

Resumo. O presente trabalho busca apresentar um sistema de partida fria para os automóveis “flex” capaz de eliminar a necessidade de um combustível auxiliar, aquecendo previamente o combustível antes do processo de injeção nos cilindros. Serão feitas algumas explanações acerca do problema proposto, e as razões pelas quais até hoje se segue utilizando os sistemas de partida fria tradicionais com reservatório de gasolina.

Palavras chave: combustão, motores à álcool, motores ciclo Otto, projeto mecânico (viabilidade econômica)

1. Introdução

Com o advento dos veículos bicompostíveis, um velho problema dos veículos movidos a álcool veio à tona: a difícil partida dos motores em dias com temperaturas acentuadamente baixas, quando os mesmos se encontram abastecidos apenas com o combustível vegetal, ou com uma alta concentração do mesmo.

Este problema é parcialmente resolvido com a adoção de sistemas de partida a frio, que se utilizam da injeção da gasolina para o seu funcionamento. No entanto, este sistema demanda uma maior atenção do consumidor, pois se utilizado com frequência, a gasolina do reservatório de partida a frio acabará, impossibilitando a partida do motor em temperaturas reduzidas.

2. Objetivo

O objetivo principal deste trabalho de formatura é apresentar alternativas tecnológicas para os sistemas de partida a frio convencionais (com reservatório de gasolina), propondo uma nova abordagem para o problema. Existem outros sistemas no mercado, mas como se tratam de meras adaptações ou conversões para que os veículos movidos à gasolina possam utilizar a flexibilidade de combustível, não compreendendo um sistema de partida apenas com essa finalidade, têm seu funcionamento desacreditado.

Ademais, buscar-se-á analisar os motivos pelos quais sistemas alternativos aos sistemas de partida fria atuais nunca foram utilizados, assim como as implicações da instalação no veículo desse novo sistema, apresentando alguns benefícios e empecilhos técnicos de sua utilização.

3. Revisão Bibliográfica

Visando fundamentar cientificamente os modelos matemáticos que vão ser utilizados na construção dos protótipos de sistemas de partida fria, os princípios físicos e conceituais do processo de combustão foram estudados com alguma profundidade, assim como as características funcionais dos motores ciclo Otto, alvo neste projeto da aplicação do sistema de partida fria.

Por tanto este trabalho focará as áreas da combustão mais pertinentes ao escopo do projeto.

3.1 Motores Ciclo Otto

Os motores Ciclo Otto, assim chamados devido ao seu inventor Nicolaus A. Otto, foram primeiramente patenteados em 1867 (REEYWOOD1985). Desde então estes motores vêm sofrendo um contínuo desenvolvimento, o que pode ser comprovado pelo seu rendimento termodinâmico, que nos primórdios beirava os 10% e atualmente facilmente supera 30%. No entanto o seu princípio de funcionamento segue sendo o mesmo.

Motores Ciclo Otto são classificados como motores alternativos a 4 tempos de ignição por centelha (GARCIA,1985). Durante esse tipo de ciclo, o pistão percorre 4 vezes o seu curso, ou seja, passa 4 vezes pelos seus pontos mortos superior (PMS) e inferior correspondendo a 2 voltas do eixo do motor. Estes tempos podem ser descritos sucintamente como:

- 1- Admissão;
- 2- Compressão;
- 3- Expansão;
- 4- Exaustão;

Desses ciclos os de maior interesse para esse projeto são os ciclos de admissão e compressão, pois neles se dá propriamente dito o processo de troca de calor entre o combustível e o motor, fator decisivo para se determinar o estado em que o combustível se encontrará no momento da centelha.

Diversos combustíveis podem ser utilizados nos motores baseados no Ciclo Otto. Os mais comuns no Brasil são o álcool etílico hidratado, a gasolina, e o GNV (gás natural veicular). Atualmente nos veículo flex, o álcool e a gasolina já podem ser misturados de modo aleatório no tanque.

3.2. Troca de calor nos pistões

Durante o *tempo da compressão*, e também durante os tempos de *combustão e expansão*, a troca de calor entre os gases de combustão e as paredes do cilindro ainda que a princípio pareça irrelevante, mostrar-se-á fundamental para o correto entendimento do processo de partida dos motores a álcool.

Em se tratando de um processo extremamente complexo e dinâmico, que envolve grandes variações de pressão e temperatura no interior do cilindro, assim como de velocidade do pistão, uma simulação precisa do processo de combustão demanda a utilização de sistemas CFD's com computadores com grande capacidade de processamento.

