

**CENTRO PAULA SOUZA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**FATEC SANTO ANDRÉ**  
**Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**GABRIEL NASSIMBENI**  
**MATHEUS MARTINS AMORIM**  
**RENOU SILVEIRA DE SOUZA**

**COMANDO DE VÁLVULAS VARIÁVEL ELÉTRICO**

**CENTRO PAULA SOUZA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**FATEC SANTO ANDRÉ**  
**Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**GABRIEL NASSIMBENI**  
**MATHEUS MARTINS AMORIM**  
**RENOU SILVEIRA DE SOUZA**

**COMANDO DE VÁLVULAS VARIÁVEL ELÉTRICO**

*Monografia apresentada ao Curso de  
Tecnologia em Eletrônica Automotiva da  
FATEC Santo André, como requisito parcial  
para conclusão do curso em Tecnologia em  
Eletrônica Automotiva.*

*Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani*

## FICHA CATALOGRÁFICA

N286c

Nassimbeni, Gabriel

Comando de válvulas variável elétrico / Gabriel Nassimbeni, Matheus Martins Amorim, Renou Silveira de Souza.. - Santo André, 2018. – 76f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. Eletrônica. 2. Cilindros. 3. Motor Ciclo Otto. 4. Controle de emissão de poluentes. 5. Veículos. 6. Acionamento elétrico. 7. Comando de válvulas. 8. Microcontrolador PIC18. I. Amorim, Matheus Martins II. Souza, Renou Silveira de III. Comando de válvulas variável elétrico.

621.389

## LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 11 DE JULHO DE 2018

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "Comando  
de válvulas variável elétrico" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE  
DESTA U.E.

### BANCA

PRESIDENTE:  
PROF. EDSON CAORU KITANI

MEMBROS:  
PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES

PROF FERNANDO GARUP DALBO

### ALUNOS:

GABRIEL NASSIMBENI

MATHEUS MARTINS AMORIM

RENOU SILVEIRA DE SOUZA

## **Agradecimentos**

Gostaríamos de agradecer a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho aos colegas da Fatec Santo André que nos auxiliaram através do compartilhamento de conhecimento e no auxílio da montagem do simulador do comando de válvulas. Agradecemos aos professores, colaboradores e funcionários da Fatec Santo André que sempre estiveram prontos a nos ajudar.

Ao Prof. Edson Caoru Kitani, orientador deste trabalho, que nos orientou de forma sábia e adequada para que este trabalho fosse concluído com sucesso. Agradecemos também às suas aulas ministradas no curso, que nos proporcionou grandes conhecimentos, acadêmicos e profissionais.

Ao Prof. Fernando Garup Dalbo que orientou na construção dessa monografia e a expressar de forma padronizada os resultados obtidos no decorrer do desenvolvimento.

A Fatec por disponibilizar todo equipamento necessário para a realização da montagem física e teórica do projeto.

*“Queremos ter certezas e não dúvidas, resultados e não experiências, mas nem mesmo percebemos que as certezas só podem surgir através das dúvidas e os resultados somente através das experiências”.*

*Carl Jung*

## RESUMO

Os veículos automotores revolucionaram os meios de transporte, porém com a utilização dessa tecnologia em massa, o ar atmosférico no centro de grandes cidades começou a ficar poluído, afetando a saúde pública. Dessa forma os órgãos governamentais desenvolveram leis para realizar o controle de gases tóxicos e poluentes de forma a obrigar as empresas que desenvolvem essa tecnologia a investir em inovações de controle de emissões dos veículos de forma a permanecerem competitivas no mercado.

Esta condição se tornou o gatilho para o desenvolvimento de diversas tecnologias, como o VCT (*Variable Camshaft Timing*), que implementado nos veículos, pode proporcionar um aumento na potência, torque e pode suavizar a marcha-lenta dos veículos, reduzindo a emissão de poluentes e auxiliando as empresas do setor automotivo a atender as demandas governamentais.

No Brasil essa tecnologia é pouco utilizada, sendo necessários estudos que comprovem a eficácia desse sistema. Este trabalho abordando como o VCT funciona e como ele interfere no motor de um veículo automotor, coletando informações que indiquem a eficácia desse sistema.

Este trabalho desenvolve uma simulação da tecnologia VCT de forma a realizar o controle de abertura das válvulas do motor 1ZZ-FE 1.8 16 válvulas do veículo Corolla. Através do software de desenvolvimento LabView, foi criado um programa capaz de simular os sinais dos sensores de rotação, MAP, posição do pedal do acelerador e temperatura do motor, com isso, o software determina o regime de operação do VCT (*Variable Camshaft Timing*), enviando este parâmetro para uma unidade de controle que utiliza um microcontrolador PIC18F4550 que irá comandar a ação para alterar o tempo de abertura e fechamento das válvulas através do motor elétrico adaptado a polia de admissão deste motor, eliminando o sistema hidráulico utilizado na versão original.

Esse sistema de acionamento elétrico possui uma vantagem quando comparado ao hidráulico, quando o motor esta em baixa rotação ou temperatura. O sistema continua atuando e fazendo o devido controle, o que não ocorre no sistema hidráulico. Este trabalho também tem como função comprovar a eficácia do sistema nessas condições.

Palavras-Chave: Motor ciclo Otto, Emissões, Comando de válvulas variável, Eficiência volumétrica, Variador de fase elétrico.

## ABSTRACT

Automotive vehicles revolutionized transport, but in the use of this technology, the weather in large cities started suffering with pollution, affecting public health in those places. The Government agencies of nations started developing laws to have a better control of toxic gases and anti-pollution technologies and push companies to invest in vehicle emission control, but also remain competitive in the marketplace.

This condition has become the trigger for the development of several technologies such as VCT (Variable Camshaft Timing), which implemented in vehicles can provide an increase in power, torque and can smooth the idle speed of vehicles and can reduce the emission of pollutants and help companies in the automotive sector meet government demands.

In Brazil, this technology is not very often used and studies still needed to prove the effectiveness of this system, addressing how VCT works, how it interferes with the motor of an engine, collecting results that prove the effectiveness of this system.

Our study develops a variation of the VCT technology in order to perform the valve opening control of the 1-ZZFE 1.8 16 valves in a Toyota Corolla vehicle, through the LabView development software, a program was created to be able to simulate signals of crankshaft position sensor, MAP, throttle position sensor and engine temperature coolant. The software determines the VCT (Variable Camshaft Timing) operating regime by sending this parameter to a control unit that uses a PIC18F4550 microcontroller that will command the action to change the opening and closing time of the valves through the electric motor, adapted to the intake pulley of this engine, eliminating the hydraulic system used in the original version.

This electric drive system has an advantage of when compared to the hydraulic, when the engine is at low speed or temperature, the system continues to act and make the proper control, which does not occur in the hydraulic system. Our work also has the aim to prove the effectiveness of the system under these conditions.

Key words: Otto cycle engine, Emissions, Variable valve control, Volumetric efficiency, Electric actuated variable valve timing.



## Lista de Figuras

- Figura 1: Os quatro tempos do motor de ciclo Otto
- Figura 2: Relação Arvore de Manivelas e Comando de Válvulas
- Figura 3: DOHC - Duplo Comando de Válvulas no Cabeçote
- Figura 4: OHV – Comando de Válvulas no Bloco
- Figura 5: Representação de um Came Automotivo
- Figura 6: Diagrama de tempos de válvulas
- Figura 7: Conceito de Eficiência Volumétrica
- Figura 8: Tabela da Eficiência Volumétrica (MAP X RPM)
- Figura 9: Gráfico da Eficiência Volumétrica (MAP x RPM)
- Figura 10: Curva de Torque com Comando Convencional
- Figura 11: Curva de Torque otimizada utilizando Comando Variável
- Figura 12: Estratégia do VCT – Marcha Lenta
- Figura 13: Estratégia do VCT – Potência Máxima
- Figura 14: Estratégia do VCT – Torque Máximo
- Figura 15: Estratégia do VCT – Recirculação dos gases de escape
- Figura 16: Comando de válvulas variável da Toyota que utiliza motor elétrico
- Figura 17: Sistema VVT-i Toyota (Modo de Avanço)
- Figura 18: Sistema VVT-i Toyota (Modo de Recuo)
- Figura 19: Sistema VVT-i Toyota (Modo Intermediário)
- Figura 20: Comando de Válvulas VVT-iE
- Figura 21: Atuador VVT-iE
- Figura 22: Redutor VVT-iE
- Figura 23: Modos de Operação do Motor
- Figura 24: Regimes de operação
- Figura 25: Cabeçote 1ZZ-FE 1.8 16 v do veículo Corolla
- Figura 26: Fasagem dos Eixos Comando de Válvulas
- Figura 27: Suporte de fixação do motor elétrico
- Figura 28: Sistema Montado
- Figura 29: Polia VVT-i
- Figura 30: Medição com Goniômetro Magnético (ângulo mínimo)
- Figura 31: Medição com Goniômetro Magnético (ângulo máximo)
- Figura 32: Malha Fechada do VCT

Figura 33: Arquitetura do Projeto

Figura 34: Interface desenvolvida em Labview

Figura 35: Interface em blocos

Figura 36: Ponte H Monster VNH2SP30

Figura 37: Datalogger

Figura 38: VCT em Marcha Lenta

Figura 39: Relógio Comparador em Marcha Lenta

Figura 40: Relógio Comparador em Alta carga, baixa a média rotação

Figura 41: Relógio Comparador em Alta carga, alta rotação

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Deslocamento de operação do sistema VVT-i

Tabela 2: Comparativo entre Comandos

## Lista de termos, abreviaturas e siglas

AA - Admissão aberta

AF - Admissão fechada

DC (Direct Current) – Corrente contínua

DOHC (Double Over Head Camshaft) - Arco de cames duplo

EA - Exaustão aberto

ECU - Central de controle do veículo

EF - Exaustão fechado

EV - Eficiência Volumétrica

EGR (Exhaust Gás Recirculation) - Sistema de Recirculação dos gases de escape

MCI - Motor de combustão Interna

NI – National Instruments

NOx - Óxido nítrico e dióxido de nitrogênio

OHV (Over Head Valves) - Comando de Válvulas no bloco

OHC (Over Head Camshaft) - Comando de válvulas no cabeçote

PMI - Ponto Morto Inferior

PMS - Ponto Morto Superior

PWM (Pulse Width Modulation) - Modulação por largura de pulso

RPM - Rotações por minuto

VCT (Variable Camshaft Timing) – Comando de válvulas variável

VISA (*Virtual Instrument Software Architecture*) - Arquitetura de software de instrumental virtual.

VVT (Variable Valve Timing) - Comando de válvulas variável da Toyota

VVT-i (Variable Valve Timing Intelligent) - Tempo variável inteligente da abertura das válvulas

VVT-iE (Variable Valve Timing - intelligent by Electric motor) - Comando de válvula variável utilizando um motor elétrico

## Sumário

<b>1. Introdução</b> .....	<b>14</b>
1.1 Objetivo: .....	14
1.2 Motivação: .....	15
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>16</b>
2.1 História do Motor de Ciclo Otto .....	16
2.2 Os quatro tempos de trabalho do MCI .....	16
2.3 Relação Árvore de Manivelas e Comando de Válvulas .....	17
2.4 Comando de válvulas convencional .....	18
Círculo base: .....	20
Levante: .....	20
Ângulo de Permanência: .....	20
Rampas de Abertura e Fechamento: .....	21
Junção ou Nariz: .....	21
Flanco: .....	21
Simetria: .....	21
Padrão: .....	21
Ângulo de Permanência: .....	21
Overlap: .....	21
2.5 Diagrama de Válvulas .....	21
2.6 Eficiência Volumétrica .....	23
2.7 Estratégias do sistema VCT .....	26
2.7.1 Vantagens do Controle realizado nas Válvulas de Admissão .....	26
2.7.2 Estratégia de Marcha lenta .....	27
2.7.3 Estratégia de Potência Máxima .....	27
2.7.4 Estratégia de Torque Máximo .....	28
2.7.5 Benefícios do uso do Comando de Válvulas Variável no ciclo de Exaustão .....	28
2.8 Ganho de Eficiência Volumétrica .....	29
2.9 Modo Ciclo Atkinson .....	29
2.10 VVT-i .....	30
2.11 Funcionamento do VVT-i .....	31
2.12 Operação .....	34
2.13 VVT-iE .....	34
<b>3. Metodologia</b> .....	<b>40</b>
3.1 Cabeçote .....	40
3.2 Polia VVT-i .....	43

3.3 Motor Elétrico .....	45
3.4 Potenciômetro .....	46
3.5 Gerenciamento Eletrônico do Motor.....	46
3.6 Plataforma Labview.....	47
3.7 Por que utilizar o Labview? .....	47
3.8 VISA.....	48
3.9 Interface .....	48
3.10 Interface em blocos.....	49
3.11 Ponte H.....	50
<b>4. Testes e Análise dos Resultados .....</b>	<b>52</b>
4.1 Medição e Controle do Ângulo .....	52
4.2 Posições das Estratégias .....	53
4.2.1 Marcha Lenta e Temperatura do Motor baixa .....	53
4.2.2 Alta carga, baixa a média rotação.....	54
4.2.3 Alta carga, alta rotação .....	55
4.3 Resultados Obtidos.....	56
<b>5. Conclusão .....</b>	<b>57</b>
<b>5.1 Propostas Futuras .....</b>	<b>57</b>
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>58</b>
<b>Anexo A – Detalhamento do Software de Interface Labview .....</b>	<b>59</b>
<b>Anexo B – Programa da Placa Eletrônica do Projeto .....</b>	<b>69</b>

## 1. Introdução

Nos tempos atuais, devido a preocupação com o meio ambiente criou-se órgãos de proteção ambiental que administram as leis de controle de emissões de poluentes. Atualmente, as legislações para regulamentar os níveis de emissão de gases de exaustão dos automóveis estão ficando cada vez mais rígidas. Essas legislações impõem necessidades tecnológicas para a indústria automobilística que precisa desenvolver sistemas que melhorem o desempenho dos seus produtos para prosseguir competindo no mercado. Dessa forma criou-se o *VCT (Variable Camshaft Timing)* que tem a função de adiantar ou atrasar a abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape, melhorando a eficiência dos Motores de Combustão Interna.

Realizando um estudo nos atuais VCT's no mercado foram constatados que diversos VCTs não podem realizar o controle de abertura e fechamento das válvulas em baixas temperaturas e em baixas rotações devido o seu funcionamento ser dependente da pressão do óleo lubrificante do motor, pois a bomba de óleo é acoplada a árvore de manivelas. Com base nessa deficiência dos sistemas a Toyota desenvolveu o *VVT-iE (Variable Valve Timing - intelligent by Electric motor)* que através atuação elétrica é capaz de funcionar com resposta mais rápida e precisa em baixas rotações e em baixas temperaturas. Essa tecnologia ainda não é muito difundida entre os veículos nacionais, que muitas vezes gera dúvidas sobre o seu funcionamento e desempenho. Poucas publicações são encontradas no mercado detalhando o funcionamento da VVT-iE, principalmente no meio acadêmico. Dessa forma, se justificaria a pesquisa e estudos mais amplos sobre essa tecnologia para ampliar a literatura sobre o tema.

### 1.1 Objetivo:

O objetivo deste trabalho é fazer a adaptação de um comando de válvulas variável com acionamento hidráulico, para ter um acionamento elétrico com uma interface de controle programada em LabView, sendo capaz de realizar o ajuste de várias posições angulares da árvore do comando de válvulas em função das variáveis de controle presentes no motor de combustão interna, e que ilustre o possível benefício da utilização de um motor elétrico como variador de fase nos regimes de operação apresentados.

## 1.2 Motivação:

A tecnologia VCT foi desenvolvida para realizar um controle de maior precisão na admissão de mistura carburante e exaustão dos gases queimados utilizados pelos motores de combustão interna, resultando em um ganho de torque e potência para o motor e redução de emissões de gases tóxicos e poluentes. Porém, no Brasil esse sistema ainda não é amplamente utilizado por motivos de custo-benefício e complexidade de sua arquitetura, sendo assim, foi necessária a realização de pesquisas e testes que comprovem a eficácia dessa tecnologia e algumas formas de aprimorá-la.

Contudo, nosso projeto será uma simulação do funcionamento de um VCT acionado por um motor elétrico, pois o VCT por acionamento hidráulico tem problemas para funcionar com o motor em baixas rotações ou baixa temperatura, o acionamento elétrico deve corrigir esse problema, gerar consideráveis ganhos de potência e torque e reduzir as emissões durante o tempo de vida útil do motor.



## 2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo serão apresentados os princípios básicos de funcionamento de um motor de combustão interna e a influência do sistema de abertura e fechamento das válvulas no desempenho final do motor. Também serão apresentadas e discutidas as tecnologias de VCT's de diferentes fabricantes de veículos.

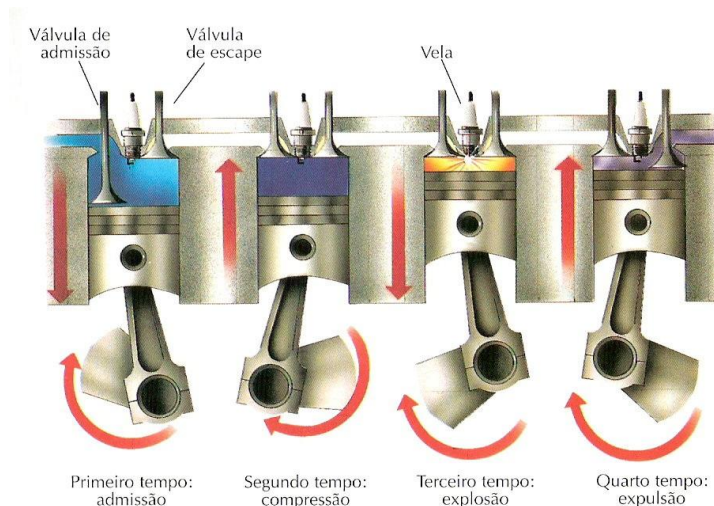
### 2.1 História do Motor de Ciclo Otto

O motor de combustão interna de quatro tempos foi definido primeiramente pelo físico francês Alphonse Beau de Rochas em 1862, o qual propôs as condições ideais para um motor funcionar com um processo de quatro fases, a partir do princípio da combustão. Entretanto, Rochas nunca implementou a ideia. Apesar de Rochas, trabalhar no conceito de um motor de combustão interna, este ciclo de trabalho foi conhecido popularmente como ciclo Otto quando a firma alemã Otto und Langen passou a fabricar esses motores, sendo Nikolaus Otto quem determinou o ciclo teórico de trabalho do motor de combustão interna e o completou em 1876 (CARLOS, 2002).

