



AVALIAÇÃO DO USO DE UM DUPLO COMANDO VARIÁVEL DE VÁLVULAS NO FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR CICLO OTTO DE INJEÇÃO INDIRETA

Elias Castro Catan,^{1,2} Lilian Lefol Nani Guarieiro^{2,3}

¹Ford Motor Company – Avenida Henry Ford, 2000 – Camaçari, BA, Brasil

²SENAI CIMATEC , 41650-010, Salvador, BA, Brasil

³INCT de Energia e Ambiente, UFBA, 40170-290 Salvador, BA, Brasil

E-mails: ecatan@gmail.com, lilianguarieiro@gmail.com

RESUMO

O mercado automobilístico está em constante mudança, seja por necessidade de atender os desejos dos clientes, seja por disputa com a concorrência ou requerimentos legais. Atualmente as montadoras precisam se adequar ao programa Inovar-Auto e, uma das medidas, é diminuir o consumo de combustível dos veículos vendidos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o funcionamento do duplo comando variável de válvulas e a sua influência no desempenho e consumo de combustível através de testes realizados com um motor convencional e um com a tecnologia em questão. De acordo com os gráficos de torque e potência obtidos neste estudo foi possível verificar que o sistema de duplo comando variável de válvulas traz uma boa influência em altas rotações e uma economia média de 2,5% no consumo de combustível apresentando-se como uma ótima solução a ser incorporada ao pacote de mudanças para atendimento ao Inovar-Auto.

1. INTRODUÇÃO

O mercado automobilístico, acima de qualquer outro regido pela livre concorrência, é uma área que está em constante atualização tecnológica buscando trazer o maior conforto e satisfação dos clientes, entre diversos outros motivos.

Muitas vezes as novas tecnologias são desenvolvidas por iniciativas das próprias empresas por uma vontade do consumidor, por uma necessidade mercadológica ou por necessidade de mudança devido a exigências ou incentivos governamentais e ambientais.

Como um grande exemplo no passado, o Programa Nacional do Álcool (Pró-álcool) um programa governamental lançado em 1975 com o intuito de substituir os veículos movidos a gasolina por carros que utilizavam o álcool como combustível devido à crise do petróleo de 1973[1,2].

Atualmente, o Governo lançou o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto), com o objetivo de apoiar o desenvolvimento tecnológico, a inovação, a segurança, a proteção



ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade dos veículos e das autopeças. Em contrapartida, ele oferece às montadoras cadastradas desconto, em forma de crédito presumido, na taxa do IPI cobrado pelo volume de carros vendidos entre janeiro de 2013 e dezembro de 2017 [3,4,5,6].

Empresas que queiram se cadastrar no programa precisam produzir ou comercializar produtos taxados pelo IPI, ter projetos de investimento no país para instalação de novas fábricas, aumento de produção ou criação de novos modelos. O cadastramento tem validade por um ano e para cada ano subsequente, precisa ser pedida a extensão da participação [7].

Para atendimento ao Programa Inovar-Auto, uma medida que as montadoras estão dando bastante ênfase é a diminuição do consumo de combustível dos veículos da frota, pois com essa ação é possível atender diversas exigências do Programa como, por exemplo, o programa de etiquetagem e a média de emissões de gás carbônico dos carros vendidos.

Existem diversas frentes de mudanças em um veículo para que possamos alcançar a meta de redução de consumo de combustível como: diminuição de peso, através de uso de materiais alternativos na carroceria e peças do carro; mudança no projeto aerodinâmico para diminuição da força de atrito com o ar; projeto de novos pneus que diminuem o atrito com o solo e; aumento da eficiência dos motores, que é o tema central deste artigo.

Em busca da melhoria do desempenho e eficiência de um motor, diversas idéias podem ser adotadas que variam em complexidade e custo. As mudanças podem ser simples, como a troca de material de um componente por um mais leve, ou complexas, como uso de um coletor de admissão variável.

O duplo comando de válvulas variável, ilustrado na Figura1, desempenha a função de controlar com precisão o momento de abertura e fechamento das válvulas de admissão e exaustão e o tempo em que as duas permanecem abertas ao mesmo tempo (*overlap*) através da instalação de um defasador acoplado a uma válvula solenoide em cada eixo comando [7,8].

A válvula solenóide controla a injeção de óleo dentro das câmaras dos defasadores fazendo com que o eixo comando tenha uma pequena variação adiantando ou retardando o momento em que as válvulas são acionadas.