Para contornar essa dificuldade técnica, Schimdt(1966) propõe a utilização das seguintes fórmulas propostas primeiramente por Nusselt, para o cálculo da troca de calor nos cilindros por convecção e radiação respectivamente:

$$h_c = 0,0286 * \sqrt[3]{p^2 T (1 + 0,378 v_p)} B.t.u / ft^2 h^\circ F \quad (1)$$

Onde:

h_c - é o coeficiente de transferência de calor por convecção no instante;

p - é a pressão absoluta do gás no cilindro no instante (p.s.i abs);

T - temperatura absoluta do gás no cilindro no instante ($^\circ R$);

v_p - velocidade média do pistão ft/sec.

E para a transferência de calor por radiação, a seguinte fórmula:

$$h_r = \frac{0,0128}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2}} * \frac{\left(\frac{T}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_w}{100}\right)^4}{T - T_w} B.t.u / ft^2 h^\circ F \quad (2)$$

Onde:

T_w - é a temperatura absoluta da parede;

A_1 - a capacidade de absorção do volume de gás;

A_2 - a capacidade de absorção da superfície da parede do cilindro.

Logo a taxa de transferência de calor entre os gases e parede do cilindro será dada por:

$$Q = (h_r + h_c)(T - T_w)A B.t.u./h, \quad (3)$$

sendo A a área da superfície da parede.

No entanto segundo Schmidt, Nusselt conclui que boa parte da transferência de calor que ocorre num motor em regime deve-se à convecção (h_c) e apenas um percentual pequeno deve-se à radiação (h_r).

Portanto para as futuras análises que serão feitas sobre a partida fria nos motores abastecidos com etanol, desconsideraremos totalmente a transferência de calor por radiação, já que a baixas temperaturas, a mesma se torna insignificante se comparada à transferência de calor por convecção.

3.3. Sistemas de Ignição

O sistema de ignição é o responsável por dar a ignição da mistura ar/combustível no momento correto, através da produção de uma centelha no eletrodo na extremidade da vela de ignição no interior do cilindro. O incorreto funcionamento desse sistema pode levar desde a queima incompleta da mistura ar/combustível até mesmo à falha na ignição da mistura.

Este sistema é composto basicamente pelas velas, uma por cilindro, uma bobina e um distribuidor. A vela é a responsável pela criação da centelha Já a bobina funciona como um grande capacitor, armazenando e liberando uma energia elétrica em alta tensão. O distribuidor é o responsável pela coordenação do acionamento das velas, contudo, nos modelos com injeção eletrônica estes foram substituídos pela ECM.

Segundo Bosch (2003), a energia necessária para dar início à ignição na mistura ar/combustível em condições ideais é ao redor de 0,2 mJ. Esse valor é obtido na análise da combustão de uma mistura de composição estática, homogênea e estequiométrica. Em motores reais, no entanto, esses valores são muito mais altos. As variações das condições da mistura nos cilindros nos mais diversos momentos de operação do motor implicam na utilização de tensões entre 30 e 100 mJ.

Para efeito de comparação, as bobinas do Celta 1.0L Flex liberam uma energia de ignição da ordem de 30mJ, de onde podemos deduzir que provavelmente os problemas de ignição não se devem à energia liberada pela centelha.

3.4. Modelo de evaporação das gotas

O correto funcionamento do bico injetor demanda um estudo aprofundado do modelo de evaporação das gotas dos combustíveis. Isso é ainda mais crítico nos veículos flex devido a grande diferença entre as propriedades físico-químicas do etanol hidratado e da gasolina, o que exige dos projetistas um grande trabalho para se obter um projeto de bico que atenda bem tanto à gasolina como ao etanol. Um exemplo da grande diferença apresentada pelo álcool e a gasolina pode ser observada a seguir, num gráfico que apresenta o percentual de evaporação de diversos combustíveis versus a distância percorrida pelo jato liberado pelo bico injetor:

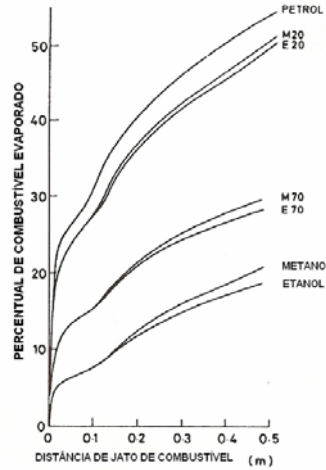


Fig. 1-Percentual de evaporação x dist. do jato

Para o mais fácil estudo do processo de evaporação das gotas, TURNS(1963) assume as seguintes hipóteses abaixo:

- A gota evapora num meio contínuo e sem perturbações, e suas propriedades irão variar apenas com o raio. Efeitos da gravidade são desconsiderados;
- A evaporação ocorre num regime quase-permanente, logo o fluxo de massa será constante independentemente do raio da gota;
- O combustível é uma substância pura com solubilidade nula à gases;
- A temperatura da gota é uniforme e igual a temperatura de ebulição do líquido ($T_g = T_{eb}$); Já a temperatura dos gases ao longe será dada por T_∞ ;

• As propriedades físico-químicas, tais como condutividade térmica, densidade, e calor específico são constantes.