### 2.2 Os quatro tempos de trabalho do MCI

Podemos observar a representação dos quatro tempos do MCI na figura 1.

Figura 1: Os quatro tempos do motor de ciclo Otto.



Fonte: <http://www.edsolique.com/motor-a-explosao-de-4-tempo/>

No MCI (Motor de Combustão Interna) o êmbolo visualizado na imagem 1 se desloca verticalmente, tendo duas posições de referência. A primeira é conhecida como ponto morto superior (PMS), sendo essa posição atingida quando a biela chega à sua altura máxima (próximo às válvulas de admissão e escape). A segunda posição é conhecida como ponto morto inferior (PMI), sendo essa posição atingida quando a biela chega à sua altura mínima. A sequência a seguir descreve cada fase dos quatro tempos do motor MCI:

1º Tempo: Nesse primeiro tempo, conhecido como admissão, a válvula de admissão abre, o êmbolo passa do PMS para o PMI, criando uma depressão que puxa a mistura de ar / combustível para dentro do cilindro.

2º Tempo: No segundo tempo, conhecido como compressão, a válvula de admissão fecha, o êmbolo passa do PMI para o PMS, comprimindo a mistura carburante (combustível mais comburente), aumentando a temperatura e a pressão no cilindro.

3º Tempo: No terceiro tempo, conhecido como combustão, a vela de ignição (posicionada entre as válvulas na figura 1) produz uma centelha no cilindro, o que completa o triângulo de fogo (combustível, comburente e fonte de energia) e inicia uma reação química exotérmica que libera energia, movimentando novamente o êmbolo do PMS para o PMI.

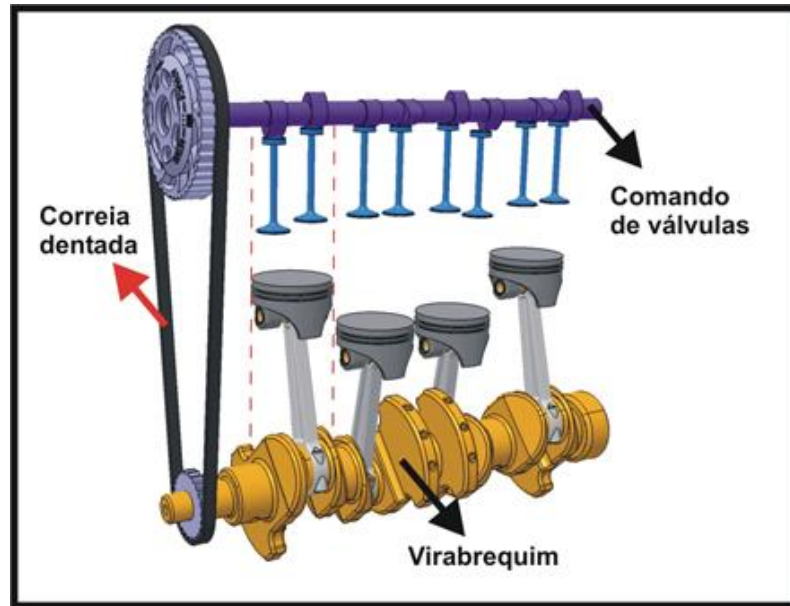
4º Tempo: No quarto tempo, conhecido como exaustão, a válvula de escape abre e o êmbolo passa do PMI para o PMS, empurrando os gases remanescentes da combustão através da válvula de escape, realizando a limpeza do cilindro, então iniciando os tempos novamente para outro ciclo (CARLOS, 2002).

### **2.3 Relação Árvore de Manivelas e Comando de Válvulas**

Quando ocorre a combustão no terceiro tempo do motor de ciclo Otto, a pressão se eleva no cilindro e a força liberada no cilindro move o êmbolo linearmente do PMS para o PMI, sendo essa força convertida em torque através da conexão entre a árvore de manivelas e o êmbolo conhecida como biela.

A energia contida agora na árvore de manivelas em forma de torque é distribuída em outros sistemas do veículo, inclusive para a realização do sincronismo e movimento do comando de válvulas através de uma correia dentada, sendo esse sistema simplificado na figura 2.

Figura 2: Relação Árvore de Manivelas e Comando de Válvulas.



Fonte: Mahle Manual Técnico.

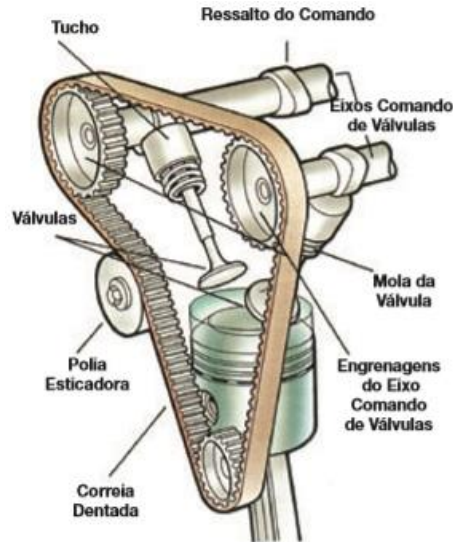
## 2.4 Comando de válvulas convencional

O comando de válvulas tem a função de organizar a dinâmica da troca gasosa no interior do cilindro do motor de combustão interna, basicamente controlando a abertura e o fechamento das válvulas de admissão e escape em sincronismo com a árvore de manivelas.

Existem duas configurações de montagem do comando de válvulas, uma é o OHC (*Over Head Camshaft*) designação para motores cuja montagem do eixo comando de válvulas está na parte superior do motor, no cabeçote. O sistema OHC é composto por: Árvore do comando de válvulas, balancim, tucho, mola, válvula.

Outro sistema é conhecido como DOHV (*Double Over Head Camshaft*), e é atualmente a solução mais utilizada na indústria automotiva no comando de válvulas. O sistema é composto por duas árvores de cames, sendo uma responsável por fazer a abertura e fechamento das válvulas de admissão e a outra árvore de cames responsável por fazer a abertura e fechamento das válvulas de escape, sendo este sistema representado na figura 3.

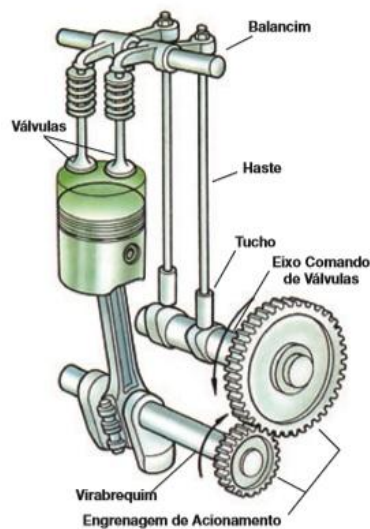
Figura 3: DOHC - Duplo Comando de Válvulas no Cabeçote.



Fonte: Mahle Manual Técnico.

Já o conceito OHV (Over Head Valve) é a designação para motores cuja montagem da árvore do comando de válvulas está na parte inferior do motor, no bloco do motor. O sistema OHV é composto por: árvore do comando de válvulas, tucho, vareta, balancim, mola, válvula. Nesse sistema, o acionamento das válvulas de admissão e escape são feitas pelas varetas e tucho, onde o tucho é interligado a árvore de cames e a vareta ao balancim, junto com as válvulas, como é possível observar na figura 4.

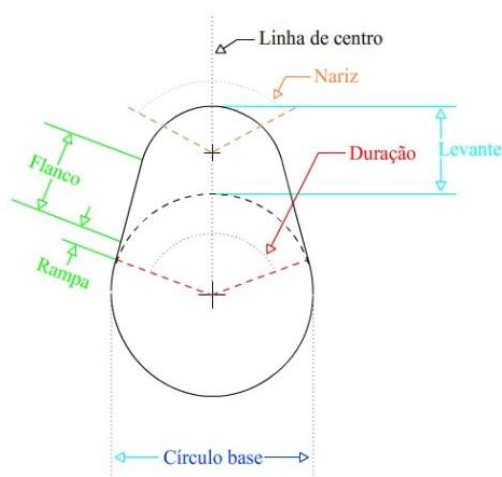
Figura 4: OHV – Comando de Válvulas no Bloco



Fonte: Mahle Manual Técnico

O comando de válvulas possui ressaltos chamados de cames que convertem o movimento rotacional da árvore de cames em movimento alternativo. De acordo com a variação das dimensões desses cames é possível alterar o comportamento do motor. A figura 5 abaixo ilustra as nomenclaturas utilizadas no dimensionamento do came.

Figura 5: Representação de um Came Automotivo.



Fonte: <https://www.flatout.com.br/comando-de-valvulas-o-maestro-mecanico-do-motor/>

Para entender a terminologia padronizada para os cames, a lista a seguir descreve os principais detalhes:

#### **Círculo base:**

Área do came onde não há contato com o tucho, ângulo no qual a válvula permanece fechada.

#### **Levante:**

É responsável pela amplitude de abertura da válvula. O levante é o resultado da subtração da altura máxima e círculo base.

$$\text{Levante} = \text{Altura Máxima} - \text{Círculo Base}$$

#### **Ângulo de Permanência:**

Razão entre o levante médio, rampas e flancos, essa taxa dita o quanto a válvula permanecerá aberta.

**Rampas de Abertura e Fechamento:**

Área do came onde se inicia a abertura e fechamento da válvula.

**Junção ou Nariz:**

Parte mais elevada do came, onde ocorre menor aceleração e levante máximo.

**Flanco:**

É a continuação da rampa, onde se define a taxa de aceleração.

**Simetria:**

Este termo refere-se às rampas e flancos de abertura e fechamento onde existem comandos simétricos e assimétricos, nos modelos assimétricos podemos encontrar rampas de fechamentos mais lentas que as rampas de abertura por exemplo.

**Padrão:**

Um comando pode ter cames com diferentes graduações para admissão e escape. Quando isso ocorre, chamamos de padrão duplo, quando as graduações são iguais chamamos de padrão simples.

**Ângulo de Permanência:**

Refere-se ao ângulo total de abertura e fechamento da válvula.

**Overlap:**

Também conhecido como cruzamento de válvulas ou sobreposição é o momento em que a rampa de fechamento do came de escape ainda não terminou, e a rampa de abertura do came de admissão já iniciou o seu ciclo.

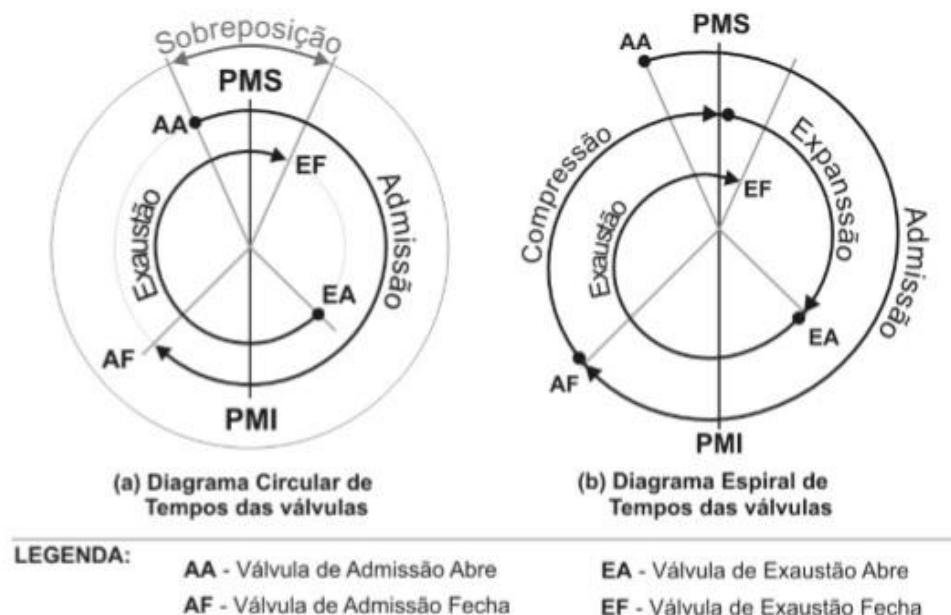
**2.5 Diagrama de Válvulas**

Nos MCI de ciclo Otto de quatro tempos, um ciclo de trabalho corresponde a duas voltas na árvore de manivelas. A rotação do comando de válvulas respeita uma relação fixa de 1:2, ou seja, para cada duas voltas da árvore de manivelas, corresponde a uma volta da árvore do comando de válvulas.

Para a realização do ciclo de trabalho teórico, cada tempo corresponde a  $180^\circ$  na árvore de manivelas. Porém, o MCI de ciclo Otto real não funciona da mesma forma pelo fato de que para realizar o ciclo de trabalho efetivo a válvula de admissão deve abrir enquanto a válvula de exaustão ainda esta fechando. Para facilitar o escoamento dos gases de exaustão para fora do cilindro e realizar uma limpeza mais eficiente. Para isso, a abertura da válvula de exaustão é antecipada e ocorre antes que o pistão chegue ao PMI, pois a expansão dos gases já foi realizada e não há mais a necessidade de manter a válvula fechada. Assim, como seu fechamento é atrasado até um ponto em que o pistão já reverteu seu sentido, no PMS, deslocando-se em direção ao PMI (GUIMARÃES, 2007).

No tempo de admissão, visando uma melhor eficiência volumétrica com um maior preenchimento do cilindro com a mistura carburante, a válvula de admissão abre antes de o pistão atingir o PMS ainda durante o tempo de exaustão. A válvula de admissão permanece aberta durante todo o curso de admissão fechando perto do início do ciclo de compressão. Podemos observar esse tempos através do diagrama circular de tempos de válvulas , ou diagrama espiral de tempos de válvulas contínuo como na figura 6.

Figura 6: Diagrama de tempos de válvulas.



Fonte: (HEISLER, 1995)

Também podemos observar o período em que as válvulas de admissão e exaustão abertas simultaneamente na região do PMS ocorrendo à sobreposição, esse período é chamado de *overlap*.

O ângulo de *overlap* ajuda a melhorar a eficiência volumétrica em motores aspirados, e em motores sobrealimentados ajuda na diminuição da temperatura do gás de exaustão na entrada da caixa quente do turbo compressor.

## 2.6 Eficiência Volumétrica

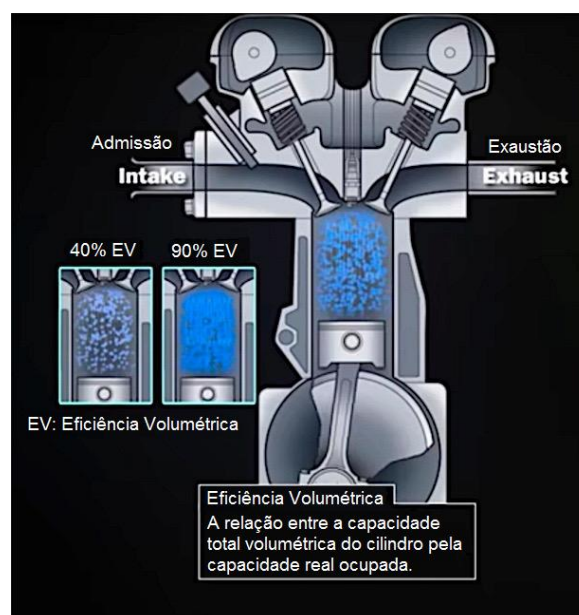
O conceito de Eficiência Volumétrica utilizada para motores de ciclo Otto é a relação entre o volume total no cilindro que pode ser preenchido pela mistura ar combustível (basicamente o espaço entre o PMS e o PMI mais a câmara de combustão) e o volume real que foi preenchido durante a admissão.

Na figura 7 podemos ter uma ideia melhor deste conceito, onde em 40% de eficiência volumétrica a mistura carburante (azul), ocupa apenas 40% do volume total do cilindro e em 90% de eficiência volumétrica o cilindro se encontra quase inteiro completo de mistura carburante.

Vários fatores influenciam a eficiência volumétrica, um deles sendo essencial sua explicação para esse trabalho é o tempo de abertura da válvula de admissão.

Enquanto a válvula de admissão estiver aberta, a mistura carburante poderá se deslocar do coletor de admissão para dentro do cilindro, sendo seu tempo de abertura fundamental para a determinação da eficiência volumétrica.

Figura 7: Conceito de Eficiência Volumétrica.



Fonte: Adaptado de AEMpowerTV channel.



Na figura 8 abaixo, verificamos um exemplo do comportamento da eficiência volumétrica com a modificação da pressão absoluta no coletor de admissão (MAP), e da rotação. Sendo essa tabela montada de acordo com as informações de um motor de ciclo Otto aspirado.

Figura 8: Tabela da Eficiência Volumétrica (MAP x RPM).

