

**CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Mecânica Automobilística**

**CAROLINA FERREIRA DOS SANTOS
LEONARDO RENE DE SOUZA
PEDRO HENRIQUE DUARTE PALAVRO**

**SENSORES: Guia conceitual para colocar em prática a manutenção
de motores ciclo Otto**

**Santo André
2025**

Carolina Ferreira dos Santos
Leonardo Rene de Souza
Pedro Henrique Duarte Palavro

**Sensores: Guia conceitual para colocar em prática a manutenção
de motores ciclo Otto**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística da FATEC Santo André, orientado pelo Prof. MSc Adriano Ribolla como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Santo André
2025

Carolina Ferreira dos Santos, Leonardo Rene de Souza e Pedro Henrique Duarte Palavro.

SENSORES: Guia conceitual para colocar em prática a manutenção de motores ciclo Otto / Carolina Ferreira dos Santos, Leonardo Rene de Souza e Pedro Henrique Duarte Palavro. · Santo André 2025.

133 folhas.

Orientador: Prof. MSc Adriano Ribolla.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo em Mecânica Automobilística) · FATEC Santo André, Santo André 2025.

1. Motor de combustão ciclo Otto. 2. Sensores. I. SENSORES: Guia prático para manutenção de motores ciclo Otto

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 03 de dezembro de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“SENSORES: GUIA CONCEITUAL, PARA COLOCAR EM PRÁTICA A
MANUTENÇÃO DE MOTORES CICLO OTTO” DOS ALUNOS DO 6º
SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. ADRIANO RIBOLLA 

MEMBROS:

PROFª. SUELY MIDORI AOKI 

PROF. ELIEL WELLINGTON MARCELINO 

ALUNOS:

CAROLINA FERREIRA DOS SANTOS 

LEONARDO RENE DE SOUZA 

PEDRO HENRIQUE DUARTE PALAVRO 

AGRADECIMENTO

Agradecimento aos familiares por todo apoio e ajuda ao longo do curso e da vida.

Aos nossos colegas de curso, com quem convivemos intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que nos permitiram crescer não só como pessoas, mas também como profissionais.

A todos os professores que nos ensinaram tanto e aos professores Fernando Garup Dalbo e Adriano Ribolla pela dedicação e paciência ao longo da execução deste trabalho.

“Educação não transforma o mundo.
Educação muda as pessoas.
Pessoas mudam o mundo”

Paulo Freire

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo apresentar um guia conceitual técnico e prático sobre os principais sensores utilizados em motores de ciclo Otto. O estudo aborda a construção, os princípios de funcionamento e os testes aplicáveis a sensores como MAP, TPS, lambda, temperatura, detonação, entre outros. Além disso, são expostas as falhas mais comuns, os sintomas associados e os procedimentos de diagnóstico, com foco em sua manutenção. O conteúdo é voltado a profissionais da mecânica automotiva, especialmente aqueles que atuam com sistemas de injeção eletrônica e diagnóstico veicular, contribuindo para a formação técnica e a melhoria da eficiência nos reparos.

Palavras-chave: Motores ciclo Otto. Sensores automotivos. Diagnóstico eletrônico. Manutenção.

ABSTRACT

This Final Paper aims to present a technical and practical conceptual guide on the main sensors used in Otto cycle engines. The study covers the construction, principles of operation, and applicable tests for sensors such as MAP, TPS, lambda, temperature, knock, among others. In addition, it outlines the most common failures, symptoms, and diagnostic procedures, with a focus on their maintenance. The content is intended for automotive mechanic professionals, especially those working with electronic fuel injection systems and vehicle diagnosis, contributing to technical training and improving the repair efficiency.

Keywords: Otto cycle engine. Automotive sensors. Electronic diagnostics. Maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Primeiro motor ciclo Otto	22
Figura 02 – Funcionamento do motor ciclo Otto	24
Figura 03 – ECU	25
Figura 04 – Construção ECU	27
Figura 05 – Estrutura da Rede CAN Automotiva	29
Figura 06 – Rede CAN	30
Figura 07 – Posicionamento dos sensores no motor	38
Figura 08 – Posicionamento do sensor de oxigênio	39
Figura 09 – Posicionamento do sensor de oxigênio no catalisador	39
Figura 10 – Posicionamento do sensor de etanol	40
Figura 11 – Posicionamento do sensor MAF	40
Figura 12 – Posicionamento do sensor de nível da bomba de combustível	41
Figura 13 – Sensor de posição do comando de válvulas	42
Figura 14 – Sensor de posição da árvore de manivelas	42
Figura 15 – Perfis de sinais dos sensores indutivo e sensor Hall	45
Figura 16 – Funcionamento do sensor indutivo	46
Figura 17 – Sensor indutivo 2 fios	47
Figura 18 – Princípio de funcionamento do sensor Hall	47
Figura 19 – Sensor Hall	48
Figura 20 – Funcionamento sensor de rotação tipo Hall	49
Figura 21 – Construção do sensor Hall	50
Figura 22 – Sensor CMP indutivo	51
Figura 23 – Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento	53
Figura 24 – Teste de resistência sensor de fase e rotação 2 fios (Tipo Indutivo)	54
Figura 25 – Teste de resistência sensor de fase e rotação 3 fios (Tipo Indutivo)	55
Figura 26 – Teste de sinal do sensor de fase e rotação 2 e 3 fios (Tipo Indutivo)	56
Figura 27 – Teste Sensor de fase e rotação (Tipo Hall)	56
Figura 28 – Teste de frequência do sensor de fase e rotação (Tipo Hall)	57
Figura 29 – Sensor TPS	58
Figura 30 – Sensor TPS Resistivo	60
Figura 31 – Sensor TPS Resistivo 4 fios	62

Figura 32 – Sensor TPS de 8 pinos	63
Figura 33 – Sensor TPS Resistivo 3 fios	65
Figura 34 – Teste de resistência do sensor TPS tipo potenciômetro	67
Figura 35 – Teste Sensor TPS Eletrônico	68
Figura 36 – Sensor MAP	69
Figura 37 – Sensor MAP 3 fios	71
Figura 38 – Sensor TMAP	72
Figura 39 – Teste Sensor de alimentação MAP e TMAP	70
Figura 40 – Teste do sensor TMAP	74
Figura 41 – Sensores de oxigênio	75
Figura 42 – Posição sonda lambda	77
Figura 43 – Sonda <i>Narrowband</i>	77
Figura 44 – Sonda <i>Wideband</i>	79
Figura 45 – Construção da Sonda Lambda	83
Figura 46 – Contaminação por mistura rica	84
Figura 47 – Contaminação por líquido de arrefecimento	85
Figura 48 – Contaminação por sílica	86
Figura 49 – Contaminação por chumbo	86
Figura 50 – Contaminação por consumo de óleo	87
Figura 51 – Teste de resistência da sonda lambda	88
Figura 52 – Teste em scanner da sonda lambda	90
Figura 53 – Teste de sinal sonda <i>finger</i>	91
Figura 54 – Teste de sinal sonda planar	92
Figura 55 – Teste de sinal sonda banda estreita	93
Figura 56 – Sensor de temperatura do ar de admissão	93
Figura 57 – Construção sensor de temperatura	94
Figura 58 – Teste de continuidade	97
Figura 59 – Sensor de detonação	98
Figura 60 – Tipos de queima	103
Figura 61 – Sensor de detonação 1, 2 e 3 fios	106
Figura 62 – Sensor de temperatura	107
Figura 63 – Sensores de temperatura de 1 fio	108
Figura 64 – Sensor de temperatura de 2 fios	108

Figura 65 – Teste de tensão do sensor de temperatura	111
Figura 66 – Teste de resistência do sensor de temperatura	112
Figura 67 – Sensor de etanol	113
Figura 68 – Teste em osciloscópio do sensor de etanol	116
Figura 69 – Sensor de nível de combustível	117
Figura 70 – Conjunto do sensor de nível de combustível	118
Figura 71 – Teste de resistência do sensor de nível	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Sensores CMP e CKP	44
Tabela 2 –	Comparação TPS entre potenciômetro e sensor eletrônico	59
Tabela 3 –	Comparação tecnologias de sensores TPS	64
Tabela 4 –	Comparação tipos de sonda lambda	80

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Eficiência térmica ideal	32
Equação 2 – Equação fundamental da termodinâmica	32
Equação 3 – Potência mecânica	33
Equação 4 – AKI (<i>Anti-Knock Index</i>)	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	<i>Alternating Current</i> (Corrente Alternada)
AF	Air-Fuel (ar-combustível)
AFR	<i>Air-Fuel Ratio</i> (Proporção ar-combustível)
AKI	<i>Anti-Knock Index</i> (Índice Anti-Detonação)
CAN	<i>Controller Area Network</i> (Rede de Área do Controlador)
CAN FD	<i>Flexible Data Rate CAN</i> (Taxa de dados flexível)
CMP	<i>Camshaft Position Sensor</i> (Sensor de posição do comando de válvulas)
CKP	<i>Crankshaft Position Sensor</i> (Sensor de posição da árvore de manivelas)
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i> (Verificação de redundância cíclica)
DTC	<i>Diagnostic Trouble Codes</i> (Códigos de Diagnóstico de Problemas)
ECU	<i>Engine Control Unit</i> (Unidade de Controle do Motor)
ECT	<i>Engine Coolant Temperature</i> (Temperatura do líquido de arrefecimento do motor)
EPC	<i>Electronic Power Control</i> (Controle eletrônico de potência)
FFS	<i>Flex Fuel Sensor</i> (Sensor de Combustível Flex)
IAT	<i>Intake Air Temperature</i> (Sensor de Temperatura do Ar Admitido)
LIM	Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento
LSU	<i>Lambda-Sonde Universal</i> (Sonda Lambda Universal)
KS	<i>Knock Sensor</i> (Sensor de detonação)
MAF	<i>Manifold Air Flow</i> (Sensor de Fluxo de Massa de Ar)
MAP	<i>Manifold Absolute Pressure Sensor</i> (Sensor de pressão absoluta do coletor)
MON	<i>Motor Octane Number</i> (Número de octanas do motor)
MPC	<i>Model Predictive Control</i> (Controle Preditivo por Modelo)
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> (Coeficiente negativo de temperatura)
OL	<i>Open loop</i> (circuito aberto)
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
RON	<i>Research Octane Number</i> (Número de Octanas de Pesquisa)

TMAP *Temperature Manifold Absolute Pressure Sensor* (Sensor de temperatura e pressão absoluta do coletor)

TPS *Throttle Position Sensor* (Sensor de Posição da Borboleta)

VVT *Variable Valve Timing* (Controle de válvulas variável)

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω	Ohm (unidade de resistência elétrica)
V	Volts (unidade de tensão elétrica)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 OBJETIVO	20
1.2 JUSTIFICATIVA.....	20
1.3 MOTIVAÇÃO	21
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	22
2.1 HISTÓRICO DO MOTOR	21
2.2 CONCEITOS TÉCNICOS	24
2.2.1 UNIDADE DE CONTROLE ELETRÔNICO (ECU)	25
2.2.1.1 Estrutura e Funcionamento da ECU.....	26
2.2.1.2 Componentes Internos	27
2.2.1.3 Estratégias de Controle	28
2.2.1.4 Diagnóstico e Funções de Segurança.....	28
2.2.2 REDE DE COMUNICAÇÃO AUTOMOTIVA (REDE CAN)	29
2.2.2.1 Princípios de Funcionamento	30
2.2.2.2 Estrutura das Mensagens CAN	31
2.2.2.3 Tipos de Rede CAN e Taxas de Transmissão	31
2.2.3 MODELO MATEMÁTICO.....	32
2.2.4 MODELOS PREDITIVOS	34
3 METODOLOGIA	36
4 RESULTADOS OBTIDOS	37
4.1 SENSORES	37
4.2 SENSOR DE POSIÇÃO DO COMANDO DE VÁLVULAS E SENSOR DE POSIÇÃO DA ÁRVORE DE MANIVELAS	42
4.2.1 Funcionamento e detalhes técnicos.....	43
4.2.2 Sensor de fase e rotação indutivo	46
4.2.3 O Efeito Hall.....	47
4.2.4 O sensor de fase e rotação tipo Hall.....	48
4.2.5 Estrutura e Construção do Sensor do Comando de Válvulas	50

4.2.6 Estrutura e Construção do Sensor de Posição da Árvore de Manivelas.....	52
4.2.7 Possíveis falhas.....	52
4.2.8 Testes de Funcionamento.....	54
4.3 SENSOR DE POSIÇÃO DO ACELERADOR (TPS)	58
4.3.1 Funcionamento e detalhes técnicos.....	58
4.3.2 Sensor TPS Resistivo.....	60
4.3.3 Sensor TPS Eletrônico.....	62
4.3.4 Estrutura e Construção do TPS Resistivo (Potenciômetro)	66
4.3.5 Estrutura e Construção do TPS Eletrônico (Sem contato)	66
4.3.6 Possíveis falhas.....	66
4.3.7 Testes de funcionamento.....	67
4.4 SENSOR DE PRESSÃO ABSOLUTA DO COLETOR (MAP).....	69
4.4.1 Funcionamento e detalhes técnicos.....	69
4.4.2 Estrutura e Construção do Sensor de Pressão Absoluta do Coletor	72
4.4.3 Possíveis falhas.....	73
4.4.4 Testes de funcionamento.....	73
4.5 SENSOR DE OXIGÊNIO (O ₂) OU SONDA LAMBDA	75
4.5.1 Funcionamento e detalhes técnicos.....	76
4.5.2 Tipos de sonda	77
4.5.3 Construção da Sonda Lambda Finger (Narrowband).....	81
4.5.4 Construção da Sonda Lambda Planar (Narrowband)	81
4.5.5 Construção da Sonda Lambda de Banda Larga (Wideband)	82
4.5.6 Possíveis falhas.....	84
4.5.7 Testes de funcionamento.....	88
4.6 SENSOR DE TEMPERATURA DO AR DE ADMISSÃO.....	93
4.6.1 Funcionamento e detalhes técnicos.....	95
4.6.2 Estrutura e Construção do Sensor de Temperatura do Ar de Admissão.....	95
4.6.3 Possíveis falhas.....	97
4.6.4 Testes de funcionamento.....	97

4.7 SENSOR DE DETONAÇÃO	98
4.7.1 Funcionamento e detalhes técnicos.....	99
4.7.2 Possíveis falhas.....	100
4.7.3 Conceitos técnicos	100
4.7.3.1 Detonação	101
4.7.3.2 Autoignição	102
4.7.3.3 Pré-ignição.....	104
4.7.3.4 Pós-ignição.....	104
4.7.4 Testes de funcionamento.....	105
4.8 SENSOR DE TEMPERATURA DO LÍQUIDO DE ARREFECIMENTO	107
4.8.1 Funcionamento e detalhes técnicos.....	107
4.8.2 Estrutura e Construção do Sensor de Temperatura do Líquido de Arrefecimento.....	109
4.8.3 Possíveis falhas.....	110
4.8.4 Testes de funcionamento.....	111
4.9 SENSOR DE ETANOL	113
4.9.1 Funcionamento e detalhes técnicos.....	113
4.9.2 Estrutura e Construção do Sensor de Etanol.....	114
4.9.3 Possíveis falhas.....	115
4.9.4 Testes de funcionamento.....	115
4.10 SENSOR DE NÍVEL DO COMBUSTÍVEL.....	117
4.10.1 Funcionamento e detalhes técnicos	118
4.10.2 Tecnologias Modernas de Medição	119
4.10.3 Estrutura e Construção do Sensor de Nível de Combustível	120
4.10.4 Possíveis falhas	121
4.10.5 Testes de funcionamento.....	122
5 CONCLUSÃO	123
6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	124
7 REFERÊNCIAS.....	125

1 INTRODUÇÃO

Para contextualizar este estudo, é importante apresentar os fundamentos que orientaram sua elaboração. A seguir, serão descritos o objetivo, a justificativa e a motivação do trabalho, destacando a relevância do tema para a área automotiva e a contribuição esperada para profissionais e estudantes.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo elaborar um guia conceitual e prático sobre os principais sensores utilizados em motores do ciclo Otto, com foco na compreensão de seus princípios de funcionamento, características construtivas e aplicações no gerenciamento eletrônico do motor.

Pretende-se apresentar informações técnicas que permitam ao profissional da área automotiva identificar, diagnosticar e corrigir falhas relacionadas aos sensores, garantindo maior eficiência, segurança e redução de emissões. Além disso, busca-se integrar conceitos teóricos e procedimentos práticos, incluindo testes com instrumentos como multímetro, osciloscópio e scanner automotivo, de modo a oferecer uma abordagem completa para a manutenção.

O trabalho também visa contribuir para a formação técnica de estudantes e profissionais, fornecendo subsídios para a tomada de decisão em reparos, bem como para a adoção de boas práticas que assegurem a durabilidade dos componentes e a conformidade com regulamentações de emissões veiculares e padrões técnicos aplicáveis.

1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema se justifica pela escassez de materiais técnicos que abordem, de forma integrada e detalhada, todos os principais sensores utilizados em motores do ciclo Otto. Embora existam publicações específicas sobre determinados componentes, é raro encontrar conteúdos que reúnam informações completas sobre

funcionamento, construção, testes e diagnóstico de sensores em um único documento.

Essa lacuna dificulta a atuação dos profissionais de manutenção automotiva e dos estudantes da área, que frequentemente enfrentam dúvidas técnicas durante reparos e diagnósticos. Assim, este trabalho busca suprir essa necessidade, oferecendo um guia conceitual e prático que contribua para a padronização de procedimentos, a melhoria da eficiência nos reparos e a redução de erros no diagnóstico.

1.3 MOTIVAÇÃO

A motivação para a realização deste estudo surgiu da vivência acadêmica e prática na área de mecânica automotiva, onde foi possível observar a dificuldade de acesso a informações consolidadas sobre sensores e suas aplicações em uma única fonte de pesquisa. Durante o curso, constatou-se que muitos profissionais e estudantes dependem de fontes fragmentadas, o que pode gerar insegurança na tomada de decisão e aumentar o risco de falhas na manutenção.

A elaboração deste trabalho representa, portanto, a oportunidade de contribuir para a formação técnica e para a valorização do conhecimento aplicado, reunindo em um único material informações essenciais que facilitem o aprendizado e a prática profissional. Além disso, a experiência adquirida ao longo do desenvolvimento do projeto reforça o compromisso com a melhoria contínua e a busca por soluções que atendam às demandas do setor automotivo.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

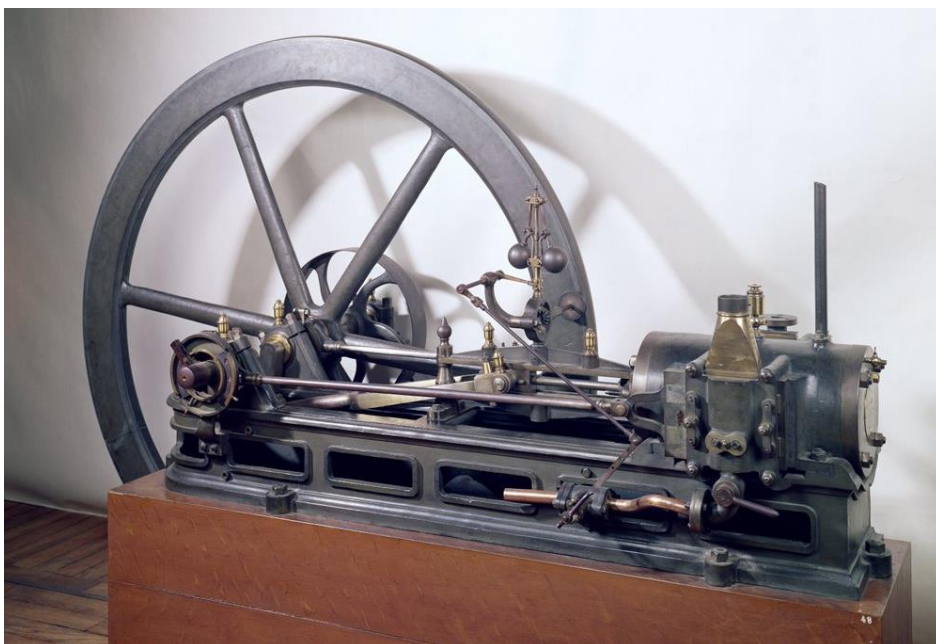
Os fundamentos apresentados neste capítulo são indispensáveis para compreender a importância dos sensores no gerenciamento dos motores do ciclo Otto. Para contextualizar essa atuação, será apresentada inicialmente uma breve história e o princípio de funcionamento do motor.

Em seguida, serão abordados os conceitos técnicos que sustentam essa integração, mostrando como os dados fornecidos pelos sensores se tornam essenciais para estratégias avançadas de controle e comunicação entre sistemas. Essa abordagem fornece a base necessária para compreender a relevância dos sensores na eficiência, segurança e desempenho dos veículos modernos.

2.1 HISTÓRICO DO MOTOR

O motor Ciclo Otto, conhecido também como "motor de quatro tempos", desenvolvido por Beau de Rochas e construído em 1876 por Nikolaus August Otto, em seu conceito básico é uma máquina termodinâmica que transforma a energia térmica (combustão) em energia mecânica (Figura 1).

Figura 01 – Primeiro motor ciclo Otto



Fonte: Meisterdrucke, 2025

Esse sistema baseia-se na mistura de ar/combustível, (podendo ser gasolina, álcool ou gás natural) e uma centelha de ignição para ser realizada a queima gerando assim uma pressão no êmbolo do pistão, conseqüentemente gerando movimento na árvore de manivelas (virabrequim).

O motor Ciclo Otto tem como princípio de funcionamento quatro fases, ou quatro tempos, sendo elas: admissão, compressão, combustão e escape (BOSCH, 2005).

Admissão: A carga mássica de ar passa pelo coletor de admissão encontrando a válvula aberta, entra no cilindro através da depressão que o pistão causa ao ir de PMS (ponto morto superior) para PMI (ponto morto inferior), dentro do cilindro o ar se mistura com o combustível atomizado, injetado pela válvula injetora, resultando em uma mistura propícia à combustão.

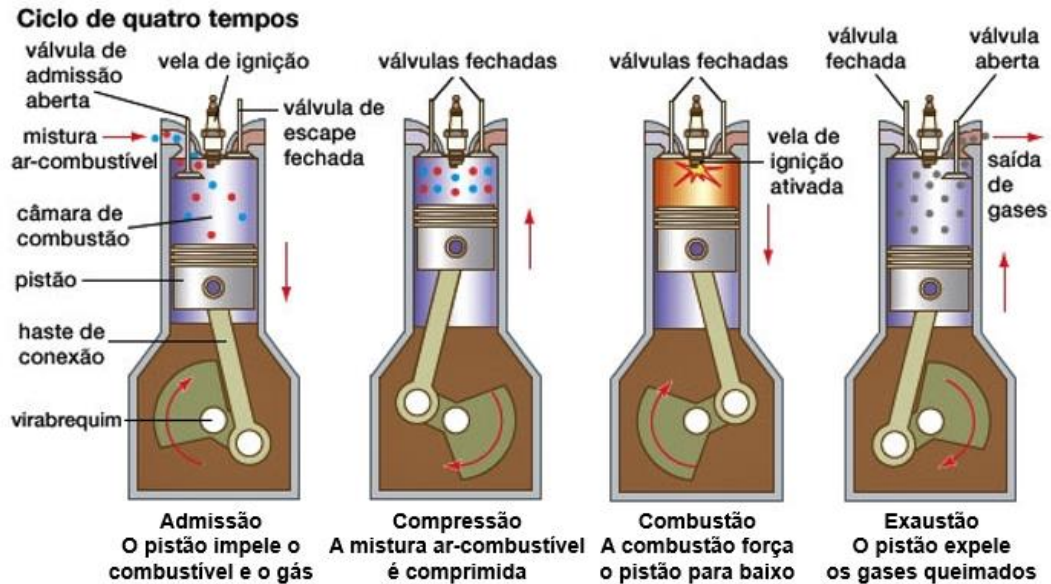
Compressão: Essa mistura de ar/combustível é então comprimida pelo êmbolo ao ir de PMI para PMS reduzindo o volume inicial em um volume final menor com taxa fixa de acordo com o combustível utilizado.

Combustão: Após a compressão a vela de ignição gera uma centelha dando início a combustão da mistura que gera uma pressão na parte superior do êmbolo, empurrando-o para baixo levando-o para o PMI.

Escape: O êmbolo sobe indo de PMI para PMS enquanto a válvula de escape se encontra aberta, empurrando os gases de combustão para o coletor de escape.

A imagem (Figura 02) ilustra o funcionamento do motor ciclo Otto.

Figura 02. Funcionamento do motor ciclo Otto



Fonte: Adaptado Aluga Gera, 2025

O motor ciclo Otto possui, além da parte mecânica, sensores que auxiliam no seu funcionamento, monitoramento de eficiência e controle de seus processos.

2.2 CONCEITOS TÉCNICOS

A crescente complexidade dos sistemas automotivos modernos exige uma compreensão sólida dos princípios que fundamentam seu funcionamento. A integração entre eletrônica, mecânica e controle computacional transformou os veículos em plataformas altamente tecnológicas, capazes de oferecer desempenho otimizado, segurança avançada e menor impacto ambiental.

Nesse cenário, os sensores desempenham papel essencial, pois são responsáveis por captar informações críticas sobre temperatura, pressão, posição, velocidade e composição dos gases, fornecendo dados em tempo real para os módulos de controle.

Nas próximas seções, serão abordados elementos fundamentais como a ECU, a rede de comunicação automotiva e os modelos matemáticos aplicados ao gerenciamento

do motor. Esses conceitos, aliados à tecnologia dos sensores, formam a base para compreender como a engenharia automotiva evoluiu para atender às demandas de eficiência, confiabilidade e sustentabilidade.

2.2.1 UNIDADE DE CONTROLE ELETRÔNICO (ECU)

A Unidade de Controle Eletrônico (ECU) (Figura 3), em inglês *Engine Control Unit*, é o principal módulo responsável pelo gerenciamento do funcionamento do motor em veículos modernos. Trata-se de um sistema microprocessado que recebe, processa e interpreta os sinais enviados por sensores distribuídos em todo o motor, e em seguida, comanda atuadores de modo a otimizar o desempenho, reduzir emissões e assegurar a eficiência energética (BOSCH, 2025).

Figura 03 – ECU



Fonte: Supercar Manufacturing, 2025

A evolução das ECUs está diretamente relacionada à evolução dos sistemas de injeção eletrônica, substituindo os antigos sistemas mecânicos de alimentação e ignição. Seu desenvolvimento possibilitou a implementação de estratégias complexas de controle, que tornam o motor capaz de operar de forma precisa sob as mais diversas condições de temperatura, altitude, carga e combustível (BOSCH, 2022).

O diagnóstico integrado na ECU é uma característica básica dos sistemas eletrônicos de controle do motor. Além da auto verificação na ECU, também são monitorados os sinais de entrada e saída e a intercomunicação da ECU (BOSCH; 2005, p. 582)

2.2.1.1 Estrutura e Funcionamento da ECU

A ECU é constituída basicamente por um microcontrolador central, memórias internas, interfaces de entrada e saída e circuitos de condicionamento de sinal. De acordo com Reif (2014), sua função é transformar os dados recebidos dos sensores em informações interpretáveis, aplicando algoritmos matemáticos e comparações com mapas pré-programados (também chamados de mapas de calibração).