Adotando a conservação de massa e de energia, ele propõem o seguinte volume de controle:

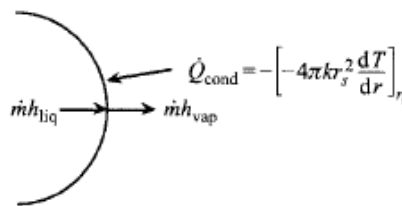


Fig. 2-Volume de controle

A partir desse volume de controle, Turns (1963) obtém então a seguinte equação, a qual define o perfil térmico da gota:

$$T(r) = \frac{(T_\infty - T_{eb}) \exp(-Z \frac{\dot{m}}{r}) - T_\infty \exp(-Z \frac{\dot{m}}{r_s}) + T_{eb}}{1 - \exp(-Z \frac{\dot{m}}{r_s})} \quad (4)$$

Sendo que:

$$Z \equiv \frac{c_{pg}}{4\pi k} \quad (5)$$

Onde:

T_∞ -temperatura dos gases (K);

T_{eb} -temperatura de ebulição da gota (K);

r_s - raio da superfície da gota(m);

c_{pg} -calor específico do combustível;

k- cte de condutividade térmica.

Obtido o perfil térmico, obtêm a seguinte equação para a vazão mássica da gota:

$$\dot{m} = \frac{4\pi k_g r_s}{c_{pg}} \ln(B_q + 1) \quad (6)$$

Onde B_q , ou **número de Spalding** é dado por:

$$B_q = \frac{c_{pg} (T_\infty - T_{eb})}{h_{lv}} \quad (7)$$

Encontrando também por fim a equação que possibilita determinar o **tempo de vida da gota**:

$$t_q = \frac{D_0^2}{K}, \quad (8)$$

Sendo que K é a **constante de evaporação**, e é definida por:

$$K = \frac{8k_g}{\rho_l c_{pg}} \ln(B_q + 1) \quad (9)$$

Onde:

ρ_l - é a densidade do líquido componente da gota.

Estas fórmulas, de vazão mássica da gota e tempo de vida, serão de grande importância a seguir, na elaboração do modelo numérico para a partida fria do motor abastecido com etanol.

3.5. Sistemas de Partida Fria Atuais

Os sistemas de partida fria estão presentes nos veículos a álcool desde os seus primórdios. Desde então, seu princípio de funcionamento praticamente não foi alterado, havendo apenas alguns avanços nos componentes de controle.

Este sistema é composto de um reservatório de gasolina, um sistema de bombeamento e de um injetor. Em dias de frio intenso, no momento da partida do motor, o sistema de partida fria injeta gasolina no sistema de admissão, enriquecendo a mistura e possibilitando a partida. A substituição dos carburadores por sistemas de injeção eletrônica não mudou em nada esse princípio, apenas alterou de que maneira é feito o enriquecimento da mistura no momento da partida.

Nos veículos atuais, esse controle é feito pela ECM (Eletronic Control Module). A cada reabastecimento de combustível, a ECM detecta o nível de álcool no tanque. Se for superior a 85% da mistura, e temperatura externa foi inferior a 18°C, o sistema de partida fria é acionado. Em geral, como parâmetro de funcionamento, as montadoras calibram os sistemas atuais de partida fria para que os veículos possam funcionar em temperaturas de até -10°C.

Contudo, ainda nos falta definir o porquê da partida de motores alimentados com etanol hidratado, o E100, torna-se crítica à baixa temperatura, e o mesmo não ocorrer quando este combustível possui um percentual maior de gasolina. Ademais, cabe justificar o porquê da temperatura de acionamento dos sistemas de partida fria é 18°C.

4. Análise da combustão do álcool

Neste capítulo será feita uma análise dos motivos/causas pelos quais a partida do motor não ocorre em baixas temperaturas quando abastecido com o álcool. Serão discutidos os seguintes aspectos: características físico-químicas do álcool, e condições de queima na câmara. Também será apresentada uma simulação que buscará corroborar as informações apresentadas.

4.1. Características físico-químicas

Sabemos que para que ocorra uma boa queima do combustível presente no cilindro, os mesmos devem estar no estado gasoso. Se o combustível ao entrar no cilindro se encontra no estado líquido, a centelha liberada pela vela de ignição será incapaz de iniciar uma combustão que se propague, ou seja, não ocorrerá a queima satisfatória do combustível.