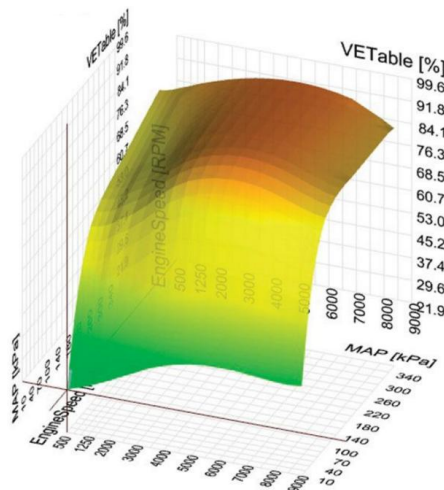
Tabela de Eficiência Volumétrica [%]

MAP [kPa]	500	750	1000	1250	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000
360	88	88	89	90	91	93	95	96	97	98	99	99	100	99	99	98	97	95	92	90
340	87	87	88	89	90	92	94	95	97	98	99	99	99	99	99	98	97	95	92	90
320	86	86	87	88	89	91	93	95	96	98	99	99	99	99	98	96	94	92	90	
300	84	85	85	86	88	90	92	94	96	97	98	99	99	99	98	96	94	92	90	
280	83	83	84	85	86	88	91	93	96	97	98	99	99	99	98	96	94	92	90	
260	82	82	83	84	85	87	90	93	95	97	98	99	99	99	98	97	96	94	92	90
240	81	81	82	83	84	86	89	92	95	97	98	99	99	99	98	97	96	94	92	90
220	79	80	80	81	83	85	88	91	94	96	98	98	99	99	98	97	96	94	92	90
200	78	78	79	80	82	84	87	91	94	96	97	98	99	99	98	97	95	94	92	90
180	77	77	78	79	81	83	86	90	93	96	97	98	98	98	98	97	95	93	92	90
160	76	76	76	78	79	82	85	89	93	95	97	98	98	98	98	97	95	93	91	90
140	74	74	75	76	78	80	84	88	92	95	96	97	98	98	97	96	94	93	91	90
120	72	72	73	74	76	78	82	87	90	93	95	96	96	96	96	95	93	91	90	89
100	69	69	70	71	73	76	79	84	88	91	93	94	94	94	94	92	91	89	88	87
85	65	65	66	67	69	72	76	80	84	87	89	90	90	90	89	87	86	85	84	
70	60	60	61	62	64	67	71	75	79	81	83	84	85	85	85	84	82	81	80	79
55	53	54	55	56	57	60	64	68	72	74	76	77	78	78	77	76	74	73	73	
40	45	45	46	47	49	52	55	59	62	65	66	68	68	68	68	67	66	65	65	64
25	34	35	35	36	38	40	43	46	49	51	53	54	54	55	54	54	53	52	52	52
10	22	23	24	24	26	28	30	32	35	36	38	39	39	39	39	38	38	38	38	38

Fonte: Adaptado de AEMpowerTV channel.

Na figura 9 abaixo temos a montagem do gráfico da tabela de eficiência volumétrica, auxiliando no entendimento do conceito.

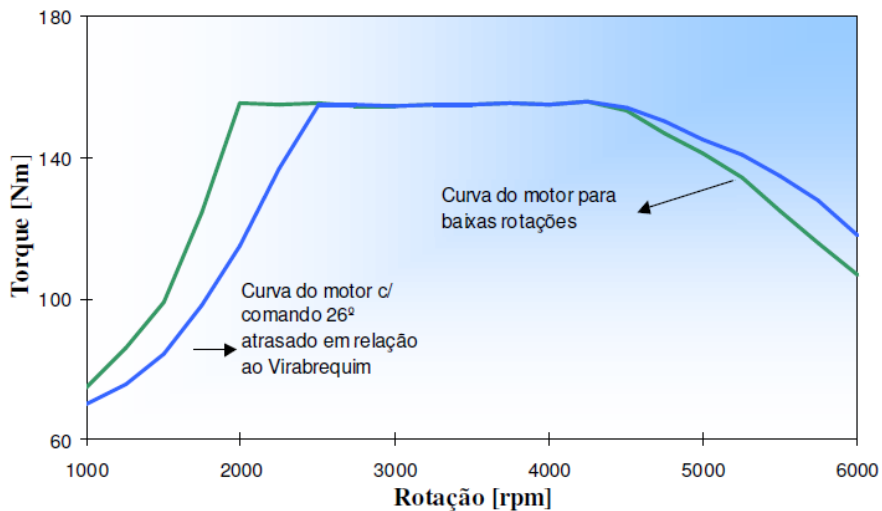
Figura 9: Gráfico da Eficiência Volumétrica (MAP x RPM).



Fonte: Adaptado de AEMpowerTV channel.

Na figura 10, temos um exemplo da variação de torque de um motor em dois regimes de operação, no primeiro regime o motor funciona normalmente, já no segundo o comando de válvulas está atrasado  $26^\circ$  em relação à árvore de manivelas. Note que esse atraso modifica o tempo de abertura das válvulas que irá modificar a eficiência volumétrica e consequentemente o torque produzido.

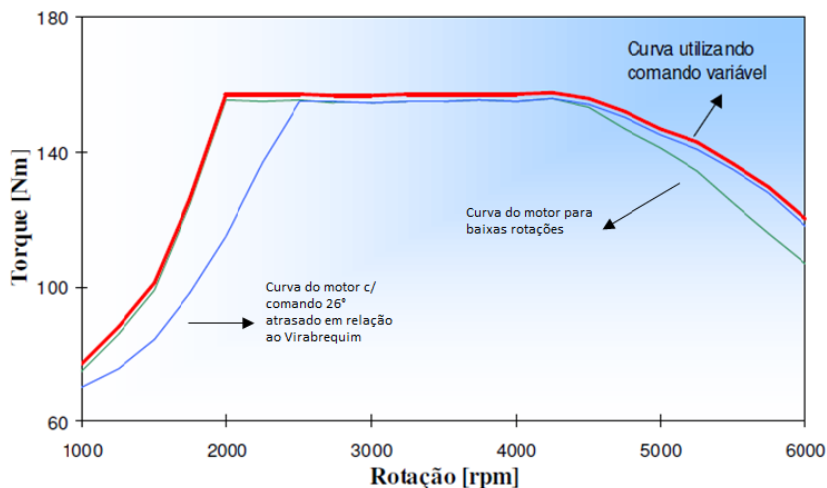
Figura 10: Curva de Torque com Comando Convencional.



Fonte: Adaptado da Apostila de treinamento pós venda – Volkswagen touareg 3.6.

Um comando de válvulas convencional poderia trabalhar só em um dos regimes da figura 10, mas o comando de válvulas variável pode se deslocar e aproveitar a melhor condição dos dois regimes, garantindo desempenho, observado na figura 11.

Figura 11: Curva de Torque otimizada utilizando Comando Variável.



Fonte: Adaptado da Apostila de treinamento pós venda – Volkswagen touareg 3.6.

## **2.7 Estratégias do sistema VCT**

Variando-se a posição do VCT é possível obter diversos benefícios, como um maior controle realizado no tempo de abertura das válvulas de admissão e escape, estipulando estratégias para determinados regimes do motor como, marcha-lenta, potência máxima, torque máximo, etc (GUIMARÃES, 2007).

### **2.7.1 Vantagens do Controle realizado nas Válvulas de Admissão**

O primeiro benefício seria uma elevação do torque, veículos com comando convencionais atingem o maior valor de torque na sua velocidade média, isso ocorre devido a uma deterioração do desempenho em baixas e altas rotações conforme valores pré-fixados de curso e tempo das válvulas de admissão. Uma válvula variável resultaria em uma curva de torque mais achatada com o aumento da eficiência volumétrica em diferentes rotações, segundo Guimarães (GUIMARÃES, 2007) pode-se obter uma elevação média de torque de até 50% em baixas rotações e 10% em outras faixas de rotação, com aumento da eficiência volumétrica e redução de gases residuais.

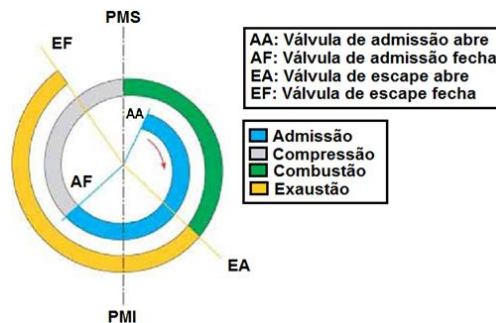
Elevação da eficiência da combustão para otimizar a taxa de queima, a combustão deve ocorrer no início do tempo da expansão, isso só será possível se o motor produzir uma rápida taxa de queima que depende da maior turbulência possível no cilindro do motor provida da mistura carburante na câmara de combustão. Em baixas rotações quando o motor esta com pequena carga, a turbulência no cilindro é insuficiente para realizar uma queima rápida.

Variações nas relações de pressão, ao variar o fechamento das válvulas de admissão, variaram também sua taxa de compressão efetiva e taxa de expansão, utilizamos esse mecanismo para controlar a pressão do cilindro, onde mesmo que haja uma redução no volume de ar admitido, este é compensado pelo aumento da pressão de admissão. Gerando um benefício imediato do aumento da eficiência do tempo da compressão (GUIMARÃES, 2007).

### 2.7.2 Estratégia de Marcha lenta

Na estratégia de marcha lenta o comando da admissão abre a válvula de admissão com um atraso após o PMS e fecha após o PMI também com atraso, já o comando de escape fecha a válvula de escape antes do PMS de forma adiantada para que resulte em uma redução dos resíduos da combustão, tornando a marcha lenta do veículo mais suave, podemos ver sua aplicação na figura 12 (Apostila Academia Volkswagen – treinamento pós venda, Motor 3.6 V6).

Figura 12: Estratégia do VCT – Marcha Lenta.

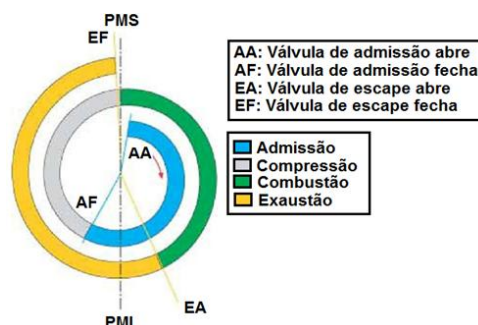


Fonte: Adaptado da Apostila de treinamento pós venda – Volkswagen touareg 3.6.

### 2.7.3 Estratégia de Potência Máxima

Nessa estratégia que podemos verificar na figura 13, ocorre um atraso na abertura das válvulas de escape, assim a expansão dos gases da combustão fornece pressão ao pistão por mais tempo. As válvulas de admissão abrem após o PMS e fecham após o PMI, isso gera um efeito de carga dinâmica no ar de entrada que aumenta a potência.

Figura 13: Estratégia do VCT – Potência Máxima.

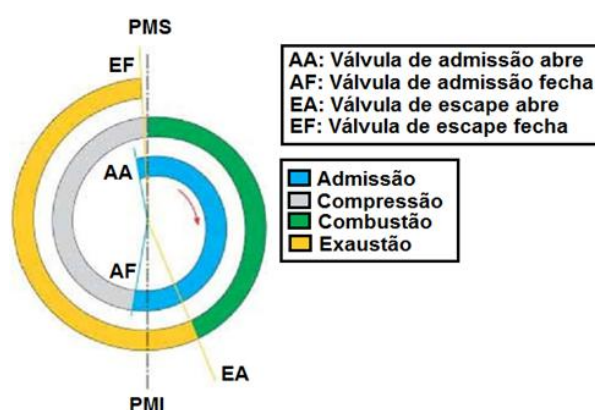


Fonte: Adaptado da Apostila de treinamento pós venda – Volkswagen touareg 3.6.

### 2.7.4 Estratégia de Torque Máximo

Para se obter torque, o motor deve trabalhar com a eficiência volumétrica elevada, para se obter essa eficiência as válvulas de admissão abrem antes do PMS e fecham logo após o PMI, abrindo e fechando rapidamente para a obtenção de uma melhor eficiência volumétrica, como pode ser verificado na figura 14.

Figura 14: Estratégia do VCT – Torque Máximo.



Fonte: Adaptado da Apostila de treinamento pós venda – Volkswagen touareg 3.6.

### 2.7.5 Benefícios do uso do Comando de Válvulas Variável no ciclo de Exaustão

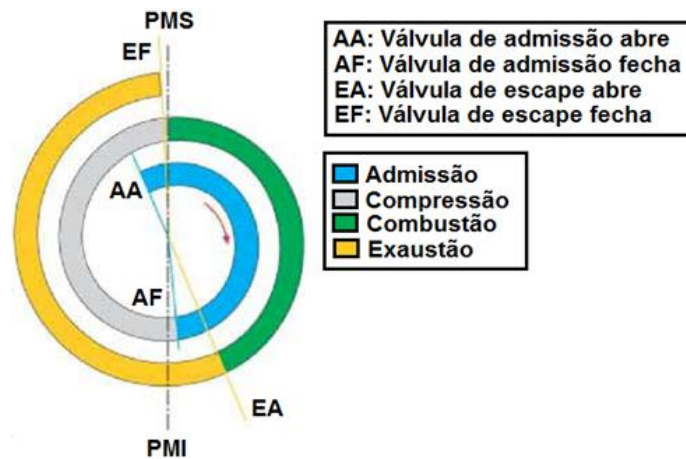
Os motores de combustão interna ao serem submetidos a altas temperaturas na câmara de combustão, ocorre a formação dos Óxidos de Nitrogênio (NOx) poluente que ao entrar em contato com o ar, forma o ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (BRUNETTI, 2012).

Para minimizar a formação deste poluente podemos reter parte do volume residual do gás de exaustão, pois ao preencher parte do volume da mistura com o gás residual perde-se eficiência volumétrica e conseqüentemente ocorre a diminuição da temperatura da câmara de combustão (GUIMARÃES, 2007).

Ao utilizar um comando de válvulas variável na exaustão, elimina o uso da válvula EGR (Exhaust Gás Recirculation). Ao realizar o adiantamento do fechamento da válvula de exaustão antes do PMS, permite reter parte dos gases residuais presentes na câmara de combustão provocando a diminuição da temperatura. Um retardo excessivo também permite que parte do gás residual da exaustão retorne para câmara devido à pressão negativa causada pelo movimento descendente do pistão que

consequentemente também provoca a diminuição da temperatura na câmara. Esse fenômeno ocorre durante o overlap, pelo fato dos automóveis permanecerem a maior parte do tempo em cargas parciais, o ângulo de overlap pode chegar a 70°. Na figura 15 é possível observar o diagrama de válvulas que representa essa variação nos tempos de abertura e fechamento do comando de exaustão. (GUIMARÃES, 2007).

Figura 15: Estratégia do VCT – Recirculação dos gases de escape.



Fonte: Adaptado da Apostila de treinamento pós venda – Volkswagen touareg 3.6.

## 2.8 Ganho de Eficiência Volumétrica

Ao realizar um fechamento tardio da válvula de exaustão após o PMS, permite reduzir ou eliminar a elevação de pressão no cilindro.

## 2.9 Modo Ciclo Atkinson

Os motores de Ciclo Atkinson se assemelham aos motores de Ciclo Otto, porém utilizam tempo de fechamento da válvula de admissão diferente, onde a válvula de admissão permanece aberta durante parte do ciclo de compressão, fazendo com que parte da mistura carburante retorne para o coletor de admissão. Com isso a quantidade de mistura efetivamente admitida e comprimida é menor, obtendo um ciclo de expansão dos gases que seja menor.

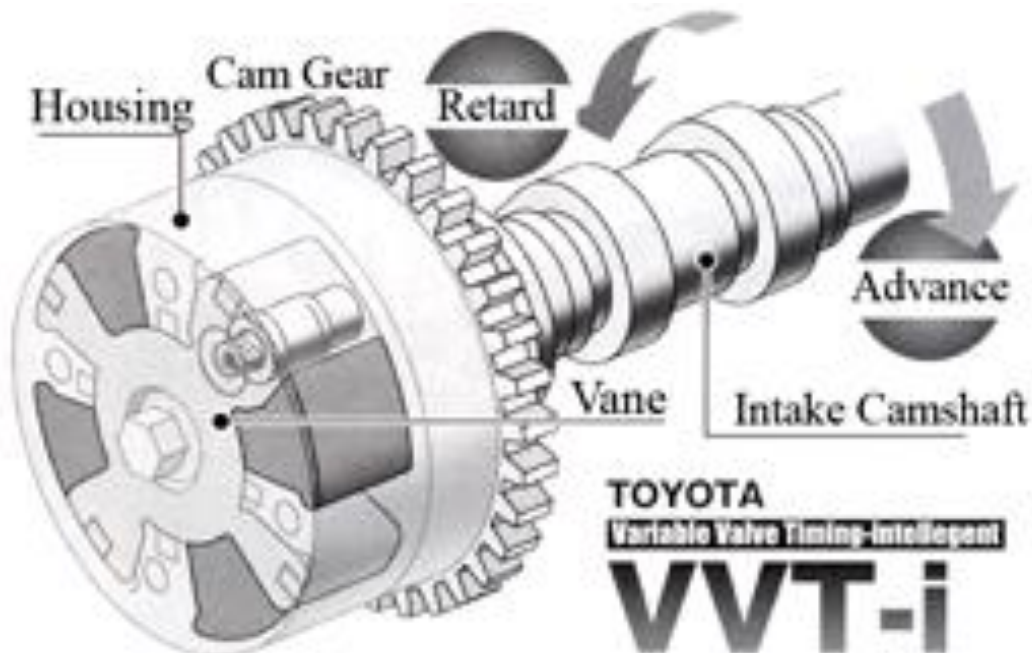
Devido os Motores de Ciclo Atkinson apresentar menor consumo de combustível e consequentemente menor emissão de poluentes, a estratégia de funcionamento dele foi adotada nos veículos híbridos, utilizando o comando de válvulas variável para variar

entre Ciclo Otto e Ciclo Atkinson, que hora trabalha como gerador de energia para as baterias em um regime de economia de combustível e hora agrega potência ao motor elétrico, em um regime de desempenho (Marques, 2013).

## 2.10 VVT-i

Lançado em 1996 o sistema VVT-i foi desenvolvido pela montadora Toyota e com esta tecnologia o tempo de abertura das válvulas de admissão e escape variam de acordo com o ajuste, regulando a relação entre o acionamento de árvore de cames (acionado por correia, engrenagem de tesoura ou corrente) e árvore de cames, a pressão do óleo do motor é aplicada a um atuador para ajustar a posição do comando de válvulas e os ajustamentos no tempo de sobreposição entre o fechamento da válvula de escape e a abertura da válvula de admissão resultam numa melhoria da eficiência do motor, diminuindo o consumo e melhorando a potência. Na figura 16 temos uma representação de uma polia que utiliza o sistema VVT-i (Computerized Engine Controls, 2016).

Figura 16: Comando de válvulas variável da Toyota que utiliza motor elétrico.



Fonte: Blog You Diy auto.