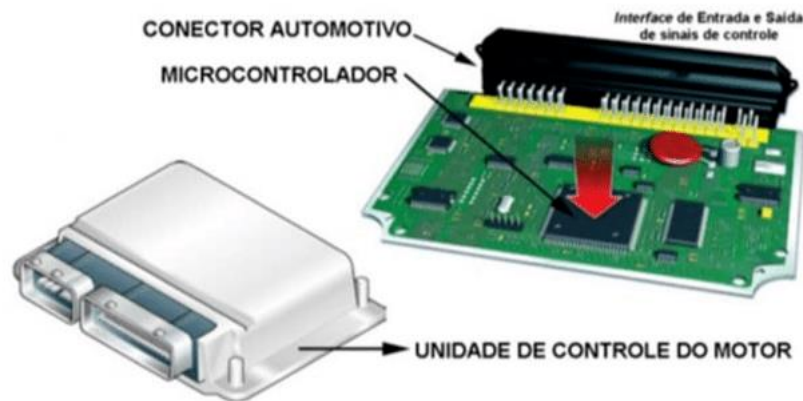
Segundo Bosch (2022), as principais etapas do funcionamento da ECU são:

- Aquisição de dados: recebimento de sinais analógicos ou digitais provenientes dos sensores (como MAP, TPS, temperatura, rotação, detonação, entre outros).
- Processamento: o microcontrolador converte esses sinais em dados numéricos, compara com valores de referência e aplica estratégias de controle.
- Atuação: a ECU envia comandos para os atuadores, como injetores de combustível, bobinas de ignição, válvulas EGR e sistemas de controle de marcha lenta.
- Monitoramento e autodiagnóstico: a ECU verifica a coerência dos sinais (plausibilidade) e identifica falhas em tempo real, armazenando códigos de erro (DTCs) e acionando a Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento (LIM) ou outros avisos no painel.

2.2.1.2 Componentes Internos

De acordo com Heywood (1988), os principais componentes internos da ECU (Figura 04) são:

Figura 04 – Construção ECU



Fonte: Adaptado Embarcados, 2025

- Microprocessador (ou microcontrolador): núcleo de processamento que executa as instruções e cálculos necessários ao gerenciamento do motor;
- Memória ROM: armazena o software principal e os mapas de calibração;
- Memória RAM: utilizada para armazenar temporariamente os dados dos sensores e variáveis instantâneas do motor;
- EEPROM ou *Flash*: mantém informações não voláteis, como dados de auto adaptação, registros de falhas e atualizações de software;
- Conversores A/D (Analogico-Digital): transformam os sinais elétricos dos sensores em valores digitais propícios ao processamento;
- Drivers de potência: responsáveis por acionar os atuadores, como bobinas, válvulas e relés;
- Interface de comunicação: possibilita o intercâmbio de dados com outros módulos por meio de redes veiculares, como CAN, LIN ou *FlexRay*.

2.2.1.3 Estratégias de Controle

A ECU utiliza algoritmos baseados em modelos matemáticos e tabelas tridimensionais para determinar a quantidade exata de combustível, o ponto de ignição e o tempo de injeção. Segundo Reif (2014), essas estratégias consideram variáveis como pressão e temperatura do ar, rotação do motor, tipo de combustível, e informações fornecidas pelos sensores lambda e de detonação.

Em sistemas mais avançados, como motores *flex-fuel* e híbridos, a ECU também é responsável por identificar automaticamente o tipo de combustível e ajustar a injeção de acordo com a composição da mistura, garantindo eficiência e redução de emissões (BOSCH, 2025).

2.2.1.4 Diagnóstico e Funções de Segurança

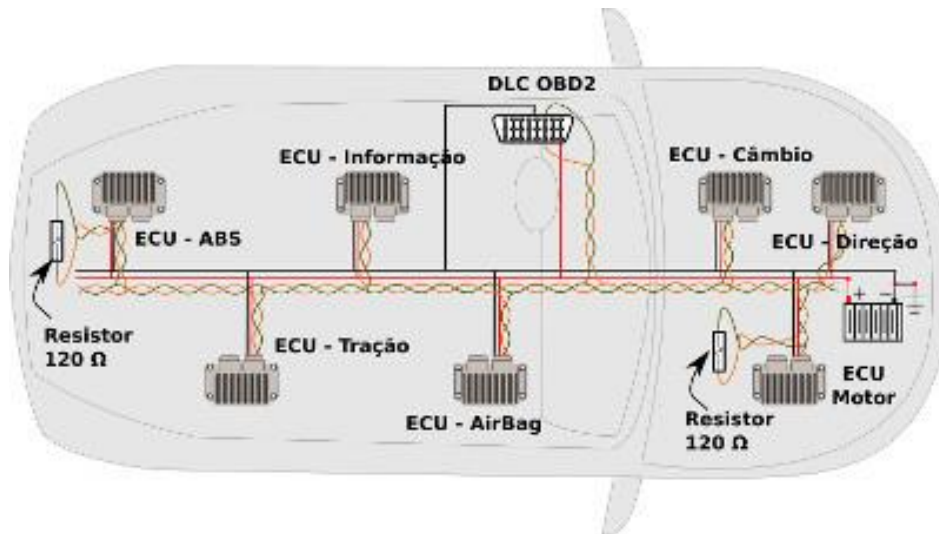
A ECU possui capacidade de autodiagnóstico, detectando falhas em sensores e atuadores e armazenando códigos DTC que podem ser lidos por meio de ferramentas de diagnóstico via conector OBD-II. Além disso, a ECU adota estratégias de segurança, como o modo de emergência (*limp mode*), que mantém o funcionamento mínimo do motor mesmo diante de falhas críticas, prevenindo danos mecânicos (BOSCH, 2022).

Nos veículos modernos, a ECU também se comunica com outros módulos eletrônicos, como ABS, transmissão automática e controle de tração, garantindo a integração total dos sistemas e o gerenciamento centralizado de informações por meio da rede CAN (BOSCH, 2022).

2.2.2 REDE DE COMUNICAÇÃO AUTOMOTIVA (REDE CAN)

Rede CAN (*Controller Area Network*), ou rede de comunicação automotiva, é o principal protocolo de comunicação utilizado na indústria automotiva para interligar os módulos eletrônicos de um veículo (Figura 05).

Figura 05 – Estrutura da Rede CAN Automotiva



Fonte: SixSigmatas, 2019

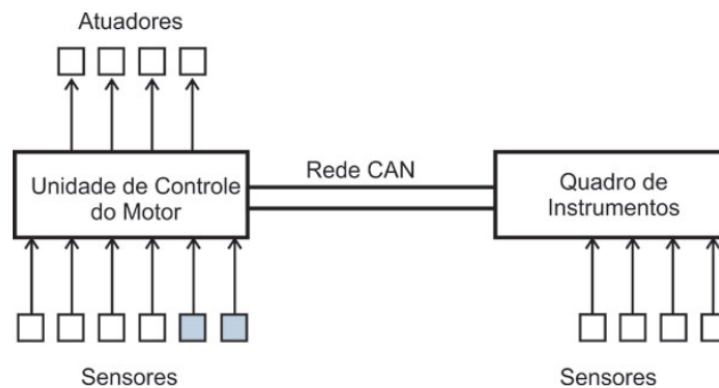
Desenvolvida pela Bosch na década de 1980, a CAN foi projetada para garantir comunicação rápida, segura e confiável entre os diversos sistemas embarcados, reduzindo a complexidade dos chicotes elétricos e melhorando a eficiência do controle eletrônico (ETSCHBERGER, 2001).

A adoção da rede CAN permitiu o surgimento do conceito de “veículo inteligente”, no qual módulos independentes compartilham informações em tempo real, otimizando o desempenho e ampliando as possibilidades de diagnóstico e automação.

2.2.2.1 Princípios de Funcionamento

Na rede CAN (Figura 06), todos os módulos eletrônicos (ECU do motor, módulo de ABS, painel de instrumentos, airbag, entre outros) são conectados a um “barramento de dados” composto por dois fios trançados: CAN High (CAN H) e CAN Low (CAN L).

Figura 06 – Rede CAN



Fonte: Oficina Brasil, 2025

De acordo com Reif (2014), a comunicação ocorre de forma serial e diferencial, o que confere alta imunidade a ruídos eletromagnéticos e estabilidade de sinal mesmo em ambientes automotivos severos.

A rede trabalha no formato “*multimaster*”, ou seja, qualquer módulo pode iniciar uma comunicação, transmitindo mensagens codificadas com identificadores de prioridade. Caso dois módulos transmitam simultaneamente, o sistema adota um método de arbitragem que prioriza a mensagem mais importante.

A ECU do motor é um dos módulos centrais na comunicação CAN. Ela envia e recebe informações essenciais, como rotação, temperatura, pressão do coletor e status de ignição. Esses dados são compartilhados com outros módulos, como painel de instrumentos, ABS e controle de tração, permitindo respostas integradas e seguras (BOSCH, 2022).

A rede CAN é fundamental para o diagnóstico automotivo moderno. Por meio do conector OBD-II, o scanner pode acessar todos os módulos conectados ao

barramento CAN, ler parâmetros em tempo real e apagar falhas armazenadas. Sua robustez, flexibilidade e confiabilidade a tornaram padrão em praticamente todos os veículos modernos, incluindo híbridos e elétricos (BOSCH, 2022).

2.2.2.2 Estrutura das Mensagens CAN

Cada mensagem CAN é composta por campos específicos que organizam e identificam os dados transmitidos (BOSCH, 2022; ETSCHBERGER, 2001):

- ID (Identificador): determina a prioridade da mensagem;
- Campo de Controle: define o tamanho dos dados transmitidos;
- Campo de Dados: contém as informações enviadas (até 8 bytes no protocolo clássico e até 64 bytes no CAN FD);
- CRC (*Cyclic Redundancy Check*): mecanismo de verificação de integridade;
- Campo de *Acknowledge*: confirma o recebimento da mensagem.

Essa estrutura lógica permite comunicação eficiente entre diversos módulos sem necessidade de endereçamento direto.

2.2.2.3 Tipos de Rede CAN e Taxas de Transmissão

Segundo Reif (2014), existem diferentes padrões de rede CAN conforme a aplicação:

- *High-Speed* CAN: até 1 Mbps, aplicada a sistemas críticos (motor, transmissão, ABS);
- *Low-Speed* CAN: até 125 kbps, utilizada em sistemas de conforto e carroceria;
- CAN FD (*Flexible Data Rate*): permite taxas superiores a 8 Mbps e quadros de até 64 bytes, ideal para veículos híbridos e elétricos.

2.2.3 MODELO MATEMÁTICO

O funcionamento de um motor ciclo Otto envolve processos físicos e químicos complexos durante todo seu ciclo, para compreender, prever e controlar esses processos, são utilizados modelos matemáticos, que são representações quantitativas e não abstratas que descrevem o comportamento dinâmico do motor (ISERMANN, 2014) tendo papel fundamental no desenvolvimento de tecnologias automotivas modernas, contribuindo para a eficiência energética, redução de emissões e melhoria do desempenho. De acordo com Heywood (1988), modelos termodinâmicos idealizados de ciclos de motor fornecem uma estrutura para entender os limites básicos de desempenho e a influência dos parâmetros de projeto.

A modelagem matemática de motores ciclo Otto pode ser dividida em três níveis principais:

- Modelos Termodinâmicos: baseados nas leis da termodinâmica, descrevem o ciclo ideal e real do motor. Um exemplo é a fórmula de eficiência térmica ideal mostrada na equação (1).

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \quad (1)$$

Onde:

η = eficiência térmica

r = taxa de compressão

γ = razão de calor específico (geralmente ≈ 1.4 para ar)

- Modelos Dinâmicos: representam a evolução temporal de variáveis como pressão, temperatura e volume. Um exemplo é a equação fundamental da termodinâmica que descreve o comportamento dos gases em condições ideais, conforme equação (2).

$$PV = nRT \quad (2)$$

Onde:

P = pressão do gás (em Pascal, Pa)

V = volume ocupado pelo gás (em metros cúbicos, m³)

n = número de mols de gás (em mol)

R = constante universal dos gases ($\approx 8,3144621$ [m³·Pa·K⁻¹·mol⁻¹])

T = temperatura absoluta (em Kelvin)

- Modelos Empíricos e Semiempíricos: ajustados a partir de dados experimentais, usados para prever comportamento sob condições específicas. Um exemplo é a fórmula utilizada para calcular a potência mecânica gerada por um motor a partir do torque e da rotação, mostrada na equação (3).

$$P = 2\pi\tau f \quad (3)$$

Onde:

P = potência (em watts, W)

N = rotação do motor (em rotações por minuto, RPM)

τ = torque (em newton-metros, Nm)

f = frequência (em Hertz, Hz)

Esses modelos permitem simular o comportamento do motor em diferentes condições operacionais, como carga, rotação e temperatura, possibilitando o ajuste da taxa de compressão para maximizar a eficiência, definição do ponto ideal de ignição e otimização da geometria da câmara de combustão.

A modelagem ajuda a prever a formação de poluentes como CO, NO_x e HC. Com isso, é possível implementar estratégias de recirculação de gases de escape (EGR), ajustar a relação ar-combustível (AFR) e controlar a temperatura de combustão para minimizar emissões.

Antes da construção de protótipos físicos, modelos permitem simular o ciclo completo de funcionamento do motor, avaliar o impacto de variações ambientais (altitude,

temperatura externa) e testar diferentes combustíveis (gasolina, etanol, ou suas misturas) (ISERMANN, 2014).

Motores modernos são gerenciados por unidades de controle eletrônico (ECU). Os modelos matemáticos são usados para executar algoritmos de controle de marcha lenta, detectar e corrigir falhas em tempo real e controlar a injeção de combustível e o tempo de ignição, utilizando dados enviados por sensores em tempo real para otimização de desempenho, consumo e emissões, por exemplo (GUZZELA E ONDER, 2010):

- Cálculo da massa de ar admitida usando MAP/MAF + temperatura.
- Determinação do tempo de ignição ideal com base na carga, rotação e detecção de detonação.
- Cálculo da quantidade de combustível usando a relação ar-combustível (AFR) ideal.
- Correções dinâmicas como enriquecimento em aceleração ou partida a frio.
- Controle de emissões ajustando a mistura com base nos sensores lambda.

2.2.4 MODELOS PREDITIVOS

Os modelos preditivos, em inglês *Model Predictive Control* (MPC), são ferramentas matemáticas e computacionais que permitem prever o comportamento futuro de um sistema com base em dados atuais e históricos. Em motores ciclo Otto, esses modelos são usados para antecipar como o motor irá se comportar em diferentes condições de operação, permitindo ajustes em tempo real que otimizam o desempenho, reduzem o consumo de combustível e minimizam as emissões de poluentes (Feyijimi e Depcik, 2025).

O principal benefício do MPC é fornecer uma ótima solução em tempo real para um problema de controle multivariável, multiobjetivo e com restrições. Assim, o MPC é uma escolha natural para uso como controlador supervisor de motores de combustão interna para definir melhores parâmetros, por exemplo de EGR ou AFR, visando restringir as emissões do motor e minimizar o consumo de combustível. (Feyijimi e Depcik, 2025, p. 7)

Esses modelos funcionam em conjunto com os sensores do motor, como os de rotação, temperatura, pressão, posição do acelerador e sensores de oxigênio. A partir das leituras desses sensores, o modelo preditivo calcula como o motor responderá nos próximos instantes e ajusta os atuadores, como os injetores de combustível, o sistema de ignição e o comando variável de válvulas, para alcançar o melhor desempenho possível.

Entre as principais aplicações dos modelos preditivos em motores ciclo Otto, destacam-se (GUZZELA E ONDER, 2010; ISERMANN, 2014):

- Controle da ignição: ajusta o tempo de ignição antecipadamente para evitar detonação e maximizar o torque.
- Controle da mistura ar-combustível: prevê a demanda de carga e ajusta a injeção de combustível para manter a proporção ideal entre ar e combustível.
- Controle de válvulas variável (VVT): antecipa a carga e rotação do motor para ajustar o tempo de abertura das válvulas.
- Controle de emissões: prevê a formação de poluentes e ajusta os parâmetros de combustão para reduzir a emissão de gases nocivos.
- Diagnóstico preditivo: identifica padrões que indicam possíveis falhas futuras, como desgaste de componentes ou mau funcionamento de sensores.

A principal vantagem dos modelos preditivos é sua capacidade de tomar decisões antecipadas e inteligentes, resultando em maior eficiência energética, melhor resposta dinâmica do motor, menor emissão de poluentes e maior durabilidade dos componentes.

3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos, este trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica em livros técnicos, artigos científicos, normas automotivas e manuais de fabricantes, com o intuito de reunir informações sobre os conceitos fundamentais relacionados aos sensores aplicados a motores do ciclo Otto.

A análise contemplou os principais sensores utilizados nesses motores, abordando seus princípios de funcionamento, estrutura, construção e tipos de sinais. Além disso, foram descritos procedimentos práticos de diagnóstico e testes, utilizando ferramentas como multímetro, osciloscópio e scanner automotivo, conforme recomendações técnicas e padrões de fabricantes.

A metodologia adotada buscou integrar teoria e prática, apresentando diagramas, tabelas comparativas e ilustrações para facilitar a compreensão e aplicação dos conteúdos. Por fim, realizou-se uma análise crítica das falhas mais comuns associadas aos sensores, seus sintomas e impactos no desempenho do motor, propondo boas práticas para sua manutenção.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo, serão apresentados os principais sensores utilizados em motores do ciclo Otto, bem como os resultados obtidos durante a análise de seus princípios de funcionamento, características construtivas, tipos de sinais e procedimentos de diagnóstico. Essa abordagem, com as características de um manual técnico, permite compreender a importância dos sensores não apenas para o funcionamento adequado do motor, mas também para a redução de falhas, otimização da manutenção e atendimento às normas de emissão.

4.1 SENSORES

Sensores são transdutores que convertem sinais físicos, como temperatura, pressão ou movimento, em sinais elétricos, sua função é capturar todos os sinais do motor, enviar para a ECU, que é a central de controle do motor para que seja realizado o gerenciamento e monitoramento dos parâmetros de funcionamento do motor.

As saídas de um sensor elétrico não são apenas fornecidas na forma de corrente ou tensão, mas também estão disponíveis como amplitudes, frequência, fases, larguras de pulso e ciclos ou período de uma oscilação elétrica, ou como parâmetros elétricos, resistência, capacitância e indutância. (REIF; 2014, p. 144)

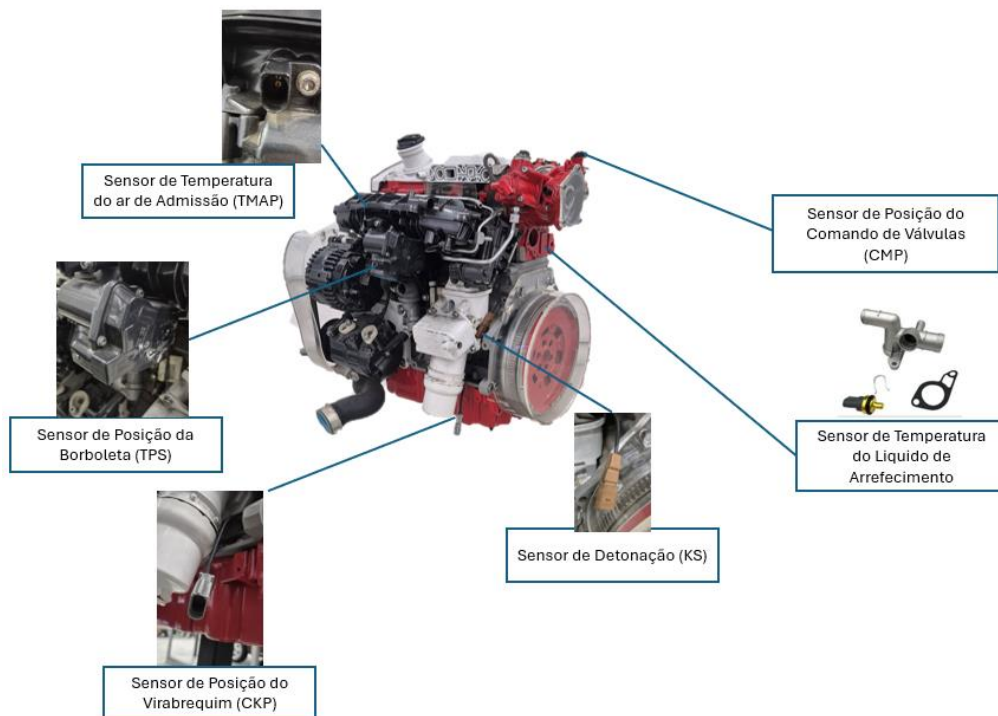
Cada sensor exerce uma função essencial para o desempenho do motor, sendo responsável por coletar e enviar parâmetros à Unidade de Controle Eletrônico (ECU). Esses sinais são interpretados pela ECU, que realiza o gerenciamento eletrônico do motor de forma eficiente, otimizando a ignição, a injeção de combustível, o desempenho e a eficiência energética. Além disso, esses sensores contribuem para a operação segura do motor e para a redução da emissão de poluentes (BOSCH, 2005).

- Sensor de Posição do Virabrequim (CKP): Localizado próximo à polia do virabrequim.
- Sensor de Posição do Comando de Válvulas (CMP): Instalado no cabeçote.

- Sensor de Temperatura do Líquido de Arrefecimento: Normalmente posicionado próximo ao termostato.
- Sensor de Detonação (KS): Parafusado ao bloco do motor.
- Sensor de Temperatura do Ar de Admissão (IAT): Localizado no coletor de admissão.
- Sensor de Fluxo de Massa de Ar (MAF): Instalado entre o filtro de ar e o corpo de borboleta (quando presente).
- Sensor de Posição da Borboleta (TPS): Fixado no corpo de borboleta.
- Sensor de Oxigênio (Sonda Lambda): Rosqueado no coletor de escape, antes e/ou depois do catalisador (caso haja uma segunda sonda).
- Sensor de Etanol: instalado na lateral do cabeçote
- Sensor do nível de combustível: Localizado dentro do tanque de combustível

A imagem abaixo (Figura 07) apresenta os principais sensores encontrados em um motor de combustão interna, os quais serão abordados neste trabalho. Nela, destacam-se as localizações típicas desses sensores, posicionados estrategicamente para garantir seu funcionamento ideal.

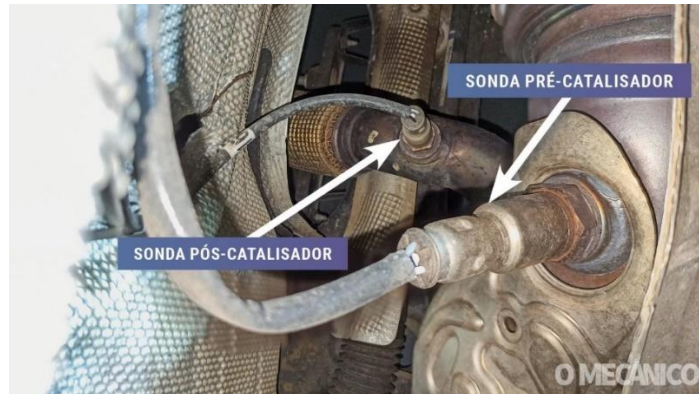
Figura 07 – Posicionamento dos sensores no motor



Fonte: Elaboração própria, 2025

O sensor de oxigênio, ou sonda lambda, é instalado no sistema de escapamento, posicionado estrategicamente para medir a concentração de oxigênio nos gases de exaustão. Em motores modernos, geralmente existem duas sondas (Figura 08):

Figura 08 – Posicionamento do sensor de oxigênio

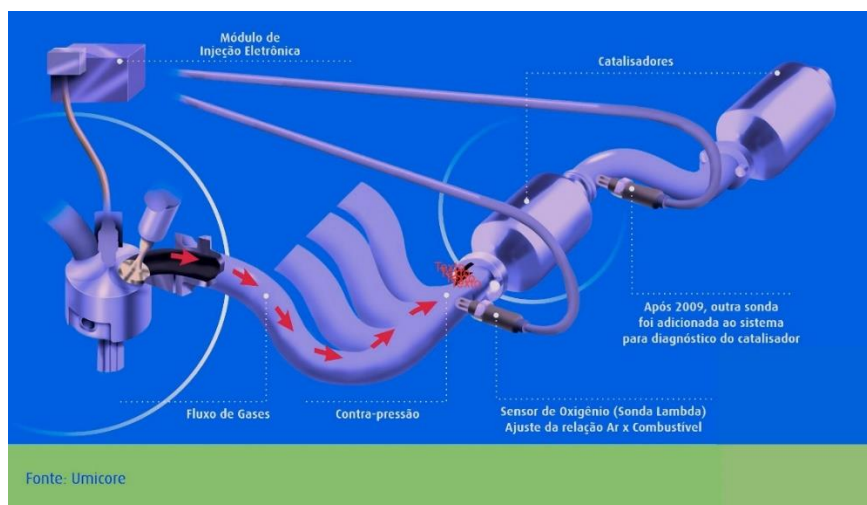


Fonte: Portal O Mecânico, 2022

Pré-catalisador (Sensor 1): localizada antes do catalisador, próxima ao coletor de escape. Sua função é monitorar a mistura ar-combustível para ajustes em tempo real pela ECU.

Pós-catalisador (Sensor 2): instalada após o catalisador, com a finalidade de verificar a eficiência do catalisador e controlar emissões. (Figura 09)

Figura 09 – Posicionamento do sensor de oxigênio no catalisador



Fonte: Umicore

Fonte: Umicore por Webmotors, 2018

Nos motores que utilizam este componente, o sensor de etanol é instalado na linha de baixa pressão do sistema de alimentação, fixado lateralmente ao cabeçote, garantindo a medição da composição do combustível antes da admissão (Figura 10).

Figura 10 – Posicionamento do sensor de etanol



Fonte: Portal O Mecânico, 2018

O sensor de Fluxo de Massa de Ar (MAF) é instalado no duto de admissão de ar, posicionado entre o filtro de ar e o corpo de borboleta (Figura 11). Essa localização garante que todo o ar medido seja o que efetivamente entra no motor, evitando leituras incorretas. Em alguns sistemas, especialmente com turboalimentação, o sensor pode estar montado após o *intercooler*, mas sempre antes da entrada no coletor de admissão.

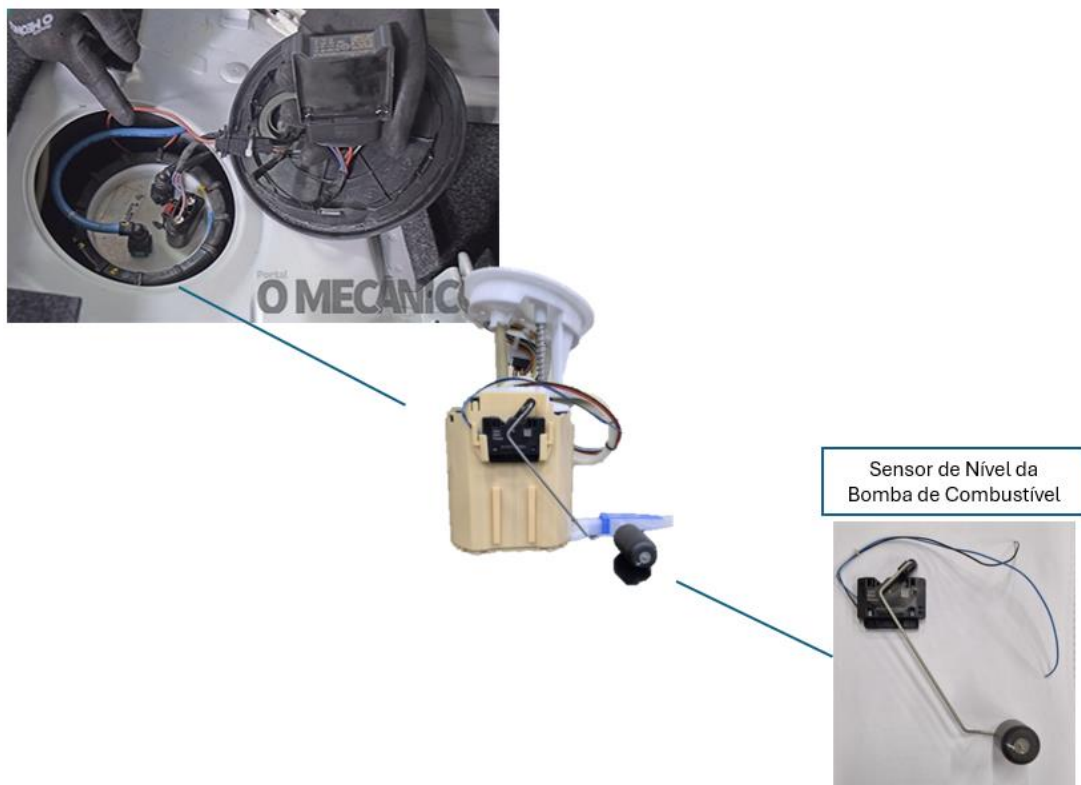
Figura 11 – Posicionamento do sensor MAF



Fonte: Adaptado Portal O Mecânico, 2025

O sensor de nível de combustível (Figura 12) é normalmente instalado dentro do tanque, integrado ao módulo da bomba elétrica. Essa posição permite contato direto com o combustível para medições precisas do volume disponível. A fixação interna garante proteção contra impactos e contaminações, enquanto o chicote elétrico conecta o sensor à ECU ou ao painel de instrumentos (BOSCH, 2019; SINO-INST, 2025; O MECÂNICO, 2025).