Figura1 - defasadores instalados nos dois eixos de comando



Fonte – Ford, 2010 [7]

Através do controle preciso desse tempo de acionamento das válvulas, os benefícios estimados são: até 7% de aumento na potência em alta rotação, até 4,5% de economia de combustível, redução na emissão de NO_x e hidrocarbonetos e melhoria na operação à frio minimizando as emissões [7,8].

Tuttle, em 1980 [9], fez um estudo sobre o efeito do fechamento atrasado da válvula de admissão e fechamento adiantado da válvula de escape e percebeu que essa prática pode trazer até 6,5% de redução no consumo de combustível e até 24% na emissão de NO_x.

Através da modificação do tempo de fechamento da válvula de admissão é possível reduzir o consumo de combustível. Isto ocorre devido à alteração momentânea da capacidade do cilindro, fazendo com que uma quantidade maior de ar seja admitida diminuindo a perda de bombeamento em baixas cargas. Já para altas cargas de funcionamento do motor, é possível usar o efeito de ressonância do ar para aumentar a quantidade de ar que entra no cilindro [6].

Já a redução de NO_x pode ocorrer através do aumento do tempo em que as válvulas de admissão e exaustão ficam abertas ao mesmo tempo, por permitir a recirculação dos gases de exaustão que voltariam a ser queimados. Porém essa recirculação depende do funcionamento do motor, por depender da diferença de pressão entre a admissão e exaustão [10].

Outro benefício conhecido para o uso do duplo comando variável de válvulas é a melhoria de potência e torque quando o motor está trabalhando em altas rotações (rpm).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de um duplo comando variável de válvulas em um motor ciclo otto para verificar seus benefícios quanto ao desempenho e consumo de combustível.

2. METODOLOGIA

A avaliação do uso do duplo comando variável de válvula em um motor ciclo otto foi realizada utilizando dois motores, um tendo o duplo comando variável de válvulas (Motor B) e sem duplo comando variável de válvulas (Motor A), com intuito de obter as curvas de Torque x Potência e dados de consumo de combustível nas duas

configurações de motor. As características dos motores utilizados estão presentes na tabela 1.

Tabela 1 - Motores utilizados nos ensaios de desempenho.

Características	Motor A	Motor B
Potência (kW)	116,6(A) / 111,8(G)	129,8(A) / 125,4(G)
Cilindrada (L)	1,6	1,6
Combustível	Flex	Flex
Comando de Válvula	nVCT	TiVCT

Fonte – Ficha técnica disponível no site www.ford.com.br

Para transformar um motor convencional em um motor com duplo comando variável de válvulas é necessária a troca dos seguintes componentes: eixo comando de admissão e exaustão, defasadores, sensor de detonação, sensor de posição do comando de admissão e exaustão e, a tampa do cabeçote do motor.

Além disso é necessário incorporar algumas peças, que antes não eram necessárias, como válvula solenoide e filtro de óleo do cabeçote.

Após a instrumentação dos motores, estes foram instalados em um banco de dinamômetro para avaliação através de um ciclo de 600 horas para medição de curvas de Torque / Potência e teste de viabilidade técnica da modificação.

O dinamômetro utilizado foi um AVL AFA 250/4-8 US com os valores nominais de potência, torque, tensão, corrente e velocidade rotacional iguais a 250kW, 600Nm, 400V, 413A e 4000min^{-1} , respectivamente, gerenciado pelo software PUMA 5.1.

O teste de medição de consumo foi realizado através de três ciclos para cada combinação de tipo de motor e combustível para se obter uma média dos valores obtidos para pontos determinados de Rotação/Carga.

A medição do consumo de combustível foi feita através de uma balança de combustível, que utiliza do princípio da gravidade para calcular o consumo de combustível pela diferença de peso no reservatório de combustível.

A balança utilizada foi a AVL PD 733S que tem por características um intervalo de medição de 0 a 150 kg/h, com precisão de 0,12%, e um reservatório com capacidade de armazenamento de 1800g de combustível, funcionando para álcool, gasolina, diesel e biodiesel.

Os ensaios foram realizados utilizando dois tipos de combustível: etanol anidro (E100) e gasolina (E22), adquiridos no Posto Ipiranga, com sua qualidade comprovada através de certificado entregue juntamente com o combustível.