## 2.11 Funcionamento do VVT-i

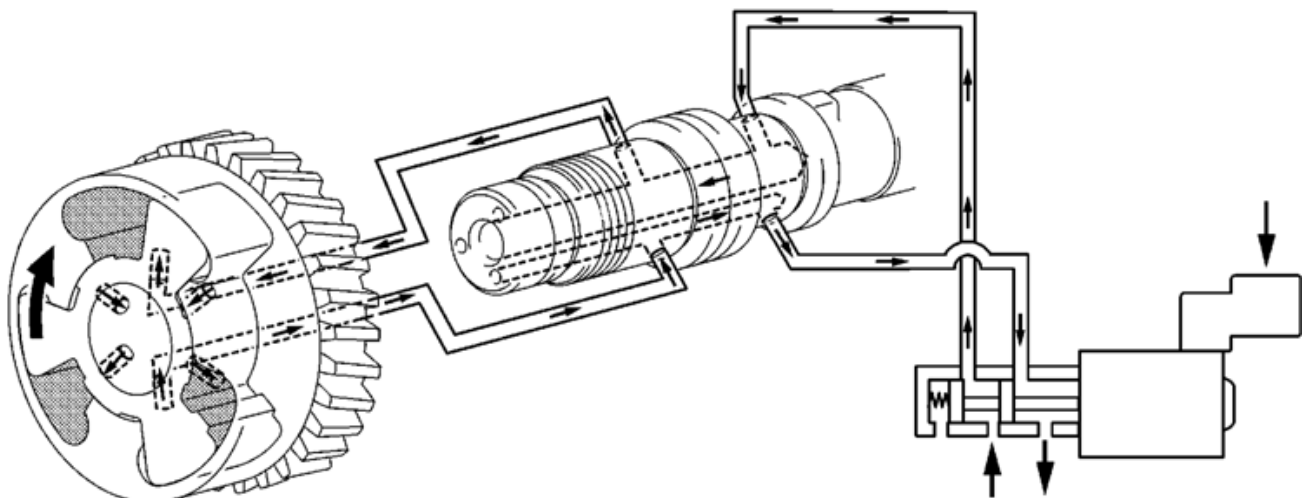
O mecanismo de controle das válvulas possui atuadores hidráulicos integrados as engrenagens do comando, dois sensores de posição e duas eletroválvulas de controle hidráulicos em cada banco de cilindros. Esses elementos em conjunto trabalham para controlar a defasagem dos eixos em relação às engrenagens motoras.

Esse controle é realizado da seguinte forma: A eletroválvula (solenoide) possui pontos de entrada e saída de óleo, que se alternam de acordo com o regime de operação do motor. A mudança do sentido do fluxo é obtida pelo deslocamento do seu eixo central, o avanço é controlado pela largura de pulso do PWM aplicado em seu terminal, já o recuo é promovido pela força de uma mola. Há três posições da eletroválvula que são: repouso, intermediária e avanço máximo, as posições de repouso e avanço máximo invertem o sentido do fluxo de óleo, já a posição intermediária bloqueia o escoamento.

Este fluxo é direcionado para o atuador do comando que está equipado com quatro cavidades hidráulicas bipartidas, o deslocamento do eixo da eletroválvula direciona o fluido para a partição desejada de uma cavidade, retirando da outra cavidade o fluido excedente (Computerized Engine Controls, 2016).

Na figura 17 ocorre o avanço do eixo central controlado pela largura do pulso PWM.

Figura 17: Sistema VVT-i Toyota (Modo de Avanço).

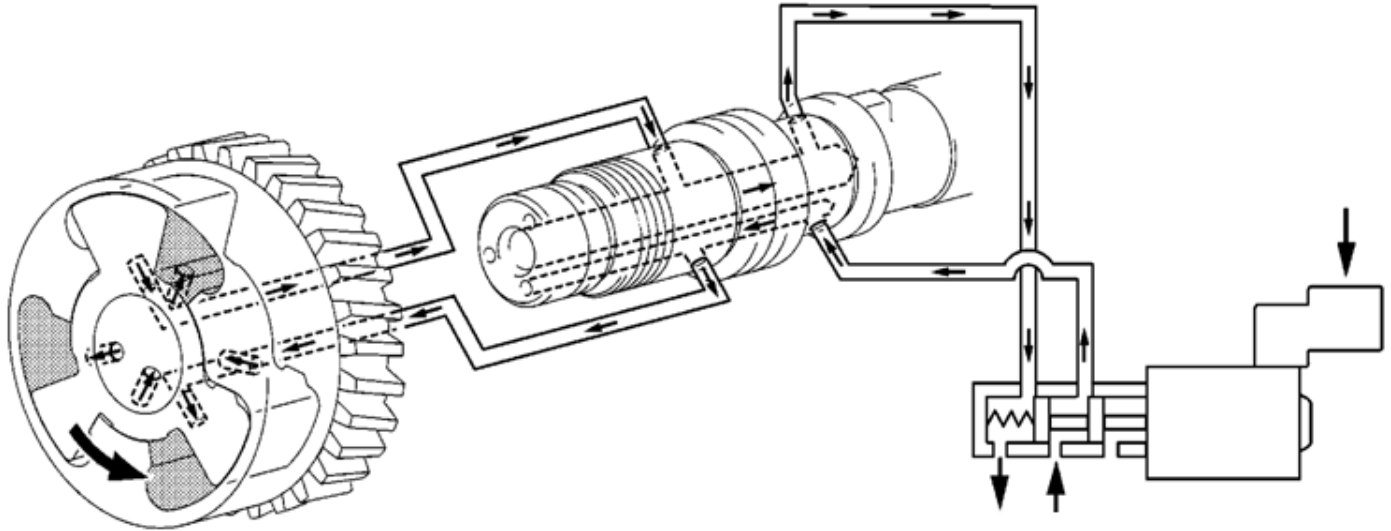


Fonte: toyota-club.net



Na figura 18 temos o retorno promovido pela força da mola.

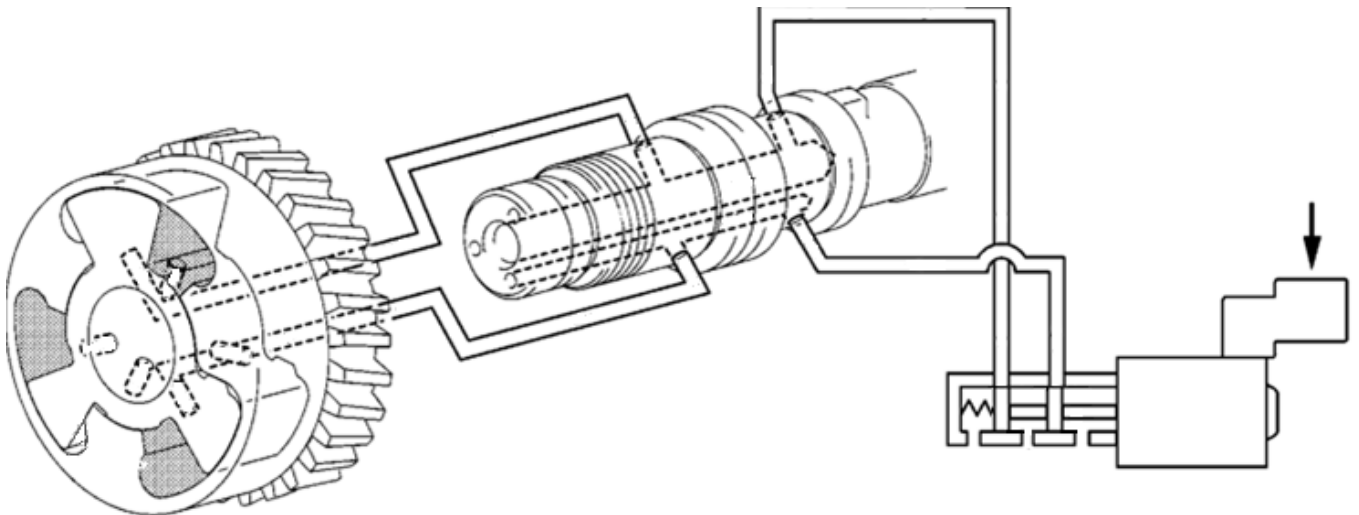
Figura 18: Sistema VVT-i Toyota (Modo de Recuo).



Fonte: toyota-club.net

Na figura 19 verificamos a posição intermediária (barramento do fluxo do fluido).

Figura 19: Sistema VVT-i Toyota (Modo Intermediário).



Fonte: toyota-club.net

Essa vazão causa o deslocamento angular do eixo das engrenagens motoras, de acordo com a necessidade de defasagem em cada momento, se o eixo da eletroválvula estiver na posição intermediária, o fluxo é bloqueado e o deslocamento relativo do comando é interrompido.

Tabela 1: Deslocamento de operação do sistema VVT-i

	<b>Operação</b>	<b>Transmissão do sinal da válvula de controle</b>	<b>Descrição</b>
<b>Avanço</b>		<p>Sinal de avanço</p> <p>Duty Ratio</p>	Quando o sinal PWM da válvula solenoide está em sinal de avanço, a pressão do fluido é aplicado ao lado de avanço de sincronização do rotor para rodar na direção de avanço de temporização.
<b>Retorno</b>		<p>Sinal de recuo</p> <p>Duty Ratio</p>	Quando o sinal PWM da válvula solenoide está em sinal de recuo, a pressão do fluido é aplicado ao lado de retorno de sincronização do rotor para rodar na direção de retorno de temporização.
<b>Neutro</b>		<p>Sinal de neutro</p> <p>Duty Ratio</p>	A ECU calcula o ângulo de temporização de acordo com o estado de deslocação. Após o ajuste na temporização, o sincronismo da válvula é mantido, mantendo a válvula solenoide na posição neutra, impedindo a passagem de óleo.

Fonte: Modificado de //www.toyota.co.jp

Os vários ciclos consecutivos da eletroválvula possibilitam o atraso ou adiantamento do comando de válvulas em qualquer ângulo desejado.

Um dos destaques do diagrama de válvulas é a redução do ângulo de cruzamento em marcha lenta, essa característica controla a quantidade exata de gases de escapamento que retorna para a câmara de combustão em cada ciclo, assim, evitando a necessidade de circuitos auxiliares como o EGR para controle de emissões de óxidos de nitrogênio (NOx).

Nos outros regimes, o destaque está na otimização do ponto de abertura e fechamento das válvulas, para obter alta elasticidade do torque e máxima potência quando desejado.

Todos esses eventos atuam de forma independente em cada árvore de comando e simultaneamente à suas rotações, conferindo ao sistema de alimentação e escape um alto nível de otimização de desempenho e controle de emissões de poluentes.

## **2.12 Operação**

Na proporção da velocidade do motor, do volume de ar de admissão, da posição do acelerador e da temperatura da água, a ECU calcula um sincronismo de válvula ideal em cada condição de condução e controla a válvula solenoide. Além disso, a ECU utiliza o sinal do sensor de posição do comando de válvulas e o sensor de posição do virabrequim para detectar o sincronismo real da válvula, realizando assim o controle de retrocesso para atingir o sincronismo da válvula.

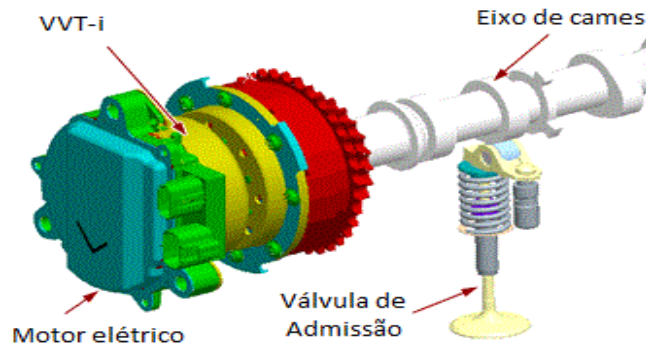
## **2.13 VVT-iE**

O sistema VVT-iE (Variable Valve Timing Intelligent Electric) altera suavemente o tempo de trabalho da árvore de cames das válvulas de admissão de acordo com as condições de trabalho do motor assim como o VVT-i, porém, com um motor elétrico.

Quando o eixo do comando de válvulas de admissão gira em relação à roda dentada em aproximadamente um ângulo de 40° (ângulo de rotação do virabrequim), cerca de um ângulo de 5° a mais que o VVT-i, o motor elétrico é usado para o ajuste desse ângulo, permitindo uma melhora na operação do motor em baixas temperaturas e em baixas rotações com o óleo em baixa pressão, contudo, o sistema VVT-iE opera diretamente no momento de partida do veículo, fornecendo uma melhora gradativa em

seu desempenho, sendo o comando de válvulas deste sistema representado na figura 20 (Toyota Motor Corporation, 2004).

Figura 20: Comando de Válvulas VVT-iE.



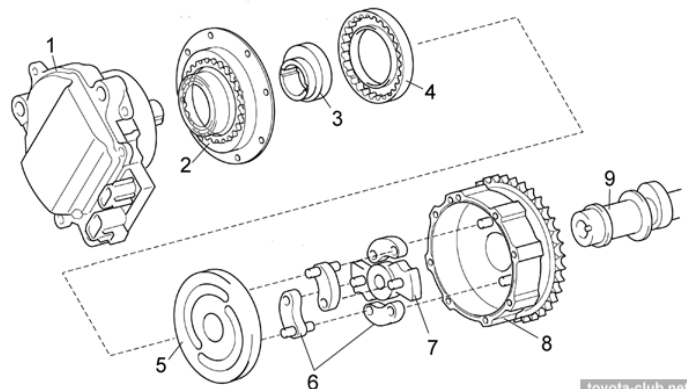
Fonte: Modificado de //www.toyota.co.jp

O atuador consiste em um redutor cicloidal e um mecanismo de alavanca.

Atuador VVT-iE (Figura 21):

- 1 – Motor;
- 2 – Cobertura (engrenagem do estator);
- 3 – Rotor;
- 4 - Engrenagem acionada;
- 5 - Placa espiral;
- 6 – Alavancas;
- 7 – Suporte;
- 8 – Caixa (pinhão);

Figura 21: Atuador VVT-iE.



Fonte: Toyota Club

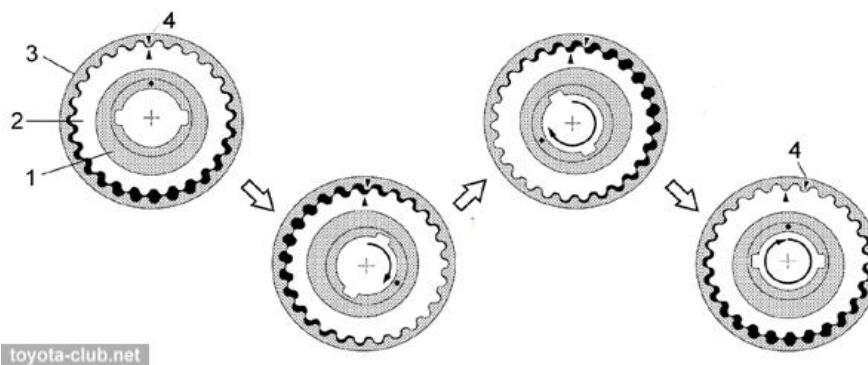
O mecanismo da alavanca consiste na carcaça (conectada à roda dentada do sincronismo), no suporte (conectada à árvore de cames), na conexão da placa espiral e das alavancas.

O redutor cicloidal consiste na cobertura (com engrenagem do estator), no rotor (conectado ao motor elétrico) e na engrenagem movida (aquela que tem um dente mais do que a engrenagem do estator) conectada ao rotor. Quando o motor gira durante uma volta, a engrenagem acionada gira na mesma direção para um dente (Toyota Motor Corporation, 2004).

Operação do redutor VVT-iE (Figura 22)

- 1 – Suporte;
- 2 – Estator;
- 3 – Engrenagem acionada;
- 4 – Marca;

Figura 22: Redutor VVT-iE.



Fonte: Toyota Club

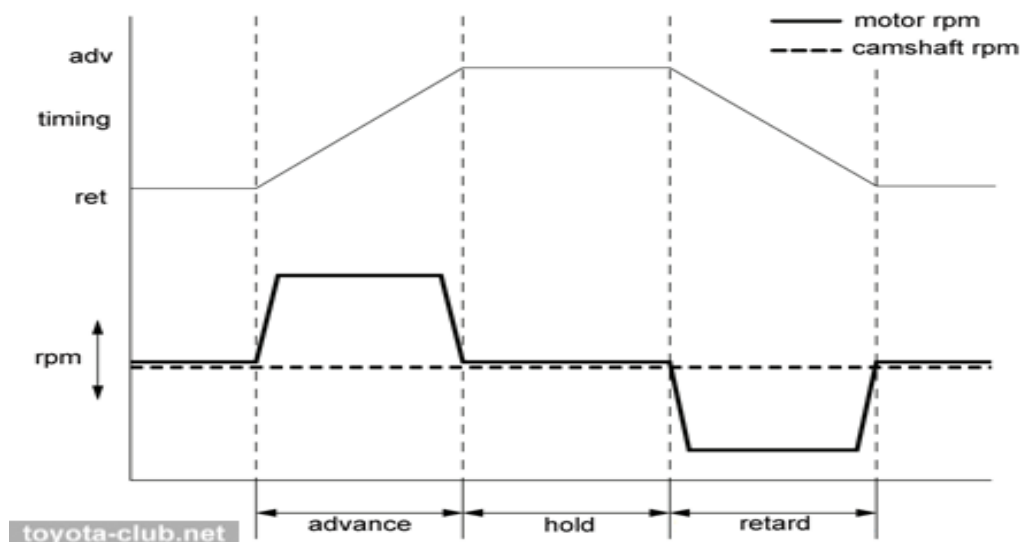
A placa espiral ligada à engrenagem acionada é ativada através do redutor. As alavancas transmitem a rotação da placa em espiral ao suporte, ao eixo de cames rotativo e ao tempo de troca da válvula.

O motor VVT-iE consiste em motor DC sem escova, unidade de controle ECU e sensor Hall. A ECU serve como um mediador entre o controle da válvula solenoide e o motor elétrico, controlando a velocidade e o sentido de rotação.

O ajuste da temporização da válvula é baseado na diferença de velocidade entre o motor e o eixo de comando, como na figura 23. No modo de neutro, a velocidade é

igual, no modo de avanço o motor gira mais rápido que o eixo de cames e no modo de retorno o motor gira mais lentamente do que o eixo de cames (ou na direção oposta).

Figura 23: Modos de operação do motor.



