

Motores Térmicos

8° Semestre

4° ano

21. Sistema de Ignição - Tópicos

- ▶ Introdução
- ▶ Componentes Básicos
- ▶ Bobine De Ignição
- ▶ Condensador
- ▶ Distribuidor
- ▶ Rotor
- ▶ Platinado
- ▶ Vela De Ignição
- ▶ Desvantagens Do Sistema De Ignição Convencional
- ▶ Sistema De Ignição Electrónico
- ▶ Vantagens Do Sistema De Ignição Electrónico

21. Sistema de Ignição

“O propósito do sistema de ignição é gerar uma faísca eléctrica de alta energia na câmara de combustão no instante preciso, garantindo o início da combustão de forma eficiente, segura e controlada.”

21.1 Introdução

Num motor (ciclo Otto) com sistema de ignição convencional, a vela necessita de uma tensão (voltagem) que está entre 8 000 e 20 000 volts, para que seja produzida a faísca.

Essa tensão depende de vários factores, tais como:

- ▶ Desgaste das velas (abertura dos eléctrodos);
- ▶ Resistência dos cabos de ignição;
- ▶ Distância entre a saída de alta tensão do rotor e os terminais da tampa do distribuidor;
- ▶ Resistência do rotor;
- ▶ Ponto de ignição;
- ▶ Compressão dos cilindros;
- ▶ Mistura ar/combustível;
- ▶ Temperatura.

21.2 Componentes Básicos

Os componentes básicos do sistema de ignição são:

Bateria – que fornece energia eléctrica;

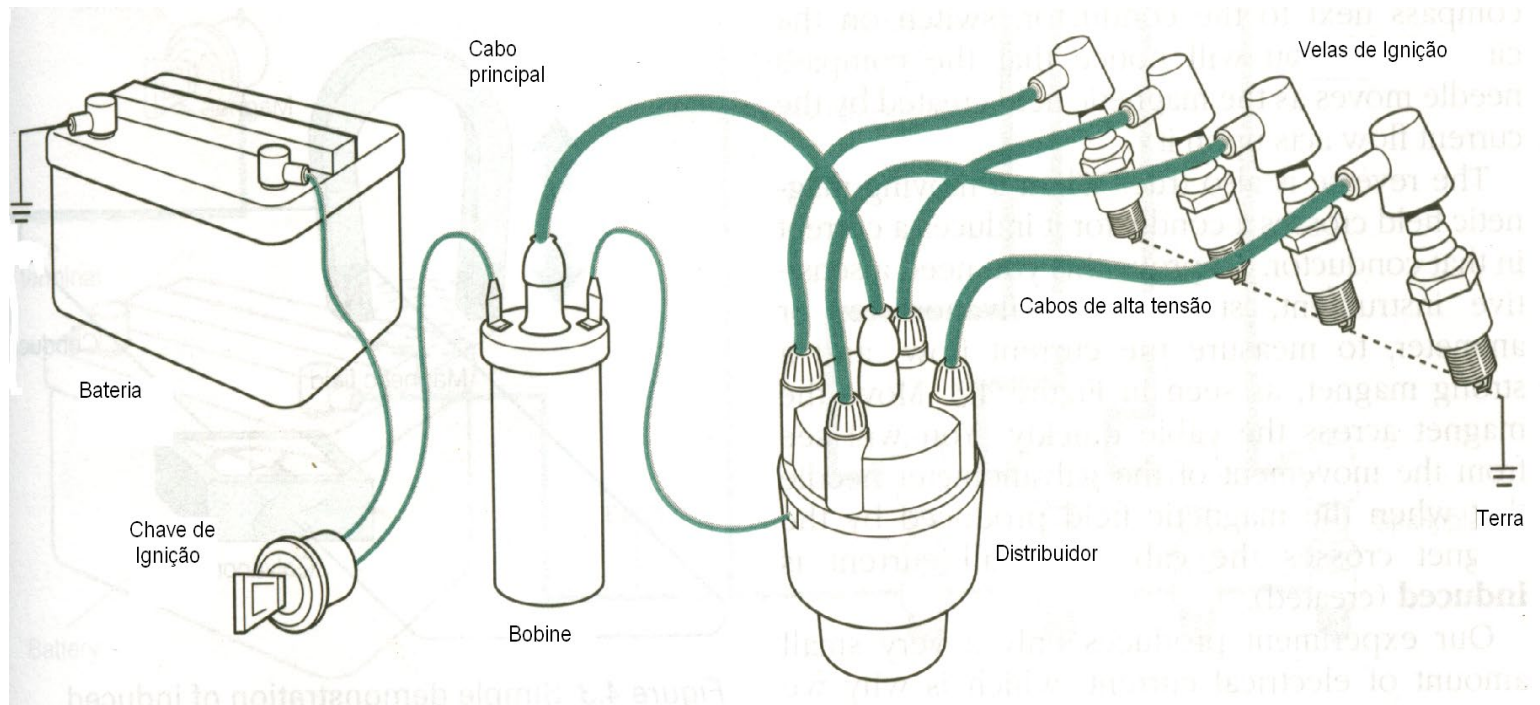
Interruptor – que liga e desliga o sistema;

Bobina de ignição – que transforma a energia de baixa tensão, da bateria, em energia de alta tensão;

Distribuidor – que distribui a energia de alta tensão por cada vela de ignição;

Velas de ignição – colocadas em cada câmara de combustão para fornecer a faísca.

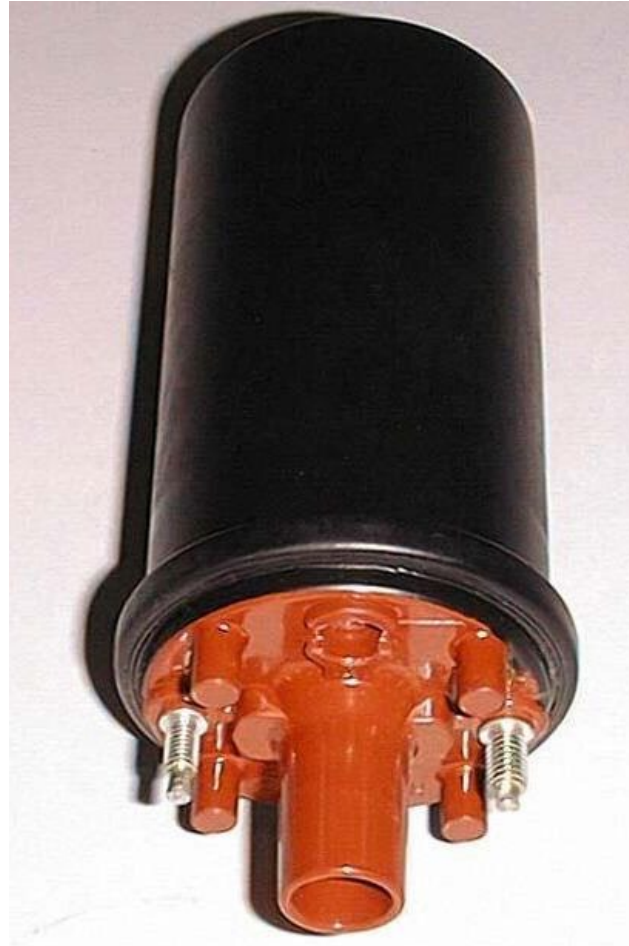
21.2 Componentes Básicos



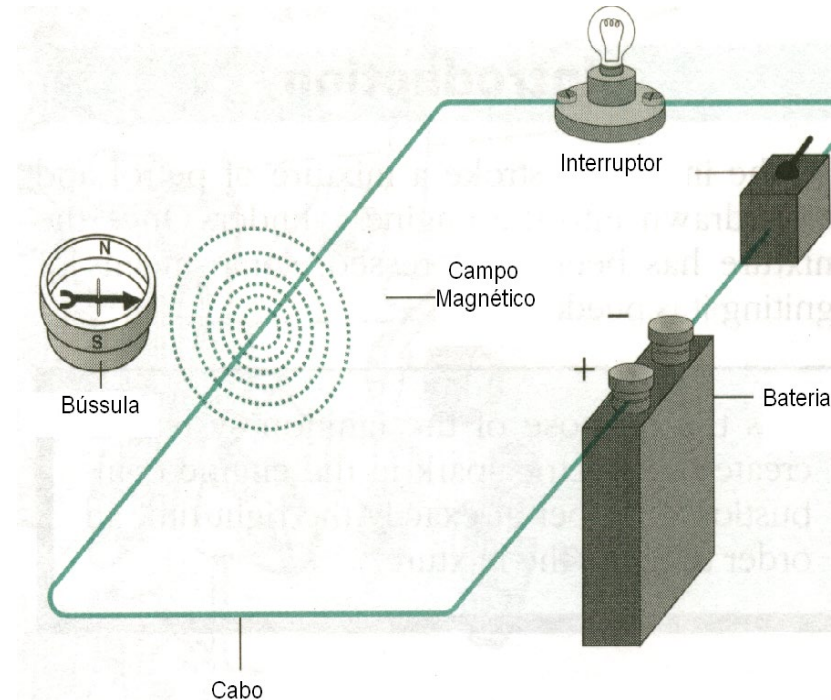
21.3 Bobine de Ignição

A Bobine de Ignição é construída em carcaça metálica, possui no seu interior um núcleo de ferro laminado e dois enrolamentos, que são chamados de **primário** e **secundário**. O enrolamento primário possui aproximadamente 350 espiras (voltas de fio) mais grossas que do secundário, e está conectado aos terminais positivo e negativo (bornes 15 e 1). O enrolamento secundário, com aproximadamente 20 000 espiras (fio mais fino), tem uma extremidade conectada à saída de alta tensão (borne 4) e a outra extremidade internamente conectada ao enrolamento primário.