Figura 12 – Posicionamento do sensor de nível da bomba de combustível



Fonte: Adaptado Portal O Mecânico, 2025

4.2 SENSOR DE POSIÇÃO DO COMANDO DE VÁLVULAS E SENSOR DE POSIÇÃO DA ÁRVORE DE MANIVELAS

O sensor de posição do comando de válvulas (Figura 13), também conhecido como sensor de fase ou *Camshaft Position Sensor (CMP)*, tem como função informar à Unidade de Controle Eletrônico (ECU) a posição angular do eixo comando de válvulas. Essa informação é essencial para que a ECU identifique o momento exato de admissão de cada cilindro e, assim, sincronize a injeção de combustível e a ignição de maneira precisa.

Figura 13 – Sensor de posição do comando de válvulas



Fonte: Elaboração própria, 2025

O sensor de posição da árvore de manivelas (Figura 14), conhecido como *Crankshaft Position Sensor (CKP)*, é instalado geralmente próximo ao volante do motor ou à polia do virabrequim.

Figura 14 – Sensor de posição da árvore de manivelas



Fonte: MSAM, 2025

Ele fornece à ECU dados sobre a velocidade de rotação e a posição angular do virabrequim, possibilitando o cálculo da rotação do motor (RPM) e a identificação do ponto morto superior (PMS) dos cilindros.

Com base nesses sinais, a ECU determina o momento exato para a injeção e a ignição, assegurando o sincronismo entre os sistemas e contribuindo para a eficiência, desempenho e redução de emissões.

Sua principal função é informar à unidade de comando eletrônico (ECU) a posição angular exata do virabrequim em tempo real. A partir do sinal gerado por esse sensor, a ECU é capaz de determinar com precisão diversos parâmetros essenciais para o funcionamento do motor, tais como: a rotação do motor (RPM), a posição instantânea do virabrequim, a identificação do ponto morto superior (PMS) dos cilindros, o momento ideal para a ignição da mistura ar-combustível e o ponto exato para a injeção de combustível. Essas informações são cruciais para garantir o sincronismo entre os sistemas de ignição e injeção, otimizando o desempenho, a eficiência energética e a redução de emissões do motor.

4.2.1 Funcionamento e detalhes técnicos

Como o eixo comando de válvulas gira a metade da velocidade do virabrequim, o monitoramento simultâneo de ambos é indispensável para o sincronismo correto entre os sistemas de ignição e injeção.

O sensor de fase (CMP), instalado no comando de válvulas, e o sensor de rotação (CKP), instalado na árvore de manivelas, trabalham de forma conjunta para fornecer à ECU os parâmetros necessários ao controle de funcionamento do motor. (Tabela 1).

Tabela 1 – Sensores CMP e CKP

Característica	Sensor de Fase (CMP)	Sensor de Rotação (CKP)
Nome técnico	Sensor de posição do comando de válvulas	Sensor de posição do virabrequim
Função principal	Identificar o momento de abertura das válvulas injetoras	Determinar a rotação do motor e a posição dos pistões
Localização	Geralmente próximo ao eixo comando de válvulas	Geralmente próximo ao virabrequim (geralmente no bloco do motor)
Tipo de sinal	Analógico ou digital (geralmente Hall ou indutivo)	Analógico ou digital (Hall ou indutivo)
Importância no sistema	Sincroniza a injeção e ignição com o ciclo do motor	Base para o cálculo da rotação do motor e sincronismo geral

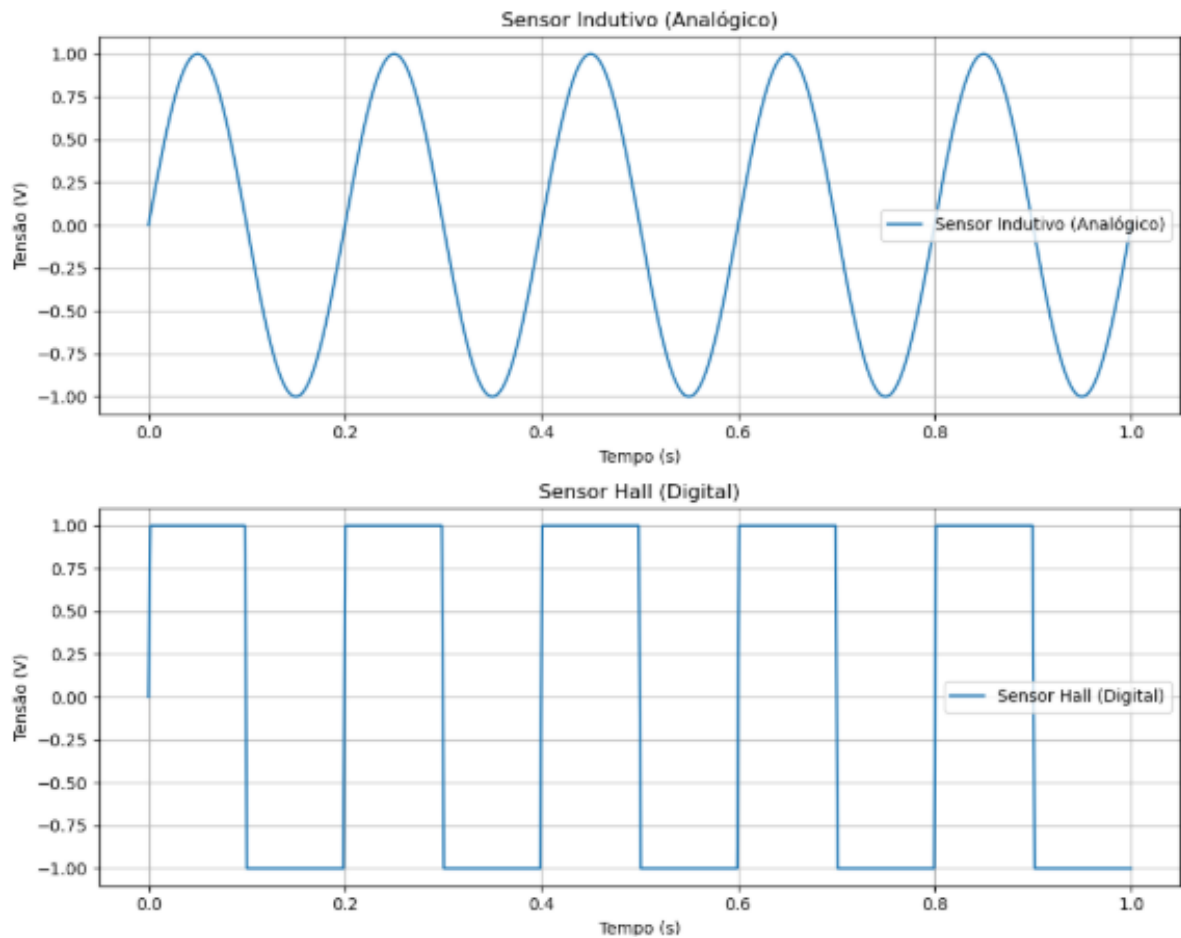
Fonte: Elaboração própria, 2025

O sensor CKP indica a rotação e a posição angular do virabrequim, enquanto o sensor CMP identifica qual cilindro está em fase de admissão. A combinação desses sinais permite à ECU determinar com exatidão o PMS de cada cilindro e aplicar o tempo de ignição e injeção ideais.

Esses sensores podem ser de dois tipos: indutivo, baseado na relutância magnética variável, e Hall, fundamentado no efeito Hall (Figura 15). Ambos convertem variações físicas (movimento ou campo magnético) em sinais elétricos interpretados pela ECU.

O sensor indutivo é passivo e não necessita de alimentação elétrica, enquanto o sensor Hall é ativo e requer alimentação externa, geralmente de 5 V.

Figura 15 – Perfis de sinais dos sensores indutivo e sensor Hall



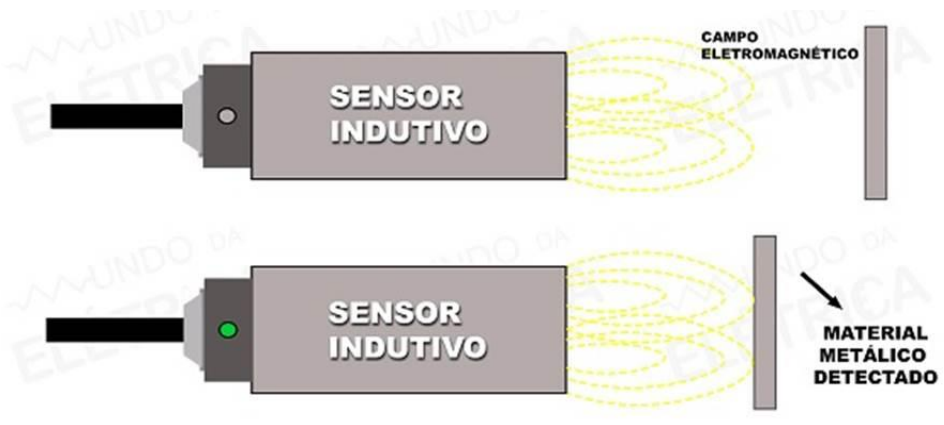
Fonte: Elaboração própria, 2025

4.2.2 Sensor de fase e rotação do tipo indutivo

O sensor indutivo, ou de relutância magnética variável, é amplamente empregado para monitorar a rotação e a posição angular do virabrequim e do comando de válvulas.

Seu funcionamento baseia-se na indução eletromagnética: uma bobina de fio condutor e um ímã permanente geram um campo magnético que sofre variação conforme os dentes metálicos da roda fônica passam diante do sensor. (Figura 16).

Figura 16 – Funcionamento do sensor indutivo



Fonte: Mundo Elétrica, 2025

De acordo com a Lei de Faraday da Indução Eletromagnética, essa variação de fluxo magnético induz uma tensão alternada nos terminais da bobina. A amplitude e a frequência do sinal gerado são proporcionais à velocidade de rotação e à posição dos dentes da roda fônica. O sinal senoidal resultante é então enviado à ECU, que o converte em sinal digital para determinar a rotação, o PMS dos cilindros e o sincronismo da ignição e injeção.

Características do sensor do sensor de rotação indutivo:

- Possui ímã permanente e bobina interna;
- Trabalha com dois terminais elétricos (sem alimentação externa);
- Gera sinal analógico proporcional à velocidade de rotação.

Essas características tornam o sensor indutivo (Figura 17) um componente robusto, de baixo custo e de elevada confiabilidade, embora apresente menor precisão em baixas rotações.

Figura 17 – Sensor indutivo 2 fios

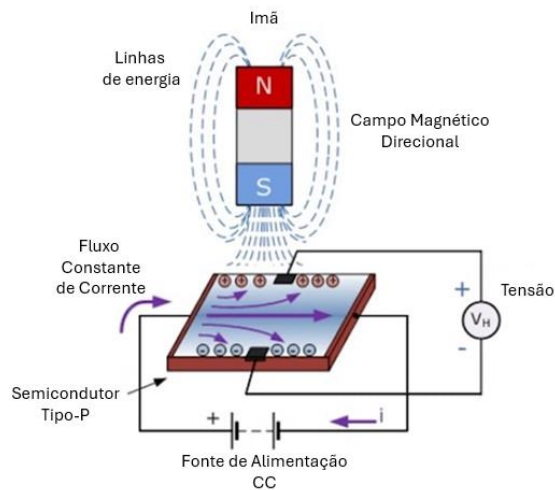


Fonte: Método E.I.E., 2025

4.2.3 O Efeito Hall

O efeito Hall é o princípio físico que fundamenta o funcionamento dos sensores ativos do tipo Hall. Esse fenômeno ocorre quando um condutor ou semicondutor percorrido por uma corrente elétrica é submetido a um campo magnético perpendicular, gerando uma diferença de potencial denominada tensão Hall. Essa tensão é proporcional à intensidade do campo magnético aplicado. (Figura 18).

Figura 18 – Princípio de funcionamento do sensor Hall



Fonte: Adaptado Motion Control Tips, 2025

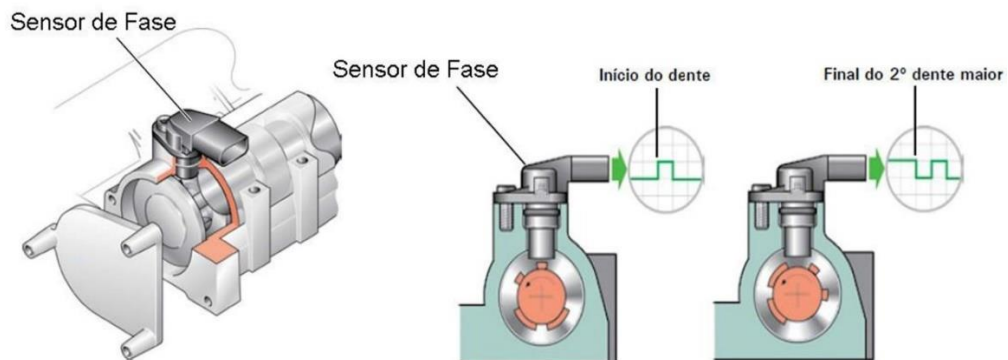
Nos sensores automotivos, essa propriedade é utilizada para detectar a passagem de elementos metálicos diante do campo magnético do sensor, convertendo essa variação em um sinal digital de onda quadrada.

Esse sinal é enviado à ECU, que interpreta a posição angular e a velocidade de rotação do eixo monitorado, garantindo um controle mais preciso do sincronismo entre injeção e ignição.

4.2.4 O sensor de fase e rotação tipo Hall

Os sensores do tipo Hall são componentes eletrônicos ativos amplamente aplicados na detecção da posição e da velocidade de eixos rotativos, como o virabrequim e o comando de válvulas. Baseados no efeito Hall, esses sensores geram uma tensão elétrica proporcional à variação do campo magnético causada pela passagem dos dentes da roda fônica. (Figura 19).

Figura 19 – Sensor Hall



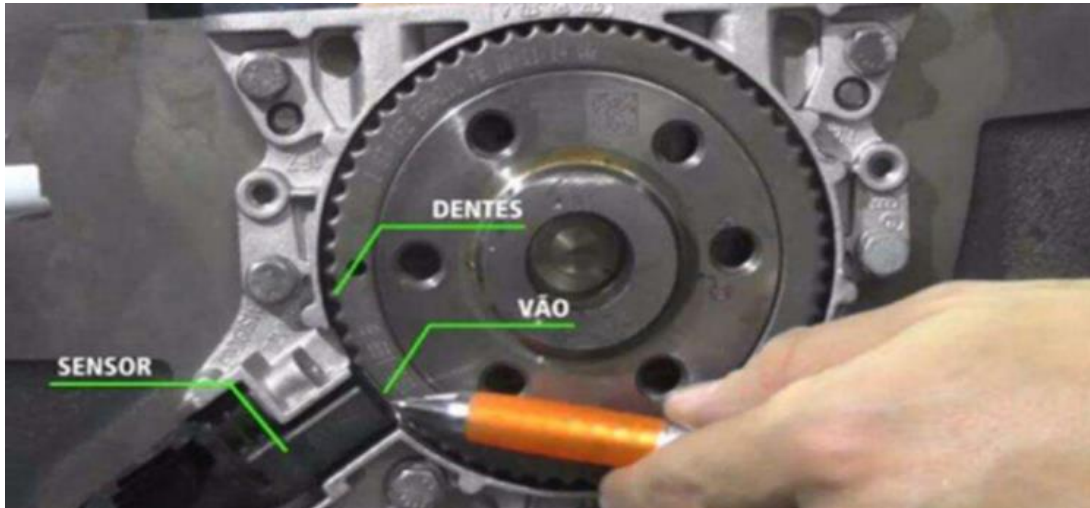
Fonte: Blog Doutor-IE, 2025

O sinal gerado é digital, no formato de onda quadrada, e é enviado diretamente à ECU. A partir dele, a unidade de controle identifica o cilindro ativo e a fase de funcionamento do motor, ajustando o tempo de ignição e de injeção com elevada precisão.

De forma complementar, o sensor de rotação do tipo Hall é instalado na árvore de manivelas e opera com o mesmo princípio, detectando a passagem dos dentes da

roda fônica acoplada ao virabrequim (Figura 20). Ele fornece à ECU informações precisas sobre a rotação do motor (RPM) e a posição angular do virabrequim.

Figura 20 – Funcionamento sensor de rotação tipo Hall



Fonte: Embarcados, 2017

A combinação dos sinais dos sensores de fase e rotação permite à ECU determinar com exatidão o ponto morto superior (PMS) de cada cilindro, garantindo o sincronismo ideal entre os sistemas de ignição e injeção.

Diferentemente dos sensores indutivos, os sensores Hall requerem alimentação elétrica externa, geralmente fornecida pela ECU geralmente com tensão de 5V. Por esse motivo, possuem três terminais:

- Positivo (5V)
- Negativo (GND)
- Sinal de Saída

Em comparação com os sensores indutivos, os sensores Hall (Figura 21) apresentam maior estabilidade de leitura, especialmente em baixas rotações, além de resposta mais rápida e melhor imunidade a interferências elétricas.

Figura 21 – Construção do sensor Hall



Fonte: Método E.I.E., 2025

4.2.5 Estrutura e Construção do Sensor do Comando de Válvulas

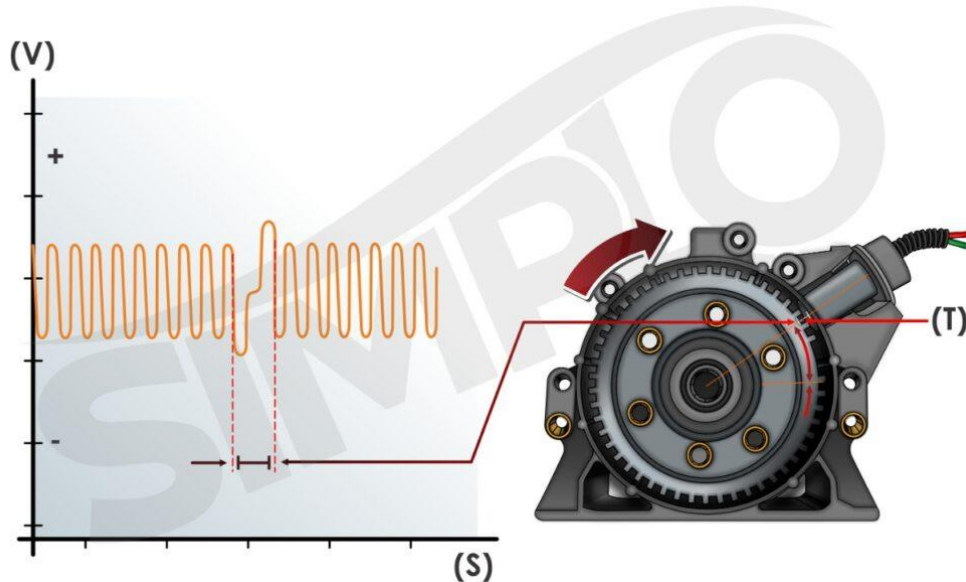
O sensor de posição do comando de válvulas (CMP) é fabricado com base na tecnologia Hall ou indutiva, dependendo do sistema.

O sensor indutivo é constituído por um núcleo magnético permanente, envolto por uma bobina de fio esmaltado de cobre, com milhares de espiras. Todo o conjunto é encapsulado em uma carcaça de material plástico resistente a temperaturas e fluidos automotivos, garantindo proteção contra umidade, vibrações e contaminantes.

Na extremidade sensora, o núcleo magnético fica exposto ou é protegido por uma pequena cápsula, permitindo a interação com o campo magnético da roda fônica. Os

terminais elétricos (geralmente 2 fios) são conectados à bobina e moldados ao conector (Figura 22).

Figura 22 – Sensor CMP indutivo



Fonte: Simplus, 2020

O sensor do tipo Hall apresenta uma arquitetura avançada baseada em um circuito integrado. O núcleo do dispositivo é um chip semicondutor, geralmente fabricado em arseneto de gálio (GaAs), devido à sua alta mobilidade eletrônica e eficiência em aplicações de efeito Hall (VIVACE PROCESS INSTRUMENTS, 2014; TEORIA DA ENERGIA, 2023). Esse chip incorpora o elemento sensível ao efeito Hall e é montado sobre uma base, conectado a um circuito eletrônico miniaturizado integrado no mesmo encapsulamento, composto por regulador de tensão, amplificador e estágio de comutação (AVTOTACHKI, 2023). Todo o conjunto é protegido por uma carcaça plástica, e um ímã permanente é posicionado diante do elemento Hall para gerar o campo magnético necessário à detecção (BÓSON TREINAMENTOS, 2023). O sensor possui, normalmente, três ou mais terminais — alimentação, terra e sinal — que se conectam ao chicote elétrico do sistema.

Segundo Brunetti (2014), o encapsulamento em resina e o uso de materiais magnéticos estáveis asseguram alta durabilidade e precisão na leitura da posição do comando, essencial para o sincronismo eletrônico do motor.

4.2.6 Estrutura e Construção do Sensor de Posição da Árvore de Manivelas

O sensor CKP (sensor de posição do virabrequim) do tipo indutivo é amplamente utilizado em sistemas automotivos para determinar a rotação e a posição angular do motor. Ele é composto por um núcleo de ferro doce, uma bobina de cobre esmaltado e um ímã permanente, formando um indutor (BOSCH, 2021; TIEPIE, 2020). Essa configuração é característica dos sensores de relutância variável, que operam com base na variação do fluxo magnético.

O conjunto é montado em um corpo metálico ou termoplástico de alta resistência, que abriga o enrolamento e protege contra vibrações e contaminantes (BOSCH, 2021). O núcleo ferromagnético atua como guia para as linhas de fluxo geradas pelo ímã, enquanto a bobina, ao ser submetida à variação desse fluxo pela passagem dos dentes da roda fônica, gera um sinal de tensão alternada proporcional à rotação do motor (SPRINGER, 2018; SAE, 2019).

Para garantir durabilidade, a carcaça do sensor é projetada com vedação em materiais selantes, como resina epóxi, e conectores hermeticamente selados, prevenindo a entrada de óleo e partículas metálicas. Essa prática é comum na indústria automotiva para assegurar resistência a ambientes agressivos (FCI, 2020; DIRECTINDUSTRY, 2020).

4.2.7 Possíveis falhas

A luz de injeção acesa no painel do veículo, tecnicamente denominada Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento (LIM), sinaliza que há uma anomalia no sistema de gerenciamento eletrônico do motor, especialmente na injeção eletrônica. Quando uma falha é detectada, a unidade de comando eletrônico (ECU) registra essa ocorrência em sua memória por meio de códigos específicos chamados DTCs (Diagnostic Trouble Codes).

Esses códigos de falha são fundamentais para o processo de diagnóstico, pois orientam o reparador na identificação precisa da origem do problema, otimizando o

tempo de análise e aumentando a precisão na manutenção corretiva. Assim, a LIM (Figura 23) não é apenas um aviso visual, mas um componente essencial para a comunicação entre o sistema eletrônico e o condutor, desempenhando papel crítico na segurança, na confiabilidade do veículo e na eficiência do reparo (BOSCH, 2022; O MECÂNICO, 2025; SAE INTERNATIONAL, 2019).

Figura 23 – Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento



Fonte: Motointegrator, 2025

Entretanto, este trabalho não se propõe a aprofundar a análise dos códigos DTC, uma vez que cada montadora pode adotar padrões próprios de codificação, estrutura e interpretação.

Além dos códigos genéricos padronizados pela norma OBD-II, existem códigos específicos de fabricante que exigem ferramentas e procedimentos distintos para leitura e diagnóstico. Por esse motivo, o objetivo deste estudo permanece nos sensores e seus princípios de funcionamento, testes e aplicações práticas no contexto da manutenção automotiva.

As falhas nos sensores de fase e rotação comprometem diretamente o funcionamento do motor, uma vez que afetam o sincronismo entre ignição e injeção. Entre os sintomas mais recorrentes, destacam-se:

- Dificuldade na partida: causada por sinal intermitente ou ausência de leitura do sensor.
- Falhas na aceleração: o motor apresenta hesitação ou perda momentânea de potência.

- Perda de desempenho e torque: a ECU entra em modo de emergência, limitando o funcionamento do motor.
- Desligamento repentino: o motor pode apagar durante a marcha lenta ou desaceleração.
- Oscilações na marcha lenta: causadas por leituras imprecisas de rotação.
- Aumento no consumo de combustível: devido à compensação incorreta de mistura pela ECU.

Acendimento da luz de injeção (LIM): indicando falhas registradas pela ECU e armazenadas como códigos de erro (DTCs).

Essas falhas exigem diagnóstico com multímetro, osciloscópio e scanner automotivo, verificando continuidade elétrica, resistência da bobina, sinal de saída e alimentação. O correto funcionamento desses sensores é essencial para o controle de emissões, desempenho e confiabilidade do sistema de gerenciamento eletrônico do motor.

4.2.8 Testes de funcionamento

O procedimento de medição da resistência elétrica (Figura 24) de um sensor de fase e rotação é realizado utilizando um multímetro digital. Esse teste é fundamental para verificar a integridade do enrolamento interno do sensor, que atua na leitura da posição e velocidade do eixo do motor.

Figura 24 – Teste de resistência do sensor de fase e rotação 2 fios (Tipo Indutivo)



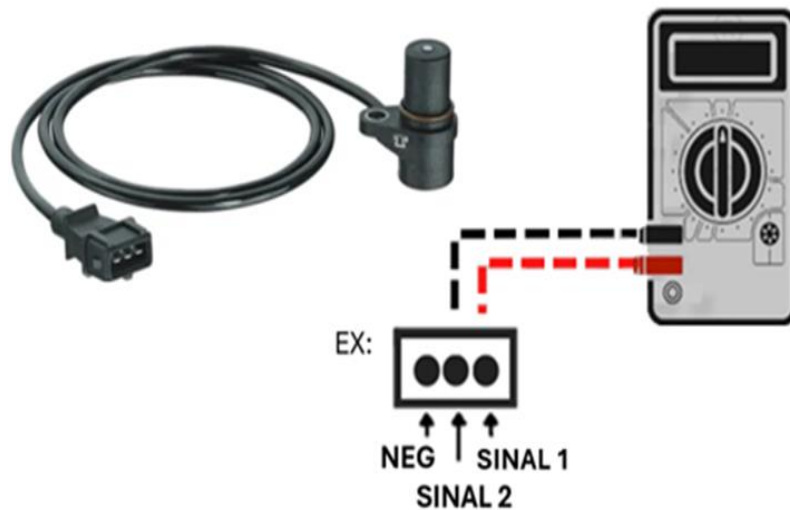
Fonte: Autoria própria, 2025

Valores de resistência fora da faixa especificada pelo fabricante podem indicar falhas como curto-circuito, circuito aberto ou degradação do componente, comprometendo o sincronismo da ignição e a injeção eletrônica.

Para realizar esse teste, o multímetro deve ser ajustado para a escala de resistência (Ω). Em seguida, as pontas de prova devem ser conectadas aos terminais do sensor, conforme o tipo de sensor utilizado.