Fonte: Toyota Club

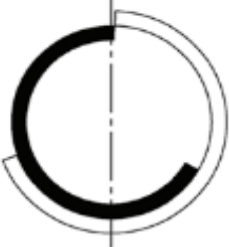

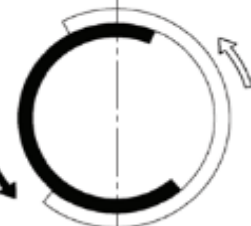
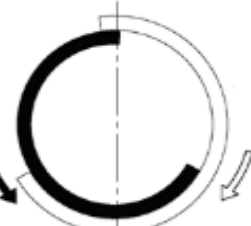
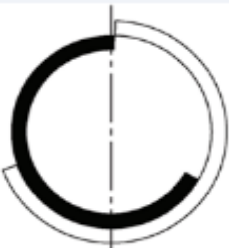

**Avanço:** Pelo sinal de ECM o motor gira mais rapidamente que o eixo de cames. A placa em espiral é rodada no sentido horário através do redutor. As alavancas, inseridas nas ranhuras em espiral, são movidas para o eixo central da árvore de cames e giram o suporte em conjunto com a árvore de cames na direção de avanço.

**Retorno:** Pelo sinal de ECM o motor gira mais lento do que o eixo de cames. A placa em espiral é rodada no sentido anti-horário através do redutor. As alavancas, inseridas nas ranhuras em espiral, são movidas a partir do eixo central da árvore de cames e giram o suporte em conjunto com a árvore de cames na direção do atraso.

**Neutro:** Depois de atingir o tempo desejado, o motor gira à mesma velocidade que a árvore de cames. O mecanismo de alavanca é fixo e mantém o sincronismo da válvula (Toyota Motor Corporation, 2004).

A partir deste controle foram elaboradas estratégias para melhorar o desempenho do veículo, sendo possível observar algumas delas na figura 24.

Figura 24: Regimes de Operação

Modo	#	Cronometragem	Condição	Efeito
Marcha lenta	1		As válvulas mínimas se sobrepõem. Quantidade mínima de gás de exaustão para a entrada.	Estável ocioso. Redução do consumo de combustível.
Baixa a média carga, baixa rotação	2		Fechamento tardio das válvulas de admissão para reduzir as perdas de bombeamento. Válvulas aumentadas se sobrepõem para melhorar o EGR interno.	Redução do consumo de combustível. Emissões reduzidas.
Alta carga, baixa a média rpm	4		Fechamento antecipado da válvula de admissão para melhorar a eficiência volumétrica e reduzir o desvio de gases de escape para a entrada.	Aumento do torque em rotações baixa e média.
Alta carga, altas rotações	5		Fechamento tardio da válvula de admissão para melhorar a eficiência volumétrica por carga inercial.	Aumento da produção máxima.
Temperatura baixa	6		As válvulas mínimas se sobrepõem.	Estável ocioso. Redução do consumo de combustível.
Iniciando e parando	-		Temporização ótima da válvula para partida.	Condições de partida melhoradas.

Fonte: Toyota Club

Realizada a análise das diversas versões do Comando Variável, foi elaborada a tabela 2 abaixo, que compara a utilização de circuitos auxiliares e da eficiência em determinadas condições para comandos mecânicos, hidráulicos e elétricos. Nesta tabela o nível de eficiência nas faixas de rotação é determinado pela precisão do controle realizada no comando, se este comando permite a quem utiliza-lo desenvolver uma grande quantidade de regimes para priorizar as estratégias verificadas previamente, este comando será classificado como muito eficiente.

Tabela 2: Comparativo entre Comandos

<b>Comandos:</b>	<b>Convencional</b>	<b>Hidráulico</b>	<b>Elétrico</b>
<b>Eficiente em todas as faixas de rotação?</b>	Médio	Bom	Muito Bom
<b>Possui sensor de posição?</b>	Sim	Sim	Sim
<b>Possui válvula solenoide?</b>	Não	Sim	Não
<b>Funciona com temperaturas muito baixas ?</b>	Sim	Não	Sim
<b>Funciona com baixa pressão de óleo?</b>	Sim	Não	Sim

Fonte: Própria



### 3. Metodologia

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um simulador de comando de válvulas variável com acionamento elétrico, capaz de receber os sinais de rotação, MAP, pedal e temperatura simulados, para identificar o regime de operação do motor e realizar o ajuste da posição da árvore de comando de válvulas, garantindo ganho de eficiência volumétrica em todos os regimes de operação do motor de combustão interna.

A variação de fase será realizada apenas na árvore de admissão, pois o nosso motor modelo é um cabeçote Toyota 1ZZ-FE que utiliza o VVT-i convencional e não tem variação de fase no comando de exaustão.

Com o conhecimento obtido através do estudo dos sistemas VCT atuais foi constatado que os VCT's que utilizam pressão hidráulica em seu acionamento não podem realizar o controle de abertura e fechamento das válvulas em baixas temperaturas e em baixas rotações devido o seu funcionamento ser dependente da pressão do óleo lubrificante do motor, pois a bomba de óleo é acoplada a árvore de manivelas.

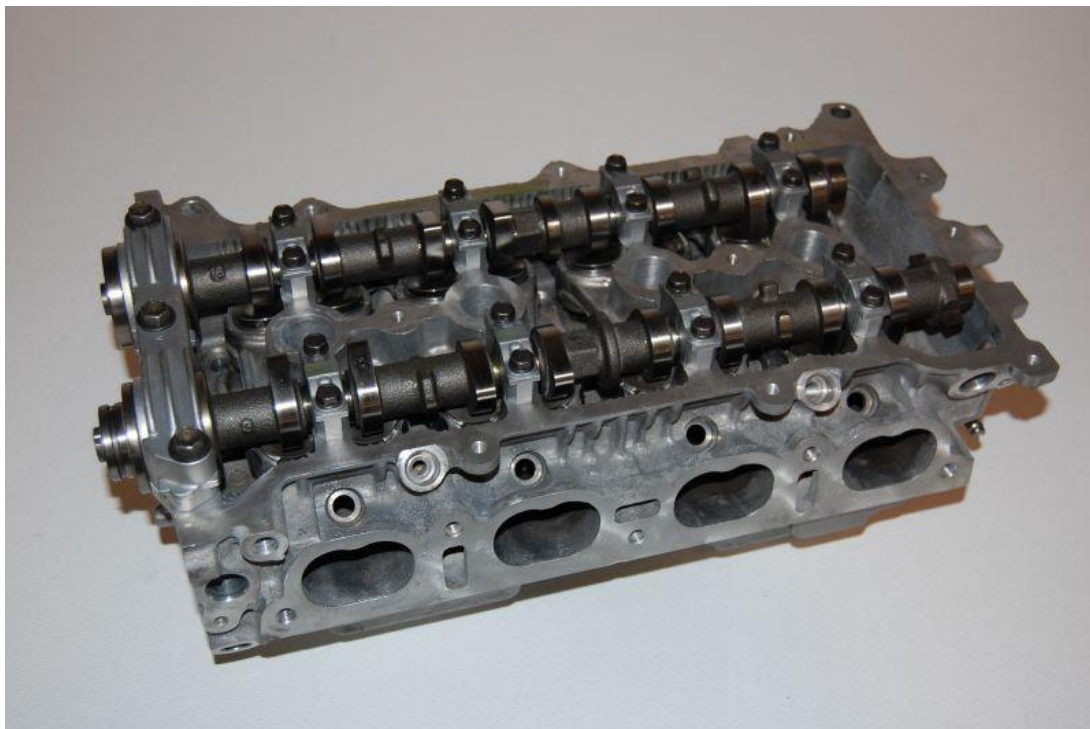
Com base nessa deficiência dos sistemas a Toyota desenvolveu o *VVT-iE* (*Variable Valve Timing - intelligent by Electric motor*) que através atuação elétrica é capaz de funcionar com resposta mais rápida e precisa em baixas rotações e em baixas temperaturas, nos inspirando a realizar esse trabalho.

Nas imagens 25 e 26 podemos verificar onde será montado o motor, o simulador e a polia do comando de admissão utilizada no projeto.

#### 3.1 Cabeçote

Para a realização do simulador utilizamos um cabeçote do motor Toyota 1ZZ-F. O motor 1ZZ-FE é uma versão da família de motores Toyota 1ZZ de 1.8L(1794cc) e 16 válvulas, que teve diversas aplicações em veículos. Este Motor conta com VVT-i apenas no eixo de admissão. A imagem 25 mostra o cabeçote utilizado no projeto do simulador.

Figura 25: Cabeçote 1ZZ-FE 1.8 16 v do veículo Corolla.



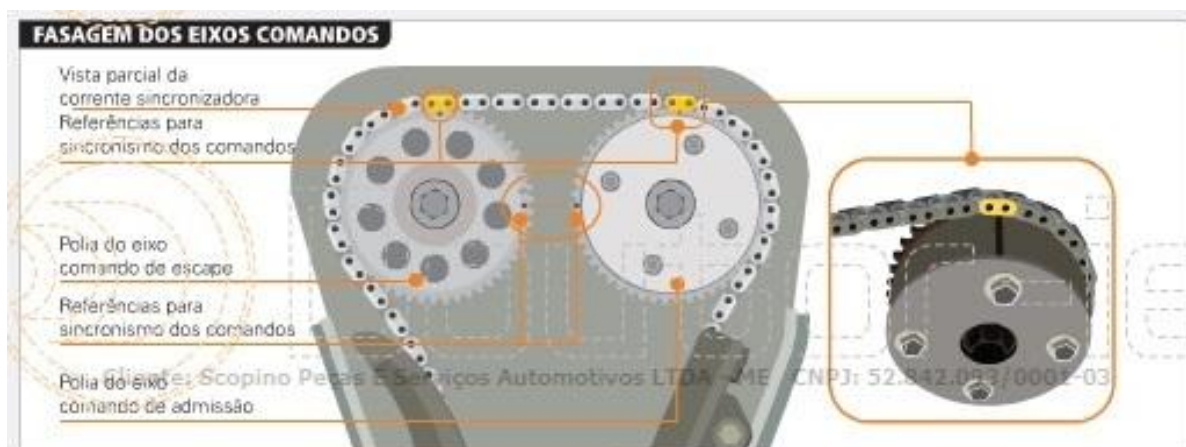
Fonte: Própria

Como se optou pela montagem do protótipo do simulador apenas no cabeçote, o protótipo será montado com uma corrente sincronizadora realizando o sincronismo apenas entre as arvores de exaustão e admissão com um guia de corrente e tensor adaptados para trabalhar com essa corrente menor mantendo a fase do comando de válvulas que é essencial para o conceito do simulador.

Devido ao alto torque necessário para movimentar o comando de válvulas, foi necessário a desmontagem das molas das válvulas dos cilindros 2, 3, e 4, restando apenas o cilindro 1, com isso reduzimos o torque necessário, conseqüentemente reduzimos os riscos de sobreaquecimento no circuito devido a alta demanda de corrente.

Na figura 26 vemos o sincronismo do motor 1ZZ-FE, que foi utilizado como referência de montagem da corrente adaptada.

Figura 26: Fasagem dos Eixos Comando de Válvulas



Fonte: Enciclopédia Automotiva – Doutor IE

Devido à necessidade da adaptação do motor elétrico, foi necessário desenvolver um suporte de fixação robusto o suficiente para suportar o torque proveniente do motor elétrico que é de aproximadamente 19 Nm.

Não foi necessário fazer ajustes no cabeçote para fixar o suporte, pois foi utilizada a furação original do cabeçote, e o resultado foi satisfatório cumprindo seu papel e não permitir a torção do motor ao realizar o trabalho. A imagem 27 ilustra o suporte, e a imagem 28 ilustra o sistema do motor elétrico e suporte já fixados ao cabeçote.

Figura 27: Suporte de fixação do motor elétrico



Fonte: Própria

Figura 28: Sistema Montado



Fonte: Própria

### 3.2 Polia VVT-i

A polia do comando variável da admissão é formada por três peças, a primeira peça tem os dentes de engrenagem onde é fixada a corrente sincronizadora, e serve como base inferior por onde a peça intermediária formada pelo rotor interno e suas palhetas que atuam no sentido horário e anti-horário realizando o movimento de comando variável. A terceira peça é formada pela tampa da Polia VVT-i, como é possível observar na figura 29.

Para o projeto foi utilizada a polia original, porém somente sem a tampa para que seja possível observar o trabalho do rotor.

Figura 29: Polia VVT-i



Fonte: Própria

Através de um Goniômetro Magnético foi medido o ângulo de variação máximo do rotor interno da Polia. Foi constatado que o rotor interno é capaz de se mover com até aproximadamente  $22^\circ$ . Portanto, o comando de válvulas variáveis elétrico tem essa limitação, e foi optado por não modificar o rotor original e trabalhar com a variação da abertura e fechamento da válvula de admissão com até  $22^\circ$ . Abaixo as figuras 30 e 31 mostram a medição da angulação máxima da polia.

Figura 30: Medição com Goniômetro Magnético (ângulo mínimo).



Fonte: Própria

Figura 31: Medição com Goniômetro Magnético (ângulo máximo).



Fonte: Própria

Com isso para realizar a adaptação do Motor Elétrico foi desenvolvido um acoplamento entre o parafuso do comando de admissão e o eixo de saída do motor elétrico. Assim, o movimento rotacional do motor elétrico transmite o movimento para o comando de válvulas, enquanto a parte externa fixada a corrente não permite que o motor perca o sincronismo mecânico.

### 3.3 Motor Elétrico

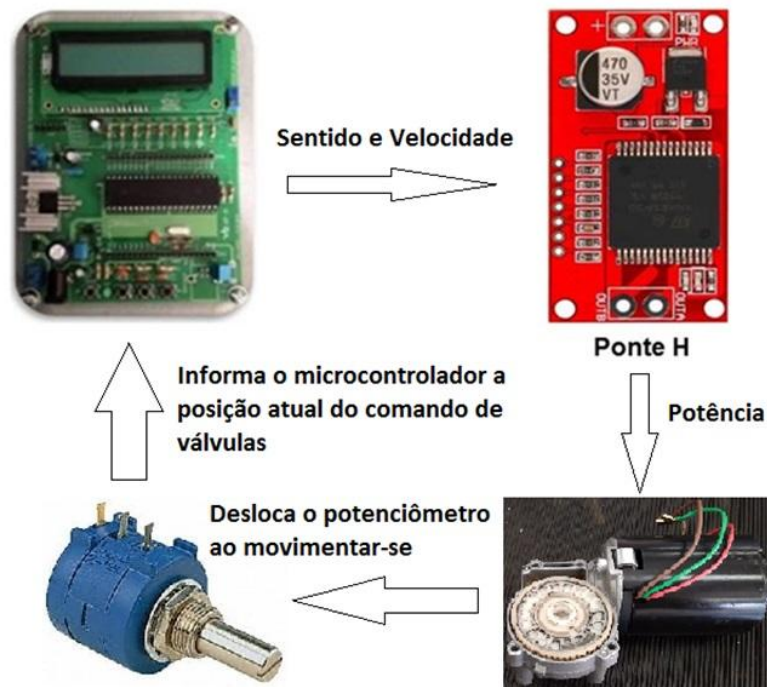
A escolha do Motor Elétrico que foi utilizado para o projeto, foi em função da orientação do Prof Edson Kitani que optou por um motor de baixo custo e bom desempenho para esta finalidade, e o motor escolhido foi um Motor Elétrico DC 12v automotivo, que tem sua aplicação empregada para fazer o acionamento dos Limpadores de Para-brisa. O porquê da escolha de um motor de limpador de para-brisa foi devido ao torque que este motor produz, em torno de 19 Nm.

### 3.4 Potenciômetro

Devido ao software de controle do Motor Elétrico necessitar de uma realimentação de posição para fechar a malha de controle foi optado pela utilização de um potenciômetro de precisão, modelo 3590S-102.

O potenciômetro foi fixado junto à tampa plástica da carcaça do motor elétrico, e acoplado no centro da engrenagem de saída, com isso o potenciômetro multi voltas ficou solidário a árvore do comando de admissão, fechando a malha fechada da figura 32.

Figura 32: Malha Fechada do VCT

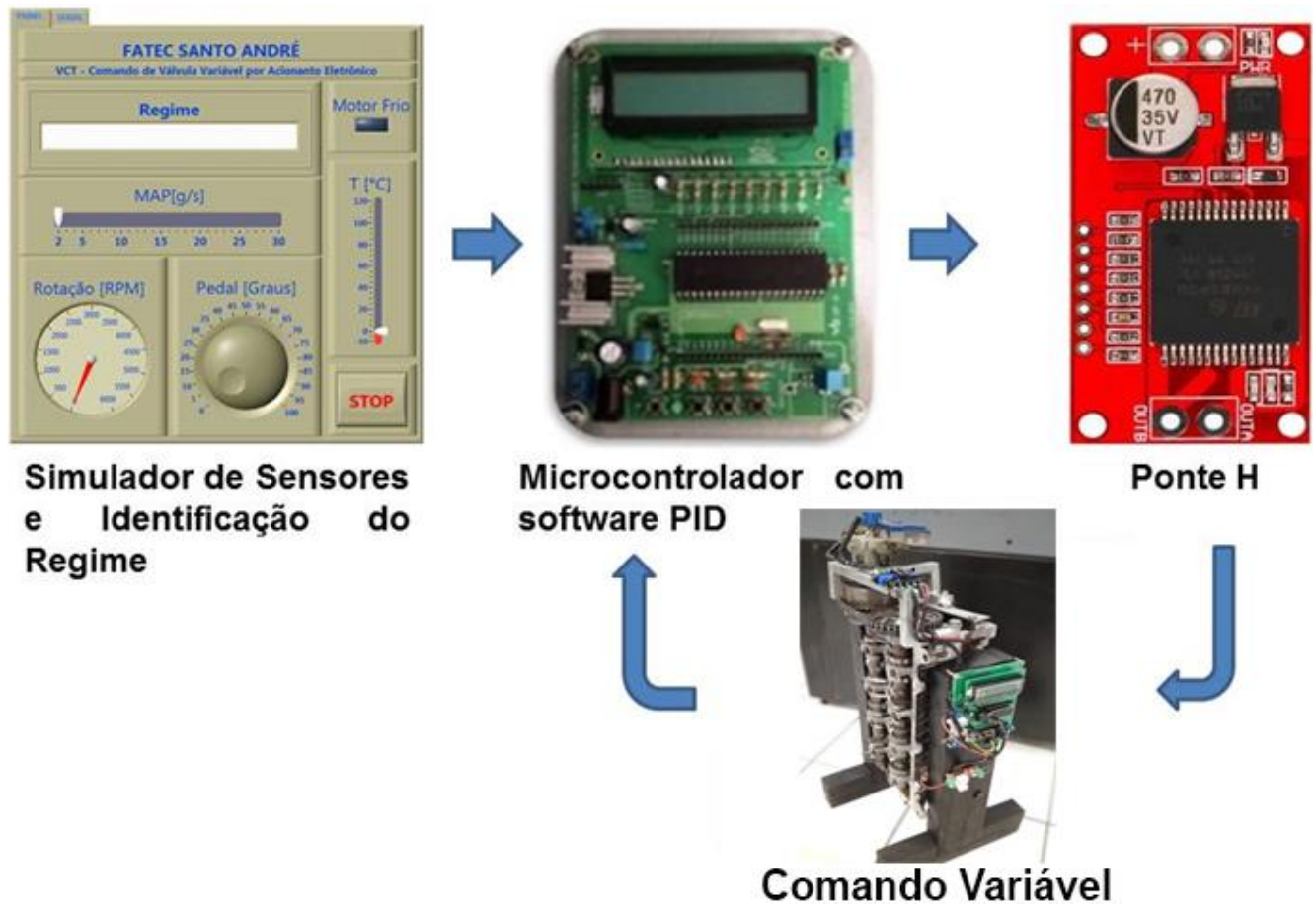


Fonte: Própria

### 3.5 Gerenciamento Eletrônico do Motor

Utilizou-se também a placa eletrônica da FATEC para realizar o papel de ECU, recebendo a informação do regime do Motor (simulação dos sensores de rotação, sensor de posição da borboleta, MAP e temperatura do motor via Labview), para processar a informação e enviar os pulsos de PWM e *enable* para a Ponte H controlar e comandar o motor elétrico que está acoplado à polia do VVT-i. Na figura 33 a arquitetura do Sistema:

Figura 33: Arquitetura do Projeto



Fonte: Própria

### 3.6 Plataforma Labview

Labview é um ambiente de desenvolvimento, utilizado para criação de programas que utilizam dados do mundo real para aplicações em áreas da ciência e da engenharia, permitindo uma maior interação e maior entendimento dos programas desenvolvidos por parte dos desenvolvedores e dos operadores dos programas, isso ocorre devido a estrutura dessa plataforma que se resume a blocos com funções específicas conectados por fios, que determinam a sequência de execução de cada bloco.