21.3 Bobine de Ignição

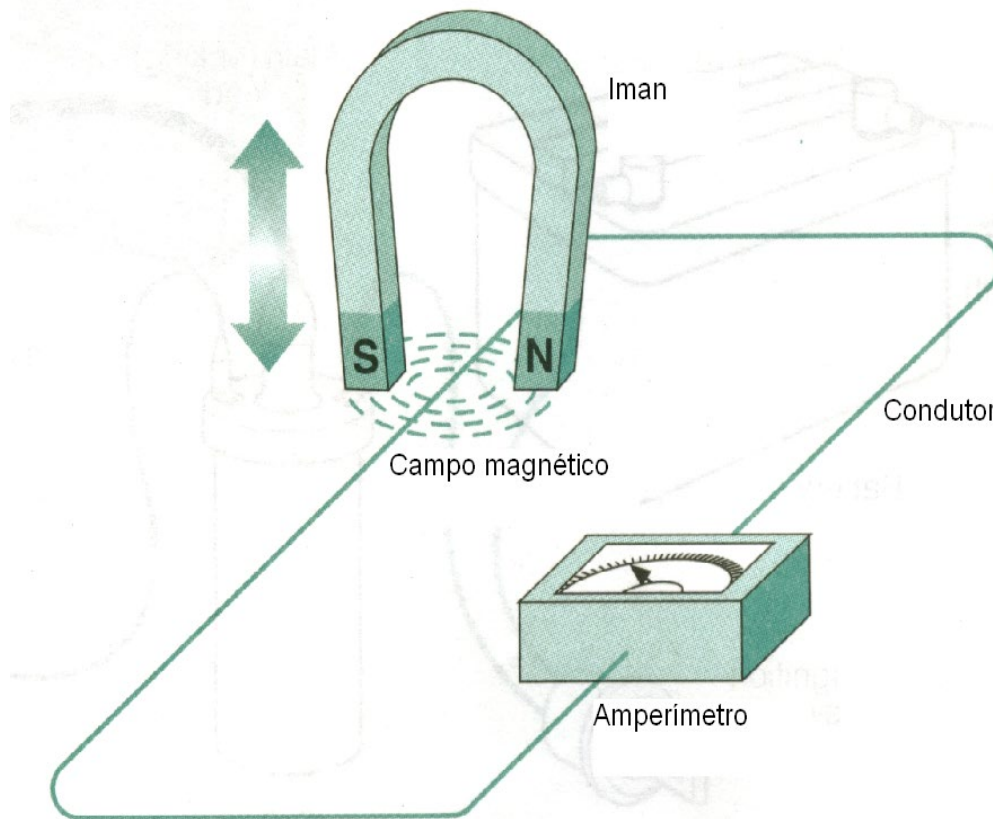


21.3.1 Campo Magnético



Quando a corrente eléctrica passa por um condutor, produz um campo magnético em torno dele. Esta é a Lei de Ampère, desenvolvida por André-Marie Ampère (1775–1836).

21.3.1 Campo Magnético



A Lei de Faraday da Indução

Eletromagnética afirma que toda vez que o fluxo magnético através de um circuito varia, surge nele uma força eletromotriz (fem) induzida.

Michael Faraday (1791–1867)

21.3.2 Leis fundamentais

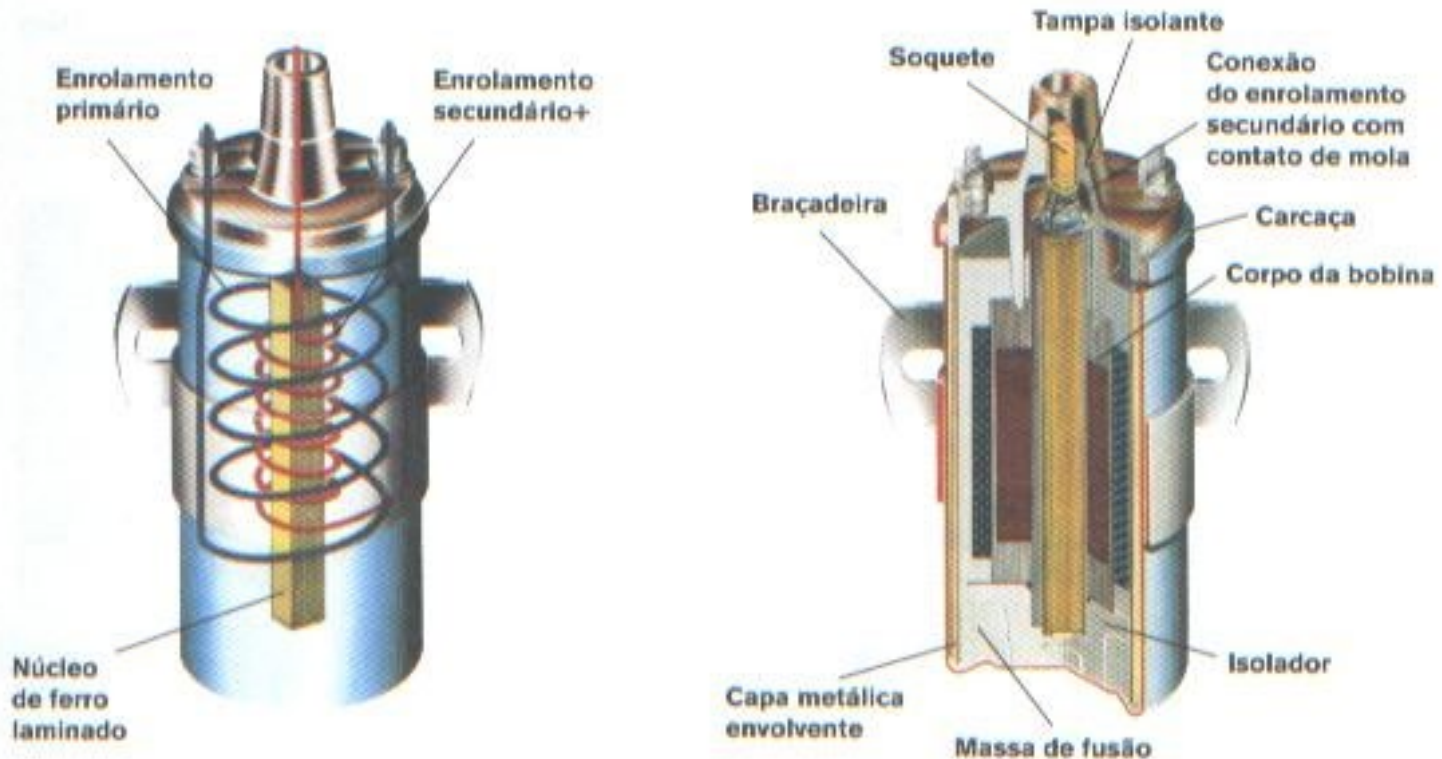
Fenómeno	Lei Física
A corrente eléctrica cria um campo magnético em torno do condutor	Lei de Ampère
A variação do campo magnético induz uma tensão eléctrica	Lei da Indução Electromagnética de Faraday
O sentido da tensão induzida opõe-se à variação do fluxo magnético	Lei de Lenz
A força magnética actua sobre cargas eléctricas em movimento	Lei de Lorentz

21.3.3 Circuitos Primário e Secundário

O propósito do circuito primário é o de criar e cortar o campo magnético concentrado.

O propósito do circuito secundário é o de fornecer alta tensão, suficiente para fazer a faísca “saltar” entre os eléctrodos das velas.

21.3.3 Circuitos Primário e Secundário



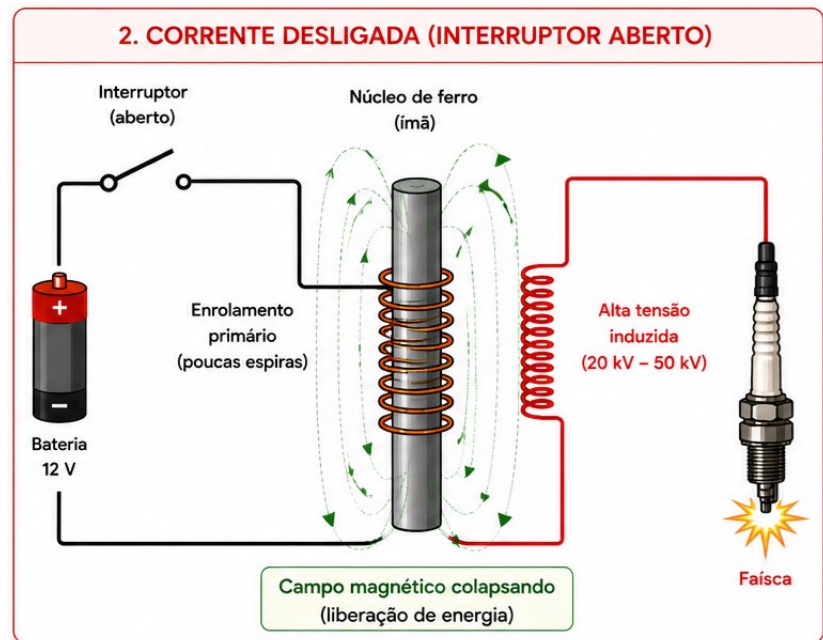
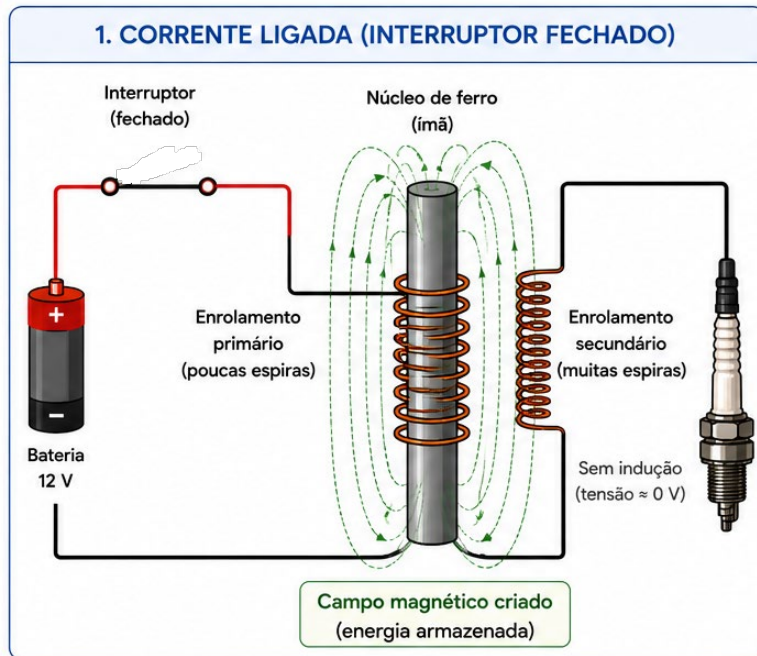
21.3.4 A Lei de Faraday da Indução Eletromagnética