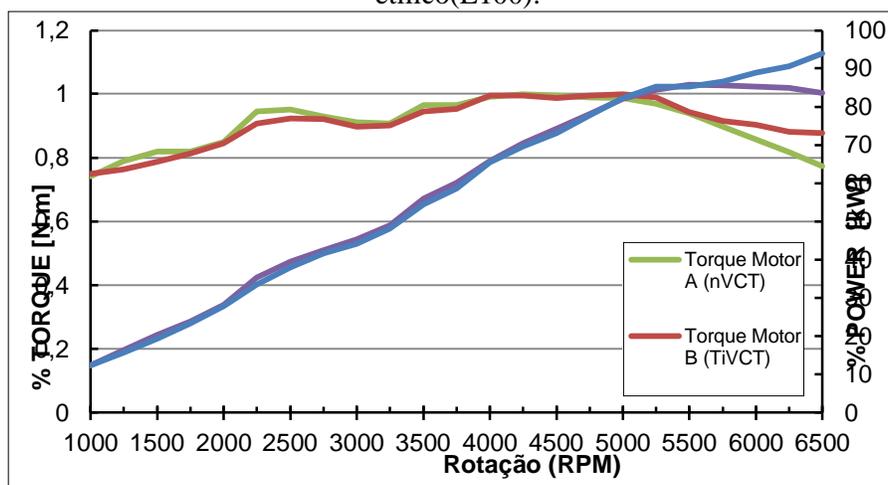
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho estão apresentados nas Figuras 2 (uso de E100) e 3 (uso de E22). Quando se comparou o uso de um duplo comando variável de válvula

(Motor B - TiVCT – *Twin Variable Camshaft Timing*) com um sistema convencional (Motor A - nVCT – *Non Variable Camshaft Timing*) foi observado um ganho na potência e torque, em altas velocidades, e no consumo de combustível, que variam com o uso de álcool ou gasolina.

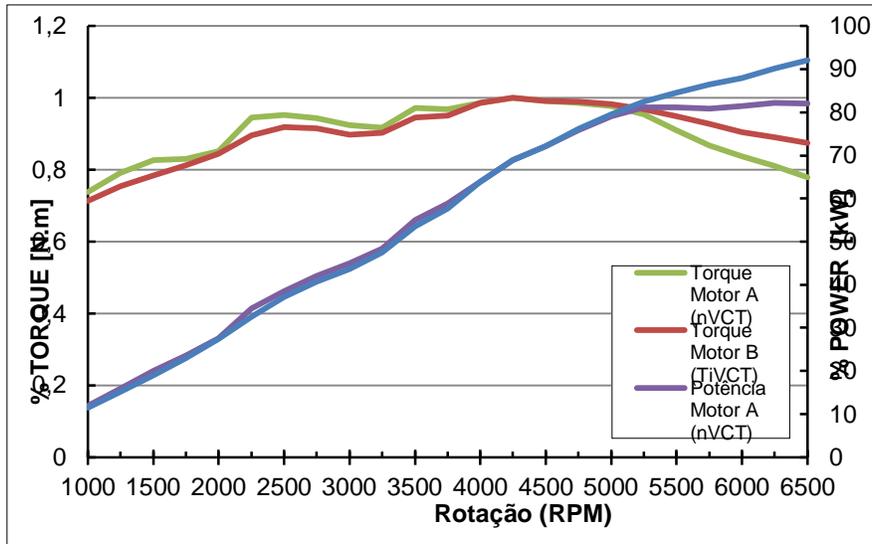
O uso de álcool nos motores avaliados resultou, em relação ao uso de gasolina, em uma maior disponibilidade de torque e potência em altas rotações (Figura 2) e, para as baixas rotações, apesar de ter um menor torque disponível, a curva se tornou mais amena, sem grandes picos ou variações no torque disponível nos motores com duplo comando variável. Através da curva de Potência é possível observar que as duas curvas são praticamente iguais em baixas rotações, sendo melhor em altas rotações, conforme esperado, para os motores TiVCT.

Figura 2 - Curva Torque / Potência dos Motores A (nVCT) e B (TiVCT) usando álcool etílico(E100).



Analisando os mesmos motores, nas mesmas condições, mas utilizando um tipo diferente de combustível, foi observado que o uso da gasolina (E22) apresentou comportamento semelhante quando se utiliza álcool. Porém foi observada uma diferença entre o torque e a potência em altas rotações (Figura 2 e 3).

Figura 3 - Curva Torque / Potência dos Motores A (nVCT) e B (TiVCT) usando gasolina (E22).



O consumo de combustível para os dois modelos de motor foi calculado através da média do resultado de três testes realizados para os dois tipos de combustível em diferentes pontos de rotação e carga do motor, conforme a Figura 4 e Figura 5.