### 3.7 Por que utilizar o Labview?

O modelo de programação do Labview, conhecido como linguagem de programação G ou linguagem gráfica de programação, é semelhante a um fluxograma, as conexões dos blocos através de fios torna o aprendizado do que foi programado



bastante intuitivo. Isso ocorre por que a programação gráfica foca mais nos dados e nas operações que estão sendo executadas para processar esses dados, reduzindo a complexidade presente em outras linguagens de programação, como a alocação de memória e sintaxe.

A plataforma Labview é desenvolvida para se comunicar com diversos hardwares, de forma simples, utilizando o mesmo modelo para inicializar, configurar, ler/escrever e fechar para a maioria dos hardwares, além de fornecer meios para a criação de novos *drivers* para Labview para que este software seja utilizado em aplicações específicas.

Todo o painel frontal do programa é modificável, permitindo a seu programador atribuí-lo características únicas e específicas de seu projeto, como o montar o painel de um veículo no painel frontal em caso de aplicações automotivas (*LabVIEW*® Manual, 2006).

### 3.8 VISA

O VISA, *Virtual Instrument Software Architecture* ou Arquitetura de software de instrumental virtual é um padrão desenvolvido por diversas empresas de marca registrada como a *National Instruments*, esse sistema é utilizado para reduzir erros em sistemas de comunicação e instrumentação, fornecendo a interação entre os projetos desenvolvidos e suas respectivas programações.

O VCT utiliza o software NI-VISA desenvolvido pela *National Instruments* para realizar a comunicação entre a interface desenvolvida em Labview e o hardware do projeto.

### 3.9 Interface

A *interface* do nosso projeto utiliza o *software* de desenvolvimento Labview. Nessa plataforma é possível criar um painel de controle de fácil interação com o público interessado na proposta do desenvolvimento do VCT.

Na figura 34 é possível verificar as quatro variáveis de controle do VCT escolhidas por nós, com suas respectivas grandezas, sendo o limite dessas grandezas adequadas de maneira coerente aos valores que estes sensores poderiam atingir no veículo simulado (Toyota Corolla 1.8 16v).

Figura 34: Interface desenvolvida em Labview.

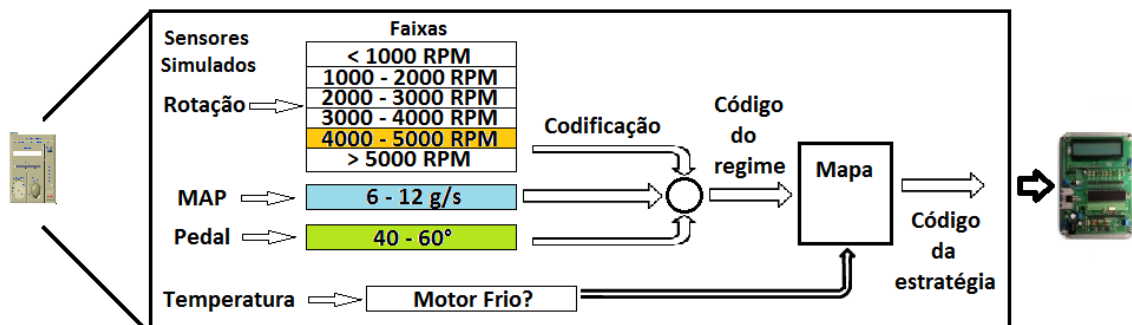


Fonte: Adaptado do software de programação Labview.

### 3.10 Interface em blocos

Para entendermos melhor a função realizada pela *interface* desenvolvida em Labview, vamos utilizar o esquema de blocos visualizado na figura 35.

Figura 35: Interface em blocos



Fonte: Própria

Quando o operador do programa inserir os valores que deseja simular, o programa selecionará a faixa mais adequada para atender a solicitação, como exemplo, se o operador inserir uma rotação de 4500RPM no sensor simulado, a faixa selecionada será a de 4000 a 5000 RPM.

Selecionada as faixas que atendem a solicitação do operador, cada faixa irá emitir um código que será interligado aos demais para criar o código do regime que é um número utilizado para acessar um mapa, que com base nesse código o mapa irá determinar qual é a melhor estratégia a ser simulada pelo VCT, este programa nos permite criar centenas de estratégias, mas para manter a didática no projeto, foram selecionadas apenas cinco estratégias simuladas, sendo elas:

- Temperatura baixa;
- Marcha lenta;
- Baixa a média carga, baixa rotação;
- Alta carga, baixa a média rotação;
- Alta carga, alta rotação.

A estratégia de temperatura baixa atua sempre que o sensor simulado da temperatura constatar uma medição abaixo dos 80°C, porém sua atuação no VCT utiliza a mesma estratégia da marcha lenta, como podemos verificar nos regimes de operação demonstrados previamente.

### **3.11 Ponte H**

A ponte H representada na figura 36 é um circuito de potência que é capaz de converter corrente contínua fixa em uma corrente contínua variável. O sistema abre e fecha o circuito diversas vezes, com o intuito de se determinar sentido da corrente e a polaridade da tensão. É muito utilizada, para controlar a velocidade e direção de rotação de um motor de corrente contínua.

Para realizar o controle da velocidade e do sentido do motor elétrico utilizado no projeto, utilizaremos o modelo Monster VNH2SP30 30 ampères e com sua tensão máxima de 16 V (Datasheet VNH2SP30, 2017).

Figura 36: Ponte H Monster VNH2SP30



Fonte: VNH2SP30 Datasheet

As entradas e saídas da ponte h serão configuradas no programa escrito em C, onde as respectivas são:

- Entrada de alimentação da fonte de até 16 volts;
- “VCC de 5 Volts”, que é a diferença de potencial na aplicação do circuito da placa da ponte H;
- “GND” um filtro de densidade neutra, assim sendo uma referência ao VCC;
- “IN A” e “IN B” entradas que indicam o sentido de rotação do motor elétrico, “IN A” é a rotação horária e “IN B” é a rotação anti-horária;
- “PMW” utilizado para fazer o controle do motor DC.

## 4. Testes e Análise dos Resultados

Os testes realizados no VCT tem a função de analisar o comportamento da árvore do comando de válvulas quando submetido ao giro do motor elétrico, movendo o rotor do variador de fase, verificando a abertura das válvulas, o deslocamento da árvore e a posição do rotor em função dos regimes de funcionamento do simulador.

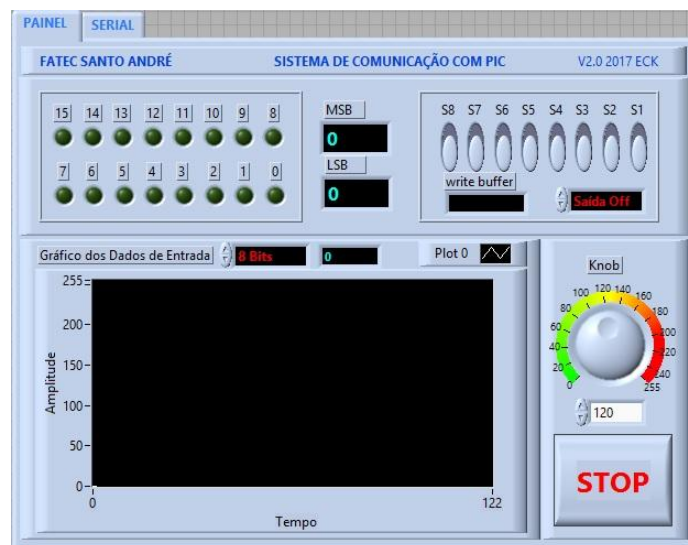
### 4.1 Medição e Controle do Ângulo

A medição realizada verifica o deslocamento do motor elétrico, alterando-se a diferença entre o potenciômetro de posição do rotor e a posição fornecida pelo controle manual (interface Labview), que tem seus valores compreendidos entre 0 a 255. Foi realizado o seguinte procedimento:

O comando de válvulas foi posicionado com as válvulas de admissão e escape em *overlap* (final da fase de exaustão, e início da fase de admissão) fase na qual o VCT atua, onde teoricamente o êmbolo do primeiro cilindro estaria próximo ao PMS, com isso analisamos o comportamento da válvula de admissão em função das estratégias adotadas pelo Labview de acordo com as variáveis de controle.

A figura 37 ilustra o Datalogger (Interface LabView fornecida pelo Prof Edson Kitani) utilizado para realizar um controle manual do Motor Elétrico, importante para determinar os limites de atuação do VCT ponto a ponto.

Figura 37: Datalogger



Fonte: Adaptado do software de programação Labview

Medindo o deslocamento foi constatado que a cada ponto de diferença interpretado pelo programa entre a interface e o potenciômetro acoplado no motor ocorria o deslocamento do motor elétrico em  $3,6^\circ$ , sendo 120 pontos o centro, em 121 ocorria o deslocamento do motor elétrico em  $3,6^\circ$  no sentido horário e 119 ocorria o deslocamento no de  $3,6^\circ$  no sentido anti-horário, atingindo os extremos na posição 124 e 117.

## 4.2 Posições das Estratégias

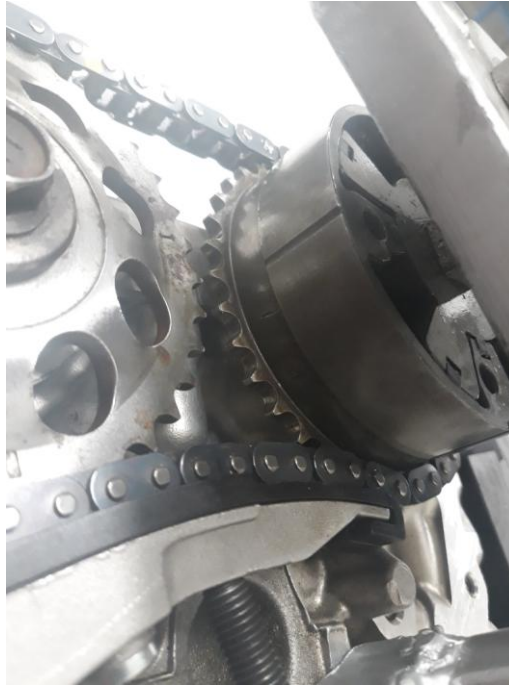
Com os limites do sistema configurados no software do LabView ,ou seja os valores inseridos para condição apresentada ,comando de válvulas em *overlap*, posicionamos um relógio comparador com base magnética paralelo a face inferior do cabeçote com a ponta de contato na válvula de admissão.

Em seguida iniciamos as simulações das variáveis de controle, para que o software do LabView identifique o regime de funcionamento.

### 4.2.1 Marcha Lenta e Temperatura do Motor baixa

Os regimes de Marcha Lenta e Motor frio são idênticos, com isso o LabView identifica o Regime de Marcha Lenta enviando o ponto 117 do Potenciômetro de posição para ECU, onde a mesma envia o comando PWM para Ponte H que em seguida envia o pulso para movimentar o rotor para a posição inicial (totalmente recuado) realizando a abertura da válvula de admissão apenas quando a válvula de exaustão se fecha. A Figura 38 ilustra o rotor do VCT em sua posição inicial e a figura 39 ilustra o relógio comparador com sua posição em 0 mm, comprovando o regime no qual ocorre a abertura da válvula de admissão apenas quando ocorrer o fechamento do tempo de exaustão.

Figura 38: VCT em Marcha Lenta



Fonte: Própria

Figura 39: Relógio Comparador em Marcha Lenta



Fonte: Própria

#### 4.2.2 Alta carga, baixa a média rotação

Neste regime o VCT se deslocou 0,67mm do regime de referência (marcha lenta), como podemos observar na figura 40. Para configurar o VCT nessa posição a interface enviou a posição 121 para a placa realizar o ajuste, com isso a válvula de admissão abre de forma adiantada, mantendo a válvula de admissão aberta por mais tempo.

Figura 40: Relógio Comparador em Alta carga, baixa a média rotação



Fonte: Própria

#### 4.2.3 Alta carga, alta rotação

Essa estratégia desloca o VCT 3,74mm do regime de referência (marcha lenta), como o relógio comparador demonstra na figura 41. Nessa estratégia as válvulas são controladas de forma a manter por mais tempo a pressão gerada no êmbolo devido a combustão, para se obter mais potência, nessa estratégia foi enviada a posição 124 pela interface.

Figura 41: Relógio Comparador em Alta carga, alta rotação



Fonte: Própria



### 4.3 Resultados Obtidos

Através do conjunto foi possível realizar o deslocamento da árvore do comando de válvulas, obtendo-se diversas posições angulares para a abertura das válvulas, para cada posição angular do comando, durante a fase de overlap foi possível variar a abertura da válvula de admissão em torno 3,74mm, onde o came de admissão em sua posição de amplitude máxima de abertura da válvula se obtém 9,74mm, portanto é possível mensurar o grande número de combinações possíveis em função de cada posição angular do comando durante as fases do motor, podendo até mesmo simular o funcionamento dos Motores Ciclo Atkinson atual.

Porém não foi possível realizar todas as estratégias presentes no software do simulador devido a algumas limitações do projeto como ao movimentar o comando manualmente, o motor elétrico impede de obter a posição desejada devido ao controle do software que faz com que o motor elétrico tente voltar à posição de origem, necessitando desligar a alimentação do motor, para movimenta-lo.

. A não utilização de variador de fase na exaustão também limita o número de estratégias de funcionamento, como a estratégia de EGR interno.

## 5. Conclusão

Foi concluído que foi possível alcançar o objetivo de converter um cabeçote que utilizava um sistema de comando variável convencional em um comando variável elétrico para uso didático, demonstrando suas vantagens através do controle de um motor elétrico obtendo com precisão a variação da abertura e fechamento das válvulas em função de variáveis presentes nos motores de combustão interna. A utilização da plataforma Labview ajuda muito na didática, pois os alunos podem visualizar com uma maior facilidade as variáveis que influenciam no controle do comando variável, sendo de fácil manuseio para o operador. Contudo o simulador apresentou algumas limitações mecânicas e eletrônicas que dificultaram os testes no projeto com um todo. Portanto o simulador funciona muito bem para fins didáticos, podendo ser modificado e melhorado futuramente.

### 5.1 Propostas Futuras

Conforme o projeto era desenvolvido, foram separados tópicos que melhoram o simulador como um sistema operacional efetivo ou uma plataforma didática melhorada abaixo tem uma lista dessas sugestões:

- Elaborar um sistema no qual o motor elétrico mantenha sua posição mesmo com a corrente girando;
- Adaptar uma Polia com variador de fase no comando de válvulas de exaustão;
- Analisar o ganho de eficiência volumétrica que poderia ser obtido em diferentes estratégias do VCT;
- Utilização de Motores Elétricos com maior torque, com isso é possível realizar o controle em um maior número de cilindros;
- Montar um simulador mais completo, com o bloco do motor no sincronismo corretor com o cabeçote, e adaptar um motor elétrico a arvore de manivelas para simular a rotação do motor.