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

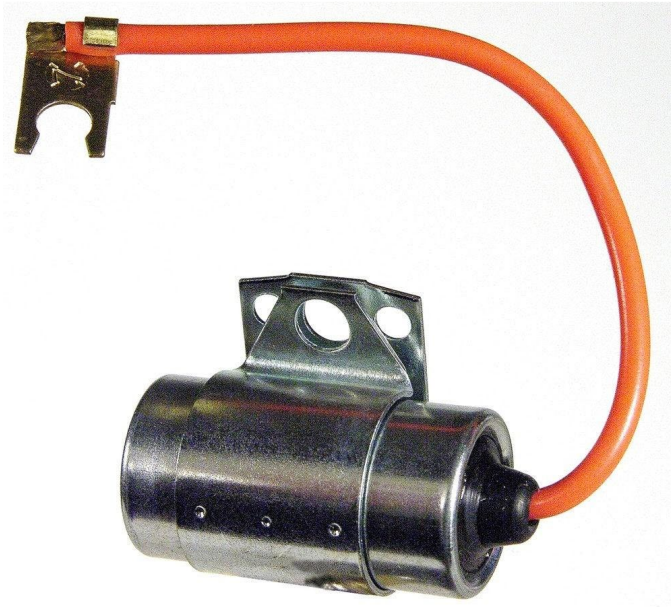
Onde:

- ε = tensão induzida (V)
- N = número de espiras da bobina
- Φ = fluxo magnético (Wb)
- $\frac{d\Phi}{dt}$ = variação do fluxo magnético no tempo
- sinal (-) \rightarrow Lei de Lenz (a tensão induzida opõe-se à variação que a produziu)

21.3.4 A Lei de Faraday da Indução Eletromagnética



21.4 O Condensador



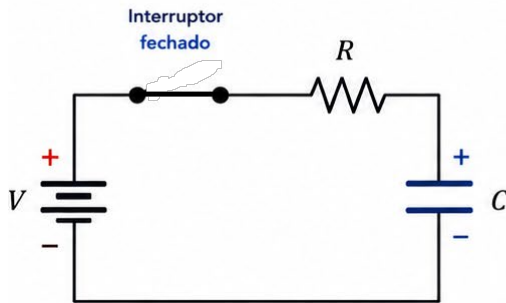
O intento do condensador que é incorporado no sistema de ignição é o de:

- ▶ Reduzir o arco no platinado quando este abre;
- ▶ Fazer com que ao abrir-se o platinado, haja um colapso imediato da corrente no sistema, o que provoca uma alta tensão no circuito secundário.

21.4 O Condensador

Ao fechar o interruptor, o condensador começa a carregar através da resistência R.

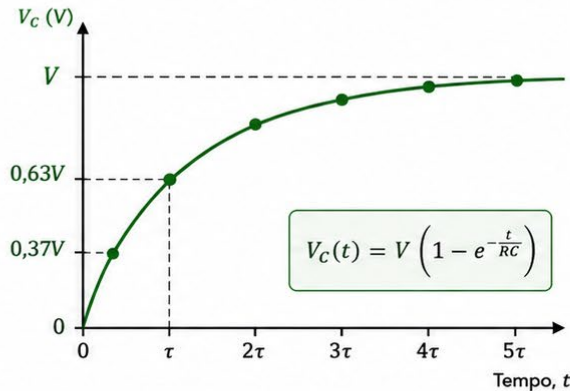
1. ESQUEMA DO CIRCUITO (CARGA)



Funcionamento:

A corrente da bateria passa por R e carrega o condensador. A tensão no condensador aumenta gradualmente até atingir V. A corrente diminui até zero.

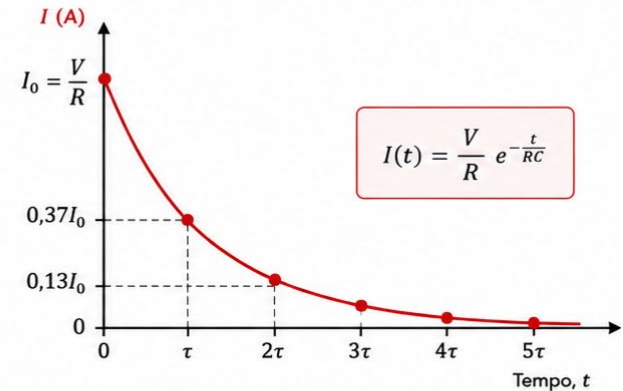
2. TENSÃO NO CONDENSADOR $V_C(t)$



Valores importantes da tensão:					
Tempo	τ	2τ	3τ	4τ	5τ
$V_C(t)$	0,63 V	0,86 V	0,95 V	0,98 V	0,99 V

Após cerca de 5τ o condensador está praticamente carregado ($V_C \approx V$).

3. CORRENTE NO CIRCUITO $I(t)$



Valores importantes da corrente:					
Tempo	τ	2τ	3τ	4τ	5τ
$I(t)$	$0,37 I_0$	$0,13 I_0$	$0,05 I_0$	$0,02 I_0$	$0,01 I_0$

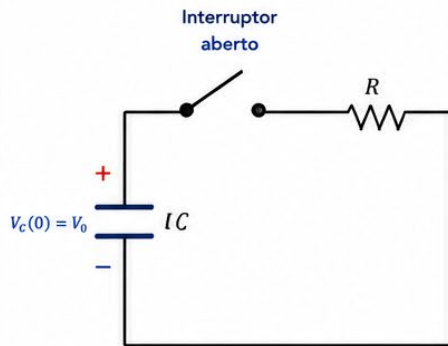
A corrente diminui exponencialmente até zero.

Legenda: V = tensão da bateria (volt) R = resistência (ohm) C = capacitância (farad) τ = constante de tempo ($\tau = RC$) I_0 = corrente inicial ($\frac{V}{R}$)

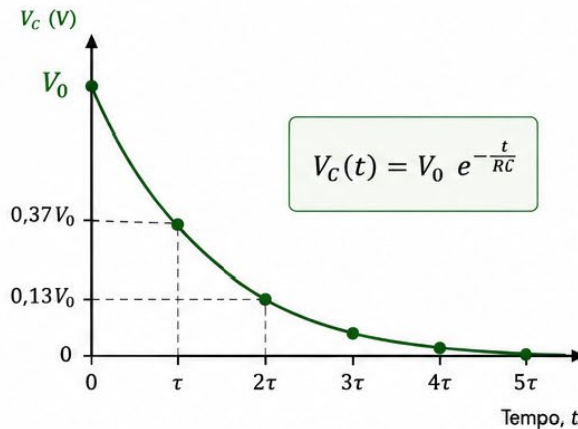
21.4 O Condensador

Ao abrir o interruptor, o condensador descarrega através da resistência R .

1. ESQUEMA DO CIRCUITO (DESCARGA)



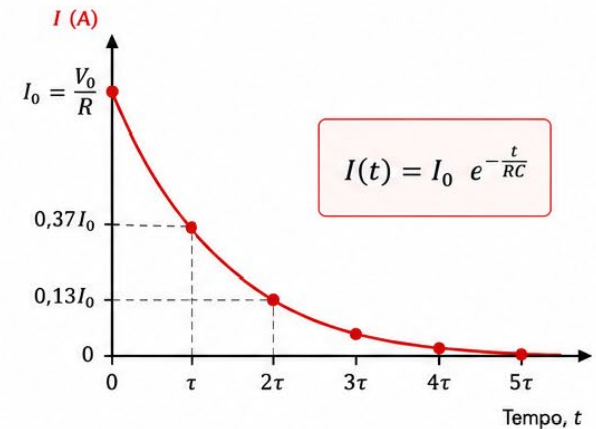
2. TENSÃO NO CONDENSADOR $V_C(t)$



Valores importantes da tensão:						
Tempo	0	τ	2τ	3τ	4τ	5τ
$V_C(t)$	V_0	$0,37 V_0$	$0,13 V_0$	$0,05 V_0$	$0,02 V_0$	$0,01 V_0$

Após cerca de 5τ , o condensador está praticamente descarregado ($V_C \approx 0$).

3. CORRENTE NO CIRCUITO $I(t)$



Valores importantes da corrente:						
Tempo	0	τ	2τ	3τ	4τ	5τ
$I(t)$	I_0	$0,37 I_0$	$0,13 I_0$	$0,05 I_0$	$0,02 I_0$	$0,01 I_0$

A corrente diminui exponencialmente até zero.

Funcionamento:

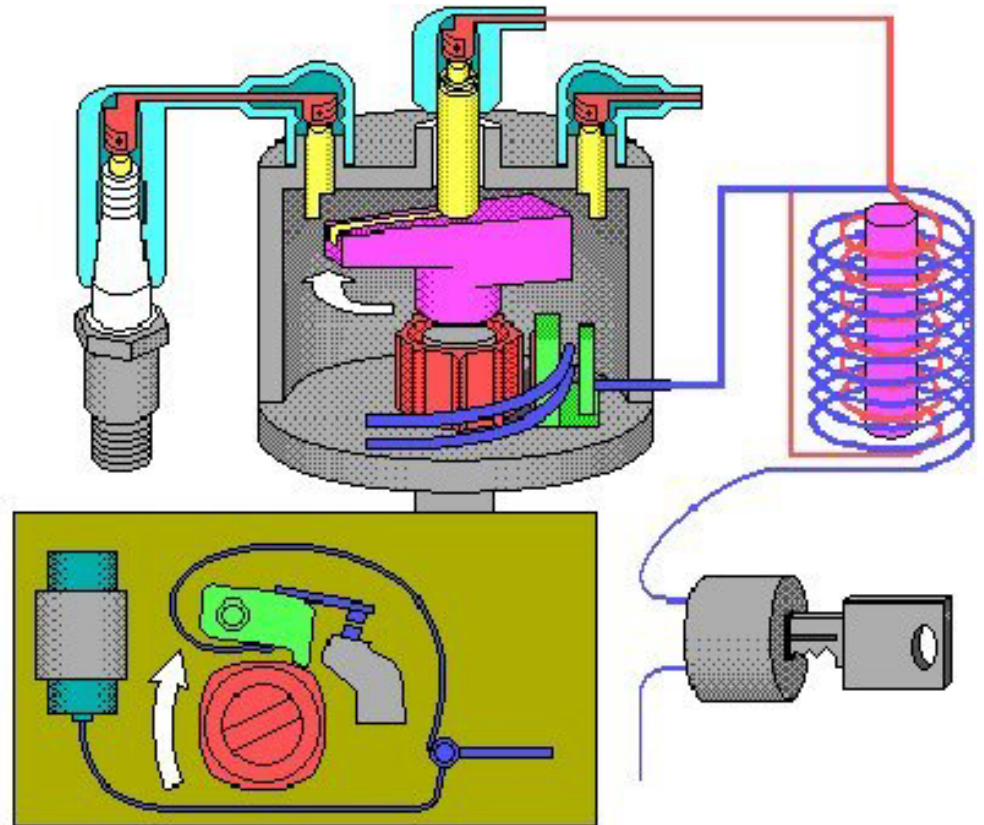
O condensador, inicialmente carregado com tensão V_0 , descarrega através da resistência R . A tensão no condensador diminui gradualmente até zero. A corrente circula no sentido que mantém a descarga.