Propriedade	Gasolina bras.	Álcool hidratado
PCI (kJ/kg)	39320	25000

Dens. (kg/m ³)	740	790
% Álcool anidro	22	93,2
A/C esteq.	14,3	8,6
Temp. ebulição (°C)	25 – 215	78
Temp.de auto-ignição(°C)	400	420
Pressão de Vapor (Kpa)	38	9
Calor Latente (KJ/Kg)	440	992
Ponto de Fulgor(°C)	- 42	13
Octanagem RON	93	106

Tab. 1-Comparativo entre gasolina (E22) e etanol (E100)

Analisando as propriedades de ambos combustíveis, podemos observar que a entalpia de vaporização do álcool hidratado (992 KJ/kg) é superior àquela da gasolina (440 KJ/Kg), i.e., é necessário uma energia maior para vaporizar o álcool que a gasolina. Portanto, o álcool necessita de uma energia disponível superior à gasolina (temperaturas mais elevadas) para que a vaporização ocorra.

Outra propriedade passível de estudo, e que permite entender alguns parâmetros de projeto dos sistemas de partida fria, é o ponto de fulgor. Este é definido como a temperatura no qual, à pressão ambiente, certo combustível é capaz de liberar vapores. Como pode-se observar, o ponto de fulgor do álcool (13°C) é notavelmente superior ao da gasolina (-42°C). Esta temperatura chega a ser superior à temperatura média da região sul do país no inverno (entre 10°C e 15°C).

No entanto, essas informações ainda não esclarecem o porquê das montadoras adotarem como parâmetro de acionamento dos sistemas de partida fria, temperaturas inferiores a 18°C. Cabe, portanto, um estudo mais aprofundado das interações dos gases com o motor.

4.2. Condições de queima na câmara

Outro aspecto que deve ser abordado no problema da ignição do álcool são as condições em que ocorre a queima do mesmo no interior do cilindro, abordando não somente as condições de temperatura e pressão dos gases, mas também da mistura ar/combustível.

A ignição da mistura só ocorrerá quando atingido o limite de inflamabilidade. Ele indica o volume mínimo de combustível vaporizado necessário numa mistura ar/combustível, para que ocorra combustão.

Limites de Inflamabilidade					
Heptano	C ₇ H ₁₆	min.	1,2	máx.	6,7
Octano	C ₈ H ₁₈	min.	1	máx.	6
Etanol	C ₂ H ₆ O	min.	4,3	máx.	9
		% volumétrica	p~pat		

Tab. 2-Limites de Inflamabilidade

Na tabela acima, pode-se observar que os limites mínimos e máximos de inflamabilidade do álcool são superiores ao do heptano e octeno, dois dos principais componentes da gasolina e de características similares à mesma.

Segundo SPALDING(1963), a difusividade está intimamente ligada à temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a difusividade. Logo, com uma temperatura inferior, espera-se que a difusividade seja reduzida, e, portanto o ar se sature antes que limite de inflamabilidade seja atingido. Este efeito acentua-se com o etanol, que apresenta um limite de inflamabilidade superior ao da gasolina.

4.3. Simulação

A análise realizada no item anterior discute o comportamento dos dois combustíveis, etanol e gasolina, sob um ponto de vista das propriedades apenas. No entanto, se desejamos determinar com clareza os efeitos que impedem a partida dos motores alimentados com etanol em dias frios, devemos levar em conta as interações que ocorrem entre o motor e os gases da mistura etanol-ar durante os primeiros momentos da partida. Para tanto, um programa de simulação numérica foi utilizado. Ele considera a troca de calor entre os gases e as superfícies do motor, a variação do coeficiente de convecção h , as velocidades instantâneas do pistão e o efeito das gotas de álcool na mistura.

Como aproximação para as velocidades média e instantânea do pistão foram utilizadas respectivamente as seguintes aproximações propostas por Bosch (2003):

$$v_m = 2 \cdot n \cdot s \quad (10)$$

$$v = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r \left(\sin \varphi + \frac{r}{2l} \sin 2\varphi \right) \quad (11)$$

Onde:

n = rotações do motor (m^{-1});

S = curso do pistão (mm);

r = raio do girabrequim (mm);

l = comprimento da biela (mm);

φ = ângulo do girabrequim ($^{\circ}$).