Para sensores indutivos com 3 fios (Figura 25).

Figura 25 - Teste de resistência do sensor de fase e rotação 3 fios (Tipo Indutivo)

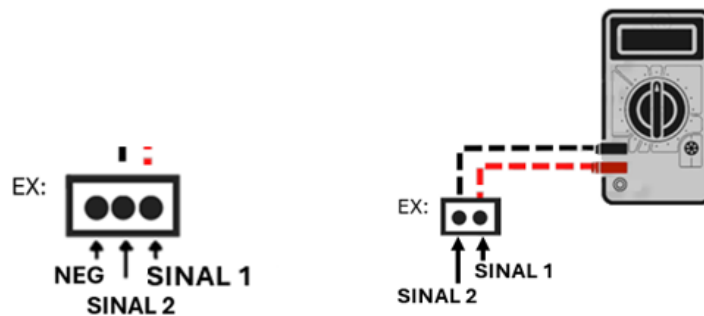


Fonte Método E.I.E., 2025

Sensores indutivos não necessitam de alimentação elétrica externa, pois geram um sinal de tensão alternada (AC) proporcional à velocidade de rotação de um componente metálico, como uma roda fônica.

Para testá-los, utiliza-se um multímetro na escala de tensão AC ou um osciloscópio, conectado diretamente aos terminais do sensor (Figura 26). Com o motor girando, espera-se a geração de uma tensão variável em amplitude e frequência, dependendo da rotação. A ausência de sinal pode indicar falha na bobina interna ou interrupção no circuito.

Figura 26 - Teste de sinal do sensor de fase e rotação 2 e 3 fios (Tipo Indutivo)

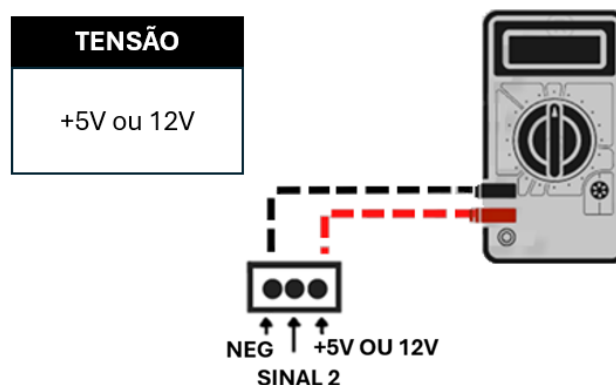


Fonte: Método E.I.E., 2025

Já os sensores Hall, normalmente com três fios, requerem alimentação elétrica (geralmente 5V ou 12V) fornecida pela ECU. Esses sensores produzem um sinal digital comutado, que alterna entre níveis de tensão (como 0V e 5V), conforme a passagem de um elemento metálico diante do sensor.

O teste adequado deve ser realizado com o sensor conectado e energizado, utilizando um multímetro em escala de tensão alternada ou, preferencialmente, um osciloscópio (Figura 27).

Figura 27 - Teste Sensor de fase e rotação (Tipo Hall)



Fonte: Método E.I.E., 2025

A medição é feita com o motor em funcionamento, observando-se a comutação do sinal. A ausência de variação pode indicar falha no sensor, ausência de alimentação ou problemas no atuador mecânico. A correta identificação do tipo de sensor e a escolha do método de teste são fundamentais para um diagnóstico preciso e eficiente.

O teste de frequência (Figura 28) é aplicado principalmente em sensores ativos do tipo Hall (geralmente com três fios), que geram um sinal digital pulsante proporcional à rotação do motor. Esse sinal pode ser monitorado com um multímetro que possua a função de medição de frequência (Hz) ou, de forma mais precisa, com um osciloscópio. A ausência de leitura ou sinal instável pode indicar falhas no sensor, problemas na alimentação elétrica ou mau contato no chicote. O uso de um osciloscópio permite visualizar a forma de onda gerada, facilitando a identificação de falhas intermitentes ou distorções no sinal.

Figura 28 - Teste frequência do sensor de fase e rotação (Tipo Hall)



Fonte: Método E.I.E., 2025

4.3 SENSOR DE POSIÇÃO DO ACELERADOR (TPS)

O sensor de posição da borboleta (Figura 29), em inglês *Throttle position sensor (TPS)*, é o sensor que tem como função a conversão do movimento mecânico de posição da borboleta em um sinal elétrico equivalente ao ângulo de abertura da borboleta. Ou seja, ele informa a ECU o quanto está sendo acelerado o veículo.

Figura 29 – Sensor TPS



Fonte: Keven Madalozzo, 2022

Na imagem acima é mostrado um TBI e na ponta direita do dispositivo está acoplado o sensor TPS. Quando o pedal do acelerador é pressionado e o cabo ou servomotor começa a movimentar o ângulo da borboleta, o eixo da borboleta que está acoplado ao sensor de TPS, movimenta o sensor e, com esse movimento, altera a tensão emitida do TPS para a ECU. Após o processamento da ECU da tensão emitida pelo TPS o módulo tem ciência após a informação concomitante do sensor TMAP do consumo exato de massa de ar do veículo.

4.3.1 Funcionamento e detalhes técnicos

Antigamente, o sensor TPS (Sensor de Posição da Borboleta) era um potenciômetro simples, cuja resistência variava conforme o movimento do eixo da borboleta do acelerador. Essa variação de resistência gerava um sinal de tensão proporcional à posição da borboleta, que era enviado à ECU (Unidade de Controle Eletrônico).

Atualmente, o sensor TPS continua operando com sinais em forma de tensão elétrica permitindo que a ECU monitore com precisão a posição da borboleta e identifique possíveis falhas no circuito

A ECU interpreta esse sinal para calcular o tempo de injeção, ou seja, o tempo de abertura dos injetores, e aplicar diversas estratégias de controle do motor, como:

- Enriquecimento para aceleração rápida
- Estratégias para o freio motor
- Estratégias de marcha lenta
- Estratégia para desaceleração
- Estratégia de Cut-off

A tabela a seguir faz um comparativo entre ambos os sensores (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação TPS entre potenciômetro e sensor eletrônico

Aspecto	TPS Antigo (Potenciômetro)	TPS Atual (Sensor Eletrônico)
Sinal gerado	Variação de resistência → tensão	Tensão elétrica proporcional à posição da borboleta
Faixa de tensão típica	Similar, mas menos estável	0,5 V (fechada) a 4,5 V (aberta)
Precisão	Menor, sujeito a desgaste mecânico	Maior, com menor desgaste e mais confiável
Função principal	Informar posição da borboleta à ECU	Informar posição da borboleta à ECU com a garantia de que problemas com desgaste não ocorrerão
Aplicações na ECU	Básicas: controle de injeção	Avançadas: aceleração, marcha lenta, cut-off, freio motor

Aspecto	TPS Antigo (Potenciômetro)	TPS Atual (Sensor Eletrônico)
Durabilidade	Menor, devido ao atrito mecânico	Maior, com sensores sem contato direto

Fonte: Elaboração Própria, 2025

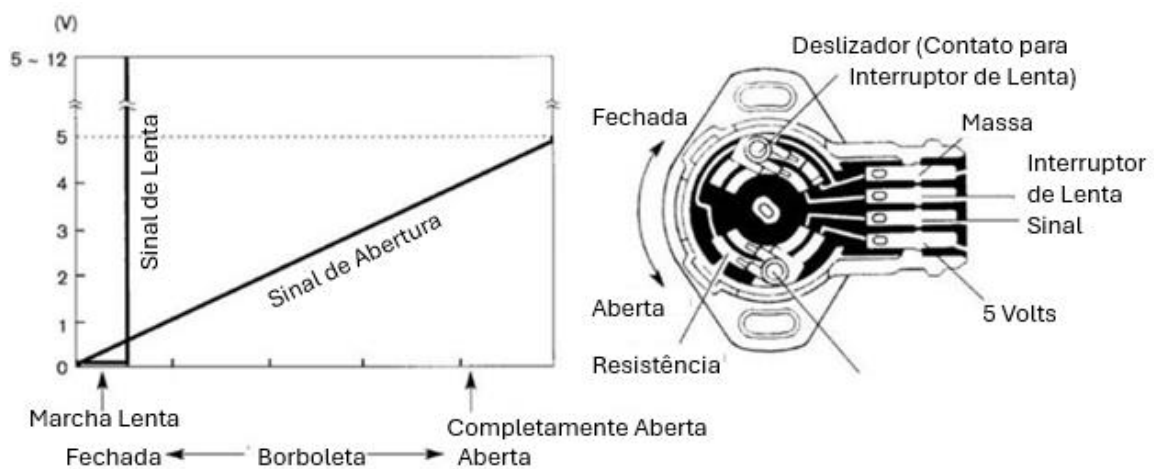
Comumente existem duas tecnologias mais populares de sensores TPS que estão disponíveis e sendo utilizadas nos veículos:

- O sensor TPS Resistivo
- O sensor TPS Eletrônico

4.3.2 Sensor TPS Resistivo

A estrutura do sensor TPS, muito utilizado antigamente, funcionava como um potenciômetro que poderia ter uma ou mais pistas resistivas (Figura 30). Nesse caso, os potenciômetros eram resistores que tinham sua resistência variada de acordo com a posição da borboleta. Pela sua construção, possuíam uma vida útil menor que o Sensor TPS Eletrônico, pois a pista resistiva estava sujeita ao desgaste via atrito.

Figura 30 – Sensor TPS Resistivo



Fonte: Adaptado Ingenieria y mecanica automotriz, 2021

Apesar de sua simplicidade e baixo custo, esse tipo de sensor apresenta algumas limitações. O contato mecânico constante entre o cursor e a trilha resistiva gera

desgaste físico, resultando em falhas intermitentes, ruídos elétricos e leituras imprecisas. Além disso, o sistema não oferece redundância de sinal, o que reduz a capacidade de diagnóstico e a segurança do controle eletrônico.

O sensor de 3 pinos é um potenciômetro resistivo que fornece à ECU um sinal analógico proporcional à abertura da borboleta. É composto basicamente por três terminais:

- Positivo (5V)
- Negativo (GND)
- Sinal

O sensor TPS de 4 fios é considerado mais incomum porque a maioria dos sistemas automotivos utiliza sensores de 3 fios, que são suficientes para as funções básicas do componente: alimentação, aterramento e sinal de saída proporcional à posição da borboleta (Figura 21).

Sensores TPS com três fios são amplamente utilizados em sistemas automotivos por atenderem às funções básicas de alimentação, aterramento e envio de sinal proporcional à posição da borboleta. Já os sensores com quatro fios, menos comuns, são geralmente aplicados em veículos com maior exigência de precisão e segurança, oferecendo funcionalidades adicionais como redundância de sinal ou diagnóstico avançado (EASY CAR ELECTRICS, 2022)

O quarto fio, presente em sensores mais modernos ou específicos, geralmente serve para funções adicionais, como redundância de sinal (em sistemas com acelerador eletrônico), diagnóstico avançado ou integração com outros sensores. Essa configuração é mais complexa e, por isso, menos comum em veículos convencionais, sendo mais frequente em modelos com maior exigência de precisão e segurança.

Além disso, a padronização da indústria e o custo mais baixo dos sensores de 3 fios contribuem para a raridade dos modelos com 4 fios (Figura 31).

Figura 31 – Sensor TPS Resistivo 4 fios



Fonte: Método E.I.E., 2025

4.3.3 Sensor TPS Eletrônico

A grande vantagem dessa configuração do sensor TPS Eletrônico é a vida útil do dispositivo devido não precisar de pista resistiva para o envio de informações, portanto não há desgastes de matérias do sensor. Outra vantagem é a precisão do sinal enviado para a ECU se comparado ao TPS resistivo devido seu controle eletrônico gerar menor margem de erro na medição.

Com o advento do acelerador eletrônico, a Volkswagen adotou sensores TPS de 5 ou 6 pinos, geralmente integrados ao corpo de borboleta eletrônico, eliminando o cabo de aceleração. Nessa configuração, a ECU comanda um motor elétrico responsável por ajustar o ângulo da borboleta conforme a solicitação do motorista, informada por sensores de posição no pedal do acelerador.

O TPS de 6 pinos possui dois circuitos internos redundantes (TPS1 e TPS2), cada um com sua alimentação, sinal e terra. Essa duplicidade é uma exigência dos padrões de segurança funcional automotiva (ISO 26262), garantindo que o sistema possa operar de forma segura mesmo em caso de falha de um dos circuitos.

Normalmente, o canal TPS1 fornece uma leitura direta (0,5V a 4,5 V), enquanto o TPS2 fornece uma leitura inversa (4,5V a 0,5 V). A ECU compara constantemente ambos os sinais; se houver discrepância entre eles, o sistema entra em modo de segurança, limitando a rotação do motor e acendendo a luz EPC (*Electronic Power Control*) no painel.

Além da redundância, muitos sensores modernos utilizam tecnologia de efeito Hall ou magneto-resistiva, eliminando o contato físico entre as partes móveis. Essa característica reduz o desgaste, aumenta a precisão do sinal e melhora a durabilidade do conjunto.

Os sensores de posição da borboleta (TPS) evoluíram significativamente para atender às demandas dos sistemas modernos de gerenciamento eletrônico. O modelo tradicional de 3 pinos utiliza uma única via de leitura, composta por alimentação, terra e sinal analógico, fornecendo à ECU a posição da borboleta por variação de tensão, mas com limitações em confiabilidade e diagnóstico.

Em contraste, o TPS de 6 ou 8 pinos (Figura 32) incorpora sinais redundantes, geralmente dois canais independentes, permitindo autodiagnóstico contínuo pela unidade de controle eletrônico e maior segurança funcional, conforme destacado por Schematron (2024), que explica que “a presença de dois sinais (Sinal A e Sinal B) permite que a ECU realize verificação cruzada, aumentando a confiabilidade do sistema”.

Figura 32 – Sensor TPS de 8 pinos



Fonte: Vetter Peças, 2025

Além disso, esse modelo pode incluir funções adicionais, como interruptor de marcha lenta e compensação térmica, garantindo maior precisão e tempo de resposta mais rápido (TRENDYPORT, 2024).

A seguir (Tabela 3), dispõe-se um comparativo técnico completo entre o sensor TPS de 3 pinos (tradicional) e o sensor TPS de 6 ou 8 pinos (eletrônico).

Tabela 3 – Comparação tecnologias de sensores TPS

Característica	TPS de 3 Pinos (Convencional)	TPS de 6 Pinos (Eletrônico)
Aplicação	Corpo de borboleta com cabo mecânico	Corpo de borboleta eletrônico (E-Gas)
Quantidade de pinos	3 (Sinal, 5V e negativo)	6 (dois circuitos redundantes: TPS1 e TPS2)
Tipos de Sensor	Potenciômetro resistivo simples	Sensor duplo (potenciômetro redundante, tipo Hall ou indutivo)
Função Primária	Detectar posição angular da borboleta acionada mecanicamente	Detectar posição angular da borboleta controlada por motor elétrico
Sinal de Saída	Único sinal analógico (0,5V a 4,5V)	Dois sinais analógicos inversos e redundantes
Tipo de Controle do Acelerador	Mecânico (por cabo)	Eletrônico (<i>drive-by-wire</i>)
Precisão de Sinal	Média (desgaste)	Alta
Diagnóstico de Falha	Limitado (dificuldade de detecção por ECU)	Completo e automático (comparação entre canais)
Comportamento em Falha	Pode causar falhas de aceleração, mas motor responde	Sistema entra em modo de segurança (borboleta limitada, luz EPC)
Segurança Funcional (ISO 26262)	Não atende aos padrões atuais	Atende aos requisitos de redundância e segurança automotiva

Característica	TPS de 3 Pinos (Convencional)	TPS de 6 Pinos (Eletrônico)
Tecnologia Interna	Pista resistiva e cursor móvel	Dupla pista resistiva ou sensores Hall
Tempo de Resposta	Médio (resposta analógica direta)	Rápido e linear
Interferência Elétrica	Mais suscetível a ruído	Proteção contra ruído e calibração digital
Manutenção	Pode ser substituído isoladamente	Integrado ao corpo de borboleta
Custo do Componente	Baixo	Médio/alto
Início de aplicação	Fim dos anos 1980, padrão em 1990, ainda usado em borboletas mecânicas acionadas por cabo	Final dos anos 1990; difundido nos anos 2000 em borboletas de acionamento eletrônico

Fonte: Elaboração própria, 2025

Embora o custo do conjunto eletrônico seja superior e exija ferramentas de diagnóstico específicas (como scanners OBD-II) para calibração e adaptação, o ganho em desempenho, segurança e eficiência compensa a complexidade adicional do sistema.

O sensor TPS resistivo (Figura 33) é composto por 3 pinos:

- Positivo (5V)
- Negativo (GND)
- Sinal

Figura 33 – Sensor TPS Resistivo 3 fios



Fonte: Método E.I.E., 2025

4.3.4 Estrutura e construção do TPS Resistivo (Potenciômetro)

A construção do TPS resistivo baseia-se em um corpo de plástico que abriga uma pista resistiva, geralmente feita de uma película de carbono ou cerâmica. Um cursor metálico, acoplado mecanicamente ao eixo da borboleta, desliza sobre esta pista. O atrito entre o cursor e a pista é constante durante o movimento, o que define sua vida útil. Os terminais elétricos são conectados às extremidades da pista resistiva e ao cursor, conectando os sinais de alimentação, terra e sinal. Todo o conjunto é selado para evitar a entrada de agentes externos.

4.3.5 Estrutura e construção do TPS Eletrônico (sem contato)

Os sensores TPS eletrônicos modernos, como os de efeito Hall, indutivos ou magneto-resistivos, eliminam o contato físico. Sua construção envolve um ímã permanente acoplado ao eixo da borboleta e um circuito integrado de sensor Hall fixo no corpo do sensor. O circuito integrado, encapsulado em plástico, contém o elemento sensível e a eletrônica de condicionamento de sinal. Esta construção sem desgaste mecânico confere alta confiabilidade e durabilidade. Em sistemas de acelerador eletrônico (drive-by-wire), dois sensores independentes são frequentemente integrados em uma única unidade para redundância.

Segundo Brunetti (2014), a precisão da construção do TPS é fundamental, pois qualquer variação de resistência fora do padrão interfere diretamente no cálculo da carga do motor e no controle da aceleração.

4.3.6 Possíveis falhas

Caso o sinal do sensor TPS fique totalmente negativo (0V) ou totalmente positivo (5V) a central reconhecerá como um DTC, curto-circuito ao positivo, curto-circuito ao negativo ou circuito aberto. Abaixo encontram-se falhas comuns que a ECU apresenta quando o sensor apresenta falhas:

- Marcha lenta alta ou oscilando: Ocorre quando o sensor envia uma tensão incorreta para a unidade de controle do motor (ECU), mesmo com a borboleta fechada;
- Resposta irregular do acelerador: O motor pode não responder da forma esperada ao movimento do pedal do acelerador;
- Luz de verificação do motor acesa: Se o sensor TPS apresentar uma falha, a ECU pode registrar um código de falha (DTC) além de acender a luz de verificação do motor;
- Problemas de aceleração: O motor pode ter dificuldade em acelerar ou ter aceleração brusca.

4.3.7 Testes de funcionamento

O teste de resistência do sensor TPS (Figura 34), quando este é do tipo potenciômetro, deve ser realizado com o sensor desconectado do chicote elétrico e o motor desligado. Utiliza-se um multímetro digital ajustado na escala de resistência (Ω) para medir a variação entre os terminais de terra e sinal.

Figura 34 – Teste de resistência do sensor TPS tipo potenciômetro



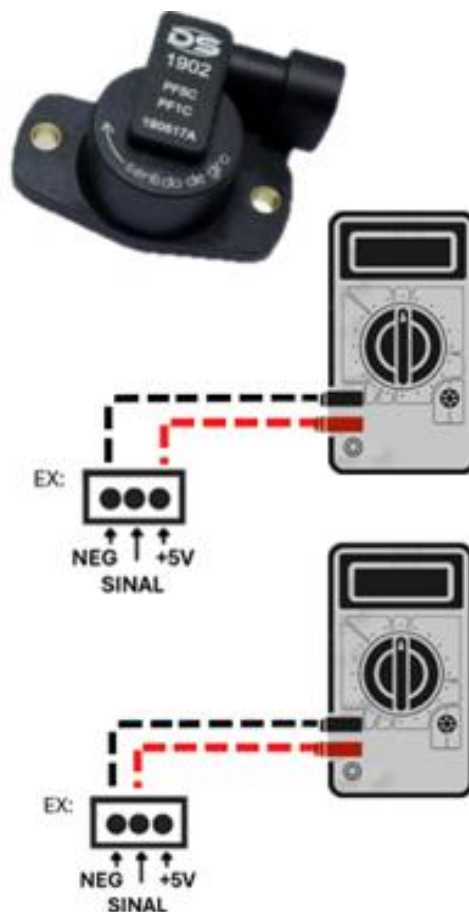
Fonte: Método E.I.E., 2025

A resistência deve variar de forma contínua e progressiva, sem interrupções ou saltos bruscos. Qualquer comportamento irregular, como resistência infinita, variações instáveis ou ausência de resposta, pode indicar desgaste ou falha no sensor.

O teste de tensão em sensores TPS eletrônico, utilizados em sistemas de acelerador eletrônico (*drive-by-wire*), deve ser realizado com o conector do sensor plugado e a ignição ligada. Diferente dos sensores do tipo potenciômetro simples, os sensores eletrônicos atuais geralmente possuem dois sensores redundantes integrados ao corpo de borboleta, cada um enviando um sinal de tensão distinto à ECU para garantir segurança e precisão.

Para realizar o teste, utiliza-se um multímetro digital na escala de tensão contínua. Deve-se observar a variação de tensão conforme o pedal do acelerador é pressionado ou a borboleta é acionada eletronicamente. Normalmente, um dos sinais varia de forma inversa ao outro. Essa redundância permite à ECU detectar falhas e entrar em modo de segurança caso haja divergência entre os sinais. Leituras fora da faixa, ausência de variação ou sinais inconsistentes indicam possíveis falhas no sensor ou no módulo do corpo de borboleta (Figura 35).

Figura 35 – Teste Sensor TPS Eletrônico



Fonte: Método E.I.E., 2025

4.4 SENSOR DE PRESSÃO ABSOLUTA DO COLETOR (MAP)

O sensor de pressão absoluta (Figura 36) tem como função a medição da pressão real dentro do coletor de admissão, nos motores Ciclo Otto em que a aceleração é controlada através do fluxo de ar limitado pelo TBI e, em condição de funcionamento do motor, ocorre uma variação de pressão dentro do coletor de admissão ocasionada por conta de que, quando os pistões se movimentam na fase de admissão ele aspira o ar para dentro do cilindro o que gera uma zona de baixa pressão. Devido o corpo de borboleta limitar a quantidade de ar a ser admitida para dentro do motor, cria-se depressão.

Figura 36 – Sensor MAP



Fonte: Keven Madalozzo, 2022

4.4.1 Funcionamento e detalhes técnicos

O sensor MAP é um dos principais sensores para o cálculo de injeção de combustível dado a sua importância para a estequiometria da mistura, tendo em vista que, através da pressão interna do coletor em consonância com a rotação do motor e a temperatura, a ECU é capaz de mensurar a massa de ar que está sendo admitida no motor. Com todos estes parâmetros contemplados a ECU é capaz de calcular a quantidade de combustível a ser injetada na mistura.

Quanto maior a pressão interna no coletor de admissão, maior será a quantidade de combustível injetado na mistura. Esse comportamento é interpretado pela ECU, que

utiliza modelos matemáticos, como mapas tridimensionais, para interpolar a quantidade ideal de combustível com base em diversas variáveis monitoradas em tempo real. Entre essas variáveis estão o ângulo da borboleta, a temperatura do motor, a rotação (RPM), entre outros parâmetros que influenciam diretamente na estratégia de injeção eletrônica.

Tendo em vista que a densidade do ar varia de acordo com a temperatura e perfil altimétrico, a ECU precisa relacionar os dados do sensor MAP com o sensor de temperatura de ar para estimar com maior precisão a massa de ar admitida no cilindro.

É um sensor de extrema importância pois através dele a ECU pode calcular a pressão atmosférica e desenvolver estratégias para uma melhor performance independente da pressão atmosférica naquele momento, pois um veículo pode transitar em locais com valores de pressão atmosférica diferentes. Por exemplo: em regiões litorâneas a nível do mar onde a pressão é maior ou em regiões dentro do continente e em altitude onde a pressão tende a ser menor que se comparado ao nível do mar.

Geralmente o sensor MAP tem capacidade para medir uma ampla faixa de pressões, de modo que a pressão atmosférica padrão não atinja seu limite máximo de leitura do sensor. No entanto, em veículos sobrealimentado, como os equipados com turbocompressor, o limite de leitura do MAP é ampliado. Nesses casos, o sensor MAP fornece informações cruciais sobre a pressão gerada pela turbina, permitindo o controle preciso da mistura ar-combustível e auxiliando na gestão da atuação do sistema de sobrealimentação.

Também pode existir mais de um sensor MAP atuando no veículo, por exemplo:

- Sensor MAP no coletor de admissão para monitorar a pressão do coletor em tempo real.
- Sensor MAP antes do corpo de borboleta para monitorar a pressão na turbina

A disposição destes sensores junto a sua aplicação depende da missão do veículo e da necessidade das informações a ser fornecidas para a ECU.

O sensor MAP é composto por 3 pinos (Figura 37):

- Positivo (5V)
- Negativo (GND)
- Sinal

Figura 37 – Sensor MAP 3 fios



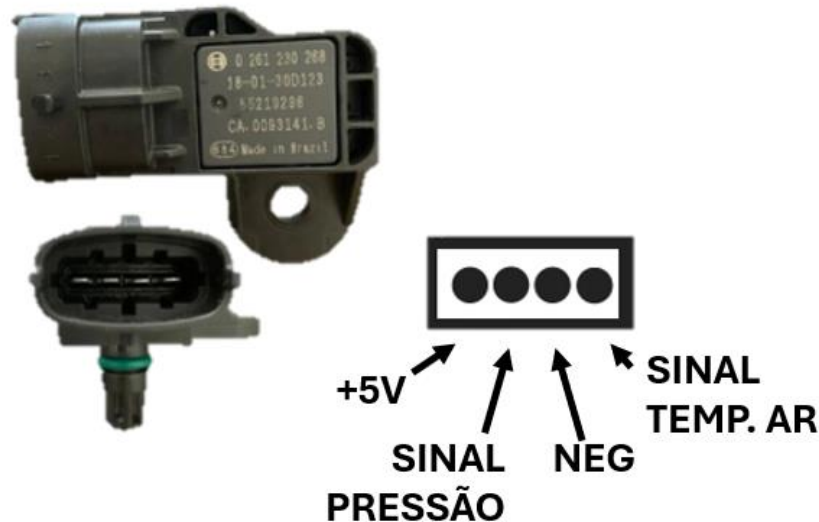
Fonte: Método E.I.E., 2025

Quando o sensor MAP possui sinal de temperatura do ar acoplado em si, ele irá possuir mais um pino, totalizando 4 pinos. Ou seja, o pino adicional será para o sinal de temperatura do ar e vai compartilhar o negativo do sensor MAP para o seu aterramento.

O sensor TMAP (*Temperature and Manifold Absolute Pressure*) combina em um único componente a medição da pressão absoluta no coletor de admissão e da temperatura do ar admitido. Essa integração permite à ECU obter dados mais precisos e em tempo real sobre as condições do ar que entra no motor. Com essas informações, o sistema de injeção eletrônica consegue calcular com maior exatidão a massa de ar admitida, otimizando a mistura ar-combustível e contribuindo para um melhor desempenho, economia de combustível e redução de emissões.

O uso do TMAP (Figura 38) é especialmente vantajoso em motores sobrealimentados, onde as variações de pressão e temperatura são mais significativas e exigem um controle mais refinado. Já os sensores MAP e IAT separados são mais comuns em motores aspirados, com manutenção mais simples e custo inicial menor.