Legenda:

V_0 = tensão inicial no condensador (volt) R = resistência (ohm) C = capacitância (farad) τ = constante de tempo ($\tau = RC$) I_0 = corrente inicial ($I_0 = \frac{V_0}{R}$)

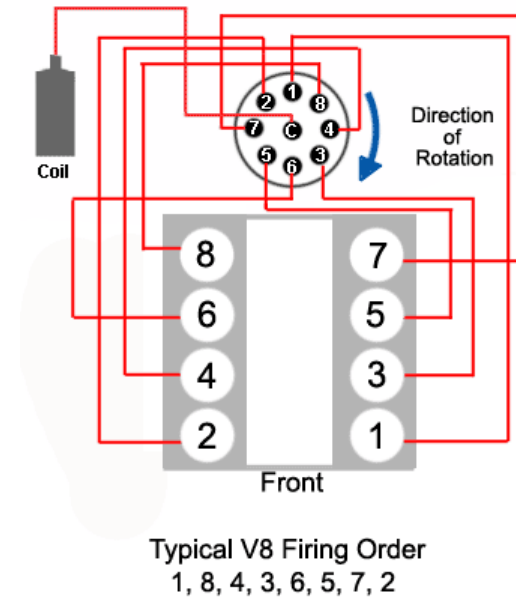
IMPORTANTE: A tensão e a corrente na descarga seguem uma lei exponencial decrescente com a mesma constante de tempo $\tau = RC$.

2.1.5 Distribuidor



O Distribuidor aloja o rotor, o platinado, o condensador e os avanços, e tem como missão distribuir energia eléctrica de alta tensão no momento exacto às velas de ignição.

21.6 Rotor do Distribuidor

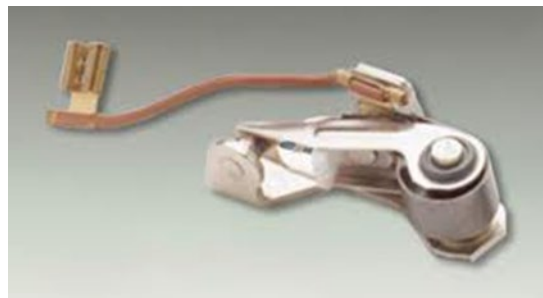


O Rotor do Distribuidor transfere a tensão proveniente do terminal central da tampa do distribuidor (proveniente da bobine) para os terminais laterais da tampa (ligados às velas de ignição).

21.7 O Platinado

O platinado ou conjunto rotor é um dispositivo do sistema de ignição que tem como finalidade, auxiliar o sistema a produzir faísca de alta tensão, necessária para a combustão da mistura ar-combustível.

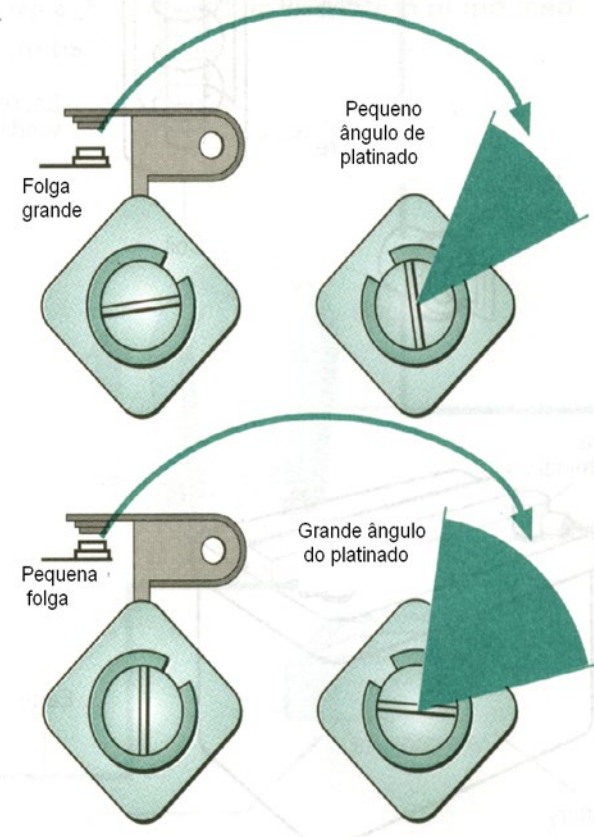
Fica localizado no interior do distribuidor e age no sistema como um interruptor, que liga e desliga um circuito eléctrico. Quando o platinado está com seus contactos fechados, a bobina de ignição terá seu enrolamento primário energizado, formando na mesma um campo electromagnético. Quando ocorre a abertura dos contactos, esse campo é desfeito e nesse momento, ocorre uma indução electromagnética no enrolamento secundário.



21.7 O Platinado

Quando a folga do platinado é muito pequena, a bobina não tem tempo suficiente para magnetizar-se.

Quando a folga do platinado é muito grande, à velocidades reduzidas, a bobina fica saturada, o que provoca sobrecargas no condensador e danos no platinado.



21.7.1 Avanços Centrífugo e a Vácuo

Quando o motor funciona, o tempo de ignição varia com a velocidade deste, mas o tempo que a mistura tem para a sua combustão mantém-se inalterado.

Para se obter a ignição no ponto correcto utilizam-se dois dispositivos para variar o tempo de ignição:

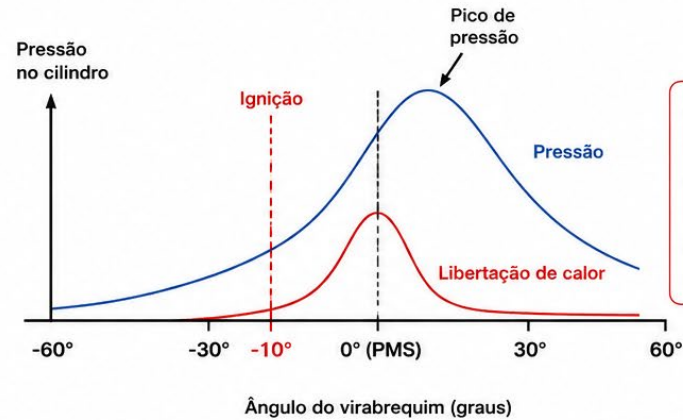
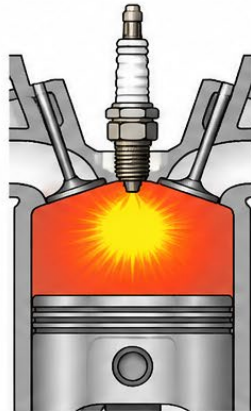
- ▶ Avanço centrífugo – que progressivamente varia o tempo da ignição em função da velocidade do motor;
- ▶ Avanço de vácuo – que avança o tempo de ignição quando motor está em cargas parciais.

21.7.1 Avanços Centrífugo e a Vácuo

IGNIÇÃO EM PLENA CARGA (ALTA CARGA)

Condições:

- Borboleta muito aberta
- Muito ar e combustível
- Alta pressão e temperatura
- Combustão mais rápida

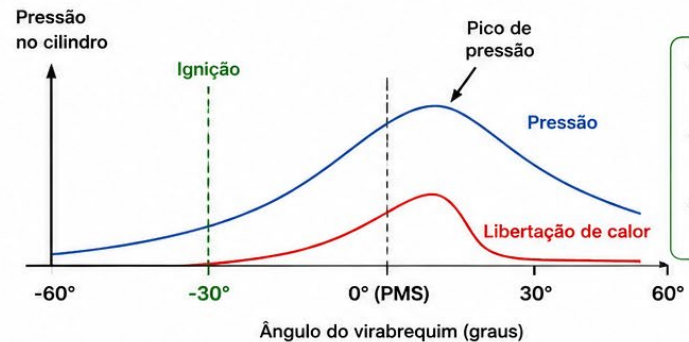
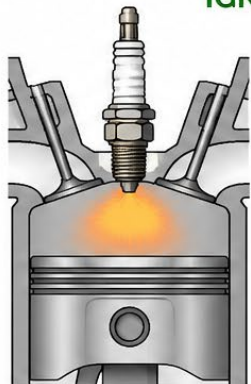


- Ignição MAIS ATRASADA (menos avanço)
- Combustão muito rápida devido à alta carga
- Pico de pressão ocorre pouco depois do PMS

IGNIÇÃO EM CARGA PARCIAL (BAIXA CARGA)

Condições:

- Borboleta pouco aberta
- Menos ar e combustível
- Baixa pressão e temperatura
- Combustão mais lenta



- Ignição MAIS ADIANTADA (mais avanço)
- Combustão mais lenta devido à baixa carga
- Pico de pressão ocorre pouco depois do PMS

PMS = Ponto Morto Superior

--- Momento da ignição

— Liberação de calor (combustão)

— Pressão no cilindro

21.7.1 Avanços Centrífugo e a Vácuo

A ignição deve ocorrer de forma que a pressão máxima no cilindro aconteça logo após o PMS.

Se a combustão ocorrer:

- demasiado cedo → força contra o pistão
- demasiado tarde → perda de potência e eficiência

A carga altera:

- pressão;
- temperatura;
- turbulência;
- velocidade de propagação da chama.

Logo, o ponto ideal de ignição também muda.

21.7.1 Avanço Centrífugo

O **avanço centrífugo** é um sistema mecânico utilizado nos distribuidores de ignição mais antigos para **aumentar automaticamente o avanço da ignição à medida que a rotação do motor aumenta.**

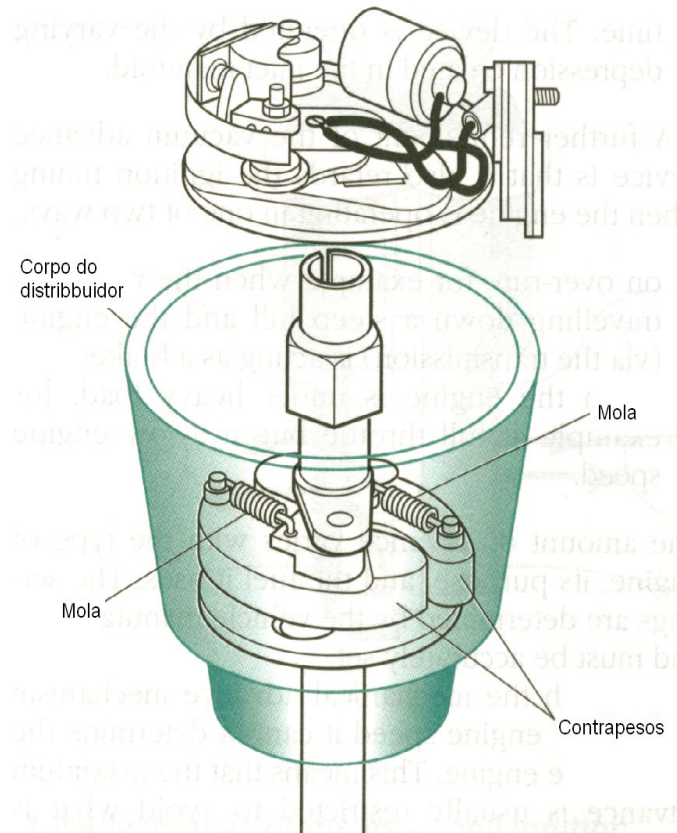
Ele é chamado “centrífugo” porque funciona por meio da força centrífuga gerada pela rotação em torno do eixo do distribuidor.