Devido à grande complexidade que envolve essa simulação, algumas hipóteses simplificadoras foram adotadas:

- Injeção direta de combustível através de bicos injetores localizados no superior;
- Troca de calor ocorre somente por convecção entre a mistura ar-combustível e as paredes laterais do cilindro (desconsiderando pistão e cabeçote);

• O coeficiente de convecção varia de $h = 340 \text{ W/m}^2 \cdot K$ à $h = 390 \text{ W/m}^2 \cdot K$ (dados obtidos com montadoras);

- As gotas possuem diâmetros iguais e uniformes;

Na simulação é avaliada a temperatura mínima do etanol que possibilite a partida do motor para uma dada temperatura do ar ambiente. A ignição ou não do álcool é determinada no programa pelo limite mínimo de inflamabilidade. Quando o volume de vapor de álcool for superior a 4,3 %, teremos a ignição.

Como parâmetros de entrada para o programa, foram utilizados dados reais do motor do Chevrolet Celta 1.0.

Motor Fam. I 1.0 L Flex	
Cilindrada efetiva	999 cm ³
Núm. Cilindros	4
Diâmetro do Cilindro	71,1 mm
Curso	62,9 mm
Taxa de Compressão	12,6

Tab. 3-Dados do motor

A partir das simulações podemos obter os seguintes dados apresentados no gráfico a seguir. Pode-se observar que para temperaturas mais altas do ar ambiente, temperaturas inferiores ao do ar são possíveis para o etanol.

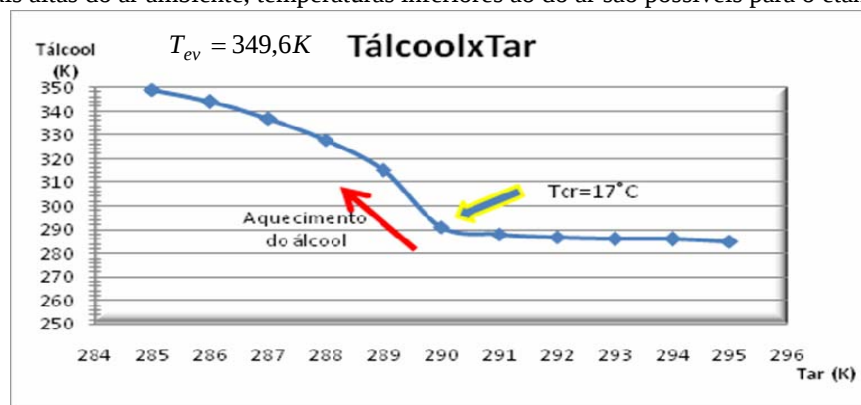


Fig. 3-Gráfico demonstrativo de correlação entre temperatura do ar ambiente e temperatura mínima do álcool para ignição

Conforme podemos observar, para temperaturas inferiores a $T_{cr} = 290K$ ($17^{\circ}C$), o etanol deve ser aquecido para que o limite de inflamabilidade seja alcançado e, logo a ignição seja possível. Esta temperatura coincide com a temperatura de acionamento dos sistemas de partida fria atuais já utilizados pelas montadoras, como mencionado nos capítulos anteriores, o que nos explica então o porquê da adoção dessa temperatura pelas montadoras, e não a temperatura de fulgor ($12^{\circ}C$).

Outra informação de grande valia obtida através da análise dos resultados da simulação é a temperatura mínima do ar ambiente $T_{ar} = 285K$ ($12^{\circ}C$) na qual o álcool já não poderá ser mais aquecido, pois evaporará antes da injeção no cilindro

Com esse dado, podemos concluir que para temperaturas inferiores a $12^{\circ}C$, um sistema de partida fria que se utilize apenas do aquecimento do etanol líquido não será eficaz. Podemos concluir então que o sistema para ser funcional em temperaturas inferiores a essa, deverá se utilizar da vaporização do etanol, e talvez até mesmo, de um sistema auxiliar similar aos atuais com injeção de gasolina.

4.4. Influência do aquecimento do combustível nas emissões gasosas

Segundo BRUNOCILLA (2006), os principais poluentes cabíveis de controle nos motores ciclo OTTO são os HC (hidrocarbonetos), CO (monóxido de carbono), NO_x (óxido de nitrogênio), HCHO (aldeídos), assim como o CO₂ (dióxido de carbono), gás esse responsável pelo aquecimento global. Atualmente sistemas sofisticados de gerenciamento de motores, assim como sistemas de pós-tratamento dos gases são utilizados para atender as cada vez mais restritivas normas de controle de emissões.

Já no ano de 2009, entrará em vigência a norma PROCONVE fase 5, norma essa ainda mais restritiva quanto a emissão de certos poluentes.