Figura 38– Sensor TMAP



Fonte: Método E.I.E., 2025

4.4.2 Estrutura e Construção do Sensor de Pressão Absoluta do Coletor (MAP)

O sensor MAP possui uma membrana se deforma conforme a variação da pressão no coletor de admissão, alterando a resistência dos elementos piezoresistivos depositados sobre sua superfície.

O chip é encapsulado em resina epóxi e protegido por uma carcaça termoplástica selada, que possui uma câmara interna conectada por um canal à linha de vácuo do coletor. O circuito eletrônico integrado converte a variação resistiva em sinal elétrico proporcional à pressão.

Conforme Brunetti (2014), a tecnologia piezoresistiva de silício garante estabilidade, resistência à vibração e excelente linearidade na medição da pressão absoluta do coletor.

4.4.3 Possíveis Falhas

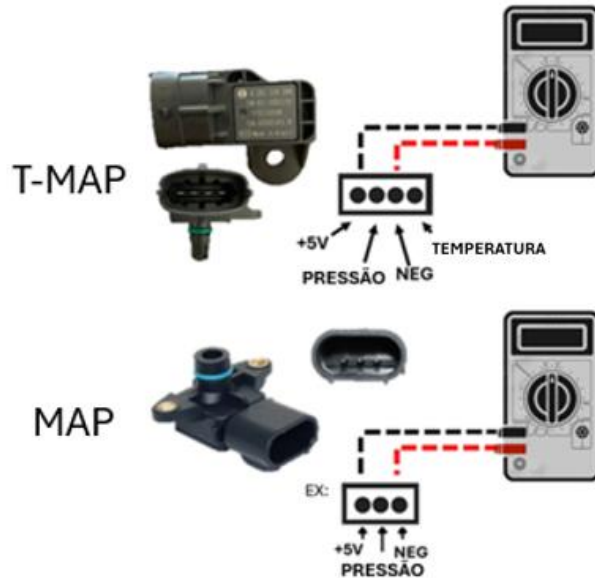
- Luz de injeção acesa: Este é um sinal claro de que algo está errado com o sistema de injeção.
- Perda de potência: O motor pode ter dificuldade em acelerar ou manter a velocidade, o que ocorre especialmente em subidas onde o regime de carga é maior.
- Marcha lenta irregular: O motor pode ter flutuações no giro, podendo até mesmo morrer.
- Aumento do consumo de combustível: Uma mistura ar-combustível incorreta, causada por um sensor MAP com defeito, pode levar a um maior consumo de combustível.
- Dificuldade na partida: O motor pode ter dificuldade em ligar, ou até mesmo não ligar.
- Aceleração irregular: O veículo pode ter falhas pela falta de referência do sensor MAP para a ECU durante a aceleração.
- Emissões elevadas de poluentes: A falha no sensor MAP pode levar a um aumento na emissão de gases poluentes devido a consumo maior de combustível.

4.4.4 Testes de funcionamento

O teste de tensão dos sensores MAP e TMAP deve ser realizado com o sensor conectado ao chicote e a ignição ligada, com o motor desligado ou em marcha lenta. Para realizar o teste, utiliza-se um multímetro digital na escala de tensão contínua. Leituras fora da faixa, ausência de variação ou sinal fixo indicam possíveis falhas no sensor, na alimentação ou no aterramento.

Abaixo uma representação do teste nos sensores MAP e TMAP (Figura 39).

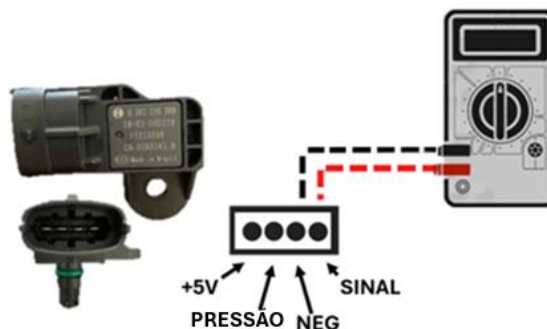
Figura 39 – Teste Sensor de alimentação MAP e TMAP



Fonte: Método E.I.E., 2025

O teste de tensão do sensor MAP e do sensor TMAP (Figura 40) são similares, a única diferença entre os dois está na quantidade de sinais a serem monitorados. O sensor MAP, geralmente com três fios, mede exclusivamente a pressão absoluta no coletor de admissão. O teste de tensão é feito com a ignição ligada, e o sinal deve variar entre a condição de motor desligado e com o motor em marcha lenta, conforme a variação da pressão. Já o sensor TMAP, que possui quatro fios, combina as funções do MAP com a medição da temperatura do ar admitido. Além do sinal de pressão, ele possui um segundo sinal correspondente à temperatura.

Figura 40 – Teste do sensor TMAP



Fonte: Método E.I.E., 2025

O teste de tensão do sensor TMAP envolve duas verificações distintas: um referente ao sinal de pressão, cujo comportamento é semelhante ao do sensor MAP, e outra correspondente ao sinal de temperatura, que apresenta variação de tensão inversamente proporcional à temperatura do ar de admissão — ou seja, tensões mais altas indicam ar frio, enquanto tensões mais baixas correspondem a ar aquecido. Essa característica adicional confere ao TMAP uma função dupla, tornando-o um sensor mais completo e exigindo maior atenção na medição e interpretação dos terminais durante o processo de diagnóstico.

4.5 SENSOR DE OXIGÊNIO (O₂) OU SONDA LAMBDA

O sensor de oxigênio (Figura 41), também conhecido como sonda lambda, é um componente essencial do sistema de controle de emissões. Sua principal função é medir a concentração de oxigênio nos gases de escape e enviar essa informação à ECU do veículo.

Figura 41 – Sensores de oxigênio



Fonte: MTE – Thomson, 2025

Esse sensor está instalado no sistema de escapamento, geralmente antes e/ou depois do catalisador. Ele capta a quantidade de oxigênio presente nos gases de escape com a do ar atmosférico, permitindo que a ECU determine se a mistura ar-combustível está rica (excesso de combustível) ou pobre (excesso de ar). Com base nesse sinal, a ECU ajusta a injeção de combustível em tempo real para manter a mistura estequiométrica ideal (geralmente 14,7 partes de ar para 1 de combustível quando se usa gasolina e

9 partes de ar para 1 quando o etanol é usado), otimizando o desempenho, o consumo e reduzindo as emissões.

Existem dois tipos principais de sensores de oxigênio:

- Sensor convencional ou banda estreita (*narrowband*): fornece um sinal comutado (0,1 V a 0,9 V), indicando apenas se a mistura está rica ou pobre.
- Sensor de banda larga (*wideband*): fornece um sinal analógico, sendo assim, mais preciso e contínuo, permitindo um controle mais fino da mistura.

4.5.1 Funcionamento e detalhes técnicos

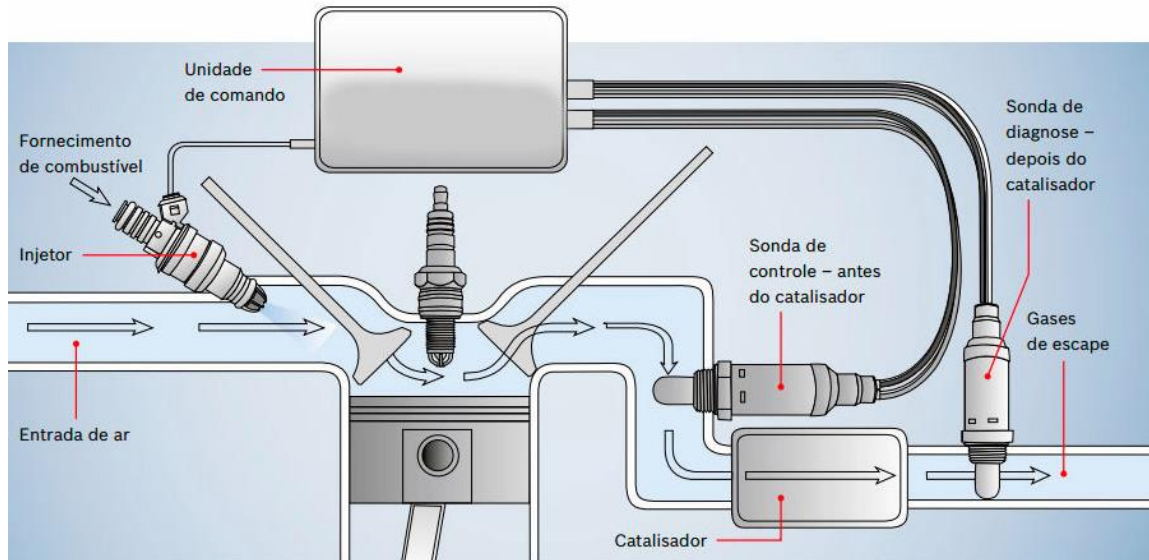
A sonda lambda é um sensor eletroquímico instalado no sistema de escapamento do veículo, responsável por medir a concentração de oxigênio nos gases de exaustão. Essa medição é essencial para que a ECU (Unidade de Controle Eletrônico) ajuste a mistura ar-combustível em tempo real, promovendo uma queima eficiente, economia de combustível e redução de emissões.

Existem duas sondas lambda posicionadas estrategicamente:

- Sonda de controle (pré-catalisador): localizada antes do catalisador, sua função é fornecer dados em tempo real para o ajuste da mistura ar-combustível.
- Sonda de diagnose (pós-catalisador): instalada após o catalisador, monitora a eficiência do catalisador na conversão dos gases poluentes.

As setas na imagem (Figura 42) indicam o fluxo dos gases e do ar, ilustrando como a sonda lambda se integra ao sistema para garantir o desempenho ideal do motor e o controle das emissões.

Figura 42 – Posição sonda lambda



Fonte: Quatro Rodas, 2024

4.5.2 Tipos de sonda

A sonda lambda *narrowband* (Figura 43) é um sensor eletroquímico composto por um elemento cerâmico de dióxido de zircônio (ZrO_2), revestido com eletrodos de platina. Esse material atua como condutor iônico quando aquecido a temperaturas superiores a 300 °C.

Figura 43 – Sonda Narrowband



Fonte: Conficar, 2019

A diferença de concentração de oxigênio entre os gases de escape (baixa concentração) e o ar atmosférico (alta concentração) gera uma diferença de potencial elétrico, que varia entre:

- 0,1 V → mistura pobre (excesso de ar)
- 0,9 V → mistura rica (excesso de combustível)

Essa tensão é enviada à ECU, que interpreta o sinal e ajusta a injeção de combustível para manter a mistura próxima da proporção estequiométrica (14,7:1 para gasolina e 9:1 para o etanol). A principal limitação da sonda narrowband é que ela não informa o quanto a mistura está rica ou pobre, apenas indica se está acima ou abaixo do ideal.

A tecnologia anterior desse tipo de sensor é a chamada sonda tipo *finger*, que possui um elemento cerâmico tubular, semelhante a um dedo, também revestido com platina. Essa construção é típica de veículos mais antigos ou com sistemas de injeção menos sofisticados. Algumas versões incluem um aquecedor interno (modelos de 3 ou 4 fios), que acelera o aquecimento até a temperatura de operação ideal.

A sonda planar representa uma evolução tecnológica em relação à *finger*. Seu elemento sensor é construído em camadas finas (tecnologia planar), o que permite um aquecimento mais rápido, menor consumo de energia e maior durabilidade. Pode ser utilizada tanto em sensores *narrowband* quanto *wideband*, dependendo do projeto do sistema. Seu tempo de resposta é mais rápido, o que a torna ideal para veículos modernos que exigem maior precisão no controle da mistura ar-combustível e nas estratégias de redução de emissões.

Já a sonda lambda *wideband* (Figura 44), também conhecida como sonda AF (*Air-Fuel*) ou banda larga, representa a evolução dos sensores de oxigênio automotivos. Assim como a *narrowband*, ela utiliza um elemento cerâmico de zircônia (ZrO_2), mas sua construção é mais sofisticada, incorporando uma célula de bombeamento de oxigênio.

Figura 44 – Sonda Wideband



Fonte: Ancona, 2025

Essa célula atua mantendo constante a concentração de oxigênio em uma câmara de medição interna. Para isso, é necessário aplicar uma corrente elétrica, cuja intensidade é proporcional à quantidade real de oxigênio presente nos gases de escape. Esse sinal é linear e contínuo, ao contrário da *narrowband*, que apenas comuta entre valores fixos.

Graças a essa precisão, a sonda *wideband* permite à ECU realizar ajustes finos na mistura ar-combustível, inclusive em estratégias avançadas como mistura pobre controlada, comum em motores modernos, turboalimentados, híbridos e com foco em eficiência energética e controle de emissões.

Na tabela (Tabela 4) é possível ver um comparativo entre os tipos de sonda lambda.

Tabela 4 – Comparação tipos de sonda lambda

Característica	Sonda Finger (Narrowband)	Sonda Planar (Narrowband)	Sonda AF/AFR (Wideband)
Tipo de sinal	Tensão comutada (0,1 V a 0,9 V)	Tensão comutada (0,1 V a 0,9 V)	Corrente ou tensão proporcional (ampla faixa)
Formato do sensor	Tubular com fundo semelhante a um dedal	Barra cerâmica plana com bomba de oxigênio para o terminal de referência	Barra plana com uma célula de bomba de oxigênio na função de determinação do valor
Tempo de resposta	Mais lento	Mais rápido que a finger	Mais rápido que a finger
Faixa de leitura	Binária, alternando entre os dois valores de 0,1V e 0,9V	Binária, alternando entre os dois valores de 0,1V e 0,9V	Ampla (analógica)
Precisão	Baixa (só indica rica ou pobre)	Baixa (só indica rica ou pobre)	Alta (mede o quanto está rica ou pobre)
Aplicação	Motores mais antigos (OBD I/ início do OBD II)	Motores modernos OBD II	Motores avançados, com alta precisão de controle de emissão
Número de fios	4 fios (com aquecedor embutido)	4 fios (com aquecedor embutido)	5 a 6 fios (sinais e controle da célula de bombeamento)
Custo	Baixo	Médio	Alto

Fonte: Elaboração própria, 2025

4.5.3 Construção da Sonda Lambda Finger (*Narrowband*)

A sonda lambda do tipo *finger*, também conhecida como sonda de ponta tubular, é construída a partir de um elemento cerâmico de dióxido de zircônio (ZrO_2), moldado em formato de tubo oco, semelhante a ponta de um dedo, o que justifica sua nomenclatura. Esse tubo cerâmico é revestido internamente e externamente por camadas finas de platina, que funcionam como eletrodos e permitem a detecção da tensão referente a diferença de concentração de oxigênio entre os gases de escape e o ar ambiente.

O interior do tubo é preenchido com ar de referência, enquanto o exterior entra em contato com os gases do escapamento, controlados por uma carcaça metálica perfurada em aço inoxidável, que protege o elemento sensor contra impactos e vibrações, mas permite a difusão dos gases.

O sensor conta com um aquecedor resistivo interno de cerâmica ou filme metálico, encapsulado junto ao elemento sensor, cuja função é elevar rapidamente a temperatura de operação (entre 350 °C e 400 °C), garantindo resposta precisa mesmo em partidas a frio. Os condutores elétricos são isolados por tubos cerâmicos e resina epóxi de alta temperatura, prevenindo curtos e degradação pelo calor.

A estrutura tubular da sonda finger foi amplamente utilizada nas primeiras gerações de sistemas de injeção eletrônica, pela sua construção simples e robusta, embora apresente tempo de resposta mais lento em comparação às versões planas mais recentes.

4.5.4 Construção da Sonda Lambda Planar (*Narrowband*)

A sonda lambda planar representa uma evolução construtiva em relação à sonda *finger*, apresentando uma arquitetura multicamada compacta. Seu elemento sensor é formado por camadas cerâmicas planas de dióxido de zircônio estabilizado com ítria (Y_2O_3), intercaladas por eletrodos de platina impressos. Essa configuração é montada

em forma de “sanduíche”, resultando em um sensor mais fino, leve e de resposta mais rápida (DELPHI TECHNOLOGIES, 2003).

O aquecedor resistivo é integrado diretamente à estrutura cerâmica, o que permite atingir a temperatura de operação em menor tempo e reduzir o consumo de energia. Toda a pastilha sensora é encapsulada em uma carcaça metálica em aço inoxidável, com furos calibrados para controlar o fluxo de gases e garantir medições precisas da concentração de oxigênio.

Os terminais elétricos são soldados ou prensados a condutores revestidos por isolantes cerâmicos e epóxi de alta resistência térmica, assegurando confiabilidade mesmo em condições severas.

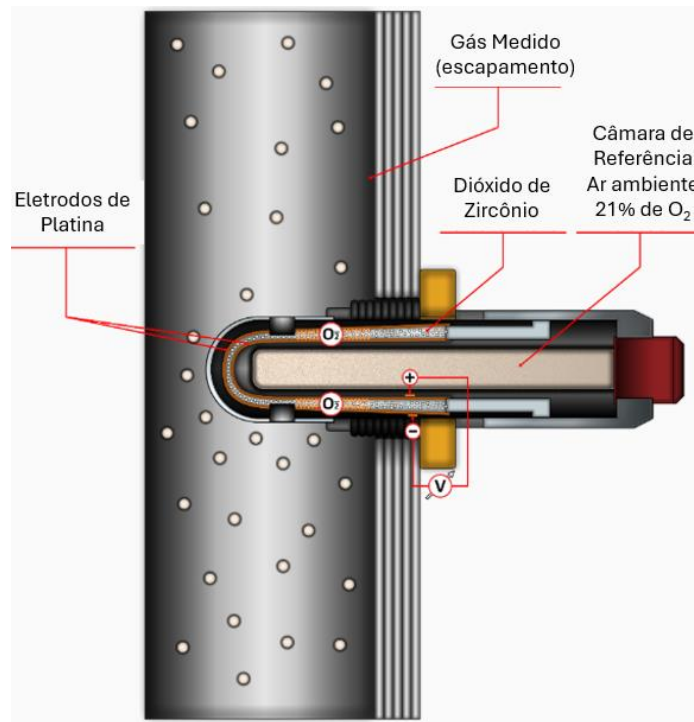
A construção planar aprimora a sensibilidade e a durabilidade do sensor *narrowband*, além de proporcionar resposta mais rápida e estabilidade elétrica superior, sendo amplamente adotada nas gerações mais recentes de motores equipados com catalisadores de três vias.

4.5.5 Construção da Sonda Lambda de Banda Larga (*Wideband*)

A sonda lambda de banda larga (*Wideband*, também chamada AFR – *Air-Fuel Ratio* ou LSU – *Lambda-Sonde Universal*) possui uma construção planar complexa e altamente precisa. Seu elemento sensor é composto por duas células cerâmicas integradas em uma única estrutura: a célula de medição (ou célula de Nernst) e a célula de bombeamento de oxigênio.

Essas células são formadas por camadas finas de dióxido de zircônio estabilizado com ítria ($ZrO_2 + Y_2O_3$) e eletrodos de platina impressos, intercaladas e sinterizadas em formato planar. Entre as duas células há uma câmara de difusão microscópica, responsável por controlar a quantidade de oxigênio que chega à célula de medição (Figura 45)

Figura 45 – Construção da Sonda Lambda



Fonte: Adaptado de Simplus, 2020

A célula de bombeamento regula a entrada e saída de íons de oxigênio por meio de corrente elétrica, mantendo a concentração dentro da câmara de difusão estável. O controle dessa corrente permite à ECU determinar com alta precisão a razão ar-combustível real (*Air-Fuel Ratio*) do motor.

O conjunto cerâmico é montado em uma carcaça metálica em aço inoxidável, com furos calibrados para difusão dos gases, e conta com um aquecedor integrado diretamente ao substrato cerâmico, garantindo aquecimento rápido e operação estável. Os terminais elétricos são múltiplos (geralmente cinco ou seis fios), conectados à ECU por meio de cabos blindados, e isolados por resina epóxi e tubos

cerâmicos de alta temperatura, garantindo estabilidade elétrica e proteção contra interferências.

Segundo Brunetti (2014), a integração das células de bombeamento e medição em uma estrutura planar confere à sonda AFR ampla faixa de leitura e extrema precisão, tornando-a essencial nos sistemas modernos de gerenciamento eletrônico de motores que exigem controle fino da mistura e emissões reduzidas.

4.5.6 Possíveis falhas

O sensor lambda pode apresentar diversas falhas ao longo do tempo, principalmente devido à sua exposição constante aos gases de exaustão e às altas temperaturas. Uma das falhas mais comuns é a contaminação do elemento sensor, causada por resíduos de óleo, combustível ou aditivos, que comprometem a precisão da leitura. Com o uso prolongado, o sensor também pode sofrer desgaste natural, perdendo sensibilidade e fornecendo sinais imprecisos à ECU.

- **Mistura Rica:** A carbonização ocorre quando há excesso de combustível na mistura, resultando em depósitos de carbono na superfície da sonda lambda. Esse acúmulo pode prejudicar a leitura dos gases de escape, retardando a resposta do sensor e levando a uma regulagem incorreta da injeção de combustível (Figura 46).

Figura 46 – Contaminação por mistura rica



Mistura Rica

Fonte: MTE – Thomson, 2025

- Líquido de Arrefecimento: A contaminação da sonda lambda por líquido de arrefecimento ocorre quando há falha na junta do cabeçote ou trincas internas que permitem a entrada do fluido na câmara de combustão. Durante a queima, os aditivos do líquido, como etilenoglicol e fosfatos, geram resíduos que se depositam sobre o sensor, prejudicando sua capacidade de medir corretamente a concentração de oxigênio nos gases de escape. Isso resulta em leitura incorreta da mistura ar-combustível, aumento de consumo, emissões elevadas e funcionamento irregular do motor.

O diagnóstico envolve análise por scanner OBD-II, inspeção da sonda e, em casos confirmados, substituição do sensor e reparo da causa do vazamento. (Figura 47).

Figura 47 – Contaminação por líquido de arrefecimento



**Líquido de
Arrefecimento**

Fonte: MTE – Thomson, 2025

- Contaminação por Sílica: A presença de silício na sonda pode ocorrer devido ao uso de selantes inadequados no motor. O silício interfere na capacidade do sensor de medir corretamente o oxigênio nos gases de escape, afetando o funcionamento do sistema de injeção (Figura 48).

Figura 48 – Contaminação por sílica



Fonte: MTE – Thomson, 2025

- Contaminação por Chumbo: Alguns combustíveis podem conter impurezas e aditivos inadequados, como chumbo, que podem danificar permanentemente a sonda lambda. Isso compromete sua vida útil e reduz a eficiência na redução de emissões (Figura 49).

Figura 49 – Contaminação por chumbo



Fonte: MTE – Thomson, 2025

- Alto Consumo de Óleo: Vazamentos internos ou queima irregular de óleo podem fazer com que partículas oleosas se misturem aos gases de escape. Quando isso acontece, a sonda lambda pode apresentar leituras erradas, causando ajustes inadequados na mistura ar-combustível (Figura 50).

Figura 50 – Contaminação por consumo de óleo



Fonte: MTE – Thomson, 2025

Outra falha frequente ocorre no aquecedor interno presente em sensores de 3 ou 4 fios. Quando esse componente falha, o sensor demora mais para atingir a temperatura ideal de funcionamento, prejudicando o controle da mistura nos momentos iniciais do funcionamento do motor. Além disso, o sensor pode apresentar sinal de valor fixo, o que impede a ECU de identificar corretamente se a mistura está rica ou pobre.

A resposta lenta do sensor também é um problema, pois dificulta os ajustes rápidos da mistura ar-combustível, especialmente em acelerações e desacelerações. Problemas elétricos, como fios rompidos, mau contato ou conectores oxidados, também podem interromper o sinal enviado à ECU. Por fim, o uso de combustíveis adulterados ou de baixa qualidade pode interferir na medição do oxigênio, gerando leituras incorretas e até o registro de códigos de falha (DTCs).

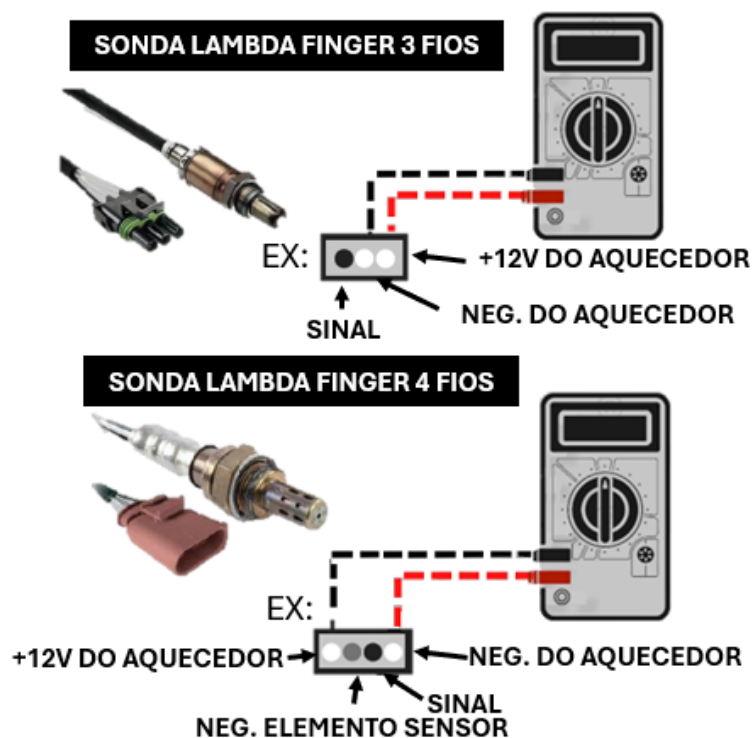
4.5.7 Testes de funcionamento

O teste de resistência do sensor lambda do tipo *finger* é utilizado para verificar o funcionamento do aquecedor interno presente em sensores de 3 ou 4 fios. Esse aquecedor é responsável por elevar rapidamente a temperatura do elemento sensor até cerca de 300 °C, garantindo seu funcionamento adequado logo após a partida do motor. Para realizar o teste, utiliza-se um multímetro digital ajustado na escala de resistência ôhmica (Ω).

Com o sensor desconectado do chicote do veículo e em temperatura ambiente, mede-se a resistência entre os dois fios do aquecedor, geralmente identificados por serem da mesma cor, como branco.

Se o multímetro indicar resistência infinita (circuito aberto), o aquecedor está queimado. Esse teste é simples, mas essencial para garantir que o sensor atinja rapidamente sua temperatura de operação e forneça leituras precisas à ECU (Figura 51).

Figura 51 – Teste de resistência da sonda lambda



A sonda planar, embora mais moderna e com tempo de resposta mais rápido, também possui um aquecedor interno que precisa atingir rapidamente a temperatura ideal de operação (cerca de 300 °C).

Com o sensor desconectado do chicote do veículo e em temperatura ambiente, deve-se identificar os dois fios correspondentes ao aquecedor — geralmente indicados no manual técnico ou pelo padrão de cores. Com o multímetro ajustado para a escala de resistência (ohmímetro), mede-se a resistência entre esses dois fios.

Se o multímetro indicar resistência infinita (OL), isso sugere que o aquecedor está aberto ou queimado. Assim como no tipo *finger*, esse teste não avalia a parte sensora da sonda, apenas o funcionamento do aquecedor.

O teste é realizado em sondas do tipo planar, tanto nas sondas de banda estreita quanto nas sondas de banda larga. Em ambos os casos, ocorre o bombeamento de oxigênio para o eletrodo de referência por meio da própria célula Nernst (a célula Nernst é um componente eletroquímico que gera uma diferença de potencial baseada na concentração de oxigênio entre os gases de escape e o ar de referência, permitindo à ECU avaliar a mistura ar-combustível). Entretanto, vale destacar que a sonda de banda larga possui uma segunda célula Nernst com a função exclusiva de bombeamento, permitindo a detecção precisa do valor analógico de Lambda (essa segunda célula atua no controle da bomba de oxigênio para garantir medições mais exatas) (BOSCH, 2022; REIF, 2014).