Quando a rotação do motor aumenta:

- ▶ O pistão move-se mais rapidamente;
- ▶ O tempo disponível para a combustão diminui;
- ▶ Mas a chama não se propaga instantaneamente.

21.7.1 Avanço Centrífugo

Um sistema de dois pesos contrapostos - montados dentro do distribuidor - gira conforme a rotação do motor e quanto mais rápido o giro mais antecipado fica o "ponto" de ignição.



21.7.1 Avanço a Vácuo

Em carga parcial:

- A combustão é lenta;
- Sem avanço adicional, parte da energia seria desperdiçada.

Ao adiantar a ignição:

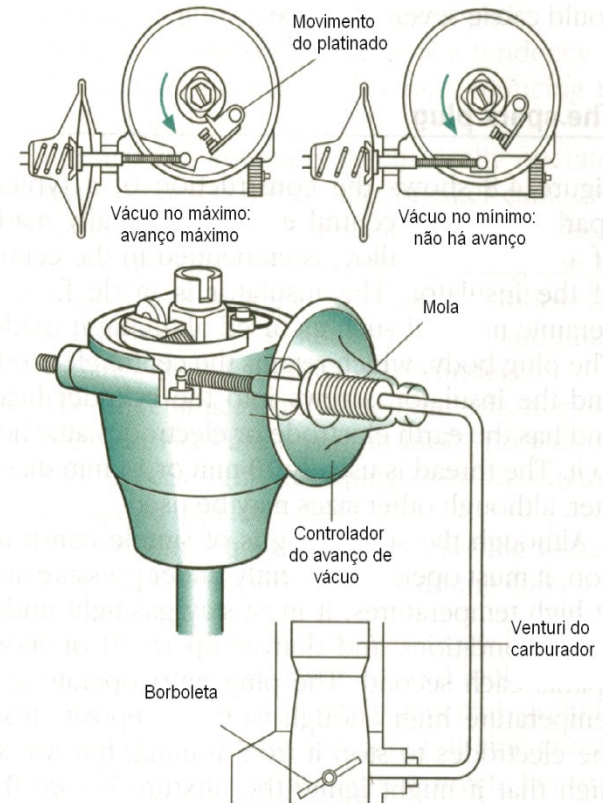
- A pressão máxima ocorre no instante ideal;
- O motor extrai mais trabalho da combustão.

Consequências:

- menor consumo;
- menor temperatura dos gases;
- Melhor eficiência.

21.7.1 Avanço a Vácuo

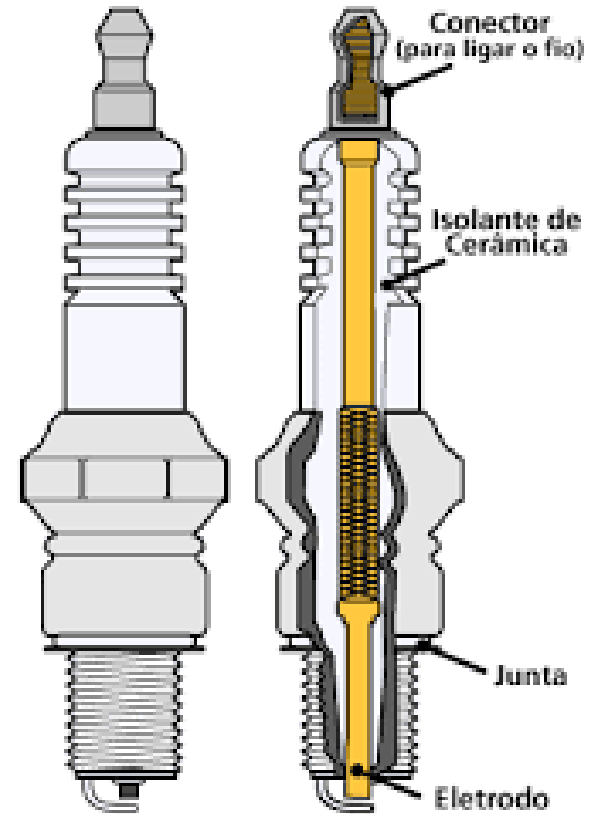
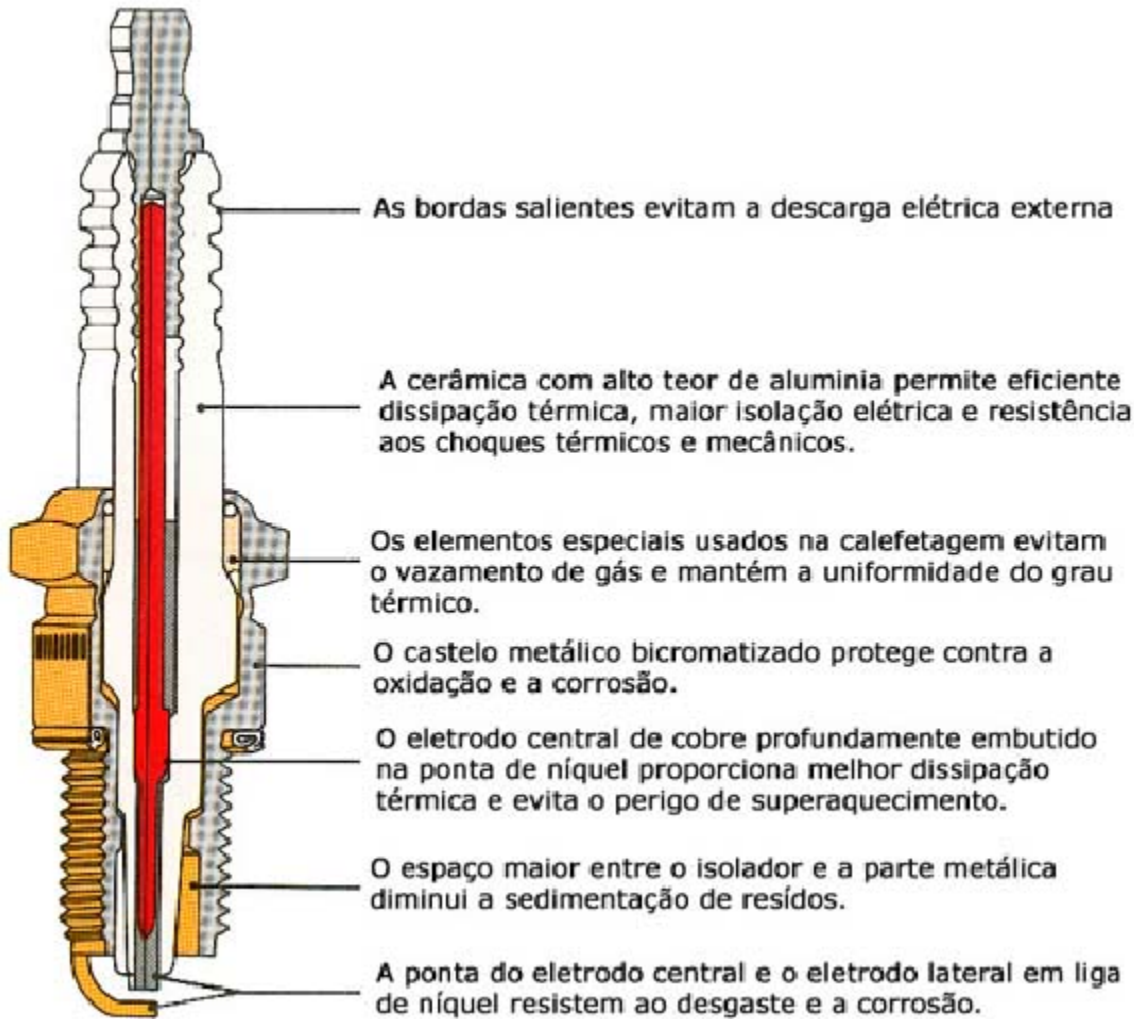
O platinado é fixado num “prato” giratório dentro do distribuidor e este prato gira um pouco para frente e um pouco para trás fazendo o “ponto” de ignição ser adiantado ou atrasado.



21.8 Vela de Ignição

As velas utilizam um inserto cerâmico para isolar a alta tensão no eléctrodo, assegurando que a faísca ocorra na ponta do eléctrodo e não em outro lugar da mesma. Esse inserto ajuda também a queimar os depósitos. A cerâmica não é boa condutora de calor, de modo que o material fica muito quente durante a operação. Este calor ajuda a queimar os depósitos no eléctrodo.

21.8 Vela de Ignição



21.8.1 Velas Quentes e Frias

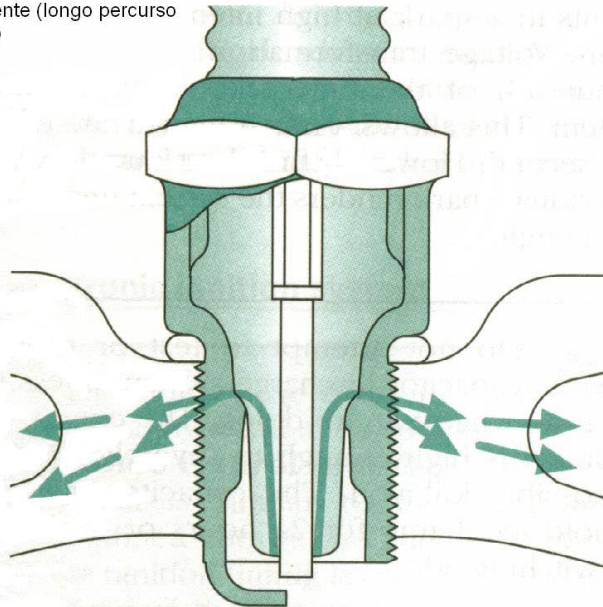
Alguns motores necessitam de uma vela quente. Esse tipo de vela é projectado com um inserto cerâmico que possui uma área de contacto ainda menor com a parte metálica da vela. Isto reduz a transferência de calor da cerâmica, fazendo-a funcionar ainda mais quente e queimar ainda mais os depósitos. As velas frias são projectadas com uma área de contacto maior e, portanto, funcionam mais frias.