## Referências bibliográficas

- [1] CARLOS, E. M. Sistema de desenvolvimento para controle Eletrônico dos Motores de Combustão Interna Ciclo Otto, 2002.
- [2] Marques, Italo Cavalheiro Ciclo Atkinson – Razões para sua utilização em veículos híbridos/ Italo Cavalheiro, Pedro Nunes Figueira. - Santo André, 2013. – f: 39.
- [3] GUIMARÃES, L. M., 2008, “Análise de escoamento dinâmico em coletores de admissão de motores de combustão interna com variador de fase”. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da PUC Minas, Belo Horizonte
- [4] ALCÂNTARA DIAS, B. M. de; “Plataforma Didática de Injeção Eletrônica para Controle de Motores de Combustão Interna.” Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Eletrônica Automotiva, Faculdade de Tecnologia de Santo André, São Paulo – SP, 2011.
- [5] LEVIN, M. B.; Schechter M. M., 1996, “Camless Engine”, International Congress & Exposition. SAE Technical Paper Series. No. 960581, Detroit, Michigan, February 25-29, 1996.
- [6] ANDREOLI, A. G. 2009; “Injeção Eletrônica Programável para Automóveis.” Projeto de Diplomação, Engenharia Elétrica - UFRGS, Porto Alegre.
- [7] SOUSA, Roberto Guimarães de; “Desenvolvimento de uma válvula dinamicamente controlável para motores de combustão interna”. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2007.
- [8] BRUNETTI, Franco – Motores de Combustão Interna Volume 1/ Franco Brunetti, - São Paulo: Brucher, 2012.
- [9] *LabVIEW*® Manual, 2006.
- [10] CTI REVIEWS, Cram101 Textbook Reviews - Computerized Engine Controls 8ª Edição, 2016.
- [11] TOYOTA TECHNICAL REVIEW, Volume 53, Edição 219 - Toyota Motor Corporation, 2004.
- [12] STMicroelectronics, DATASHEET VNH2SP30 - Automotive fully integrated H-bridge motor driver 2017.
- [13] 3590S Datasheet (PDF) - Bourns Electronic Solutions

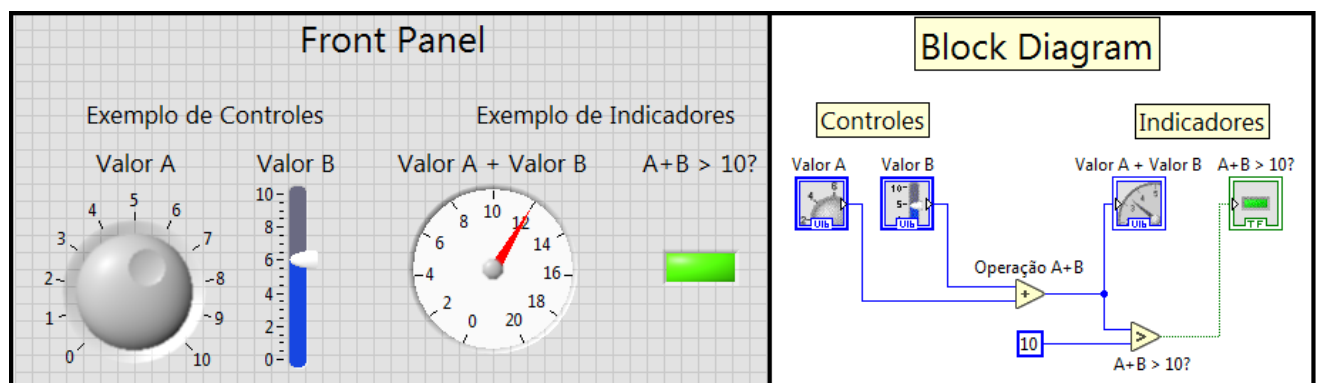
## Anexo A – Detalhamento do Software de Interface Labview

### 1. Plataforma Labview

Labview é um ambiente de desenvolvimento, utilizado para criação de programas que utilizam dados do mundo real para aplicações em áreas da ciência e da engenharia, permitindo uma maior interação e maior entendimento dos programas desenvolvidos por parte dos desenvolvedores e dos operadores dos programas, isso ocorre devido a estrutura dessa plataforma que se resume a blocos com funções específicas conectados por fios, que determinam a sequência de execução de cada bloco.

A plataforma de Labview fornece a seu programador duas janelas de desenvolvimento, sendo a primeira de coloração mais escura como podemos verificar na figura A, conhecida como *Front Panel* (Painel Frontal), onde o programador se utilizará de controles e indicadores para realizar a comunicação do programa com o seu operador, os painéis frontais dos programas devem ser de fácil entendimento para que o operador possa controlá-los e analisá-los de maneira rápida e eficiente no menor tempo possível. A janela de coloração branca na figura 33 possui o nome de *Block diagram* (Diagrama de blocos), nesta janela serão programados todos os processos que o sistema irá realizar, utilizando variáveis de entrada e fornecendo variáveis de saída conforme foi configurado.

Figura A: Exemplo de um programa de soma em Labview











































Fonte: Adaptado do software de programação Labview.

Na figura A também podemos verificar que a cor e o design dos fios variam conforme a representação da informação que está sendo transferida de um bloco a outro, na figura B é possível observar as informações que cada fio representa,

analisando as cores dos fios, as cores verificadas na figura 34 são as cores padrões utilizadas no Labview, sendo possível modificá-las dependendo da aplicação do projeto.

Figura B: Representação de fios em Labview

	Escalar	Vetor 1D	Vetor 2D		Ramo	
Numérico				Laranja (ponto flutuante)		Marrom
				Azul(inteiro)		Marrom
Booleano				Verde		Rosa
Concatenação de Caracteres				Rosa		Rosa
Curso				Verde escuro		Rosa
Referência				Verde escuro		Rosa
Recurso de Hardware				Roxo		Rosa
Variante				Roxo		Rosa
Gráfico				Marrom		Rosa
Classe				Vermelho		Rosa

Fonte: Adaptado de [ni.com/pt-br/support](http://ni.com/pt-br/support)

## 2. Interface

A interface do nosso projeto utiliza o *software* de desenvolvimento Labview. Nessa plataforma é possível criar um painel de controle de fácil interação com o público interessado na proposta do desenvolvimento do VCT.

Na figura C é possível verificar as quatro variáveis de controle do VCT escolhidas por nós, com suas respectivas grandezas, sendo o limite dessas grandezas adequadas de maneira coerente aos valores que estes sensores poderiam atingir no veículo simulado (Toyota Corolla 1.8 16v).

Figura C: Interface desenvolvida em Labview.

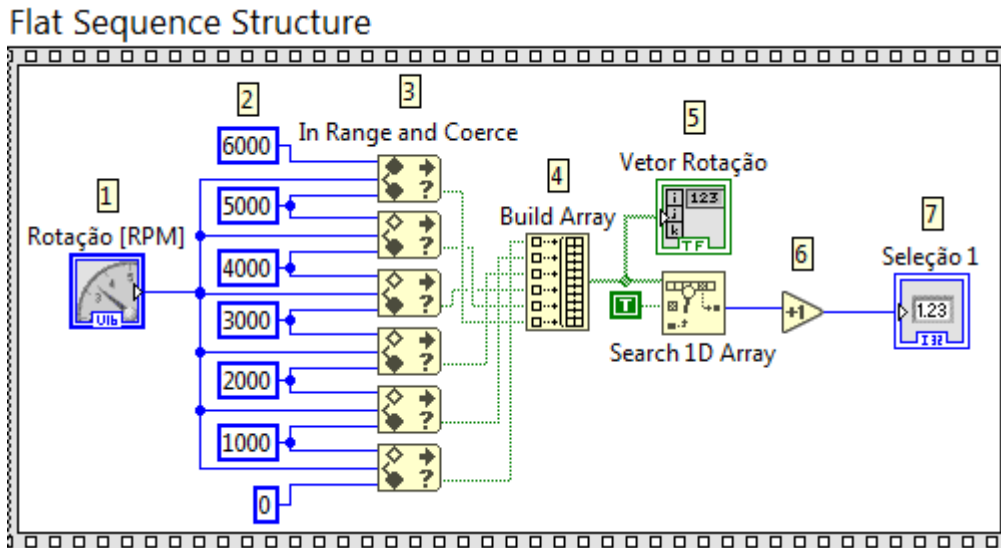


Fonte: Adaptado do software de programação Labview.

### 3. Estrutura da Interface

Para um melhor entendimento, a explicação do programa começa pelas operações realizadas no valor obtido através do sensor que simula a rotação observada na figura C. As etapas deste processo podem ser observadas na figura D.

Figura D: Etapas da seleção de regime do sensor de rotação.



Fonte: Adaptado do software de programação Labview.

Na primeira etapa do programa simbolizada pelo número 1 na figura D, o valor fornecido pelo operador é enviado até o controle nomeado Rotação [RPM], que envia estes valores para serem comparados com as constantes da etapa dois na etapa três.

A função "In range and Coerce" utilizada no passo três verifica se o valor inserido pelo operador está dentro dos limites no qual foi configurado, se o valor estiver conforme os limites, o valor booleano verdadeiro (1) é enviado na saída da função, caso esteja fora dos limites o valor booleano falso (0) que será enviado na saída da função. Ex: caso o valor do controle rotação seja 500, a função "In range and Coerce" que possui o limite de 0 até 1000 enviará (1) na sua saída.

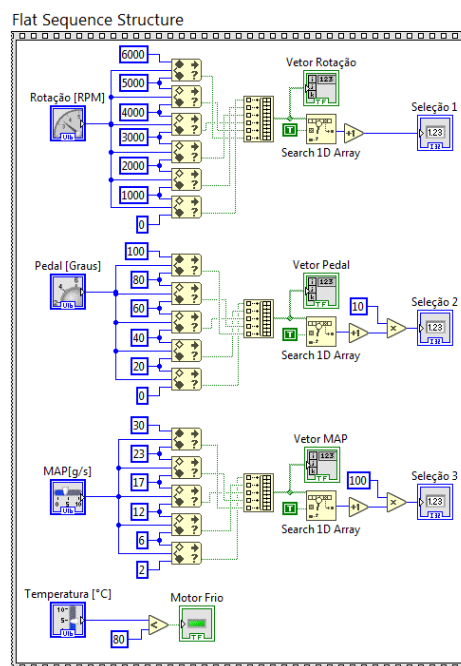
Os valores booleanos do passo três são então encaminhados para a função "Build array" na etapa quatro, dessa forma todas as saídas do processo três são armazenadas em um vetor, sendo este vetor enviado para o indicador vetor rotação e para o bloco "Search 1D Array" no quinto processo. No indicador vetor rotação os desenvolvedores do programa podem verificar se as faixas selecionadas correspondem aos respectivos valores inseridos nos sensores do programa, analisando se o programa possui alguma falha, já o bloco "Search 1D Array" tem a função de gerar um código para a faixa do sensor selecionada, para realizar essa tarefa, este bloco verifica qual posição do vetor gerado no "Build Array" possui o valor 1, já que o vetor possui 6 posições, a saída deste bloco varia seu valor de 0 a 5, sendo este número determinado por qual posição do vetor possui o valor 1 registrado.

Para que o valor 0 seja reservado como um código de erro no programa do VCT, foi implementado na fase seis um incremento no código que determina a faixa do sensor, assim os valores referentes ao código das faixas do sensor de rotação passam de 0 a 5 para 1 a 6. Sendo estes valores armazenados na variável Seleção 1 que também é utilizada como indicador para verificar o atual faixa do sensor de rotação.

Para os demais sensores são realizados os mesmos processos, variando a quantidade de faixas e multiplicando o código da faixa por 10 ou por 100 para que os valores ao serem somados não interfiram na determinação de faixa de outros sensores, como é possível verificar na figura E.

Quanto ao sensor de temperatura, é realizada uma comparação do valor inserido pelo operador com uma variável constante que possui o valor oitenta, essa constante foi fixada por que em média motores que possuem temperatura menor a 80°C no Brasil são considerados como operando com o motor frio, com a temperatura acima da constante estipulada o VCT determinará seu regime baseado nos outros sensores, já com a temperatura menor que a estipulada a interface utilizará um código que inicia uma estratégia própria de trabalho para temperatura baixa, ativando o indicador de motor frio que é um LED no painel frontal para que o operador do sistema seja informado caso o motor esteja operando nesta condição.

Figura E: Etapas da seleção de regime dos sensores.



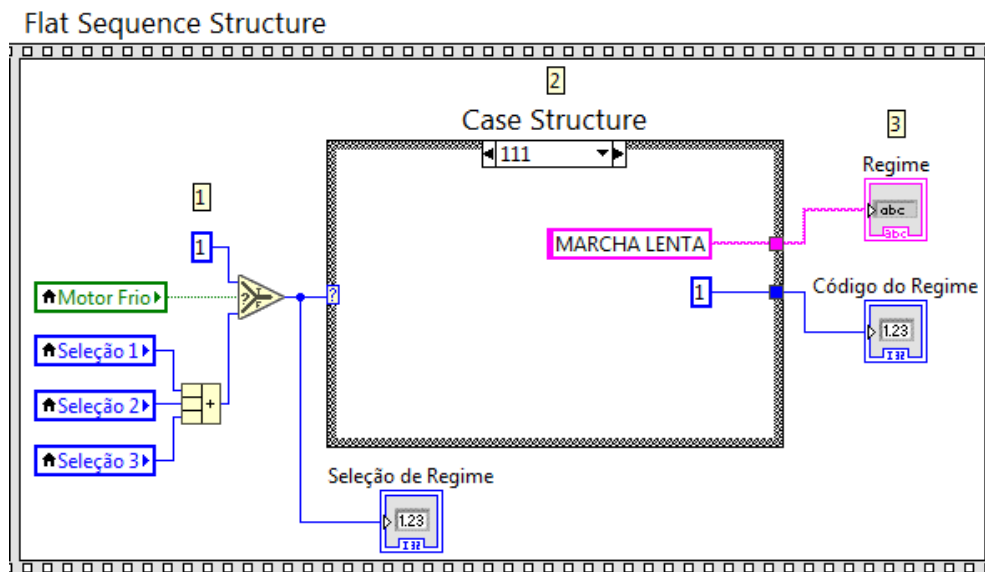
Fonte: Adaptado do software de programação Labview



#### 4. Determinação do Regime

Após determinar as faixas em que cada sensor está atuando e gerar o respectivo código de faixa, é necessário utilizar essa informação em um mapa programado que fornecerá o nome e o código do regime, como é possível observar na figura F.

Figura F: Código e mapa de regimes.



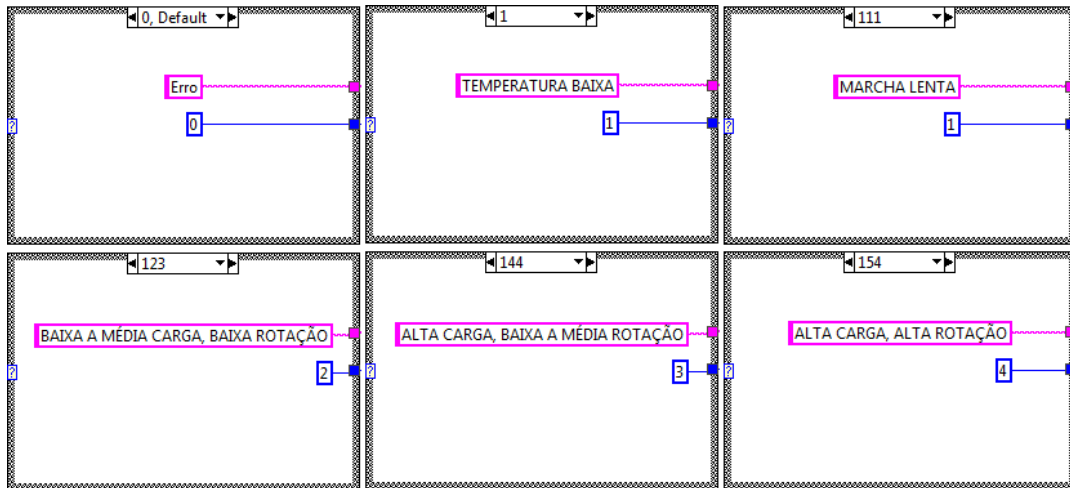
Fonte: Adaptado do software de programação Labview.

No primeiro processo é realizado a soma dos códigos de faixa dos sensores de rotação, MAP e pedal, sendo o código de faixa da rotação representado pela unidade, a faixa do pedal pela dezena e a faixa do MAP pela centena. Também neste processo existe uma seletora que verifica se o motor está atuando abaixo de sua temperatura ideal de trabalho, caso esta condição seja verdadeira a seletora sobrescreverá a informação dos demais sensores para ativar no mapa o regime de temperatura baixa.

O mapa do segundo processo é um “*case structure*” que é uma estrutura de casos, que possui um caso específico para cada código nele inserido, neste projeto esta estrutura apresenta 152 casos. Um exemplo da seleção dessa estrutura seria um veículo que estivesse com o motor aquecido a 2500 RPM, 35° no pedal e com o sensor MAP indicando 18g/s, os códigos de faixa seriam respectivamente 3,20 e 400, somando tudo o código a ser analisado pelo mapa seria 432, para esta situação o mapa forneceria o código de regime número três que representa alta carga, baixa a média rotação.

As estratégias desse mapa e seus respectivos códigos podem ser visualizados na figura G, assim como são visualizados pelos indicadores no terceiro processo.

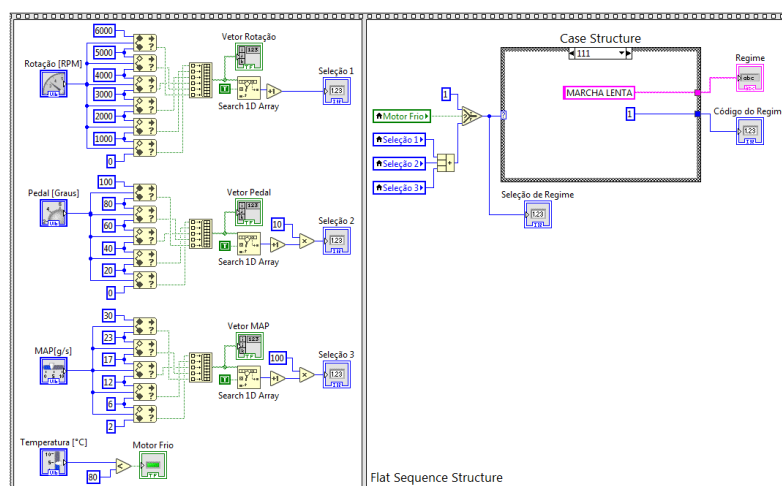
Figura G: Regimes e seus códigos.



Fonte: Adaptado do software de programação Labview.

Analisando todo o programa referente à seleção de faixa e regime na figura H, é possível observar a utilização da estrutura “Flat Sequence” que possui o objetivo de executar as funções do bloco direito, somente após a execução das funções do bloco esquerdo, evitando falhas e erros no programa.