Fase	Poluentes (g/Km)						Evap
	CO	HC ¹	NMHC	NO _x	RCHO ²	PM ³	g/Test
1	24	2,1		2,0			
2	12	1,2		1,4	0,15		6,0
3	2,0	0,3		0,6	0,03		6,0
4	2,0	0,3	0,16	0,25/0,60 ³	0,03	0,05	2,0
5	2,0	0,3	0,05	0,12/0,25 ³	0,02	0,05	2,0

Tab. 4-Evolução das regulamentações de emissões no Brasil ao longo das fases

Contudo os níveis de poluentes emitidos pelos motores variam conforme o regime em que esse se encontra. Dentre esses regimes, o regime mais crítico quanto a emissões, principalmente quanto à emissões de HC, é o período de partida e aquecimento do motor. Nesse período ocorrem dois problemas que aumentam em muito os níveis de emissões desses poluentes:

Os conversores catalíticos não atingiram o “light off”, temperatura mínima necessária para o correto funcionamento do conversor, logo não conseguem converter os gases de maneira adequada.

O etanol vaporizado se condensa nas paredes frias do motor, logo para que ocorra a ignição, deve ser injetada no cilindro uma mistura mais rica do que normalmente necessária. Esse excedente de etanol não queimado se mistura ao óleo do motor, e escorre pelo sistema de exaustão. Quando essa mistura etanol-óleo atinge 60°C, inicia-se seu processo de evaporação. Esses vapores são os responsáveis pelo incremento significativo dos níveis de emissão de HC durante essa fase de “purga” do remanescente de etanol.

Segundo BRUNOCILLA, os altos níveis de emissão de HC na partida fria pode ser resolvido em grande parte, pelo aquecimento e vaporização do etanol, já que grande parte do etanol deixaria de condensar nas paredes do cilindro, diminuindo assim o volume a ser purgado no sistema de exaustão.

A redução dos níveis de emissão de HC traz como grande benefício a possibilidade de se reduzir a carga do catalisador, carga essa composta principalmente por metais preciosos e de grande custo. O benefício apresentado por essa redução de custo pode já por si mesmo, justificar para as montadoras a utilização do sistema de partida fria com aquecimento do etanol, ainda que este demande um sistema com injeção de gasolina trabalhando em paralelo para temperaturas ambiente muito reduzidas.

5. Sistema de partida fria sem combustível auxiliar

Tendo em vista que o grande problema ao se dar partida em dias frios é a baixa temperatura em que se encontra o álcool, seria um tanto quanto óbvio pensar numa solução que envolvesse o pré-aquecimento do mesmo.

Contudo, em não se tratando de um problema recente, deve-se perguntar o que levou as montadoras a manter os atuais sistemas de partida fria com gasolina durante tanto tempo. Podem-se mencionar os seguintes razões:

- falta de interesse do mercado
- custo
- demanda energética do aquecimento
- regulamentações de emissões pouco restritivas

No entanto, o lançamento dos veículos “flex” causou uma grande reviravolta nesse cenário. Houve um grande aumento da demanda por sistemas de partida fria, sistemas estes que já não atendem todos os anseios dos motoristas por veículos que demandem cada vez menos manutenção e cuidados desnecessários, tais como abastecer o reservatório de gasolina. Essa mudança de paradigma, assim como regulamentações de emissões cada vez mais restritivas, fomentou entre as montadoras e fornecedoras de sistemas para os veículos, uma corrida para suprir essa nova “necessidade” do mercado. Lançamentos de sistemas de partida fria por aquecimento de álcool estão previstos para os anos vindouros.

Criada uma nova demanda, os problemas com custos dos componentes e do desenvolvimento do novo sistema de partida fria tendem a desaparecer, já que a economia de escala absorveria em grande parte estes custos, possibilitando até mesmo que futuramente o novo sistema de partida fria seja disponibilizado para carros populares.

Logo, o grande desafio desse projeto será conciliar um curto tempo de aquecimento do combustível com uma reduzida potência para tanto. Um grande tempo de espera para se dar partida no veículo, pode causar um grande desinteresse do cliente pelo sistema, no entanto se a potência da resistência for muito grande com o intuito de reduzir o tempo da partida, corre-se o risco de ser necessária uma grande alteração no sistema elétrico do veículo, assim como grandes investimentos pelas montadoras, tornando o projeto inviável.

5.1. Proposição de modelos

Foram elaborados 2 modelos de sistemas de partida fria. Ambos são baseados no pré-aquecimento e vaporização do etanol, e não da mistura ar-combustível. O que os diferencia é basicamente o local do aquecimento, se central ou distribuído. Em ambos os casos esses sistemas poderão trabalhar em paralelo ao sistema de partida fria convencional com injeção de gasolina, já que para temperaturas abaixo de 12°C, conforme demonstrou a simulação, a utilização da gasolina poderá ser necessária.

