilizando resistências elétricas para aquecer a mistura de ar e etanol durante a partida a frio do veículo, enquanto que a concentração no exaustor pode chegar a 66%, 69% e 61% para HC, HC não metânicos e CO, respectivamente [3]. Estudos utilizando o sistema de partida a frio com o tanque de gasolina, constataram que também é possível obter redução na emissão de poluentes, apenas com o uso de um modulador controlando e monitorando temperatura da água, velocidade do motor, tempo de injeção, temperatura do ar. Houve uma redução na produção de HC, CO e aldeídos de 4,3%, 11,7% e 8,6%, respectivamente [17]. As resistências elétricas do sistema eletrônico oferece na prática um aumento da temperatura do combustível e ocasionando também formação de vapores que podem controlar, durante a partida a frio, a relação ar-combustível reduzindo a geração de HC, CO [18].

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram levantados os principais pontos que conduziram ao desenvolvimento do sistema de partida a frio que existe atualmente, desde o momento em que o álcool entrou no mercado brasileiro como substituto de petróleo aos dias de hoje. Foi visto que, tanto o mercado quanto as medidas políticas adotadas, foram pontos cruciais para contribuir com o conhecimento que o país possui atualmente. O surgimento do motor flex trouxe ao cliente a oportunidade de escolha sobre qual tipo de combustível utilizar, seja por motivos de preço, disponibilidade ou eficiência.

O sistema de partida a frio veio para solucionar as dificuldades de acionar o motor, quando este está submetido a temperaturas muito baixas. Com a eliminação e substituição de alguns componentes, o conjunto tornou-se mais barato, reduziu a complexidade no desenvolvimento do projeto e além disso trouxe benefícios como a redução da emissão de poluentes na partida do motor e segurança.

8. REFERÊNCIAS

¹ ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <www.anfavea.com.br>. Acesso em: 5 Julho 2015.

²Feitosa, M.V.; Ávila, M.T.; Santos, A.M.; Hildebrand Jr, L.; Silva, P.C.D.;Partida a Frio de Motores Movido a Etanol e Misturas de Etanol-Gasolina – Influência da Vaporização de Combustível no Coletor de Admissão. VIII Congresso Brasileiro de Ciências Térmicas – ENCIT 2000, Porto Alegre, RS, Brasil, **2000**.

³Sales, L. C. M.; Sodré, J. R. Cold start emissions of an ethanol-fuelled engine with heated intake air and fuel. Fuel. Volume 95 p. 122-125. Elsevier. **2011**.

⁴Paula Jr., G. A. TRM Adaptado: um método integrado de projeto para análise de tecnologias incrementais. Disserta o de Mestrado, Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC, Salvador, **2010**.

⁵Kohlhepp, G. Análise da situa o da produ o de etanol e biodiesel no Brasil. Estudos Avançados. Volume 24. Número 68 São Paulo. **2010**.

⁶BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econ mico e Social. Sugarcane – Based Bioethanol: Energy for Sustainable Development. BNDES/CGEE, Rio de Janeiro. **2008**.

⁷Freitas, L. C.; Kaneko, S. Ethanol demand under the flex-fuel technology regime in Brazil. Energy Economics. Volume 33 p. 1146-1154. Elsevier. **2011**.

⁸Pacini, H.; Silveira, S. Consumer choice between ethanol and gasoline: Lessons from Brazil and Sweden. Energy Policy. Volume 39. p 6936-6942. Elsevier. **2011**.

⁹Sales, L.C.M.; Sodr , J.R.; Huebner, R.; Maia, C. B. Distribution of the fuel flow in a cold start system using an eletronic fuel injector. SAE International. **2007**.

¹⁰Rodrigues, A.N.; Monte Alto, A. Cold Start System Development for Flex Fuel Vehicle. SAE International. **2007**

¹¹Bosch Mobility Solutions Brasil. Disponível em: <www.bosch-mobility-solutions.com.br> . Acesso em: 11 Julho 2015.

¹²Amaral, T. M. M; Moreira, F., Yoshino, F. J .; Cavaliheri, H.M.; Cruz, R.J.S.D.; Schadler, W. Self-Controlled Electronic Cold Start System for Flexible Vehicle. SAE International. **2014**.

¹³Car and Drive Brasil. Disponível em: <www.caranddriverbrasil.uol.com.br>. Acesso em: 10 Agosto 2015.

¹⁴Auto Data. Disponível em: <www.autodata.com.br>. Acesso em: 10 Agosto 2015.

¹⁵Revista Quadro Rodas. Disponível em: <www.quatrorodas.abril.com.br> . Acesso em: 11 Julho 2015.

¹⁶Fenabreve – Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. Disponível em: <www.fenabreve.org.br>. Acesso em: 9 Agosto 2015.

¹⁷Sales, L. C.; Carvalho, M. G.; Oliveira, F.; Sodré, J. R. Improving Cold Start Emissions from an Ethanol-Fuelled Engine through an Eletronic Gasoline Injector. SAE International. **2010**.

¹⁸Krenus, R.; Passos, M. R. V.; Ortega, T.; Mowery, K.; Kim Jin, Y.; Lavan, L. G.; Lee, K.; Park, C. J.; Han, k. Ethanol Flex Fuel system with Delphi Heated injector application. SAE International. **2014**.