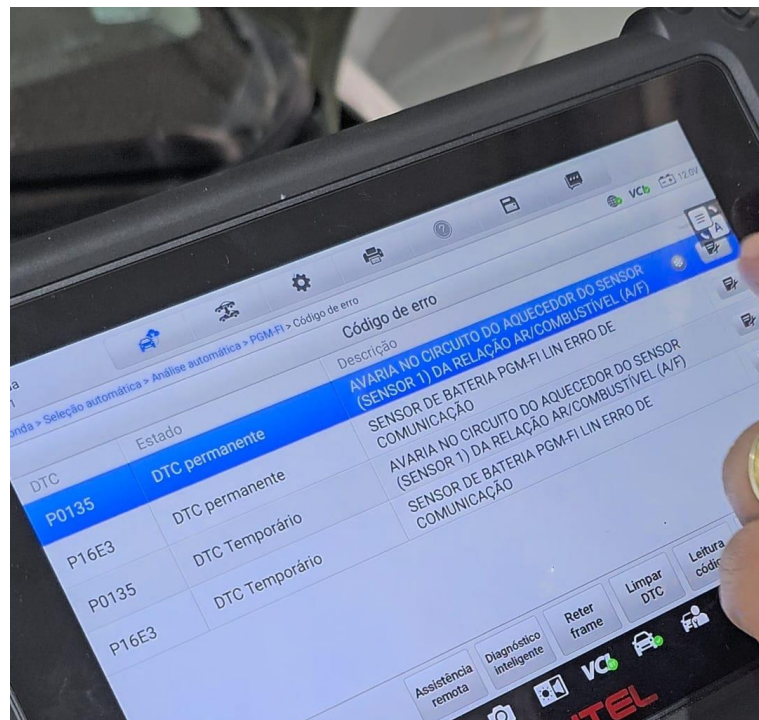
O teste de resistência no sensor lambda AF/AFR (sonda de banda larga) é executado pela ECU nas sondas do tipo “planar”, tanto nas de banda estreita quanto nas de banda larga, pois esses sensores possuem uma célula de bombeamento de oxigênio e um circuito eletrônico mais sofisticado. A sonda de banda larga, por sua vez, conta com uma segunda célula Nernst dedicada ao controle da bomba de oxigênio para medição do valor de Lambda (a célula Nernst é essencial para medir a concentração de oxigênio e, conseqüentemente, o valor de Lambda, garantindo que a mistura esteja próxima da estequiométrica). Geralmente, esses sensores possuem 5 a 6 fios,

incluindo alimentação, sinal, controle da célula de bomba e aterramento (REIF, 2014; SAE INTERNATIONAL, 2019).

A ECU realiza a medição da resistência da célula Nernst para determinar a temperatura de operação da sonda, garantindo leituras precisas (essa medição é importante porque a célula Nernst só fornece sinais confiáveis quando está na temperatura ideal de funcionamento, geralmente acima de 300 °C). O correto funcionamento depende também de sinal PWM de controle eletrônico do aquecedor da sonda gerado pela ECU.

O diagnóstico deve ser feito com equipamentos específicos (Figura 52), como scanners automotivos capazes de ler a corrente da célula de bomba (em miliamperes) e a resposta do sensor em tempo real. Esses dados permitem verificar se o sensor está operando corretamente, se há lentidão na resposta ou se os valores estão fora da faixa esperada (BOSCH, 2022; MADALOZZO, 2022).

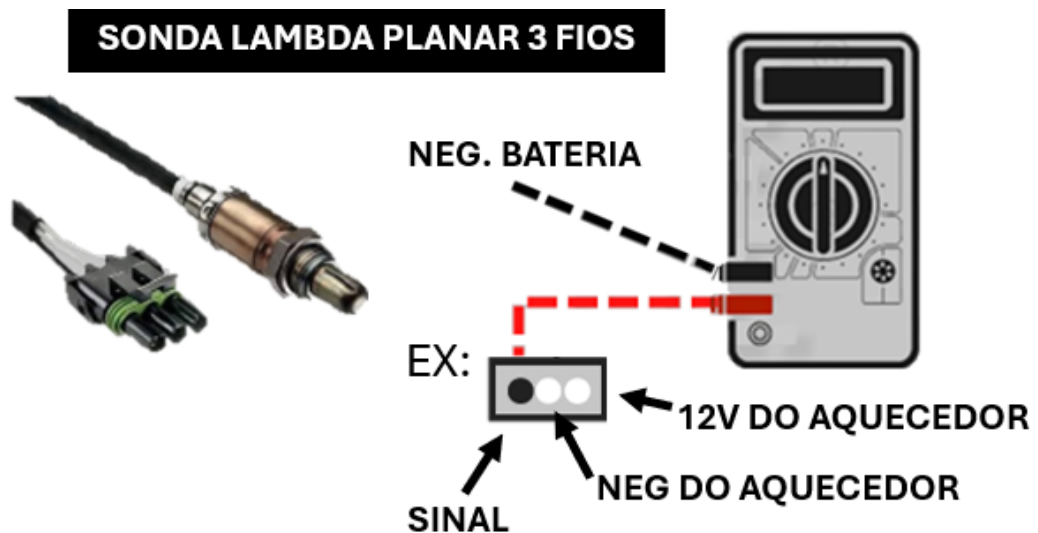
Figura 52 – Teste em scanner da sonda lambda



Fonte: Simplus, 2025

O teste de tensão da sonda lambda tipo *finger* é utilizado para verificar se o sensor gera corretamente o sinal de variação de tensão conforme a mistura ar-combustível. Com o motor aquecido, utiliza-se um multímetro digital configurado para medir tensão contínua (DC). Durante o teste de uma sonda de banda estreita, a tensão deve oscilar entre um valor baixo (mistura pobre) e um valor alto (mistura rica), indicando funcionamento adequado e correção da mistura pela ECU. Caso a tensão permaneça fixa, isso pode indicar falha na sonda ou operação em modo de emergência (Figura 53) (BOSCH, 2022; O MECÂNICO, 2025).

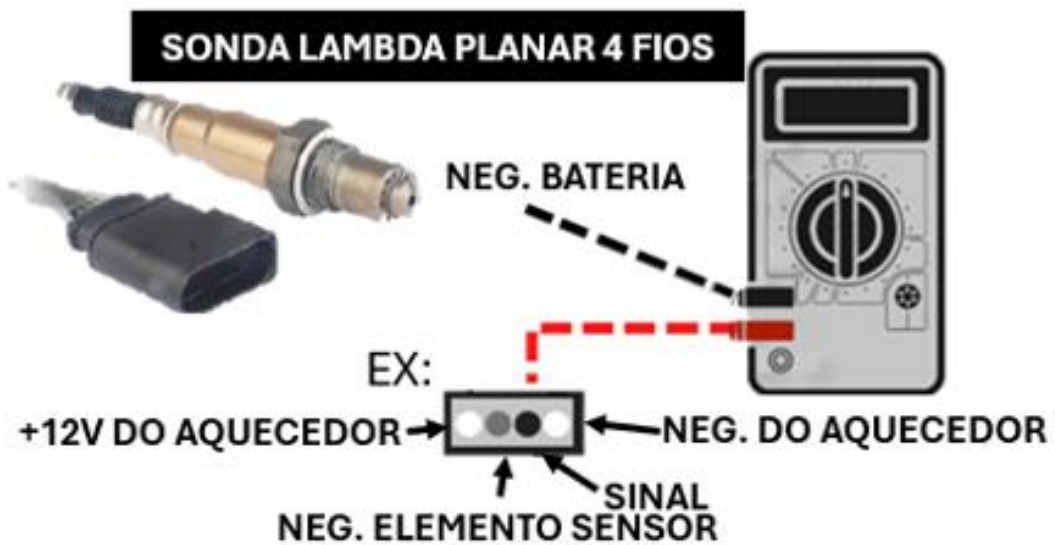
Figura 53 – Teste de sinal sonda finger



Fonte: Método E.I.E., 2025

O teste de tensão da sonda lambda tipo planar (Figura 54) é semelhante ao da sonda tipo *finger*, pois ambas operam como sensores *narrowband* e geram um sinal de tensão variável conforme a mistura ar-combustível. A principal diferença está na construção interna da sonda, que no caso da planar é mais moderna e possui tempo de resposta mais rápido.

Figura 54 – Teste de sinal sonda planar



Fonte: Método E.I.E., 2025

O teste de tensão em sensores lambda do tipo AF/AFR (*wideband*) não é realizado da mesma forma que nos sensores *narrowband* (tipo *finger* ou planar), pois o sinal gerado por esse tipo de sensor é muito mais complexo e não pode ser interpretado diretamente com um multímetro comum.

Esses sensores utilizam uma célula de bombeamento de oxigênio que gera uma camada de O₂ junto ao eletrodo de referência, garantindo que não haverá contaminação pelos gases de escape.

Para testar corretamente uma sonda de banda larga, é necessário utilizar um scanner automotivo ou um osciloscópio, que permita visualizar os parâmetros em tempo real, como a corrente da célula de bombeamento, a resposta do sensor e a proporção ar-combustível medida (Figura 55).

Figura 55 – Teste de sinal sonda banda estreita



Fonte: Doutor-IE, 2018

4.6 SENSOR DE TEMPERATURA DO AR DE ADMISSÃO

O sensor de temperatura do ar de admissão (Figura 56) possui funcionamento semelhante ao sensor de temperatura do líquido de arrefecimento, pois ambos operam com base na variação de resistência elétrica de um termistor em resposta à temperatura. A principal diferença entre eles está no meio monitorado: enquanto um mede a temperatura do fluido de arrefecimento, o outro mede a temperatura do ar que entra no motor.

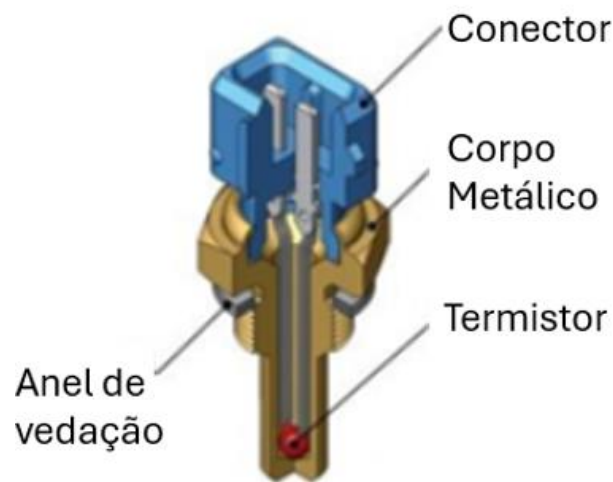
Figura 56 – Sensor de temperatura do ar de admissão



Fonte: Keven Madalozzo, 2022

O encapsulamento do sensor de temperatura do ar é um aspecto fundamental para seu desempenho e durabilidade. Ele protege o elemento sensível contra vibrações, umidade, poeira e variações térmicas extremas, garantindo leituras precisas e confiáveis mesmo em ambientes severos. Além disso, o encapsulamento é projetado para permitir uma rápida resposta térmica, o que é essencial para que a ECU ajuste em tempo real a mistura ar-combustível, contribuindo para a eficiência do motor e a redução de emissões (Figura 57).

Figura 57 – Construção sensor de temperatura



Fonte: Adaptado Ingenieria y mecânica, 2025

Sabe-se que o ar é compressível e expansível e que o volume de ar pode variar em função da temperatura, ou seja, quanto mais frio o ar, mais denso o ar admitido. Também pode acontecer o inverso: quanto mais quente o ar, mais dispersas ficam as moléculas que conseqüentemente aumentam o volume do ar admitido tornando-o menos denso.

Tendo em vista que o motor possui sempre o mesmo volume que pode ser aspirado e que o cilindro tem uma medida fixa, quanto mais quente o motor, menos moléculas de ar são aspiradas, isso conseqüentemente deixa a mistura mais pobre e afeta diretamente no rendimento do motor.

À medida que a temperatura do ar admitido diminui, a densidade do ar aumenta, exigindo maior injeção de combustível para manter a proporção ideal da mistura. Já em temperaturas mais altas, o ar é menos denso, e a ECU reduz a quantidade de combustível injetado, evitando uma mistura rica desnecessária.

4.6.1 Funcionamento e detalhes técnicos

O sensor de temperatura do ar também possui um coeficiente negativo de temperatura (NTC), isso significa que possui o mesmo funcionamento de quando comparado ao de temperatura da água. O termistor do sensor de temperatura do ar pode ficar exposto ao ar e, por isso, o profissional de manutenção deve ficar atento quanto a sujidades no mesmo e a forma como o dispositivo vai ser limpo.

O sensor de temperatura do ar também pode ser integrado a outros sensores:

- Ao sensor de fluxo de ar (MAF)
- Ao sensor de pressão absoluta (MAP)
- Ao corpo de borboleta.

O sensor de temperatura do ar de admissão geralmente está instalado no coletor de admissão ou no duto de admissão de ar do motor, posicionamentos estratégicos que permitem a medição precisa da temperatura do ar que entra no motor.

O sensor possui dois pinos:

- Sinal (5V)
- Negativo (GND)

4.6.2 Estrutura e Construção do Sensor de Temperatura do Ar de Admissão

O sensor de temperatura do ar de admissão em inglês *Intake Air Temperature* (IAT) representa um componente crítico nos sistemas modernos de gerenciamento eletrônico de motores. Projetado para oferecer resposta térmica rápida e precisa, este sensor deve ser capaz de suportar as significativas variações de fluxo e as condições dinâmicas do ar aspirado pelo motor (BOSCH, 2018).

O elemento sensorial central do sensor IAT consiste em um termistor de coeficiente negativo de temperatura (NTC). Conforme explicam Silva e Zara (2017), este componente utiliza uma pastilha cerâmica sinterizada a partir de uma mistura de óxidos metálicos, como manganês, níquel e cobalto. Sua propriedade fundamental, como detalha (HEISLER,1999), é a redução previsível e acentuada da resistência elétrica interna à medida que a temperatura do ar admitido aumenta, permitindo que a Unidade de Comando Eletrônico (ECU) calcule com precisão a densidade do ar.

O encapsulamento do termistor é realizado com um polímero de alta condutividade térmica, tal como Nylon ou um composto de epóxi especializado. Este material, conforme descrito por Vetter e Hölzl (2019), tem a dupla função de permitir uma resposta rápida às flutuações térmicas e, simultaneamente, proteger o frágil elemento cerâmico contra danos mecânicos, vibrações e umidade, comuns no ambiente do compartimento do motor.

O corpo principal do sensor é tipicamente moldado em plástico de engenharia, selecionado por sua resistência ao calor e a produtos químicos encontrados no sistema de admissão (SCHEFFLER, 2012). A configuração elétrica mais comum, de acordo com Denton (2017), envolve dois terminais que se conectam ao chicote da ECU, embora, quando integrado a um sensor de massa de ar (MAF) ou a um sensor de pressão e temperatura absolutas (TMAP), seu conjunto passe a fazer parte de uma unidade sensorial mais complexa.

Finalmente, a estanqueidade do conjunto é garantida por uma vedação, geralmente um O-ring, localizada na base do sensor. Esta vedação é crucial, pois, seguindo as diretrizes da SAE International (2015), impede a entrada de ar não filtrado e umidade no coletor de admissão ou no duto de ar, assegurando que a leitura de temperatura se refira exclusivamente ao ar que efetivamente será admitido pelo motor, preservando assim a precisão da medida e a integridade do sistema.

4.6.3 Possíveis Falhas

- Luz de Indicadora de mau funcionamento: Quando a ECU não recebe o sinal esperado deste sensor, a luz de injeção ficará acesa;
- Marcha lenta irregular: O motor pode apresentar falhas ou ter um funcionamento instável;
- Dificuldade na partida: O motor pode demorar mais tempo para entrar em funcionamento e, em alguns casos, o veículo não funciona;
- Perda de potência: O veículo pode ter dificuldade ao acelerar;
- Aumento no consumo de combustível: O motor pode estar a funcionar de forma menos eficiente, o que leva a um maior consumo de combustível;
- Dificuldade em ligar o ar-condicionado: O sensor de temperatura pode afetar a operação do sistema de ar-condicionado, fazendo com que o sistema não ligue ou funcione de forma irregular.

4.6.4 Testes de funcionamento

O sensor de temperatura do ar de admissão pode ser avaliado por meio de testes simples que verificam sua integridade elétrica, sendo os principais o teste de resistência e o teste de continuidade. O teste de resistência é o mais indicado para verificar se o sensor responde corretamente às variações de temperatura (Figura 58).

Figura 58 – Teste de continuidade



Fonte: Youtube - Canal electrónica automotriz desde cero, 2022

Para realizá-lo, o sensor deve estar desconectado do chicote do veículo, e um multímetro digital deve ser ajustado para a escala de resistência ôhmica (Ω). Em seguida, mede-se a resistência entre os dois terminais do sensor e compara-se o valor obtido com a tabela do fabricante, que relaciona resistência e temperatura. Sensores do tipo NTC, por exemplo, apresentam resistência elevada em temperaturas baixas e resistência reduzida em temperaturas altas.

Já o teste de continuidade, embora mais simples, serve apenas para verificar se o circuito interno do sensor está fechado. Com o multímetro na função de continuidade, encostam-se as pontas de prova nos terminais do sensor. Se houver sinal sonoro ou leitura de resistência, o sensor possui continuidade. Caso contrário, se o multímetro indicar resistência infinita (OL), o circuito está aberto, indicando falha interna.

4.7 SENSOR DE DETONAÇÃO

O sensor de detonação (Figura 59), também conhecido como *knock sensor*, tem a função de detectar vibrações anormais no motor causadas pela detonação. Ao identificar essas vibrações, o sensor envia sinais à ECU, que então ajusta o ponto de ignição, atrasando-o quando necessário para reduzir a pressão na câmara de combustão e que o processo de detonação ocorra. Dessa forma, o sensor de detonação é essencial para a proteção do motor e para a otimização do desempenho em diferentes condições de operação.

Figura 59 – Sensor de Detonação



Fonte: Keven Madalozzo, 2022

4.7.1 Funcionamento e detalhes técnicos

O sensor possui internamente uma massa sísmica e um cristal piezoelétrico. A partir de esforços mecânicos ele é capaz de gerar tensão alternada que é usada como referência para a ECU. Neste contexto, quando o sensor está acoplado ao bloco do motor ele fica sujeito às vibrações do bloco. No caso de uma detonação, a vibração propagada pelo bloco cria um sinal bem específico que é capturado pelo sensor que converte essa informação em sinal elétrico.

Quando a ECU avalia os pulsos fornecidos pelo sensor e identifica o cilindro no qual ocorreu uma detonação. O módulo avalia sua intensidade e verifica se sua presença é ou não nociva ao motor e define via modelo matemático o avanço de ignição para aquele cilindro. Esse procedimento pode atuar em conjunto nos demais cilindros.

A detonação pode ocorrer em diferentes momentos da fase de combustão, geralmente como resultado do aumento excessivo da pressão na câmara de combustão após o início da ignição. Esse fenômeno provoca picos de pressão que se propagam de forma descontrolada, podendo causar sérios danos aos pistões, à junta do cabeçote e ao próprio cabeçote do motor.

Quando a ECU detecta a ocorrência de detonação, ela responde ajustando gradualmente o ponto de ignição, atrasando-o, em etapas sucessivas, até que o fenômeno cesse. Após a estabilização, a ECU começa a restabelecer lentamente o avanço da ignição, monitorando continuamente se a detonação volta a ocorrer. Esse processo adaptativo permite otimizar o desempenho do motor sem comprometer sua integridade.

Por isso este sensor não pode ser instalado com nenhum tipo de arruela ou calço tendo em vista que esse procedimento pode interferir na leitura do sensor, caso o sinal do sensor de detonação se torne muito fraco ou inexistente, a ECU pode entrar em modo de segurança, o que vai alterar o mapa de ignição para uma versão de menor potência a fim de preservar o motor.

4.7.2 Possíveis falhas

Sintomas de falhas no motor causados pelo mau funcionamento do sensor

- Luz de verificação do motor acesa: A unidade de controle do motor (ECU) detecta a falha no sensor e acende a luz;
- Perda de potência: O motor pode ficar menos reativo ao acelerador e ter dificuldades em manter velocidades estáveis;
- Aumento do consumo de combustível: O motor pode trabalhar de forma menos eficiente, consumindo mais combustível;
- Ruídos incomuns: Estalos, batidas ou outros sons vindos do motor, especialmente sob carga, podem indicar uma detonação não detectada;
- Falhas de ignição: O motor pode ter dificuldade em iniciar ou ter falhas durante a condução;
- Marcha lenta irregular: A marcha lenta pode ser instável ou irregular;
- Aceleração irregular: O motor pode ter dificuldades em acelerar suavemente ou ter trepidações;
- Emissões poluentes elevadas: O motor pode emitir mais gases poluentes do que o normal.

Se o sensor de detonação falhar ou fornecer sinais incorretos, a unidade de controle do motor pode atrasar o ponto de ignição desnecessariamente ou deixar de detectar a detonação, o que pode levar à redução do desempenho do motor, aumento do consumo de combustível e possíveis danos ao motor.”
(BOSCH, 2022)

4.7.3 Conceitos técnicos

Para compreender a relevância do sensor de detonação, é essencial entender o conceito de índice de octanas, pois ele está diretamente relacionado aos fenômenos que ocorrem na câmara de combustão e às estratégias adotadas pela ECU para evitá-los.

O índice de octanas é uma medida da resistência de um combustível à detonação espontânea, uma combustão descontrolada que pode causar danos ao motor.

Quanto maior o índice, maior a capacidade do combustível de resistir à queima por aumento de pressão, permitindo uma combustão no momento exato.

Tipos de Índice de Octanas:

- RON (*Research Octane Number*): Utilizado principalmente na Europa e América Latina. Baseia-se em testes de laboratório que simulam condições de baixa carga no motor.
- MON (*Motor Octane Number*): Realizado em condições mais severas, simulando altas cargas e rotações elevadas.
- AKI (*Anti-Knock Index*): Padrão usado nos EUA e Canadá. É calculado como a média aritmética entre RON e MON. Esse método fornece um valor intermediário que representa o comportamento do combustível em condições variadas de operação, conforme equação (4):

$$AKI = \frac{RON+MON}{2} \quad (4)$$

O índice de octanas é fundamental para o bom funcionamento e a durabilidade do motor, pois combustíveis com maior número de octanas ajudam a evitar a detonação, protegendo os componentes internos contra danos. Além disso, um alto índice de octanas permite maior eficiência térmica em motores de alto desempenho, que operam com maiores taxas de compressão e exigem combustíveis mais resistentes à combustão espontânea.

Motores projetados para utilizar combustíveis premium também se beneficiam de um rendimento superior quando abastecidos com combustíveis de elevado índice de octanas.

4.7.3.1 Detonação

De acordo com a definição do professor Adriano Ribolla (2024, pg.17) “A detonação é um processo de queima indesejável que ocorre dentro da câmara de combustão, gerando forças que levam a uma degradação prematura do motor”.

Acontecerá uma detonação quando o combustível injetado não for apropriado – baixo índice de octanas – e este fica sujeito a pressões e as altas temperaturas geradas pela frente de chama original gerada pela vela de ignição. Isso faz com que parte da mistura detone antes de ser atingida pela chama da centelha. Caso ocorra uma frente de chama antes da centelha vinda da vela, poderá ocorrer o superaquecimento do cilindro e até gerar cavidades na cabeça do pistão.

Fatores que podem levar à detonação:

- Gasolina com baixo índice de octanas;
- Altas temperaturas na câmara de combustão (sistema de arrefecimento ineficiente);
- Ponto de ignição muito avançado;
- Mistura ar/combustível pobre (gera aumento da temperatura na câmara de combustão).

A detonação pode ser controlada por meio de estratégias como o atraso no ponto de ignição e o enriquecimento da mistura ar-combustível. O atraso da ignição reduz o tempo de exposição da mistura à alta pressão e temperatura antes da queima, diminuindo a probabilidade de combustão espontânea.

Já o enriquecimento da mistura, ou seja, o aumento da proporção de combustível em relação ao ar, contribui para a redução da temperatura na câmara de combustão, pois parte do calor é absorvido pela evaporação do combustível adicional. Essas estratégias, aplicadas de forma coordenada pela ECU, ajudam a evitar os picos de pressão característicos da detonação, protegendo os componentes internos do motor e garantindo uma operação mais segura e eficiente.

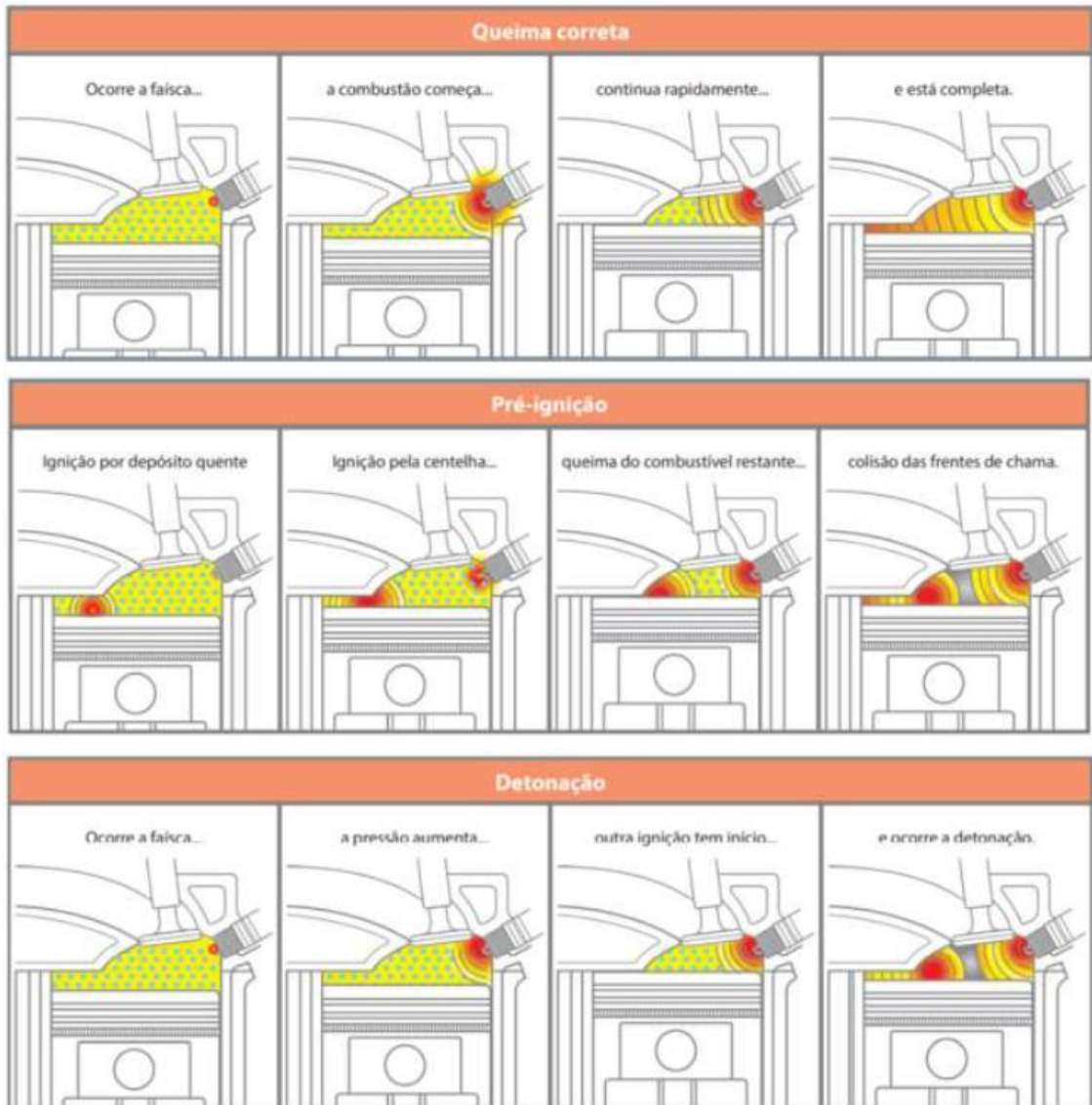
4.7.3.2 Autoignição

A autoignição é um tipo de combustão anormal que pode ocorrer antes ou após a centelha da vela de ignição, causada por fontes de calor indesejadas na câmara de combustão. A autoignição se divide em pré-ignição e pós-ignição.