21.8.1 Velas Quentes e Frias

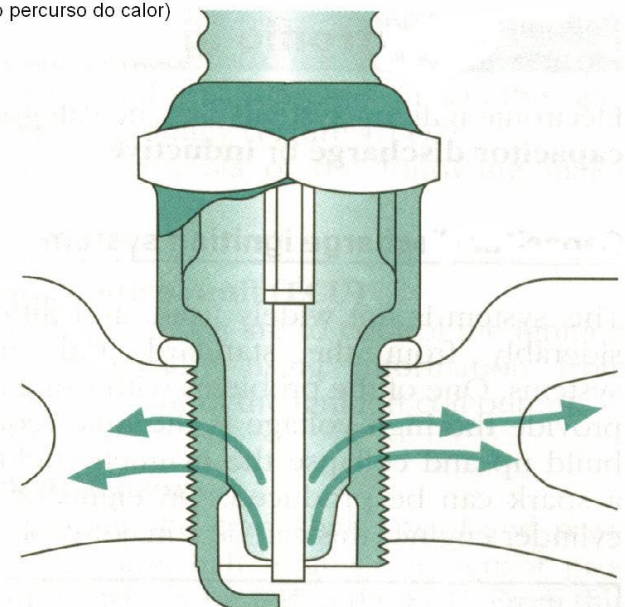
Velas quentes – que retêm grande quantidade de calor e usam-se em motores que funcionam à temperaturas baixas.

Velas frias – que dissipam grande quantidade de calor e usam-se em motores que funcionam à temperaturas altas.

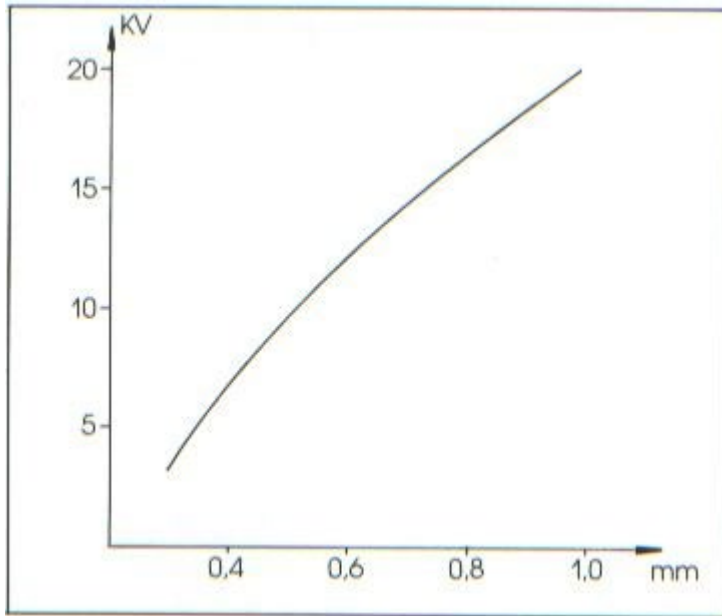
Vela quente (longo percurso do calor)



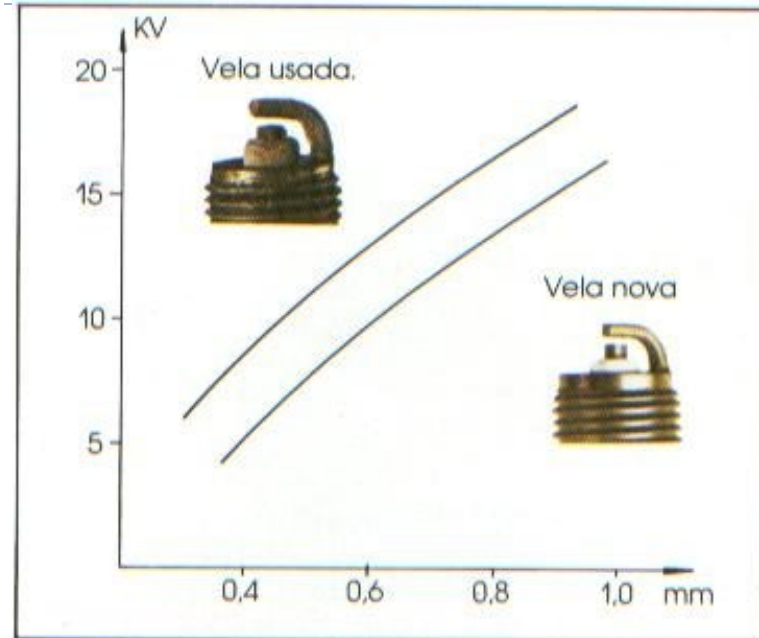
Vela fria (curto percurso do calor)



21.8.2 Tensão necessária nas Velas

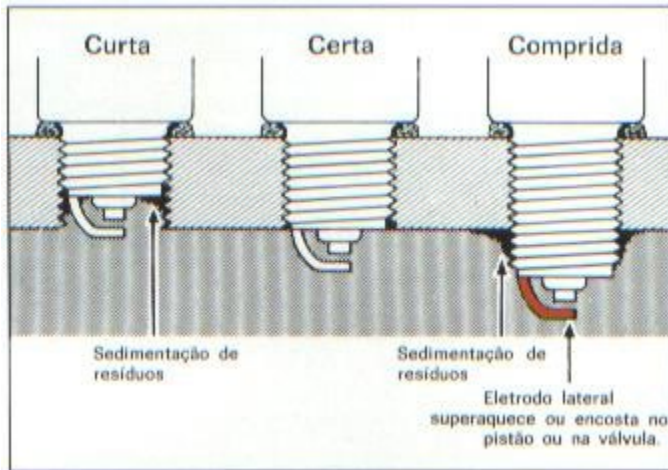


A tensão necessária para o surgimento da faísca cresce proporcionalmente ao aumento da folga dos eléctrodos.

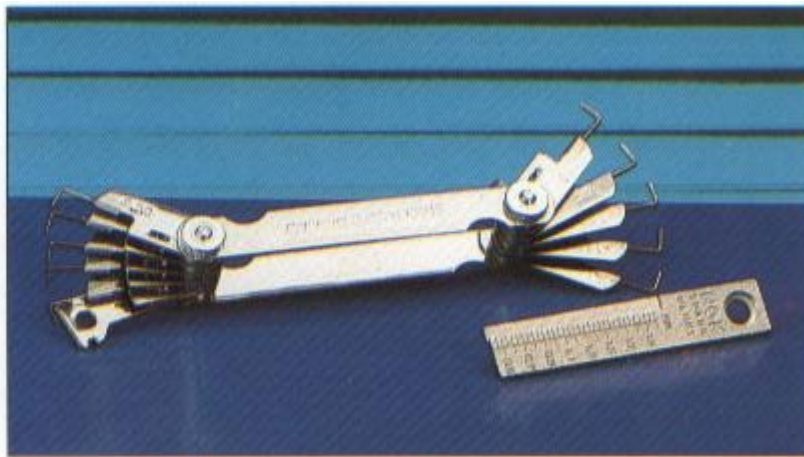


A tensão necessária para a ocorrência da faísca aumenta proporcionalmente ao aumento do desgaste dos eléctrodos.

21.8.3 Ajuste e montagem das Velas



A escolha da vela de ignição deve ser feita de acordo com o comprimento da rosca da cabeça do motor e deve seguir-se sempre as especificações do motor.



A folga dos eletrodos da vela deve ser ajustada de acordo com o manual do fabricante do motor.

21.9 Desvantagens dos sistemas de ignição convencionais

Os sistemas de ignição convencionais têm as seguintes desvantagens:

- ▶ Com o tempo os platinados desgastam-se o que provoca variação do ponto e tempo de ignição;
- ▶ A grandes velocidades existe a tendência de haver um salto no platinado reduzindo a tensão da bobine;
- ▶ Devido ao facto do sistema ser mecânico, há a tendência de se produzirem folgas que provocam a variação da magnitude da faísca de cilindro para cilindro;
- ▶ Os avanços de vácuo e centrífugo por funcionarem mecanicamente podem não cumprir cabalmente as suas obrigações;
- ▶ O sistema precisa de uma manutenção regular de forma a garantir a folga do platinado correcta.