Figura 4 - Curva da rotação e carga para teste de consumo de combustível do motor A (nVCT)

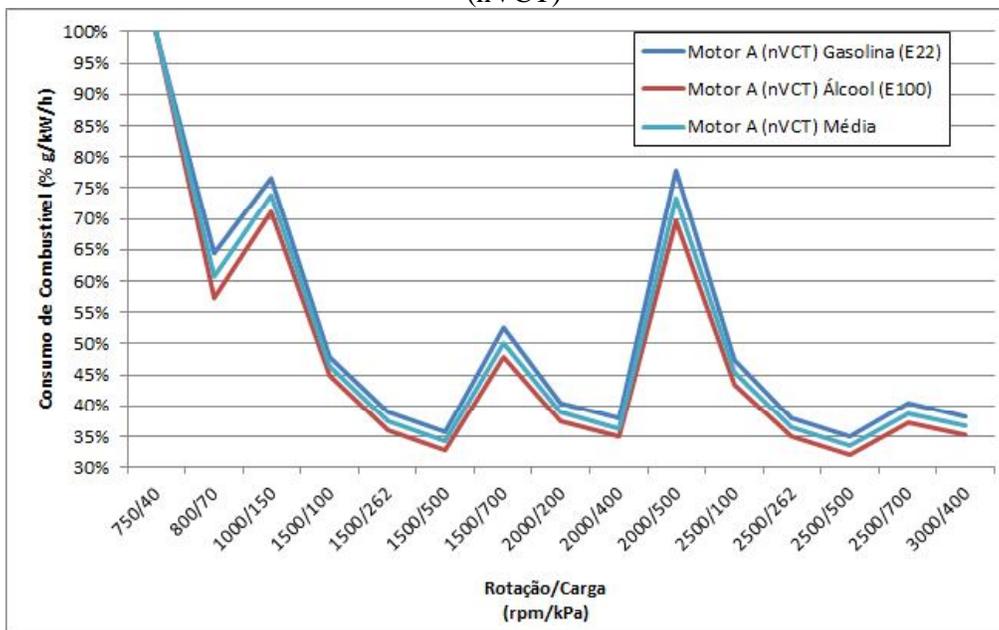
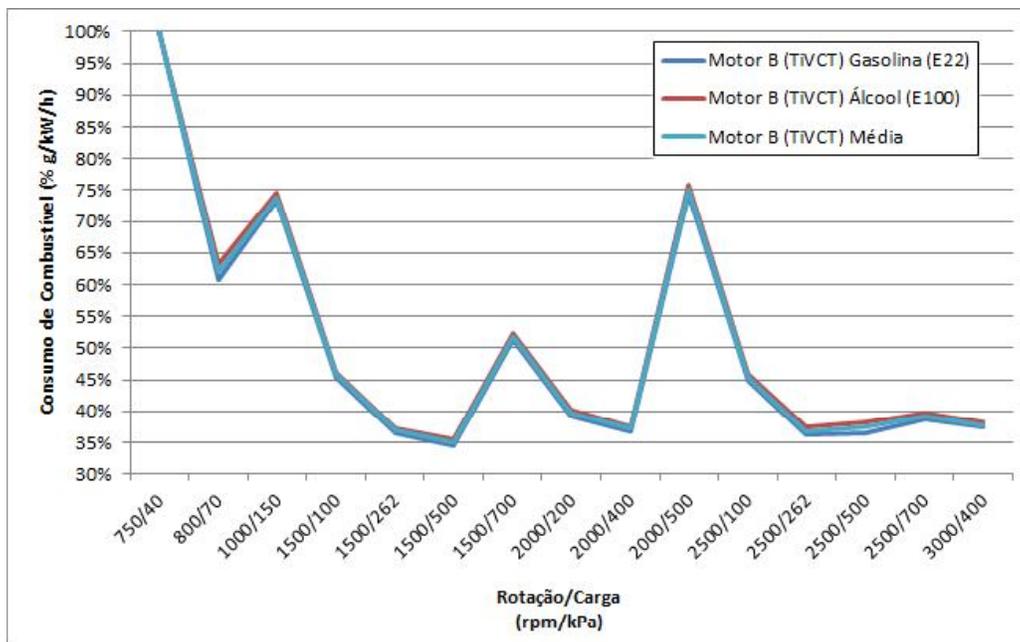


Figura 5 - Curva da rotação e carga para teste de consumo de combustível do motor B (TiVCT)



Na Tabela 2 abaixo consta a média aritmética dos valores de consumo medidos para todos os pontos de Rotação/Carga constantes nas Figuras 4 e 5. Essa média foi calculada para os pontos dos dois tipos de motores rodando com álcool anidro e gasolina E22. A coluna Média é a média aritmética do consumo para os dois tipos de combustível para cada motor.