Modelo 1 – Aquecimento Central

Neste modelo propõe-se um sistema de alimentação paralelo ao coletor de admissão, onde estará localizada a resistência elétrica responsável pela vaporização do álcool. O combustível vaporizado será distribuído para cilindros através de dutos que desembocarão acima das válvulas de admissão e ao lado dos bicos injetores. O sistema de partida fria funcionará em conjunto com o sistema de injeção durante os primeiros instantes da partida, enriquecendo e aquecendo a mistura. A instalação do sistema injetor de álcool pré-aquecido deve ser o mais próximo possível das válvulas de admissão de modo que as superfícies frias de contato sejam mínimas, aumentando a eficiência do sistema como um todo.

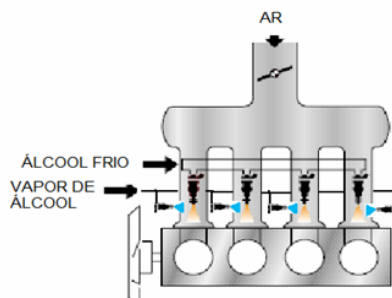


Fig. 4-Modelo com aquecimento central

Modelo 2 – Aquecimento Individual

No aquecimento individual, cada cilindro contará com uma resistência. Como opção pode-se inclusive instalar a resistência no interior dos bicos injetores, o que reduz a superfície fria em contato com o combustível, diminuindo tanto as perdas térmicas como por atrito dos dutos. Este aquecimento, aliado à uma mistura ligeiramente mais rica garante a partida do motor até mesmo nas temperaturas mais baixas.

5.2. Comparativo entre propostas

	Modelo 1	Modelo 2
Vantagens	-sistema de menor complexidade construtiva -demanda mudanças na tampa do cabeçote do motor -baixo custo	-sistema mais eficiente -permite ser instalado com a substituição de apenas os bicos injetores, não requerendo grandes alterações de hardware nos atuais motores
Desvantagens	-tem menor eficiência térmica -demanda mais trabalho na instalação	-difícil processo de fabricação dos bicos injetores / aquecedores -problemas com materiais pouco resistentes a altas temperaturas

Tab. 5- Comparativo entre modelos propostos

Apesar das vantagens energéticas apresentadas pelo modelo 1, a dificuldade no projeto de bicos injetores com resistência, assim como a dificuldade na fabricação de protótipos, nos leva a optar por dar sequência ao primeiro modelo, dado que busca-se no final a construção de protótipo funcional do sistema como um todo.

6. Determinação de parâmetros do protótipo

Por se tratar do elemento central do sistema de partida fria proposto, optou-se pelo desenvolvimento primeiramente da resistência responsável pelo aquecimento do álcool.

Neste desenvolvimento, temos que ter em conta as seguintes características desejáveis:

- baixa inércia térmica
- potência

A inércia térmica pode ser definida sucintamente como a velocidade que um elemento tarda a responder a uma variação térmica. Ela está associada a difusividade térmica dos materiais. No caso da resistência elétrica, a inércia térmica é causada em sua maior parte pelos elementos de revestimento e isolamento elétrica. Portanto devemos eliminar ao máximo os materiais isolantes.

Já a potência da resistência é dada pela sua resistividade e pela quantidade de filamentos resistivos presente dentro do invólucro da resistência.



Fig. 5-Protótipos de resistências

O equilíbrio entre elemento isolante e filamento resistivo, permitirá a construção de uma resistência de tamanho reduzido, baixa inércia térmica e alta potência.

6.1. Potência Requerida

Nas simulações realizadas nos capítulos anteriores, pôde-se concluir que para que o sistema de partida fria seja eficiente em temperaturas inferiores a 12°C, devemos vaporizar completamente o álcool antes da injeção do mesmo nos cilindros.

Para garantir o funcionamento do sistema nos casos mais abrangentes, adotaremos um caso extremo em que a vazão do etanol sob aquecimento é a vazão de regime do motor em marcha lenta, ou seja em aproximadamente 2000 RPM. Para o motor do Celta 1.0L, temos a vazão de 9kg/h. Adotaremos também as seguintes hipóteses abaixo, onde consideramos os extremos climáticos:

- vazão mássica do álcool estimada em 9kg/h (supondo que o álcool deva ser aquecido nos primeiros segundos da partida, quando o motor ainda está entrando em regime)
- Temperatura ambiente de -20°C
- Temperatura do álcool após o aquecimento 80°C¹

Dado que o calor específico do álcool é de $C_p = 2,4 \text{ kJ/kgK}$, temos que a potência necessária para o aquecimento será dada por:

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

onde:

$$m = 0,0025 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta T = 100$$

substituindo, teremos:

$$\dot{Q} = 600W$$

Essa é uma análise simples, mas servirá como um parâmetro de referência para determinarmos se a resistência escolhida atenderá os parâmetros do projeto.