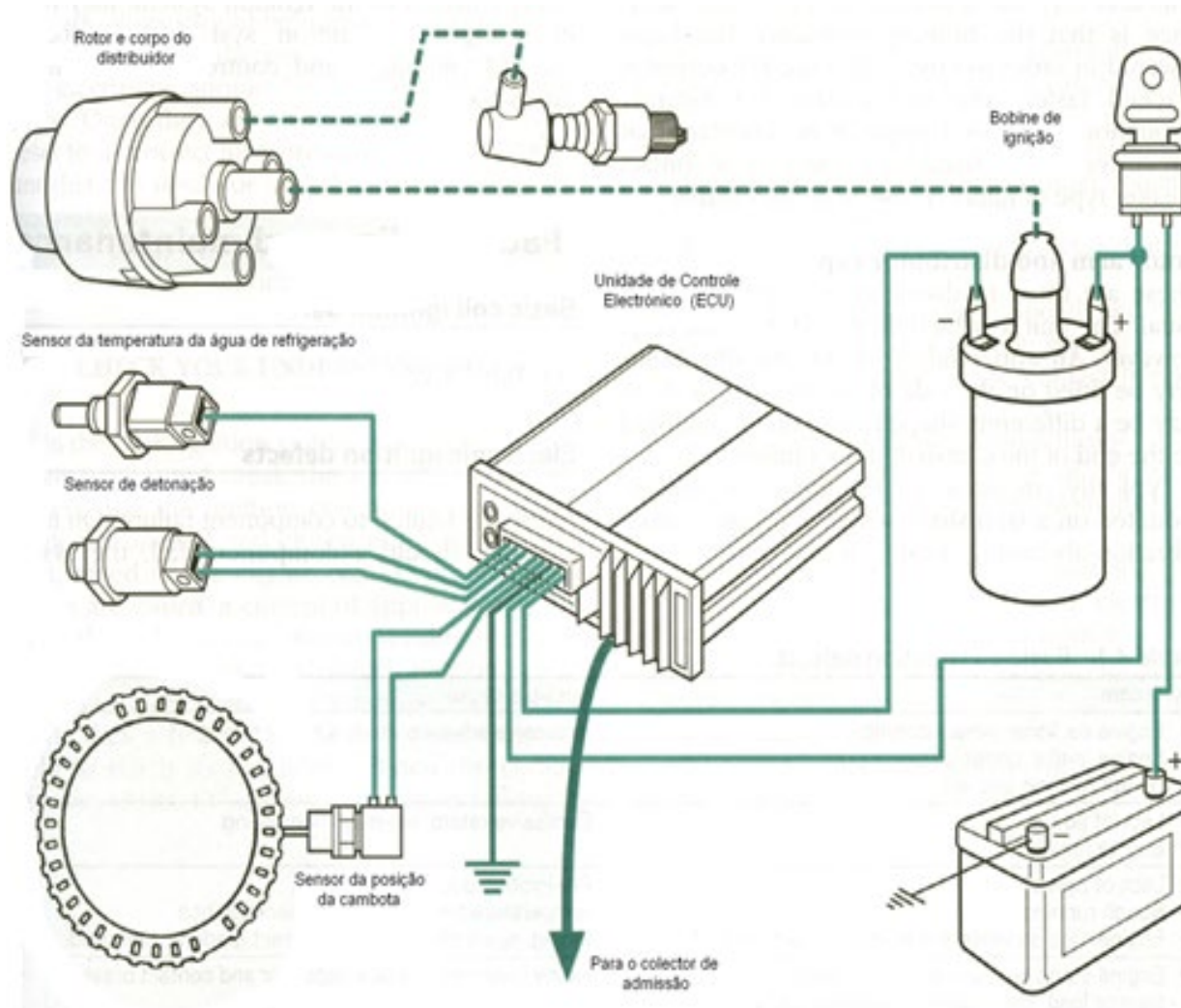
21.10 Sistema de Ignição Electrónico

Este termo Ignição Electrónica, designa os dispositivos de ignição por bateria que utilizam os novos materiais "semicondutores" como meios de comando do circuito primário da bobina. O transístor é o elemento essencial do dispositivo. É completado por díodos, funcionando como elementos de segurança, e por resistências de protecção, limitando a intensidade máxima de corrente ou provocando quedas de tensão intermédias.

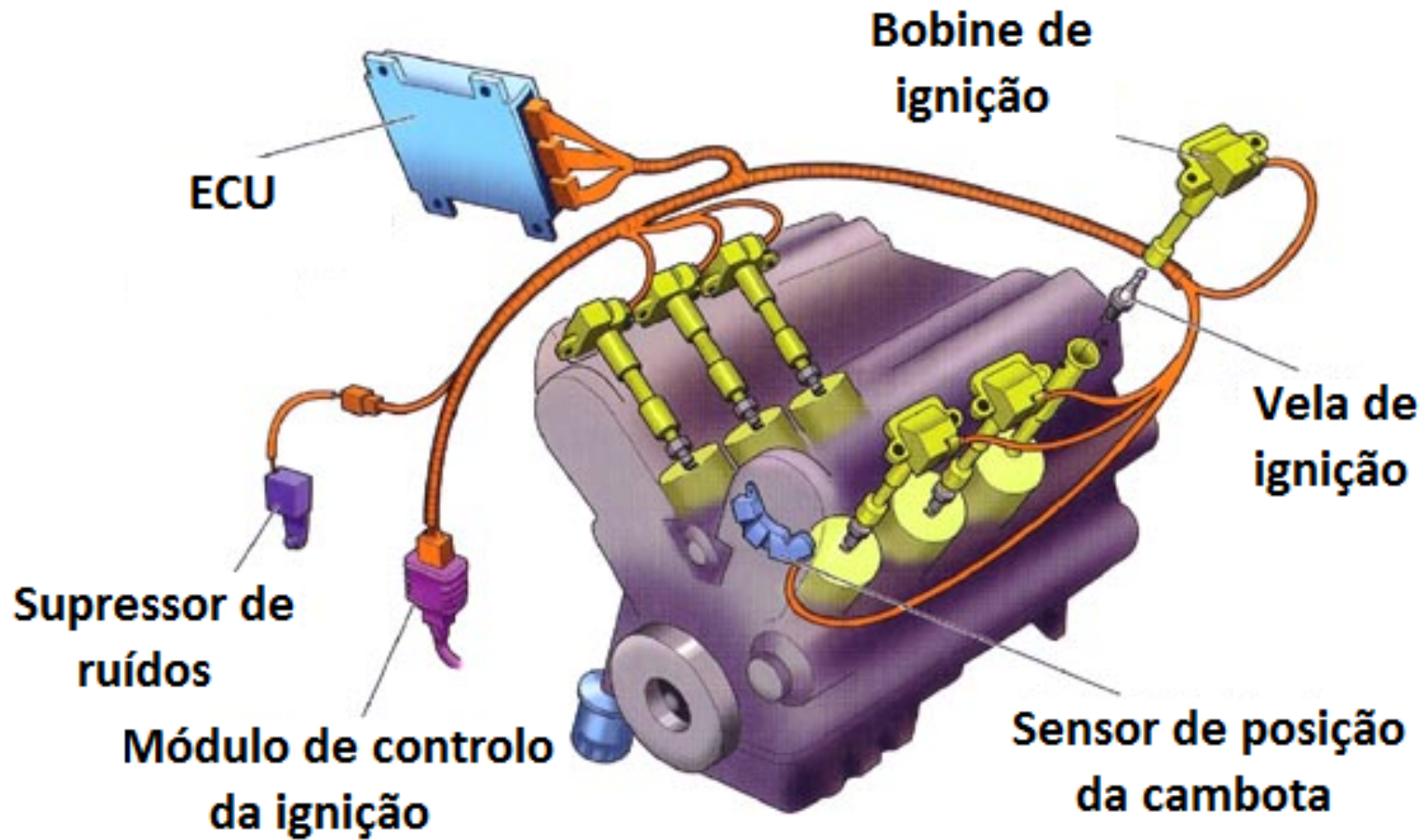
21.10 Sistema de Ignição Electrónico

De modo a fazer-se um controle mais exacto do sistema de ignição, incorpora-se no sistema um microcomputador chamado unidade de controle electrónica (ECU). Esta unidade opera como um computador pré-programado, recebendo informação de vários sensores, interpretando-a e ajustando o tempo de ignição, de acordo com a informação recebida.

21.10 Sistema de Ignição Electrónico



21.10 Sistema de Ignição Electrónico



21.10.1 Unidade eletrônica de controle

As funções principais desta unidade são controlar eletronicamente o tempo de ignição, usando a informação dos sensores e de controlar a tensão de saída da bobine de ignição.



21.10.1 Unidade electrónica de controle

Os tempos de injeção e ângulos de ignição são armazenados na UCE na forma de mapas. Os mapas consistem em tabelas, nas quais, as rotações do motor e a carga estão contempladas nos eixos.

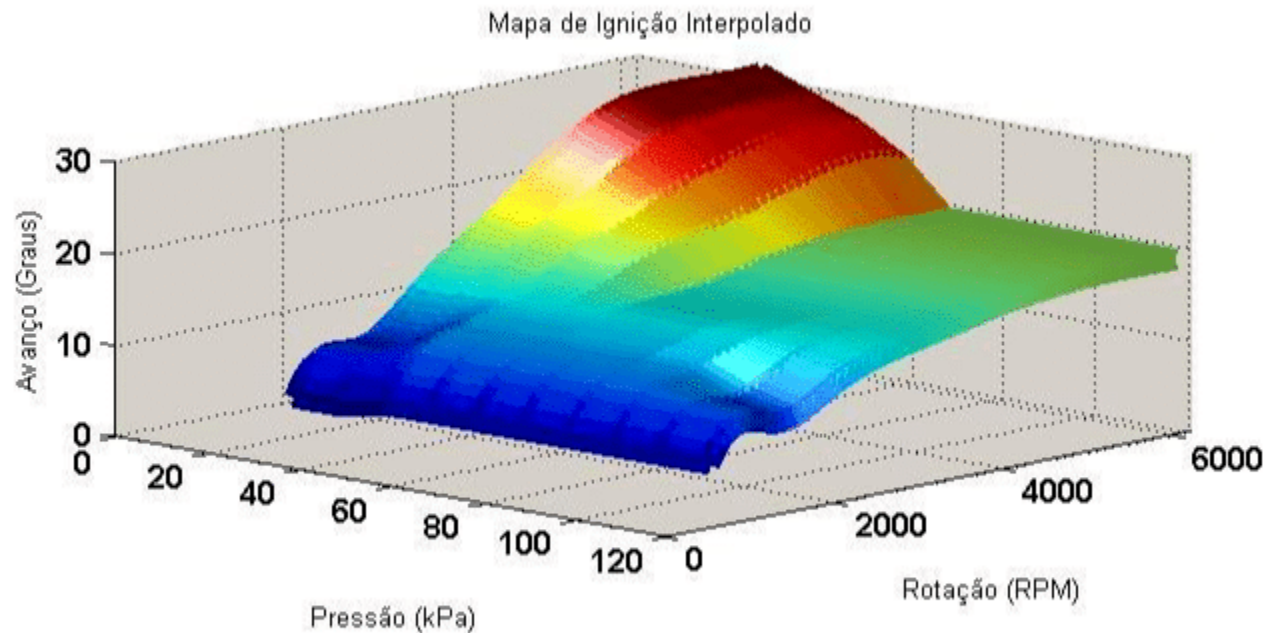
Torna-se assim importante definir o conceito de carga: consiste na real massa de ar que entra no cilindro, dividida pela massa ideal que poderia ser introduzida no mesmo.

21.10.1 Unidade electrónica de controle

A massa ideal, em condições de pressão de 1 bar e a uma temperatura de 0°C corresponde à cilindrada do motor.

No caso do mapa de injeção, serão os tempos de injeção a estar representados na tabela, em função das rotações do motor e da carga. Já no caso do mapa de ignição, será o ângulo de avanço de ignição que será contemplado, em função das rotações do motor e da carga.