De acordo com os cálculos, pode-se ver que a adoção do duplo comando variável de válvulas traz uma redução de 3,1% no consumo de combustível ao se adotar a gasolina como combustível e 1,9% com álcool. Por se tratar de motores flex, o que permite ser usado qualquer mistura entre álcool e gasolina, foi considerada uma média entre o resultado dos dois tipos de combustível, apresentando uma redução de 2,5%.

Tabela 2 - Comparação de consumo de combustível

	Gasolina	Álcool	Média
Motor A (nVCT) (g)	575,7	572,5	574,1
Motor B (TiVCT) (g)	557,7	561,9	559,8
Motor B (TiVCT) Redução (g)	18	10,6	14,3
Motor B (TiVCT) Redução (%)	3,1	1,9	2,5

Kramer e Philips em 2002 [11], apresentaram a eficiência em consumo de combustível relatando uma economia de até 5% em ciclo europeu, onde é utilizado um combustível de qualidade diferente do brasileiro e as cargas a qual o motor é submetido relativos ao relevo europeu. Assim, pode-se concluir que a medição feita no presente estudo está de acordo com a literatura de base.

Nesse sentido, através da comparação entre as curvas levantadas e apresentada nas Figuras 4, para o motor sem duplo comando variável de válvulas, e 5, para o motor com duplo comando variável de válvulas, pode-se identificar o benefício do novo sistema de comandos de válvula do motor e que esta tecnologia pode ser implementada nos motores sem comprometer a qualidade e funcionamento do mesmo.

4. CONCLUSÃO

Através dos testes realizados, podemos verificar que a incorporação do duplo comando variável de válvulas em um motor é uma ação que traz benefícios no desempenho em altas rotações, conseguindo maiores valores de torque e potência disponível, para baixas rotações temos curvas mais amenas que melhoram a resposta do motor em acelerações e retomadas, e no consumo de combustível de um motor de ciclo otto que rode com gasolina ou álcool.

Analisando os dados levando em consideração o atendimento ao Inovar-Auto, vemos que o uso do duplo comando variável de válvulas é uma ação bastante importante por ser uma medida relativamente simples e tem uma grande contribuição para a diminuição do consumo de combustível necessário pela norma.

REFERÊNCIAS

- ¹ Web page sem autor: Site Biodiesel.com.br. Disponível em <http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol.htm>. Acessado em 20/08/2014.
- ² Web page sem autor: Site Memória PETROBRAS. Disponível em http://memoria.petrobras.com.br/acervo/lancamento-do-programa-proalcool#.U_U3W_ldWmE. Acessado em 20/08/2014
- ³ Web page sem autor: <http://www.anpei.org.br/web/anpei/inovar-auto>, acessado em 19/08/2014
- ⁴ Web page sem autor: Site do Inovar-Auto. Disponível em <http://inovarauto.com.br/>. Acessado em 19/08/2014.
- ⁵ Pascoal, Erik Telles Pascoal, da Silva; Antônio Lopes Nogueira. O incentivo do INOVAR-AUTO ao desenvolvimento de materiais ecológicos e veículos mais eficientes: uma reflexão. SIMEA 2014 - XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva
- ⁶ Web page sem autor: Site da Casa Civil da Presidência da República. Disponível em http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/Ato2011-2014/2012/Decreto/D7819.htm. Acessado em 19/08/2014.
- ⁷ Web page sem autor: Site da Ford. Disponível em http://www.at.ford.com/news/publications/publications/ti_vct_engine_technology_fs.pdf. Acessado em 19/08/2014.
- ⁸ Römmer, Anke; Ihlemann, Arndt; Hass, Michael; Solfrank, Dr. Peter; Jäkel, Martin; Bretting, Werner; Geiger, Dr. Uwe. Sistemas de comando de válvulas para



motores de combustão interna - Desenvolvimento, fabricação, aplicações. Editora Süddeutscher Verlag onpact GmbH, Edição 2011 traduzida por Lindmayer, Monica.

⁹Tuttle J. Controlling engine load by means of late intake valve closing. SAE paper no. 800794; 1980.

¹⁰T. Leroy n, J. Chauvin, "*Control-oriented aspirated masses model for variable-valve-actuation engines*", *Control Engineering Practice* Volume 21, Edição 12, Dezembro 2013, Páginas 1744–1755.

¹¹Kramer, U.;Phlips, P., "*Phasing Strategy for an Engine with Twin Variable Cam Timing*," SAE Technical Paper 2002-01-1101, 2002, doi:10.4271/2002-01-1101.