Um dos principais fatores que contribuem para esse fenômeno é a carbonização, caracterizada pela formação de depósitos incandescentes de carvão na cabeça do pistão ou nas paredes da câmara. Esses resíduos podem atingir temperaturas suficientemente altas para inflamar a mistura ar-combustível de forma espontânea, independentemente da centelha.

A seguir é apresentado uma ilustração de uma queima correta, quando ocorre a pré-ignição e quando há a detonação (Figura 60).

Figura 60 – Tipos de queima



Fonte: Keven Madalozzo, 2022

4.7.3.3 Pré-ignição

Pré-ignição é um tipo de combustão indesejada que ocorre quando a mistura ar-combustível se inflama antes da centelha da vela de ignição ser acionada. Esse fenômeno é causado por pontos quentes dentro da câmara de combustão, como depósitos de carvão incandescentes, velas superaquecidas, válvulas ou cabeçotes excessivamente quentes, que atingem temperaturas suficientes para iniciar a combustão de forma prematura.

Diferente da detonação, que ocorre após a centelha e envolve a combustão espontânea de parte da mistura devido à alta pressão e temperatura, a pré-ignição antecipa o ciclo normal de ignição, podendo gerar picos de pressão extremamente elevados. Isso pode resultar em danos severos ao motor, como furos em pistões, e travamento dos anéis do pistão (BOSCH,2005).

A pré-ignição é mais comum em situações de sobreaquecimento, e sua prevenção envolve o uso de combustível adequado (índice de octanas adequado, controle da temperatura de operação, manutenção do sistema de arrefecimento e escolha correta das velas de ignição.

A pré-ignição ocorre quando a mistura ar-combustível inflama-se antes da centelha da vela de ignição, geralmente causada por pontos quentes na câmara de combustão, como depósitos incandescentes ou componentes superaquecidos. (BOSCH, 2005, p. 455)

4.7.3.4 Pós-ignição

Pós-ignição é um tipo de combustão anormal que ocorre após o desligamento da centelha da vela de ignição, ou seja, a mistura ar-combustível continua se inflamando mesmo sem a atuação direta do sistema de ignição. Esse fenômeno é geralmente causado por fontes de calor residuais dentro da câmara de combustão, como depósitos de carvão incandescentes, válvulas superaquecidas ou até mesmo velas de ignição com grau térmico inadequado.

Ao contrário da detonação, que ocorre durante a fase de combustão e está relacionada à pressão e ao avanço de ignição, a pós-ignição pode manter o motor funcionando por alguns instantes mesmo após o desligamento da chave de ignição — um efeito conhecido como *dieseling*. Esse comportamento é mais comum em motores carburados ou com sistemas de injeção menos sofisticados, e pode causar aumento de temperatura, danos mecânicos e desgaste prematuro dos componentes internos do motor. A prevenção da pós-ignição envolve o uso de combustíveis de boa qualidade, manutenção adequada do sistema de arrefecimento, controle da carbonização e escolha correta das velas de ignição.

A pós-ignição é causada por fontes de calor residuais na câmara de combustão, como depósitos incandescentes, que continuam a inflamar a mistura ar-combustível mesmo após o desligamento da ignição. (BOSCH, 2005, p. 460).

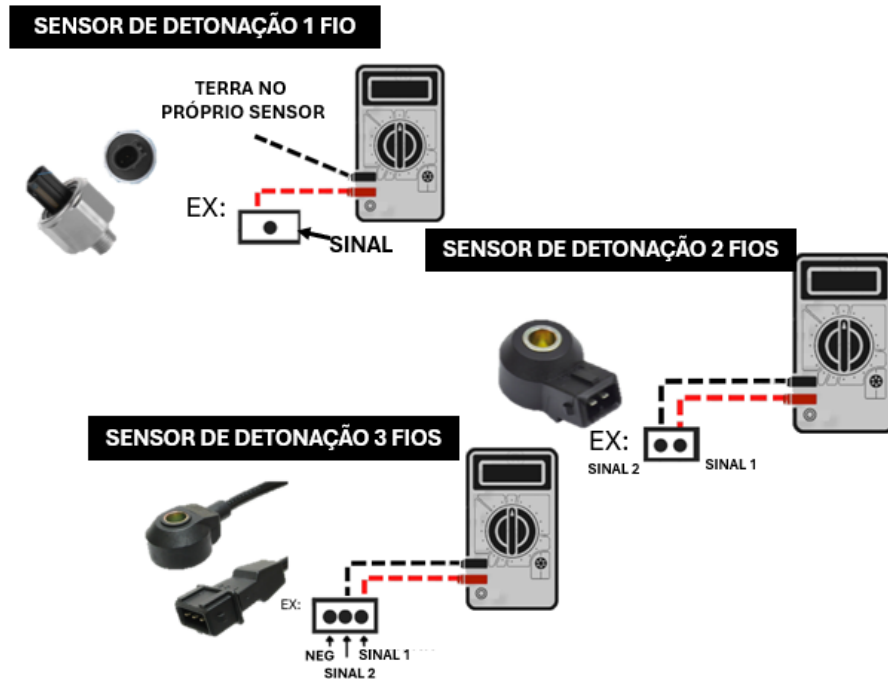
4.7.4 Testes de funcionamento

O teste do sensor de detonação é o primeiro passo para verificar a integridade do sensor. O procedimento é realizado com o motor desligado, seguindo as etapas:

- Desconectar o conector elétrico do sensor de detonação;
- Ajustar o multímetro na escala de resistência (Ω);
- Posicionar as pontas de prova nos terminais do sensor
- A leitura deve apresentar resistência entre 500 k Ω e 600 k Ω , dependendo do fabricante. Valores muito baixos de sinal ou circuito aberto indicam falha interna no cristal piezoelétrico ou no resistor do sensor.

Esse teste, embora simples, verifica apenas a continuidade e resistência estática do componente, não sendo suficiente para avaliar sua sensibilidade à vibração. (Figura 61)

Figura 61 – Sensor de detonação 1, 2 e 3 fios



Fonte: Fonte: Método E.I.E., 2025

Também é possível realizar um teste de resposta a vibração, com o sensor conectado e o motor desligado, configura-se o multímetro analógico ou osciloscópio para medir tensão alternada (AC) e, ao bater levemente com uma ferramenta no bloco do motor próximo ao sensor, deve-se observar pequenas variações de tensão, indicando que o sensor está gerando sinal em resposta à vibração. No entanto, esse teste é apenas indicativo; o diagnóstico mais preciso deve ser feito com um scanner automotivo, que permite verificar a atuação do sensor em tempo real durante o funcionamento do motor.

Esse tipo de sensor piezoelétrico depende do contato firme e preciso com o bloco do motor para captar corretamente as vibrações geradas pela detonação. Se o torque de aperto estiver abaixo do especificado, o sensor pode não transmitir as vibrações de forma eficiente, resultando em leituras imprecisas ou ausência de sinal. Por outro lado, um aperto excessivo pode danificar o sensor ou comprometer sua sensibilidade. Por

isso, é essencial seguir rigorosamente o valor de torque recomendado pelo fabricante durante a instalação.

4.8 SENSOR DE TEMPERATURA DO LÍQUIDO DE ARREFECIMENTO

O sensor de temperatura do fluido de arrefecimento (Figura 62) é um componente termossensível instalado no sistema de arrefecimento do motor, geralmente posicionado próximo ao ponto mais quente do motor. Sua função é monitorar a temperatura do fluido e enviar um sinal elétrico, em forma de variação de resistência, para a ECU (Unidade de Controle Eletrônico).

Figura 62 – Sensor de Temperatura



Fonte: Siempreauto, 2025

A ECU interpreta esse sinal e determina a temperatura de operação do motor, utilizando essa informação para gerenciar parâmetros como injeção de combustível, avanço da ignição e acionamento do sistema de ventilação.

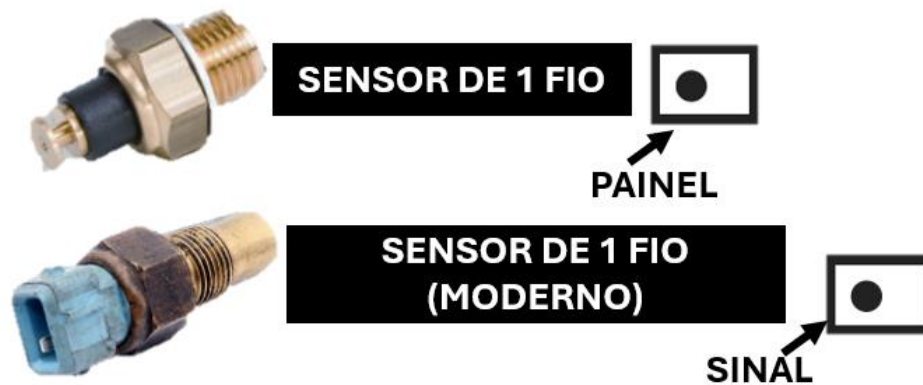
4.8.1 Funcionamento e detalhes técnicos

O sensor de temperatura do fluido de arrefecimento é um termistor, ou seja, um resistor que varia sua resistência de acordo com a mudança de temperatura do fluido, por exemplo: Em temperaturas baixas, a resistência do sensor é alta e, à medida em que a temperatura sobe, sua resistência diminui (NTC).

O sensor é formado por um corpo de latão ou plástico que tem como função o proteger o elemento resistivo constituído por um termistor do tipo NTC (coeficiente negativo de temperatura), no qual o valor da resistência do sensor é inversamente proporcional a temperatura, em outras palavras, quando a temperatura sobe a resistência elétrica do sensor diminui e quando a temperatura desce a resistência elétrica aumenta.

O conector de um sensor de temperatura do fluido de arrefecimento pode, em sua forma mais simples, possuir apenas um terminal (Figura 63). Esse terminal é responsável por receber a tensão de referência de 5V e utiliza o aterramento (negativo) fornecido pela própria carcaça metálica do motor.

Figura 63 – Sensores de temperatura de 1 fio



Fonte: Método E.I.E., 2025

O sensor também pode possuir dois pinos (Figura 64), sendo:

- Sinal
- Negativo (GND)

Figura 64 – Sensor de temperatura 2 fios



Fonte: Método E.I.E., 2025

4.8.2 Estrutura e Construção do Sensor de Temperatura do Líquido de Arrefecimento

O sensor ECT (*Engine Coolant Temperature*) é construído para resistir a um ambiente severo, caracterizado por altas temperaturas, pressão cíclica e a composição química corrosiva do líquido de arrefecimento. Ele é constituído por:

Termistor NTC: Assim como o IAT, seu núcleo é um termistor de Coeficiente Negativo de Temperatura, fabricado com óxidos metálicos. No entanto, o elemento para ECT é frequentemente dimensionado e calibrado para a faixa específica de operação do sistema de arrefecimento, tipicamente de -40°C a $+130^{\circ}\text{C}$.

Encapsulamento Metálico: Diferente do IAT, o termistor é hermeticamente selado dentro de uma ponta metálica, comumente feita de latão cromado ou aço inoxidável. Este encapsulamento metálico garante:

- **Excelente Transferência de Calor:** Para resposta precisa e rápida às variações da temperatura do líquido.
- **Resistência Mecânica:** Para suportar a pressão do sistema e possíveis impactos.
- **Inércia Química:** Para não sofrer corrosão pelo contato constante com aditivos do líquido de arrefecimento.

Corpo e Rosca: O corpo possui uma roca padrão (frequentemente métrica, como M12x1.5 ou M14x1.5) para instalação firmemente rosqueada no bloco do motor, na cabeça ou no corpo do termostato, garantindo contato direto com o fluxo do líquido.

Vedação: Uma ou duas arruelas de vedação (O-rings ou anel de cobre/borracha) são utilizadas para evitar vazamentos de líquido sob pressão. O conector elétrico é projetado para manter boa fixação e impedir a entrada de umidade, mesmo em condições de lavagem do motor.

4.8.3 Possíveis falhas

- Desempenho Irregular do Motor: Um sensor de temperatura do motor defeituoso pode enviar sinais incorretos para a ECU, isto pode resultar em ajustes incorretos para no tempo de injeção e avanço da ignição, podendo causar um funcionamento irregular, como: falhas na ignição, dificuldade na aceleração, perda de potência, aumento de consumo e, conseqüentemente, aumento na emissão de gases.
- Superaquecimento do motor: Caso o sensor não consiga detectar o aumento da temperatura do motor, a ECU não terá o sinal necessário para ativar o eletroventilador de arrefecimento. O superaquecimento é uma condição crítica que pode gerar danos ao motor, como o travamento.
- Dificuldades na partida: Em condições climáticas mais frias, se o sensor não enviar as informações referente a temperatura do motor, a tendência é que não envie a quantidade correta de combustível resultando em dificuldades na partida.
- Aumento do consumo de combustível e emissões de gases poluentes: Um sensor de temperatura do motor com defeito pode levar o motor ao estado de “aquecimento” por mais tempo do que o necessário, isto resulta em uma mistura mais rica de combustível que, conseqüentemente, aumenta as emissões de gases por conta do excesso de combustível.
- Aumento de emissões de gases poluentes: Uma queima ineficiente de combustível resulta no aumento dos níveis de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) no escapamento.

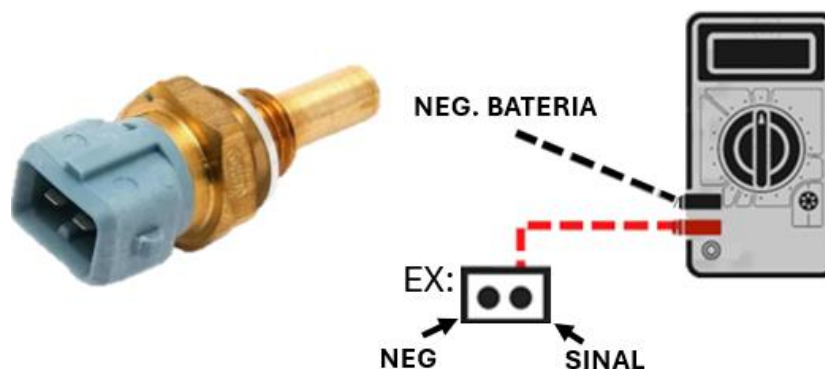
O sensor de temperatura do líquido de arrefecimento fornece à unidade de controle do motor informações essenciais para o cálculo da quantidade de combustível e do ponto de ignição. Um defeito nesse sensor pode levar a falhas de funcionamento, aumento no consumo e emissões. (BOSCH, 2005, p. 712)

4.8.4 Testes de funcionamento

O teste de funcionamento do sensor de temperatura do fluido de arrefecimento é realizado com o componente instalado no veículo e a ignição ligada, sem dar partida no motor. Esse sensor, geralmente do tipo termistor NTC, apresenta uma resistência que varia de acordo com a temperatura do fluido, o que resulta em uma variação correspondente na tensão de saída. Utilizando um multímetro digital na escala de tensão contínua, é possível verificar que, com o motor frio, a tensão no fio de sinal tende a ser alta (próxima de 4,5 a 5 volts), diminuindo gradualmente à medida que o motor aquece, podendo atingir valores próximos de 0,5 volt em temperatura de operação. Essa variação é interpretada pela unidade de controle eletrônico (ECU) para ajustar parâmetros como a injeção de combustível e o tempo de ignição. A leitura obtida deve ser comparada com os valores de referência fornecidos pelo fabricante, pois desvios significativos podem indicar falhas no sensor ou em sua alimentação elétrica (BOSCH, 2005).

O teste de resistência do sensor de temperatura (Figura 65) é realizado com o sensor desconectado do chicote elétrico e o motor desligado. Esse sensor, do tipo termistor NTC, apresenta uma resistência elétrica que varia inversamente com a temperatura: em temperaturas baixas, a resistência é alta; à medida que a temperatura aumenta, a resistência diminui.

Figura 65 – Teste de tensão do sensor de temperatura

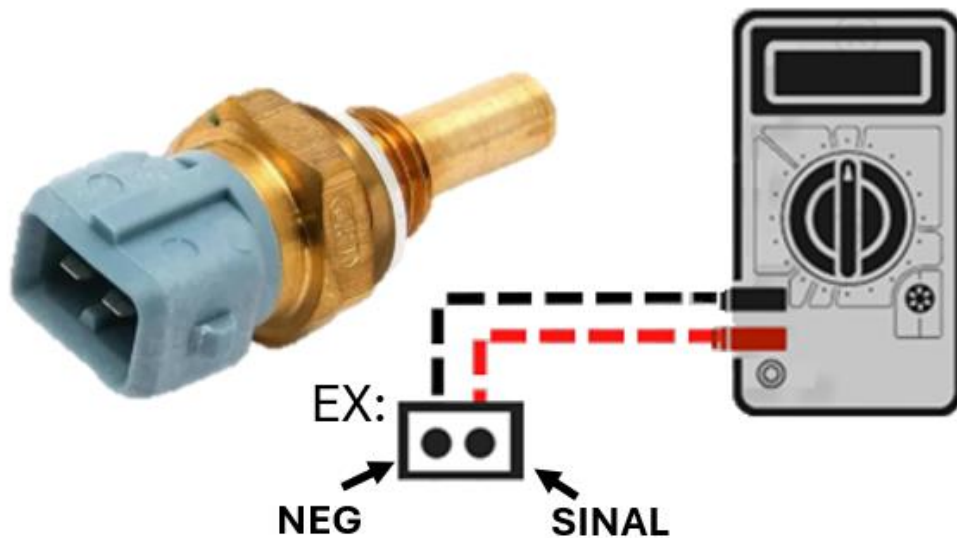


Fonte: Método E.I.E., 2025

Para realizar o teste (Figura 66), utiliza-se um multímetro digital ajustado na escala de resistência (Ω). As pontas de prova devem ser conectadas diretamente aos terminais do sensor. Com o motor frio, é comum encontrar valores entre 2.000 e 5.000 ohms, enquanto com o motor quente (em torno de 90 °C), a resistência pode cair para menos de 500 ohms. Os valores exatos devem ser comparados com a tabela fornecida pelo fabricante. Leituras fora da faixa esperada podem indicar falha no sensor, como circuito aberto ou alteração nas características do termistor.

Quando o motor está frio, a resistência é alta, portanto a tensão medida pela ECU é alta, assim, quando o mesmo está em temperatura de trabalho, a resistência é baixa, portanto a tensão medida pela UCE é baixa. Lembrando que a UCE alimenta este sensor com tensão de aproximadamente 5V VDC. (OFICINA BRASIL, 2013)

Figura 66 – Teste de resistência do sensor de temperatura

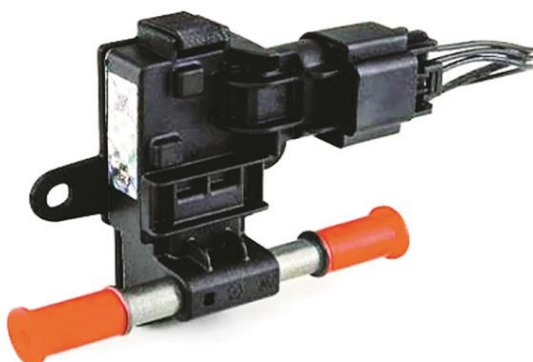


Fonte: Método E.I.E., 2025

4.9 SENSOR DE ETANOL

De acordo com Brunetti (2014), o sensor de etanol (Figura 67), também conhecido como *Flex Fuel Sensor* (FFS), tem como principal função identificar a proporção de etanol presente no combustível e medir sua temperatura. A evolução dos motores flexíveis, capazes de operar com diferentes proporções entre gasolina e etanol, tornou indispensável a utilização de sistemas de medição precisos da composição do combustível

Figura 67 – Sensor de Etanol



Fonte: Oficina Brasil, 2021

Nesse contexto, o Sensor de Etanol, também denominado Flex Fuel Sensor (FFS), destaca-se como um componente fundamental do gerenciamento eletrônico, permitindo identificar o teor de etanol e a temperatura do combustível antes de sua chegada ao motor. De acordo com Ribolla (2024), o sensor identifica o percentual de etanol e a temperatura do combustível antes de ser entregue ao motor.

4.9.1 Funcionamento e detalhes técnicos

O sensor de etanol está normalmente instalado na linha de combustível, entre o filtro e a bomba de alta pressão, de modo que o combustível passe por ele antes de chegar aos injetores. Seu princípio de funcionamento baseia-se na análise da permissividade elétrica do combustível, que varia conforme a proporção entre gasolina, etanol e água.

1. Passagem do Combustível: O combustível flui continuamente pelo interior do sensor, que possui uma câmara de medição com dois tubos condutores.
2. Análise de Permissividade: A permissividade dielétrica (ϵ_r) do meio entre as placas varia de acordo com a composição do combustível. Como etanol, gasolina e água possuem constantes dielétricas distintas, a capacitância do sensor muda proporcionalmente à proporção de etanol. Essa variação é processada por um circuito eletrônico interno que converte o valor de permissividade em um sinal de frequência.
3. O sinal gerado, uma onda quadrada com frequência variável, é enviado à ECU, que interpreta a frequência conforme uma tabela de calibração interna. Por exemplo, valores típicos de 50 Hz correspondem a gasolina pura, enquanto frequências em torno de 150 Hz indicam etanol puro.

4.9.2 Estrutura e Construção do Sensor do Combustível (Flex Fuel Sensor)

O sensor de etanol é um componente essencial nos sistemas de gerenciamento eletrônico de motores flex, responsável por identificar a proporção entre gasolina e etanol no tanque. Ele é construído com um módulo eletrônico integrado, que contém um gerador de sinal de frequência e uma câmara de passagem de combustível equipada com eletrodos de aço inoxidável. O módulo mede as propriedades dielétricas e a condutividade elétrica do combustível, ajustando a frequência do sinal conforme a composição da mistura (BOSCH, 2022; HEYWOOD, 2018).

O corpo do sensor é fabricado em plástico resistente, alumínio anodizado ou polímero de engenharia, materiais que oferecem alta resistência à corrosão e aos solventes presentes nos combustíveis. Internamente, o circuito eletrônico é encapsulado em resina epóxi, garantindo proteção contra vibrações, umidade e variações térmicas (BOSCH, 2022).

Esse encapsulamento, aliado ao uso de materiais anticorrosivos, assegura precisão e durabilidade, permitindo que a ECU (Unidade de Controle Eletrônico) ajuste a estratégia de injeção de combustível (por segurança, na eventualidade de se ter uma

mistura heterogênea de combustível no tanque) conforme a composição detectada, otimizando desempenho, consumo e emissões (HEYWOOD, 2018; RIBOLLA, 2024).

4.9.3 Possíveis Falhas

Segundo Ribolla (2024), o sensor de etanol não transmite códigos de falha diretamente. Ele envia apenas o sinal de onda quadrada contendo duas variáveis: frequência, que indica a composição do combustível e *toff* (tempo em que o sinal de onda quadrada permanece desligado), que representa a temperatura através da aplicação de uma função. A ECU é responsável por identificar falhas sempre que a frequência do sensor sai da faixa normal de operação. Quando o sinal ultrapassa o limite superior de frequência de trabalho do sensor, estes valores pré-definidos (de 169Hz a 190Hz) são indicados à ECU, que interpreta essa condição como problemas no sistema. Assim, falhas elétricas, excesso de água no combustível, contaminações ou degradação interna do sensor são diagnosticadas com base no comportamento diferenciado do sinal de onda quadrada.

Entre as principais estão:

- Sinal incorreto ou intermitente: pode ser causado por oxidação dos terminais, rompimento do chicote, ou falha no circuito interno do sensor.
- Contaminação do combustível: excesso de água ou impurezas.

4.9.4 Testes de funcionamento

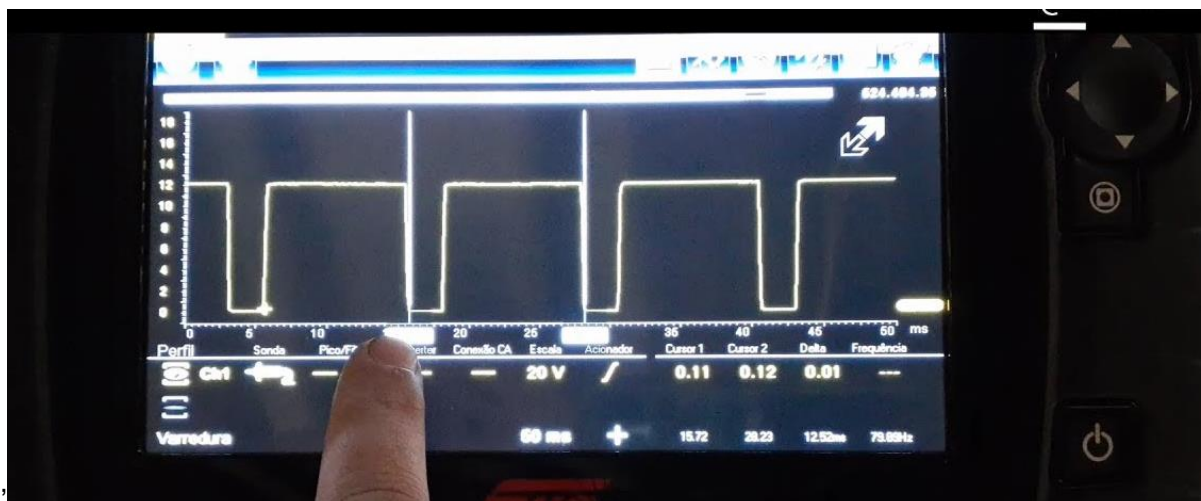
A leitura da temperatura do combustível pelo sensor de etanol desempenha um papel essencial no cálculo preciso da composição da mistura. Conforme apresentado por Ribolla (2024), o sensor mede simultaneamente o percentual de etanol e a temperatura do combustível antes de sua entrega ao motor, sendo esta última variável indispensável para a correta interpretação da permissividade, afetada pelo oxigênio contido na molécula do etanol e que caracterizará o valor de capacitância. Isso ocorre porque a permissividade elétrica sofre variações significativas de seu valor em função da temperatura que altera a densidade do combustível.

Também, a medição da temperatura permite que o circuito interno do sensor aplique compensações necessárias para evitar erros de interpretação decorrentes de variações térmicas no combustível. Temperaturas mais altas tendem a aumentar a mobilidade iônica, alterando a condutividade da solução, enquanto a permissividade dielétrica também se modifica conforme o aquecimento ou resfriamento.

Assim, a leitura da temperatura não é apenas um dado adicional, mas uma variável fundamental para a correção matemática das propriedades elétricas do combustível, garantindo que o cálculo do teor de etanol seja preciso independentemente das condições térmicas de operação. Isso possibilita que a unidade de comando eletrônico aplique ajustes adequados na estratégia de injeção, ignição e emissões, preservando o desempenho e a durabilidade do motor.

O teste do sensor de etanol (Figura 68) é realizado para verificar se ele está medindo corretamente a proporção de etanol na mistura de combustível. O processo envolve a medição da frequência do sinal enviado pelo sensor à ECU (Unidade de Controle Eletrônico), já que essa frequência varia conforme a concentração de etanol: quanto maior a porcentagem de etanol, maior a frequência.