21.10.1 Unidade electrónica de controle



21.10.2 Módulo de Controle da Ignição

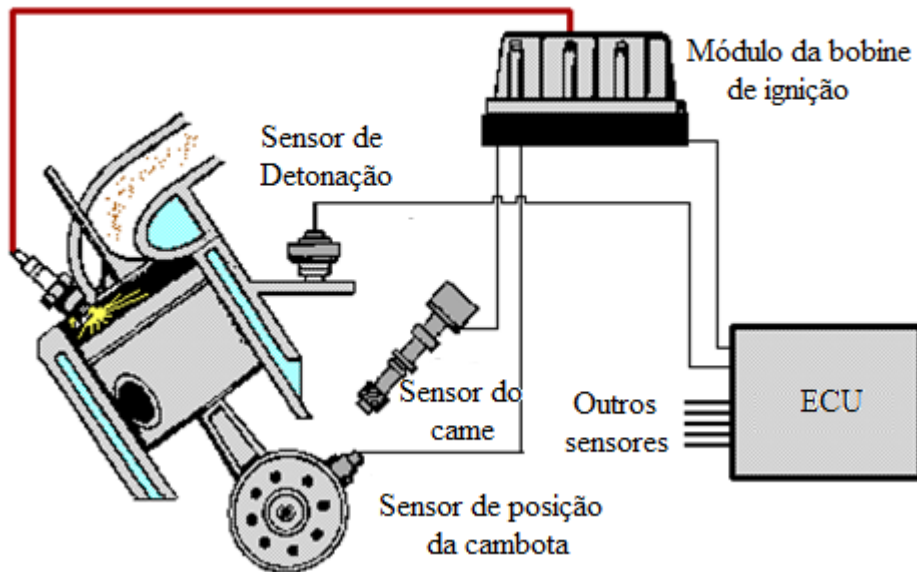
Nos sistemas de ignição mapeada, sejam estes do tipo estático ou convencional (com distribuidor), está sempre presente o módulo de ignição, também denominado estágio final ou de potência. Nele está alojado um transistor de potência, através do qual é controlado o negativo da bobina.

O módulo de ignição permite:

- Corte da corrente primária.
- Limitação da corrente máxima no primário Isto possibilita o projeto de bobinas com resistência primária menor, o que favorece a carga mais rápida, permitindo a diminuição do ângulo de permanência. Uma baixa resistência primária, sem o correspondente controle da corrente máxima, resultaria na circulação de correntes elevadas (superiores a 25 A), capazes de queimar a bobina.

21.10.3 Sensor de posição da cambota

Este sensor fornece ao ECU a posição da cambota e a velocidade de rotação de forma a determinar-se a altura em que os êmbolos estão no PMS e a duração da combustão.



21.10.4 Sensor da temperatura da água

O Sensor da temperatura da água funciona como um resistor variável que varia de acordo com a temperatura. É formado por um termistor do tipo NTC (Coeficiente de Temperatura Negativa/Negative Temperature Coefficient) que diminui o valor da sua resistência aumentando a temperatura, agindo de maneira inversa a que se encontra instalado, portanto quanto maior a temperatura menor a resistência eléctrica.

Este sensor fornece ao ECU a temperatura do motor de forma a adaptar-se a duração da combustão às condições do motor.

21.10.5 Sensor de detonação

No progresso e desenvolvimento dos motores existe um fenómeno que surgiu desde o início e, pelo que tudo indica, estará sempre presente na vida daqueles que com os motores trabalham.

- ▶ Este vilão chama-se detonação, *Knock* em Inglês, ou *Cliquetis* em Francês.
- ▶ Existem várias condições de funcionamento que podem acarretar a aparição de detonações entre elas:
 - ▶ A ignição fora do tempo;
 - ▶ As paredes dos cilindros muito quentes; e
 - ▶ Depósitos incandescentes dentro do cilindro.

21.10.5 Sensor de detonação



21.10.5 Sensor de detonação

A detonação nada mais é do que a auto-inflamação de parte da mistura composta pelos gases “frescos”.

Esta auto-inflamação é praticamente uma explosão que gera:

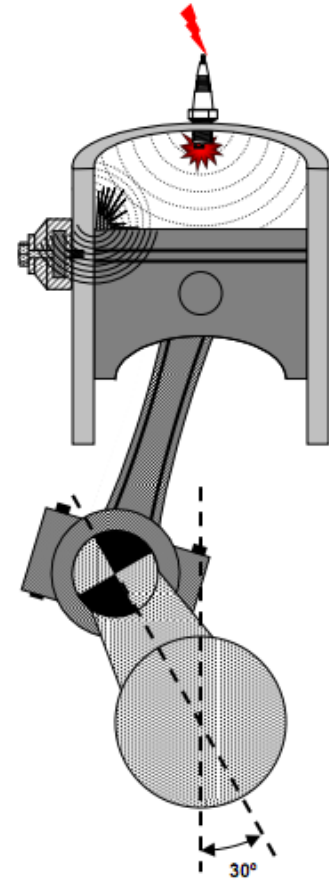
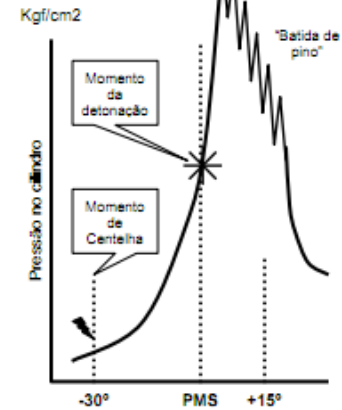
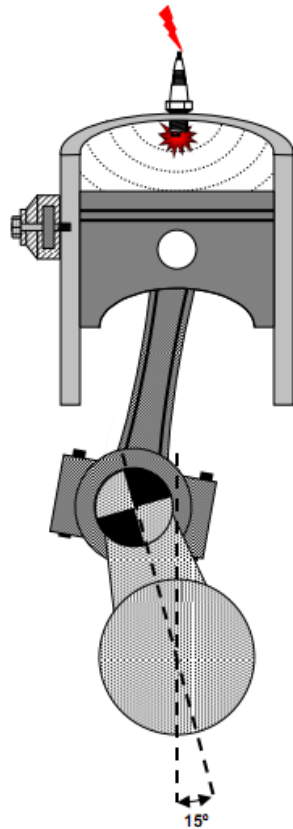
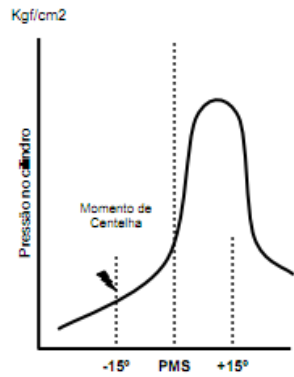
- ▶ Um forte aumento da pressão do sistema;
- ▶ Ondas de pressão de choque na câmara que se propagam a uma velocidade média de 900 m/s (!!) a uma frequência de 4000 a 8000 Hz.
- ▶ Um ruído característico e facilmente audível.
- ▶ Um motor que funcionar por alguns minutos com detonações, pode, devido ao excesso de temperatura gerada:
 - ▶ Romper a junta da cabeça;
 - ▶ Fundir os pistões;
 - ▶ Fundir a câmara e outros componentes em contato com a combustão.

21.10.5 Sensor de detonação

Os sensores de detonação ou acelerómetro mecânico é constituído de um cristal piezoelétrico do tipo não ressonante, o qual tem a capacidade de converter a energia mecânica (vibração da batida da detonação) num sinal eléctrico (Volts AC).

Este sensor fornece ao ECU uma pequena tensão proporcional à vibração que se sente no bloco do motor. A vibração medida por este sensor é proporcional às detonações que se fazem no interior da câmara de combustão. Este sensor faz com que o ponto de ignição do cilindro onde há detonação seja atrasado.

21.10.5 Sensor de detonação



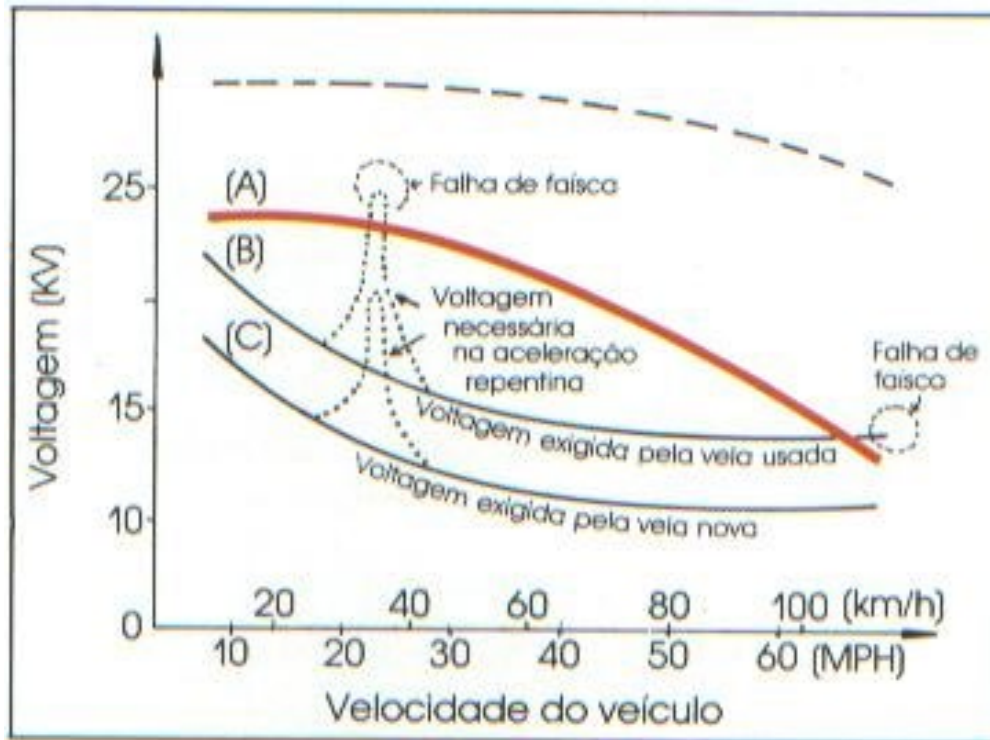
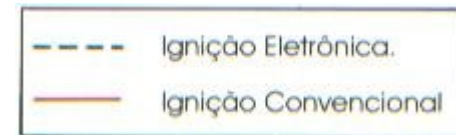
Funcionamento normal

Funcionamento anormal

21.11 Vantagens da Ignição Electrónica

- ▶ Não utiliza platinado e condensador, que são os principais causadores do desajuste do sistema de ignição;
- ▶ Mantém a tensão de ignição sempre constante, garantindo mais potência da faísca em altas rotações;
- ▶ Mantém o ponto de ignição (tempo do motor) sempre ajustado.

21.11 Vantagens da Ignição Electrónica



Para ocorrer a faísca entre a folga dos eletrodos é necessário que a voltagem disponível no sistema de ignição seja superior a voltagem requerida pela vela de ignição.

2.12 Ignição Convencional vs Electrónica

Característica	Convencional	Electrónica
Precisão	Baixa	Muito alta
Manutenção	Frequente	Reduzida
Consumo	Maior	Menor
Emissões	Maiores	Menores
Complexidade	Simple	Elevada
Diagnóstico	Fácil	Mais complexo
Fiabilidade em alta RPM	Limitada	Excelente
Energia da faísca	Menor	Maior