6.2. Impactos no sistema elétrico

Tendo em que estas resistências demandarão uma grande potência, devemos avaliar se os sistemas elétricos dos veículos atuais serão capazes de suportar essa demanda.

Este análise deve ser feito através da corrente máxima fornecida pela bateria do veículo e a exigida pela resistência.

1 Supondo que devemos vaporizar todo álcool, devemos garantir que o mesmo vaporize completamente, por tanto devo adotar uma temperatura maior que a de ebulição (78°C)

Sabe-se que a tensão da bateria é de $U=12V$ e $I_{max}=60A$

$$I_{res} = \frac{P}{U} = \frac{600W}{12V} = 50,0A$$

O motor de arranque do motor consome em média 500W. Assim, a corrente demandada na partida do motor é de aproximadamente 42A, inviabilizando, portanto o acionamento do sistema de aquecimento e de partida simultaneamente. Tal problema pode ser solucionado ou pela substituição dos sistemas elétricos existentes nos veículos atuais por outros mais potentes, o que implicaria num aumento de custo ao cliente, ou pelo acionamento alternado dos sistemas, primeiramente o aquecimento seguido da partida.

7. Resultados de testes preliminares

Com o intuito de verificar a viabilidade técnica do projeto, foram avaliadas três resistências de diferentes potências: 300 W, 360 W, e 378 W.

Nelas foram realizadas 2 testes:

- O primeiro visava verificar a velocidade na qual a resistência atingiria sua máxima temperatura após um período de atividade de 8s.
- O segundo teste visa verificar qual o tempo que as resistências levariam para retornar a temperatura de 350°C, após um período de 10s de atividade.

A partir dos testes realizados pode-se constatar que as resistências apresentam baixa inércia térmica e são capazes de atingir temperaturas bastante elevadas, superiores a 900°C, num tempo relativamente curto, $t < 10s$, o que com certeza atenderá as exigências do projeto.

8. Conclusões

Neste trabalho, após a avaliação criteriosa das características físico-químicas do etanol e da gasolina, conseguimos concluir com segurança a viabilidade técnica do sistema de partida fria com aquecimento do etanol, assim como esclarecer seus benefícios em relação aos sistemas atuais. Contudo, num primeiro momento, convém não descartar a utilização dos sistemas atuais em paralelo como de suporte ao novo sistema, já que para temperaturas ambiente inferiores a 12°C, a injeção da gasolina poderá se fazer necessária, cabendo para uma resposta precisa, maiores estudos.

Outro grande benefício trazido pelo novo sistema refere-se à redução dos níveis de emissão de hidrocarbonetos proporcionados pelo novo sistema. Esta redução possibilita a utilização de conversores catalíticos com menos carga de metais nobres, portanto mais baratos, talvez até mesmo o suficiente para pagar os investimentos demandados para o desenvolvimento e instalação do novo sistema de partida fria nos veículos atuais.

9. Referências

- (1)HEYWOOD, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, Ed. Mcgraw-Hill, 1985
- (2)SPALDING,D.B. Combustion and Mass Transfer, Pergamon Press, 1985
- (3)TURNS, S.T., An Introduction to Combustion, Ed. Mcgraw-Hill, 2000
- (4) GARCIA O., BRUNETTI F., Motores de Combustão Interna, 1985
- (5) SPALDING D.B., AFHAN N.H., Heat and Mass Transfer in Gasoline and Diesel Engines, HPC, 1989
- (6) SPALDING D.B., Convective Mass Transfer-an introduction, McGraw-Hill, 1963
- (7)Tech Data Celta NG, 2006
- (8)BOSCH, R., Automotive Handbook, SAE, 1996
- (9)BRUNOCILLA M., LEPSCH F. Influence of hot fuel injection on air/fuel mixture preparation and effects on flex fuel engines, SAE, 2006

FUNCTIONAL AND ENERGETICAL ANALYSIS OF A COLD START SYSTEM FOR FLEX FUEL VEHICLES

Luís Eduardo A. Duccini

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

luis.duccini@gmail.com

Abstract. This article presents a new cold start system for flexfuel vehicles capable of eliminating the auxiliary gasoline reservoir by heating previously the ethanol to injection. Also it's presented a few assumptions about the reasons why the system has never being implemented before, as well as the advantages that this system brings to the automaker such as emissions control and marketing appealing.

Keywords. Combustion, ethanol engines, Otto cycle engines, mechanical design (economical feasibility)