Figura H: Sensores e seleção de regime

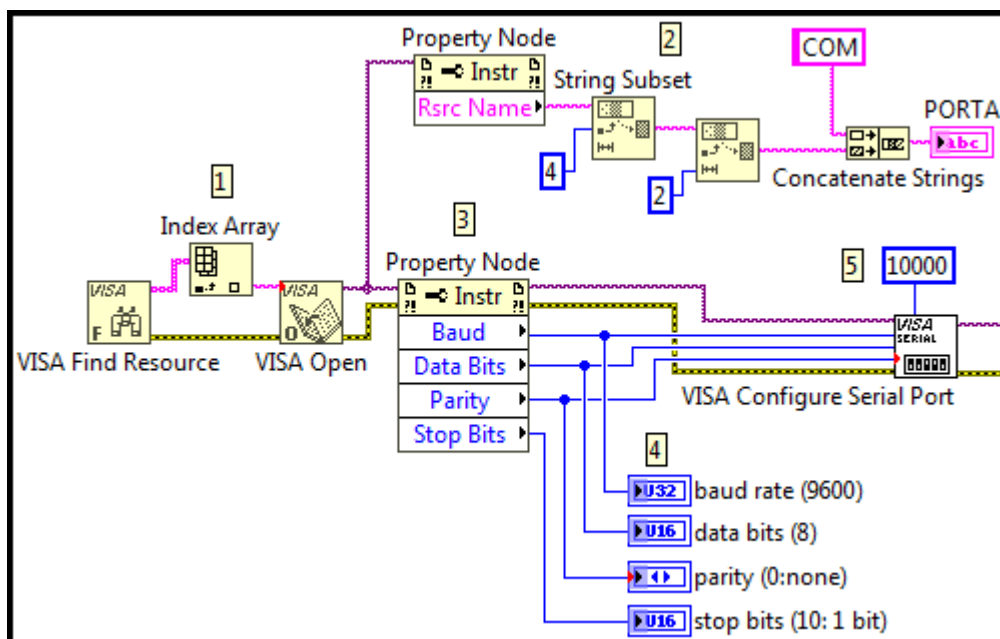


Fonte: Adaptado do software de programação Labview

## 5. Software de Comunicação do Labview

A comunicação da nossa interface labview com a placa de desenvolvimento é realizada a partir de um programa modificado do orientador do projeto Prof. Edson Caoru Kitani. Este programa utiliza as bibliotecas de funções do VISA para localizar o dispositivo e se comunicar com a placa automaticamente, como é possível observar no software de comunicação visualizado na figura 1.

Figura 1: Configuração da comunicação serial VISA.



Fonte: Adaptado do software de programação Labview.

Nesta primeira etapa o bloco “*VISA Find Resource*” consulta o sistema no qual está inserido para localizar dispositivos associados ao programa desenvolvido, este bloco tem como saída uma lista de dispositivos associados e um cluster de erro, a lista então é enviada a função “*Index Array*”, que neste contexto tem a função de selecionar o primeiro elemento da lista e enviar para o bloco “*VISA Open*”, neste bloco o labview realiza a comunicação com o dispositivo especificado, criando um identificador da comunicação que é utilizado para realizar demais operações com esse dispositivo.

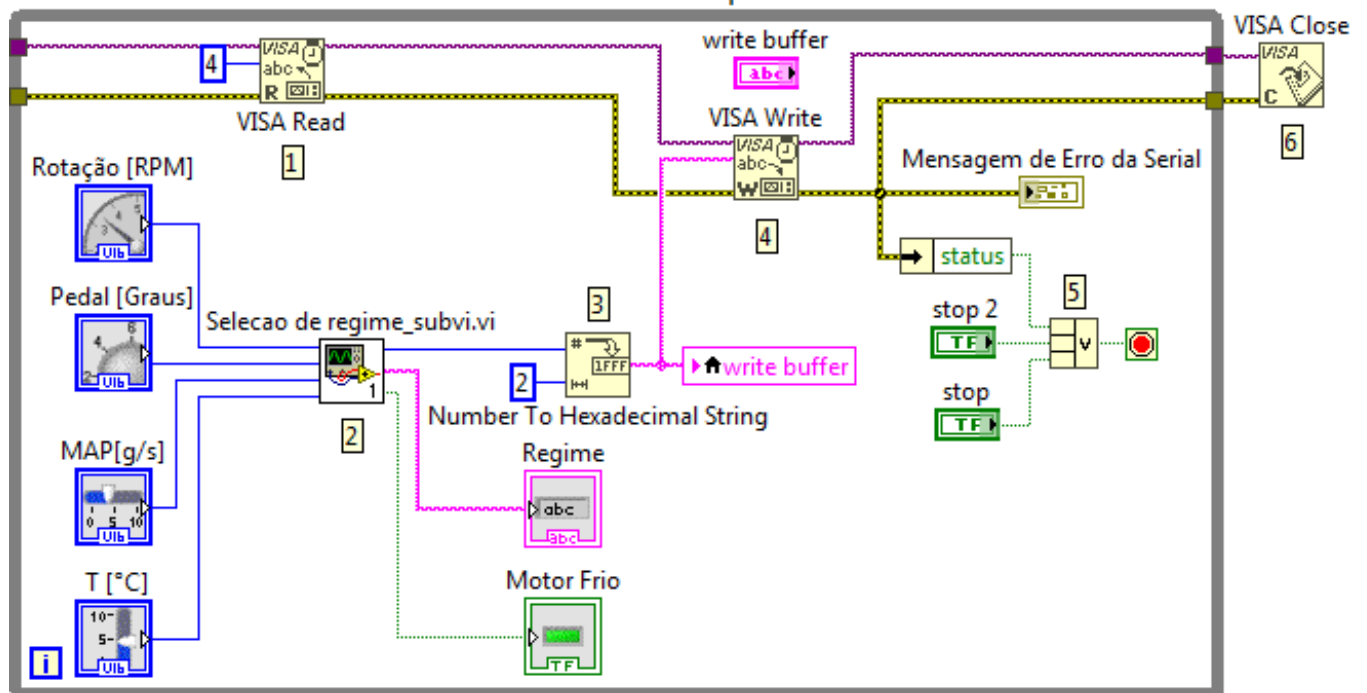
Após o “*VISA Open*” gerar o identificador, é iniciada a segunda etapa onde as funções “*Property Node*” e “*String Subset*” trabalham esse código em formato de string para auxiliar o operador do programa a identificar a porta que está sendo utilizada para a comunicação.

O “*Property Node*” na terceira etapa tem uma função similar ao utilizado na segunda fase, pois ambos utilizam dados fornecidos pelo “*VISA Open*” para informar o operador do programa às configurações utilizadas na comunicação do Labview com a placa, essas configurações são informadas ao operador através de indicadores encontrados na quarta fase deste programa.

Na quinta etapa do programa é utilizada a função “*VISA Configure Serial Port*”, seu principal objetivo é utilizar o VISA para inicializar a porta serial especificada, com as configurações determinadas, neste projeto é utilizado um tempo de dez mil milissegundos para as operações de ler e escrever do VISA, o cluster de erro apresentar falha caso haja falha nas funções a que este cluster esta interligado.

Depois de configurar a comunicação serial, o laço principal do programa utilizará as funções “*VISA Read*” e “*VISA Write*” para trocar informações com a placa do projeto, como é possível observar na imagem J.

Figura J: Laço Principal  
Main While Loop



Fonte: Adaptado do software de programação Labview

No primeiro processo, o bloco “*VISA Read*” lê quatro bits do dispositivo alvo especificado e retorna essa informação para o “*VISA Write*”. A junção de blocos que compõem o segundo processo já foi explicada previamente, onde todos os processos

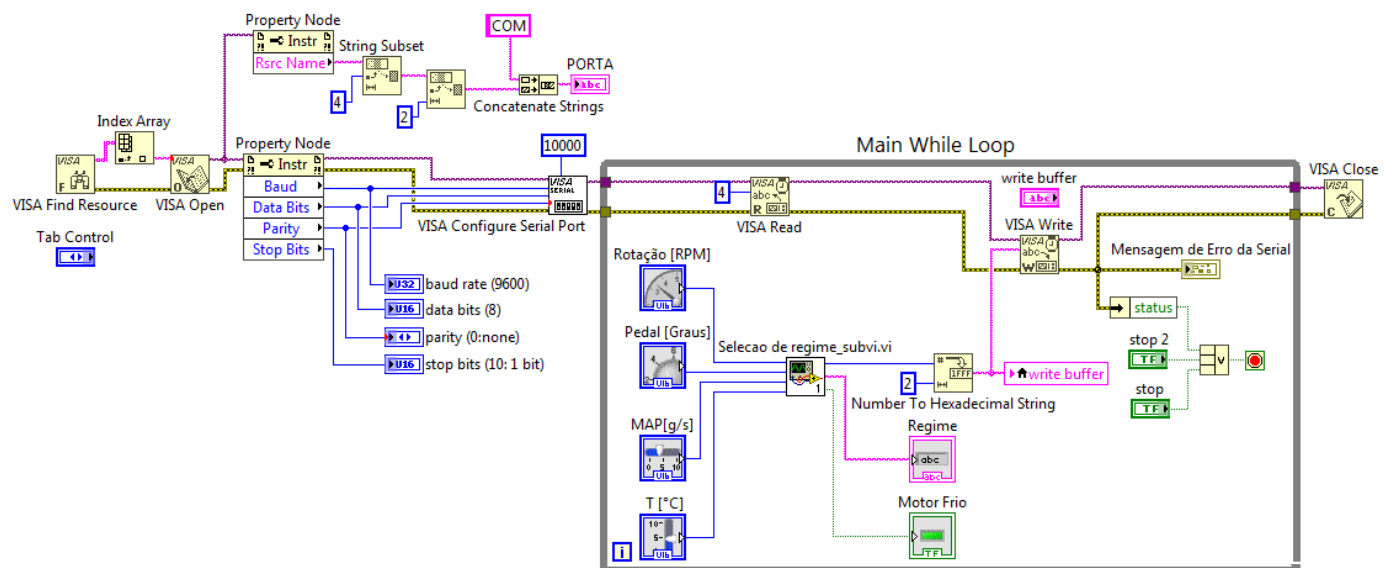
que podem ser observados na figura H foram compactados em um bloco que foi concedido o nome de Seleção de regime\_subvi.vi, este bloco fornece o código de regime para a função “*Number To Hexadecimal String*” localizada no terceiro processo, essa função converte números para strings hexadecimais, com a largura dessa string determinada pela constante dois, ao passar por essa função código de regime será convertido.

“VISA Write” é o bloco no quarto processo que enviará o código do regime no formato de string para a placa que está se comunicando com o Labview, caso ocorra algum erro neste bloco ou nos demais blocos interligados pelo cluster de erro, o laço principal de programa será terminado, assim como ocorrerá caso um operador pressione um dos dois controles nomeados como stop no quinto processo.

Depois de terminado o laço while principal, a função “*VISA Close*” localizada nos sexto processo encerrará a comunicação com a placa de desenvolvimento do VCT.

A figura K mostra o programa controlador do VCT em sua totalidade.

Figura K: Software do VCT no Labview.



Fonte: Adaptado do software de programação Labview

## Anexo B – Programa da Placa Eletrônica do Projeto

```

/* Projeto didático para o Microcontrolador PIC 18F4550
   Contém rotinas para comunicar com o PC via USB emulando uma porta serial RS232
   Prof. Edson - 2018
*/

/* Versão atualizada para criar um controle Proporcinal (P) para um motor elétrico
   e trocar dados com o LabView
   Prof. Edson - 2018

*/

#include <18F4550.h>

//*****
#device ADC=8

#fuses
HSPLL,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,NOCPD,PUT,NOWRT,BROWNOUT,USBDI
V,PLL4,CPUDIV1,VREGEN,NOPBADEN
//#use delay(clock=20000000) /*Cristal de 20MHz* - Condição normal/
#use delay(clock=48000000) /*Para uso com a USB */
#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)
#use fast_io(d)
#use fast_io(e)

/* Configuração da Porta D para Acessar o LCD */

#define LCD_ENABLE_PIN PIN_D0
#define LCD_RS_PIN PIN_D1
#define LCD_RW_PIN PIN_D2
#define LCD_DATA4 PIN_D4
#define LCD_DATA5 PIN_D5
#define LCD_DATA6 PIN_D6
#define LCD_DATA7 PIN_D7

// Define Globais

static int32 tick_count = 0;

int32 Erro = 0;
int32 Feed_back = 0;
int32 Feed_back_ant = 0;

unsigned long int Valor_ADC = 0;
unsigned long int Aux_PWM = 0;
unsigned long int Repeticao = 0;
unsigned long int Repeticao_LCD = 5000;

```

```

long int taxa_botao = 5000;
int Erro_disp = 0;
unsigned int Set_point = 0;

#include <usb_cdc.h>
#include<lcd.c>

/*****
//      Área de Funções
*****/

#int_timer0

void trata_t0 () // Base de Tempo de 1ms
{
    tick_count ++;

// Faz a leitura do AN0

    set_adc_channel(0);          // Prepara chamada para leitura do RA0
    delay_us(20);
    Valor_ADC = read_adc();      // Lê o novo valor da posição do motor na entrada
AN0
    Erro = Set_point - Feed_back_ant; // Calculo a diferença entre o valor do set point e
erro anterior
    Feed_back_ant = Valor_ADC;    // Atualiza o erro anterior

    set_timer0(209 + get_timer0());
}

/* Algumas funções da biblioteca LCD.C do CCS
    lcd_init() - Inicializa o LCD
    lcd_putc(c) - Coloca o conteúdo c na próxima posição do LCD
Se o conteúdo c vier precedido de:
    \f => Limpa o display antes de escrever o conteúdo de c
    \n => Salta para o inicio da segunda linha
    \b   => Move o cursor o posição para trás
    lcd_gotoxy(x,y) - Move o cursor para posição x,y
    lcd)get(x,y)    - Retorna o caracter da posição x,y
*/

// Converte um número de inteiro 8 bits para ASCII e guarda num vetor

void byte_ascii(unsigned int A, unsigned int x,y)
{
    int i = 2;
    int j = 0;
    unsigned int ASCII[3];

    ASCII[0] = 0x30;
    ASCII[1] = 0x30;

```

```

ASCII[2] = 0x30;
while (A>=10)
{
    ASCII[i] = A%10;
    A = A/10;
    ASCII[i] = ASCII[i]+0x30;
    --i;
}
ASCII[i] = A+0x30;
lcd_gotoxy(x,y);
while(j<3)
{
    lcd_putc(ASCII[j]);
    ++j;
}
}

// Converte um número de 16 bits para ASCII e guarda num vetor

void word_ascii(unsigned long int A, unsigned int x,y)
{
    int i = 4;
    int j = 0;
    unsigned int ASCII[5];
    ASCII[0] = 0x30;
    ASCII[1] = 0x30;
    ASCII[2] = 0x30;
    ASCII[3] = 0x30;
    ASCII[4] = 0x30;

    while (A>=10)
    {
        ASCII[i] = A%10;
        A = A/10;
        ASCII[i] = ASCII[i]+0x30;
        --i;
    }
    ASCII[i] = A+0x30;
    lcd_gotoxy(x,y);
    while(j<5)
    {
        lcd_putc(ASCII[j]);
        ++j;
    }
}

/*****
// PROGRAMA PRINCIPAL
*****/

void main(void)
{

```



```
// Define variáveis do Programa Principal
```

```
    unsigned int b, c = 0;
    int LSB = 0;
    int MSB      = 0;
```

```
// Funções Preparatórias para ler o canal ADC
```

```
    setup_adc_ports(AN0_TO_AN4); // AN0 até AN4 definidos no arquivo 18F4550.h
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
```

```
// Funções para acessar USB
```

```
    usb_cdc_init();
    usb_init();
```

```
// Prepara Pinos de I/O
```

```
    set_tris_b(0x00);           //Port-B como saída
    set_tris_c(0b00111011);    //PC7 e PC6 como saída e restante como entrada
    set_tris_e(0xFF);          //PE0, PE1 e PE2 como entrada
    output_b(0x00);
    output_c(0xE0);
```

```
//*****
//      Habilita interrupção de tempo no INT0
//*****
```

```
    setup_timer_0 (RTCC_INTERNAL | RTCC_DIV_256 | RTCC_8_bit); // Define a taxa do
Prescaler para 18F4550
    set_timer0(109);           // Define o valor inicial do TMR0
    enable_interrupts (global | int_timer0); // Habilita a interrupção
```

```
// Funções Preparatórias para ler o canal ADC
```

```
    setup_adc_ports(AN0_TO_AN4); // AN0 até AN4 definidos no arquivo 18F4550.h
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
```

```
//*****
//      Habilita PWM via TIMER 2
//*****
```

```
//definindo CCP (PWM)
```

```
    setup_ccp1(CCP_PWM);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1, 255,1);
```

```
// Inicializa Display e faz Saudação
```

```
    lcd_init(); // Inicializa LCD
```



```

byte_ascii(Valor_ADC,5,2); // Escreve no display o valor analógico
lido
byte_ascii(Set_point,14,2); // Escreve no display o valor da posição
vindo pela USB

delay_ms(50);

//-----
// Rotina para enviar e receber dados do Datalogger PIC USB
//-----

// Este trecho envia o conteúdo da variável Valor_ADC0 para a USB. Lembrar que devem ser
// enviados
// sempre dois bytes.

foi reconhecida pelo PC          if (usb_enumerated())                // Testa se USB
{
    MSB = 00;
    printf(usb_cdc_putc,"%2X", MSB); // Envia em formato
    HEX / ASCII para USB
    LSB = Valor_ADC&0xFF;           // Extrai o
    LSB da variável int k
    printf(usb_cdc_putc,"%2X", LSB); // Envia em formato
    HEX / ASCII para USB
}

//-----
// Este trecho recebe dois bytes do Datalogger.
//-----

dados vindo da USB          if (usb_cdc_kbhit())                // Testa se há
{
    c = (usb_cdc_getc());        // Lê o caracter
do buffer da USB
    if(c < 0x40)                //
    {
        c = c - 0x30;
    }
    else
    {
        c = c - 0x37;
    }
    c = c << 4;
}

if (usb_cdc_kbhit())        // Testa se há dados vindo da USB
{
    b = (usb_cdc_getc());     // Lê p caracter ASCII
    if(b < 0x40)
    {
        b = b - 0x30;
    }
}

```

```
        else
        {
            b = b - 0x37;
        }
    }

    Set_point = b | c;

// Atualiza o valor da saída PWM

    Aux_PWM = Erro_disp*30;
    Aux_PWM = Aux_PWM*4;
    set_pwm1_duty(Aux_PWM);

    if((input(pin_e0)) == 0)
    {
        output_high(pin_b5);
    }
    if((input(pin_e1)) == 0)
    {
        output_low(pin_b5);
    }

}

}
```