Figura 68 – Teste em osciloscópio do sensor de etanol



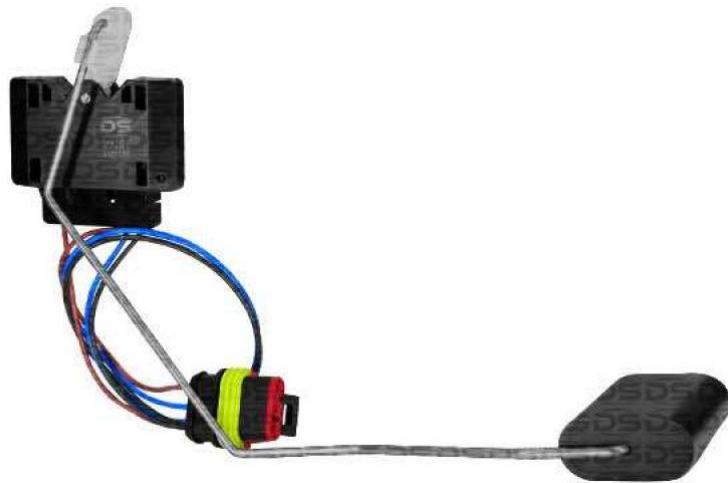
Fonte: Biela Quente - Canal De Mecânica Automotiva, 2019

Utilizando um osciloscópio ou um multímetro com função de frequência, o técnico conecta o equipamento ao fio de sinal do sensor e compara a leitura obtida com os valores esperados, por exemplo, 50 Hz para gasolina pura e 150 Hz para etanol puro. A diferença entre a frequência medida e o valor base de 50 Hz indica a porcentagem de etanol presente no combustível. Esse teste é essencial para garantir que o motor esteja operando com a mistura correta, otimizando o desempenho e reduzindo o consumo e as emissões.

4.10 SENSOR DE NÍVEL DO COMBUSTÍVEL

O sensor de nível de combustível (Figura 69), também conhecido como boia do tanque, é o componente responsável por medir a quantidade de combustível presente no reservatório e transmitir essas informações ao painel do veículo, permitindo que o motorista acompanhe o consumo em tempo real.

Figura 69 – Sensor de nível de combustível



Fonte: WS Parts, 2025

Nos veículos modernos da Volkswagen, por exemplo, o sistema de medição de combustível é integrado ao módulo de alimentação (bomba elétrica), formando um conjunto único que combina o sensor de nível, bomba de combustível e filtro primário (Figura 70).

Figura 70 – Conjunto do sensor de nível de combustível



Fonte: Elaboração própria, 2025

4.10.1 Funcionamento e detalhes técnicos

O conjunto sensor de nível de combustível é composto, em sua forma convencional, por três elementos principais:

- Flutuador: corpo oco e leve que permanece na superfície do combustível, acompanhando sua variação de nível;
- Haste: braço articulado que conecta o flutuador ao eixo do potenciômetro, transmitindo seu movimento;
- Potenciômetro: resistor variável cuja resistência elétrica muda conforme a posição angular da haste.

À medida que o nível de combustível no tanque se altera, o flutuador se desloca verticalmente, movimentando a haste. Esse movimento rotacional modifica a resistência do potenciômetro, gerando uma variação de tensão elétrica. Essa variação é interpretada pela ECU (Unidade de Controle Eletrônico), que converte o sinal elétrico em uma indicação visual no painel de instrumentos. A leitura é geralmente mostrada por meio de um indicador analógico (ponteiro) ou display digital, informando ao condutor o volume aproximado de combustível disponível.

Nos sistemas mais recentes, a ECU utiliza algoritmos de amortecimento eletrônico para evitar oscilações no marcador causadas pelo movimento natural do combustível dentro do tanque, especialmente em curvas, frenagens e acelerações.

4.10.2 Tecnologias Modernas de Medição

Embora o modelo potenciométrico ainda seja amplamente utilizado, novas tecnologias vêm sendo aplicadas para aumentar a precisão, durabilidade e resistência a variações químicas dos combustíveis modernos (gasolina com etanol e biodiesel). Entre elas destacam-se:

- **Sensor Capacitivo:** Segundo Renke (2022), sensores capacitivos operam com duas placas condutoras instaladas verticalmente no interior do tanque, cuja capacitância varia conforme a constante dielétrica do combustível. Esse princípio permite medições sem partes móveis, aumentando a durabilidade do sistema. Longvista (2021) complementa que sensores capacitivos apresentam boa estabilidade mesmo sob movimentação do combustível, sendo adequados para tanques automotivos.
- **Sensor Ultrassônico:** De acordo com Sino-Instrument (2021), sensores ultrassônicos medem o nível de combustível por meio do tempo de voo (“time-of-flight”) de ondas sonoras refletidas na superfície do líquido, possibilitando medição sem contato direto. O método apresenta alta precisão e elevada resistência química, tornando-se adequado para aplicações que exigem confiabilidade, como veículos híbridos.

- Sensor de Efeito Hall: Conforme Allegro MicroSystems (2020), sensores de efeito Hall vêm substituindo os potenciômetros tradicionais em módulos de bomba modernos, eliminando desgaste elétrico e mecânico devido ao princípio de medição sem contato. A empresa destaca ainda que a tecnologia garante maior linearidade e vida útil, sendo amplamente utilizada em sistemas de medição de combustível atuais.

A evolução dos sensores de nível de combustível reflete a transição da tecnologia mecânica para a eletrônica de precisão, alinhada às exigências de confiabilidade e comunicação digital entre módulos.

Enquanto os sensores potenciométricos ainda são amplamente utilizados em modelos de entrada pela simplicidade e baixo custo, os sensores capacitivos, Hall e ultrassônicos representam o futuro da medição de combustível, oferecendo maior precisão, durabilidade e integração eletrônica com os sistemas embarcados de controle e diagnóstico

4.10.3 Estrutura e Construção do Sensor de Nível de Combustível

O flutuador (ou boia) de sensores de nível de combustível é frequentemente construído em materiais plásticos leves e quimicamente compatíveis, como polipropileno, para garantir boa flutuabilidade e resistência à exposição prolongada a combustíveis (WIKA, 2021). Alternativamente, em aplicações mais robustas, utilizam-se flutuadores metálicos, sendo comum o uso de aço inoxidável (304 ou 316), que oferece elevada durabilidade e resistência à corrosão em contato com combustíveis. (BLUEFIN, s.d.; EMECO, 2018)

O braço (haste) que conecta o flutuador ao sistema de detecção é normalmente fabricado em materiais rígidos e resistentes, como aço inoxidável ou alumínio, garantindo boa rigidez estrutural, baixa deformação com o tempo e resistência à corrosão, o que é essencial para manter a precisão da medição em ambientes agressivos.

O resistor variável é montado em uma carcaça plástica ou metálica resistente a vibrações e produtos químicos, e os terminais elétricos são banhados em estanho ou niquelados, protegidos por resina epóxi para evitar curto-circuitos e corrosão. O conjunto pode incluir rolamentos plásticos ou buchas para permitir movimento suave e preciso do braço.

A construção robusta do sensor de nível, aliada a materiais resistentes a combustíveis e ao uso de resistores confiáveis, assegura medições precisas e durabilidade ao longo da vida útil do veículo.

4.10.4 Possíveis Falhas

Os principais sintomas de falha no sensor de nível de combustível incluem:

- Leitura incorreta no painel: O marcador pode indicar tanque cheio ou vazio mesmo havendo combustível;
- Oscilações intermitentes: o indicador pode flutuar sem correspondência real com o volume do reservatório;
- Falha total do sensor: o sistema pode deixar de exibir qualquer informação sobre o nível de combustível.
- Saturação do material da boia (perdendo flutuação)

Além das causas mecânicas, como desgaste da trilha resistiva e oxidação dos contatos elétricos, há também falhas relacionadas à bomba elétrica e ao módulo de envio de sinal à ECU, especialmente quando ocorre variação de tensão de alimentação ou interrupção na rede CAN.

O diagnóstico moderno é feito por meio de scanners automotivos via OBD-II, que permitem verificar a tensão de saída do sensor, falhas armazenadas na ECU e inconsistências entre o valor real do nível e a leitura exibida no painel.

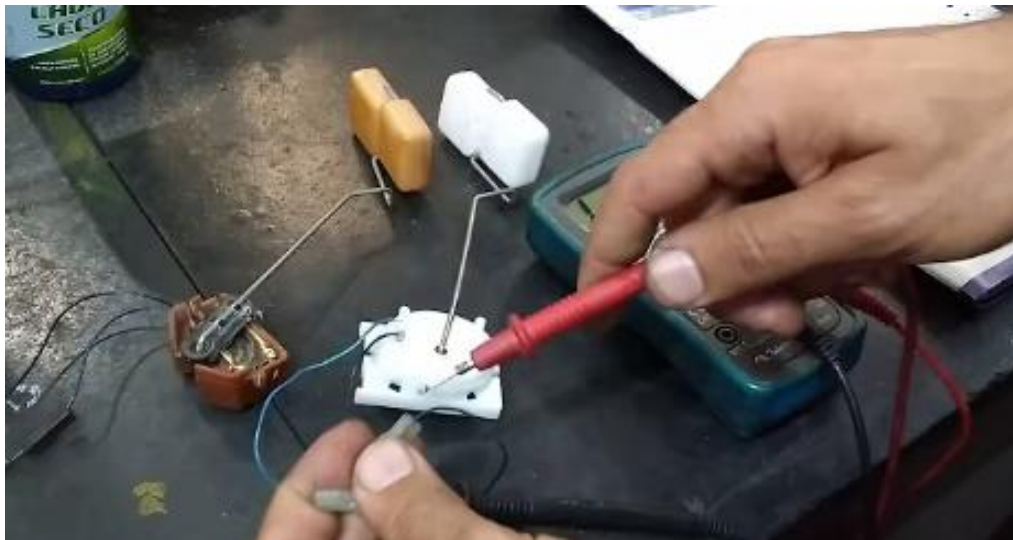
De acordo com Costa (2012), falhas no sensor de nível de combustível podem resultar em leituras imprecisas no painel, como marcações incorretas de tanque cheio ou

vazio, oscilações erráticas no indicador e até a paralisação completa do sistema de medição, dificultando o controle do consumo pelo motorista.

4.10.5 Testes de funcionamento

O sensor de nível de combustível (Figura 71) pode ser testado por meio de diferentes métodos para garantir seu funcionamento adequado. Um dos testes mais comuns é o de resistência, realizado com um multímetro: ao movimentar manualmente a bóia do sensor, a resistência elétrica deve variar de forma logarítmica, indicando que o potenciômetro interno está operando corretamente.

Figura 71 – Teste de resistência do sensor de nível



Fonte: Youtube - Canal Gade Automotive, 2022

Também é possível realizar o teste de tensão com o sistema energizado, medindo a variação de tensão no fio de sinal conforme o nível de combustível muda. Outro procedimento importante é o teste de continuidade, que verifica se há rompimentos no circuito interno do sensor.

Por fim, pode-se testar o painel do veículo simulando diferentes níveis de combustível com resistores equivalentes, observando se o indicador responde corretamente.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o objetivo proposto neste trabalho foi plenamente alcançado, uma vez que o conteúdo desenvolvido oferece uma base sólida e acessível para estudantes, técnicos e profissionais da área automotiva. Espera-se que este material sirva como fonte de consulta e apoio, promovendo boas práticas de manutenção e incentivando a adoção de soluções mais eficientes e sustentáveis por meio do aprofundamento técnico e da valorização do conhecimento aplicado.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, este estudo pode ser ampliado com a inclusão de análises experimentais em bancada, testes práticos com diferentes modelos de sensores e integração com ferramentas de diagnóstico avançadas. Outra perspectiva relevante é estender a pesquisa para atuadores e demais sistemas de sensores presentes no veículo, como aqueles relacionados à transmissão, sistemas de segurança (ABS, airbag), conforto e conectividade, permitindo uma abordagem mais completa do gerenciamento eletrônico automotivo. Também possibilita a criação de materiais multimídia e simuladores interativos, que facilitem o aprendizado prático e a capacitação de profissionais, aproximando ainda mais teoria e prática no contexto da engenharia automotiva.

7 REFERÊNCIAS

ALLEGRO MICROSYSTEMS. Fuel Level Sensor Using Hall-Effect Sensor ICs. Application Note AN296152. Manchester: Allegro MicroSystems, 2020. Disponível em: <<https://www.allegromicro.com/-/media/files/application-notes/an296152-fuel-level-sensor-using-hall-effect-sensor-ics.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2025.

ALUGA GERA. Diferenças entre motores do ciclo Otto e ciclo Diesel. Aluga Gera, [s.d.]. Disponível em: <https://alugagera.com.br/noticias/diferencas-entre-motores-do-ciclo-otto-e-ciclo-diesel>. Acesso em: 18 abril 2025.

ANCONA. Sonda Bosch banda larga wideband LSU 4.2 5 fios. Ancona, [s.d.]. Disponível em: https://www.ancona.com.br/sonda-bosch-banda-larga-wideband-lsu-42-5-fios/up/MLBU1771286272?pdp_filters=category%3A192358%7Cseller_id%3A176832827%7Citem_id%3A19235820979. Acesso em: 17 maio 2025.

AVTOTACHKI. Sensor Hall: princípio de funcionamento, tipos e aplicação. Disponível em: <<https://avtotachki.com>>. Acesso em: 15 nov. 2025.

BIELA QUENTE - CANAL DE MECÂNICA AUTOMOTIVA. 02 Super Testes do Sensor de Etanol com Osciloscópio [vídeo]. YouTube, [s.d.]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=f3vZROVSMYo>. Acesso em: 10 maio 2025.

BLUEFIN SENSOR. Stainless Steel 304/316 Float Type Oil/Diesel/Fuel/Gasoline Tank Level Sensor. Bluefin Sensor, s.d. Disponível em: <<https://www.bluefin-sensor.com/Float-Type-Stainless-Steel-304-SAE-5-Hole-Flange-Mount-Level-Sensors-for-Fuel-Level-Monitor-pd573747358.html>>. Acesso em: 21 nov. 2025.

BOSCH. Automotive Handbook. 11. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2022.

BOSCH. Engine Control Unit. Disponível em: <<https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/control-units/engine-control-unit/>>. Acesso em: 05 dez. 2025.

BOSCH, ROBERT. Manual de tecnologia automotiva. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 1232 p. ISBN 9788521215523.

BÓSON TREINAMENTOS. Arseneto de Gálio e suas aplicações. Disponível em: <<https://www.bosontreinamentos.com.br>>. Acesso em: 15 nov. 2025.

BRUNETTI, CÉSAR. Injeção eletrônica – linha leve Flex. 2. ed. São Paulo: Érica, 2014.

BRUNETTI, FRANCISCO. Motores de combustão interna. São Paulo: Érica, 2000.

COSTA, ROGÉRIO DE OLIVEIRA. Sistemas de injeção eletrônica – teoria e prática. São Paulo: Érica, 2012.

CONFICAR. Sonda lambda Bosch. Conficar, 2019. Disponível em: <https://www.conficar.pt/2019/09/02/sonda-lambda-bosch/>. Acesso em: 17 maio 2025.

CORDEIRO JR. , J. et al. Técnicas de análises experimentais dos ciclos motores Otto & Diesel. Revista de Engenharia da UERJ, v. 10, n. 1, 2018.

COSTA, Rogério de Oliveira. Sistemas de injeção eletrônica – teoria e prática. São Paulo: Érica, 2012.

DELPHI TECHNOLOGIES. Planar Oxygen Sensors – Faster Closed Loop Activation. Disponível em: <<https://www.delphiautoparts.com/usa/en/product/oxygen-sensors>>. Acesso em: 05 dez. 2025.

DIRECTINDUSTRY. Resina para encapsulamento. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/resina-encapsulamento-158865.html>>. Acesso em: 17 nov. 2025.

DOUTOR IE. Sensor Hall. Blog Doutor IE. Disponível em: <https://blog.doutorie.com.br/sensor-hall/>. Acesso em: 22 maio 2025.

DOUTOR IE. Sonda lambda: tudo o que você precisa saber. Blog Doutor IE, 2018. Disponível em: <https://blog.doutorie.com.br/sonda-lambda-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 17 maio 2025.

EASY CAR ELECTRICS. Throttle Position Sensor & Its Types. 2022. Disponível em: <https://easycarelectrics.com/what-is-throttle-position-sensor/>. Acesso em: 19 jun. 2025.

ELECTRICITY MAGNETISM. Sensor de nivel resistivo. Disponível em: <<https://www.electricity-magnetism.org/es/sensor-de-nivel-resistivo/>>. Acesso em: 22 nov. 2025.

ELETRÔNICA AUTOMOTRIZ DESDE CERO. Como probar el sensor de temperatura [vídeo]. YouTube, 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5MOGSoOfG7E>. Acesso em: 05 maio 2025.

EMBARCADOS. Gerenciamento eletrônico dos motores de combustão. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/gerenciamento-eletronico-dos-motores-de-combustao/>>. Acesso em: 10 nov. 2025.

EMECO. Catálogo LBM-X75L Sensor de Nível Tipo Boia. Emeco, 2018. Disponível em: <<https://emeco.com.br/project/br-lbm-x75l-sensor-de-nivel-tipo-boia/>>. Acesso em: 21 nov. 2025.

ETSCHBERGER, Konrad. Controller Area Network: Basics, Protocols, Chips and Applications. 2. ed. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2001.

FEYIJIMI, CLEMENT; DEPCIK, CHRISTOPHER. Predictive Zero-Dimensional Combustion Modeling in Internal Combustion Engines. *ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 2025.

FRENCH SCHOOL. Motor de combustão interna projetado por Etienne Lenoir (1822-1900) 1860 (metal). Meisterdrucke, Disponível em: [https://www.meisterdrucke.pt/impressoes-artisticas-sofisticadas/French-School/426480/Motor-de-combust%C3%A3o-interna-projetado-por-Etienne-Lenoir-\(1822-1900\)-1860-\(metal\).html](https://www.meisterdrucke.pt/impressoes-artisticas-sofisticadas/French-School/426480/Motor-de-combust%C3%A3o-interna-projetado-por-Etienne-Lenoir-(1822-1900)-1860-(metal).html). Acesso em: 15 outubro 2025.

GADE AUTOMOTIVE. Como testar bóia de combustível, sensor de nível [vídeo]. YouTube, 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=PbwKETl_hsM. Acesso em: 17 ago. 2025.

HEYWOOD, JOHN B. *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1988

GUZZELLA, Lino; ONDER, Christopher H. *Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems*. 2. ed. Berlin: Springer, 2010.

INGENIERÍA Y MECÁNICA AUTOMOTRIZ. Qué es el sensor de temperatura de motor y cómo funciona. *Ingeniería y Mecánica Automotriz*. Disponível em: <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-sensor-de-temperatura-de-motor-y-como-funciona/>. Acesso em: 18 out. 2025.

INGENIERÍA Y MECÁNICA AUTOMOTRIZ. TPS cuerpo de aceleración. *Ingeniería y Mecánica Automotriz*, 2021. Disponível em: <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/category/mecanica/sensores-automotrices/tps-cuerpo-de-aceleracion/>. Acesso em: 28 maio 2025.

ISERMANN, Rudolf. *Engine Modeling and Control*. Berlin: Springer-Verlag, 2014.

KASPER, FERNANDO R. S. Modelagem e simulação de motores à combustão interna por técnicas da fluidodinâmica computacional (CFD). 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

LONGVISTA. Capacitive Fuel Probe LC16. Basel: Longvista AG, 2021. Disponível em: <<https://longvista.ch/product/capacitive-fuel-probe/>>. Acesso em: 21 nov. 2025.

MADALOZZO, KEVEN. Injeção eletrônica automotiva básica – os fundamentos. Versão 1.1, 2022.

MÉTODO E.I.E: Apostila testes de sensores: Testes e dicas. 2025. Apostila.

MOTOINTEGRATOR. Luz de aviso do motor acesa: quais são as possíveis razões?. Motointegrator]. Disponível em: <https://www.motointegrator.pt/blog/luz-de-aviso-do-motor-acesa-quais-sao-as-possiveis-razoes/>. Acesso em: 19 maio 2025.

MSAM. MWM 1828345C91E sensor posição árvore manivelas 164809. MSAM, [s.d.]. Disponível em: <https://www.msam.com.br/produto/mwm-1828345c91e-sensor-posicao-arvore-manivelas-164809>. Acesso em: 21 abril 2025.

MTE-THOMSON. Sonda Lambda. Disponível em: <https://www.mte-thomson.com.br/sonda-lambda/>. Acesso em: 25 mai. 2025.

MUNDO DA ELÉTRICA. Sensores indutivos: características e aplicações. Mundo da Elétrica. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/sensores-indutivos-caracteristicas-aplicacoes/>. Acesso em: 14 abril 2025.

OFICINA BRASIL. Diagnóstico de falhas no sistema de comunicação entre módulos através do conector DLC. Disponível em: <<https://oficinabrasil.com.br/noticia/consultor-ob/diagnostico-de-falhas-no-sistema-de-comunicacao-entre-modulos-atraves-do-conector-dlc>>. Acesso em: 10 nov. 2025.

OFICINA BRASIL. Utilizando o sensor de etanol como ferramenta de diagnóstico junto com o osciloscópio. Oficina Brasil, 2021. Disponível em: <https://oficinabrasil.com.br/noticia/consultor-ob/utilizando-o-sensor-de-etanol-como-ferramenta-de-diagnostico-junto-com-o-osciloscopio>. Acesso em: 15 maio 2025.

OFICINA BRASIL. Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento: como testar e interpretar os sinais. Disponível em: <https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnica/sensor-de-temperatura-do-liquido-de-arrefecimento-como-testar-e-interpretar-os-sinais>. Acesso em: 25 jun. 2025.

O MECÂNICO. Diferenças no sinal da sonda lambda do VW T-Cross 200 TSI. Disponível em: <https://omecanico.com.br/diferencas-no-sinal-da-sonda-lambda-do-vw-t-cross-200-tsi/>. Acesso em: 21 nov. 2025.

O MECÂNICO. Injeção direta: conheça o sistema TSI da Volkswagen. 2018. Disponível em: https://omecanico.com.br/ed_289_injecaoupsi/. Acesso em: 21 nov. 2025.

PICO TECHNOLOGY. Throttle position sensor (potentiometer). Pico Automotive Guided Tests. Disponível em: <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/sensors/throttle-position/AGT-029-throttle-position-potentiometer>. Acesso em: 17 jun. 2025.

QUATRO RODAS. Para que serve e como funciona a sonda lambda?. Quatro Rodas, 2024. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/para-que-serve-e-como-funciona-a-sonda-lambda/>. Acesso em: 01 junho 2025.

RENKE. Capacitive Fuel Level Sensor RS-CYW-N01. Shandong: Renke Electronics, 2022. Disponível em: <https://www.renkeer.com/product/capacitive-fuel-level-sensor/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

ROCHA DOS SANTOS, G. et al. Modelo matemático para simulação numérica de motor de combustão interna. Anais do Congresso SAE BRASIL, São Paulo, 2019.

RIBOLLA, ADRIANO. Sistemas Automotivos com Gerenciamento Eletrônico. Material didático da disciplina ministrada no curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística – FATEC Santo André, 2024. Não publicado.

REIF, K. (Ed.). Automotive Mechatronics: Automotive Networking, Driving Stability Systems, Electronics. 2. ed. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. Disponível em: <<https://www.springer.com/de/springervieweg>> ou via DOI: <<https://doi.org/10.1007/978-3-658-03975-2>>. Acesso em: 21 nov. 2025.

RODRIGUEZ, HENRIQUE. Para que serve e como funciona a sonda lambda? Quatro Rodas, 15 set. 2024. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/para-que-serve-e-como-funciona-a-sonda-lambda/>. Acesso em: 17 jun. 2025.

SAE INTERNATIONAL. Crankshaft Position Sensor Design and Application. SAE Technical Paper, 2019. Disponível em: <<https://www.sae.org/papers/application-a-crankshaft-position-sensor-control-engine-timing-780213>>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SAE INTERNATIONAL. J1939 Standard: Serial Control and Communications Heavy Duty Vehicle Network. Warrendale, PA: SAE, 2015. Disponível em: <https://saemobilus.sae.org/standards/j1939_202306-serial-control-communications-heavy-duty-vehicle-network-top-level-document>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SENSOR AUTOMOTRIZ. Sensor MAF: funcionamento e aplicações. Disponível em: <<https://sensorautomotriz.top/sensor-maf/>>. Acesso em: 21 nov. 2025.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). Motor ciclo Otto e seus sistemas. Departamento Nacional; Departamento Regional de Santa Catarina. Brasília: SENAI/DN, 2015. 202 p. il. (Série Automotiva).

SIEMPRE AUTO. Cómo funciona el sensor de temperatura de tu auto. Siempre Auto. Disponível em: <https://siempreauto.com/como-funciona-el-sensor-de-temperatura-de-tu-auto/>. Acesso em: 21 maio 2025.

SILVA, J. M.; ZARA, A. J. Sensores de temperatura do tipo NTC à base de mistura mecânica de óxidos de níquel, cobalto e manganês. Anais do XIX Encontro Acadêmico de Iniciação Científica, Unicentro, 2017. Disponível em: <<https://anais.unicentro.br/xixeaic/pdf/2450.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2025.

SIMPLUS. Sonda lambda: como diagnosticar com scanner e multímetro. Blog Simplus, [S. I.], 2023. Disponível em: <<https://blog.simplusbr.com/sonda-lambda-como-diagnosticar-com-scanner-e-multimetro/>>. Acesso em: 23 nov. 2025.

SIMPLUS. Sensor de rotação indutivo: funcionamento e aplicações. Blog Simplus. Disponível em: <<https://blog.simplusbr.com/sensor-de-rotacao-indutivo/>>. Acesso em: 05 nov. 2025.

SINO-INSTRUMENT. Ultrasonic Fuel Tank Level Sensor ULT-200A – Technical Specification. Hangzhou: Sino-Instrument, 2021. Disponível em: <<https://sino-inst.com/ultrasonic-fuel-level-sensor-external-truck-tank/>>. Acesso em: 21 nov. 2025.

SIXSIGMATAS. Estrutura da Rede CAN Automotiva. Disponível em: <https://www.sixsigmatas.com.br/_mecanica/_articles/_estrutura_rede_CAN.html>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SOUZA, JOÃO P. S. T. Análise de um motor à combustão interna: simulação numérica do ciclo Otto. 2016. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SUPERCARS MANUFACTURING. Engine management system automotive supercar unit control. Supercars Manufacturing. Disponível em: https://www.supercarsmanufacturing.com/engine_management_system_automotive_supercar_unit_control.htm. Acesso em: 07 nov. 2025.

TEORIA DA ENERGIA. O que é Arsenieto de Gálio?. Disponível em: <<https://energytheory.com>>. Acesso em: 15 nov. 2025.

TIEPIE AUTOMOTIVE. Inductive Crankshaft Sensor Measurement. Disponível em: <<https://www.tiepie-automotive.com/en/articles/crankshaft-sensor-inductive>>. Acesso em: 17 nov. 2025.

VETTER PEÇAS. Sensor TPS 8 pinos para Outlander e Lancer 2.0 2.4 MR578861. Disponível em: <<https://www.vetterpecas.com/sensor-tps-8-pinos-para-outlander-e-lancer-20-24-mr578861/prod-8845540/>>. Acesso em: 13 nov. 2025

VIVACE PROCESS INSTRUMENTS. Posicionador & Sensor Hall. Disponível em: <<https://www.profibus.org.br/images/arquivo/posicionador-sensorhall-543ec9c42d063.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2025.

WEBMOTORS. Falta de manutenção estraga catalisador. Disponível em: <<https://www.webmotors.com.br/wm1/dicas/falta-manutencao-estruga-catalisador>>. Acesso em: 22 nov. 2025.

WIKA. Continuous-measurement Float Level Switch – Datasheet LM 20.01. WIKA, 2021. Disponível em: <https://www.wika.com/media/Data-sheets/Level/Continuous-measurement-with-float/ds_lm2001_pt_br.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

WS PARTS. Sensor de nível de combustível 12V DS-23195. WS Parts. Disponível em: <https://www.wsparts.com.br/produto/sensor-de-nivel-de-combustivel-12v-ds-23195-117831>. Acesso em: 17 maio 2025.