

SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE IGNIÇÃO E ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL DE UM MOTOR VW BOXER

Leonardo Rodrigo Fagundes¹
Paulo Vicari²

RESUMO

Nos últimos anos, houve um notável avanço na indústria automotiva em relação ao controle dos motores a combustão interna por meio de sistemas eletrônicos. O antigo método de controle mecânico com carburadores foi substituído por sistemas mais sofisticados, que utilizam diversos atuadores, sensores e unidades de controle. Este artigo tem como objetivo examinar a substituição do sistema de ignição e injeção de combustível de um motor VW boxer em um veículo Kombi de 1994. Para realizar essa substituição, foram feitas alterações no sistema de admissão de ar, no sistema de ignição e no sistema de injeção de combustível, além da instalação de um módulo de injeção eletrônica programável da empresa FuelTech LTDA. O método de pesquisa utilizado foi indutivo, com uma abordagem aplicada e uma abordagem quantitativa exploratória. Para obter os resultados, o veículo foi levado a uma oficina especializada em Chapecó/SC, onde foram comparadas a potência e o torque utilizando um dinamômetro de rolo. Após os testes, foi constatado um aumento de 25,31% na potência do motor e um aumento de 19,81% no torque, demonstrando a eficiência do sistema de controle eletrônico em comparação com o sistema mecânico.

Palavras-chave: Carburador; Motor VW boxer; Injeção eletrônica programável.

1 INTRODUÇÃO

Quando consideramos a questão da mobilidade, geralmente pensamos no uso de veículos, seja em terra, ar ou água. No início da Revolução Industrial, os motores a vapor eram amplamente utilizados, impulsionando grandes embarcações e locomotivas. No entanto, em 1872, Nikolaus August Otto (1832-1891) criou o primeiro protótipo de motor de combustão interna. Este tipo de motor começou a ser projetado em 1862, pelo físico francês Alphonse Beau de Rochas, que propôs as condições necessárias para funcionamento de um motor com ciclo de 4 tempos. No seu estudo, foi demonstrada a sequência de eventos necessárias para que um motor de 4 tempos funcionasse, porém, ele não chegou a construir o motor (Passarini, 1993).

Nikolas Otto foi quem construiu e testou em 1876 o primeiro motor de 4 tempos, o qual determinou o ciclo teórico de trabalho do motor, onde através da empresa Otto e Laugnen passou a fabricar os motores com pistões móveis ligados a um virabrequim, os quais foram denominados utilizando seu nome, Otto. Em uma questão histórica a crise do petróleo foi

¹ Graduando em Engenharia Mecânica (UCEFF, 2023). E-mail: leonardo.fagundes8@gmail.com.

² Mestre em Gestão da tecnologia e Inovação (UCEFF, 2023). E-mail: paulovicari@uceff.edu.br.

associada a utilização de grandes motores e de carburadores, os quais geravam grande consumo de combustível. À medida em que foi ocorrendo a evolução de computadores e chips, foi sendo estudado, aprimorado e utilizado sistemas eletrônicos para comando de motores a combustão, visando uma redução na emissão de poluentes e menor consumo de combustível (Passarini, 1993).

Nos veículos modernos, a gestão eletrônica tornou-se um aspecto essencial, trazendo não apenas melhorias de desempenho, mas também aprimorando a dirigibilidade, aumentando a flexibilidade e, o mais importante, garantindo o funcionamento do motor mais próximo do ideal. Essa tecnologia pode ser implementada em veículos com uma vida útil mais longa, permitindo a incorporação dos benefícios tecnológicos em motores mais antigos. Isso resulta em um sistema global mais seguro, eficiente e com maior rendimento.

Uma considerável proporção dos automóveis fabricados nacionalmente durante os anos 90 empregava carburadores como mecanismo de fornecimento de combustível. Com o passar do tempo, esse sistema tende a sofrer desgaste, tornando-se propenso a mau funcionamento e possíveis falhas mecânicas. Em virtude dos avanços tecnológicos atuais, muitos veículos antigos estão sendo adaptados para a incorporação de sistemas eletrônicos. Tal fato levanta o questionamento: **Quais são os passos necessários para realizar a conversão de um sistema de ignição e injeção de combustível de um motor inicialmente carburado para um sistema de injeção eletrônica usando uma Unidade de Controle Eletrônico (ECU) programável, e como essa modificação pode afetar os parâmetros de potência e torque do motor?**

Com o propósito de análise, o presente estudo objetiva a substituição do sistema de ignição e alimentação de combustível de um motor VW boxer 1600cc em um veículo Kombi. Inicialmente equipado com dois carburadores, pretende-se substituí-los por um novo sistema de admissão de ar, ignição e injeção de combustível controlado eletronicamente através de uma ECU programável. Para avaliar os resultados dessa modificação, serão comparadas as medições de potência e torque do motor utilizando um dinamômetro de rolo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O motor ciclo Otto teve seu funcionamento apresentado por Beau de Rochas em 1982 e foi materializado através de um experimento realizado por Nicolas Augusto Otto, o experimento consistia na utilização de um pistão dentro de uma câmara de combustão, ele movimentou o pistão manualmente até que conseguiu realizar a compressão da mistura ar e

combustível, feito isso acrescentou um sistema de ignição a qual gerou uma explosão e foi possível rotacionar o volante do motor, desta forma ele conclui os 4 tempos do sistema:

- 1: Admissão do combustível no primeiro movimento no qual ocorre o recuo do pistão.
- 2: Compressão do combustível no segundo movimento.
- 3: Expansão através da combustão criando a força útil.

4-No quarto movimento (volta do pistão) ocorre a descarga, liberação e expulsão dos resíduos da combustão. (Passarini, 1993).

2.1 COMPONENTES DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Os componentes primários de um motor de combustão interna, como evidenciado no Quadro 1, incluem pistão, biela, árvore de manivelas, bloco do motor, cárter, trem de acionamento de válvulas e comando de válvulas.

Quadro 1 -Funções dos principais componentes de um motor ciclo Otto.

Componente	Função
Pistão	Transmitir a força gerada pelo gás de combustão às bielas, apoiar a força normal aplicada contra as paredes do cilindro, enquanto a pressão do cilindro é transportada para a barra de ligação e junto com seus elementos de vedação, eles vedam a câmara de combustão da árvore de manivelas.
Biela	Elemento de junção entre o pistão e o eixo de manivelas (virabrequim).
Árvore de manivelas	Converter o movimento alternado dos pistões, transmitido pelas bielas, em movimento rotativo disponibilizando o torque efetivo na extremidade da árvore de manivelas.
Cárter	O cárter tem como função assegurar a lubrificação do motor, ele é uma peça de armazenamento e resfriamento do óleo, para maior resistência o cárter é frequentemente prolongado abaixo da árvore de manivelas.
Bloco do motor	Suportar o mecanismo de transferência de força entre o cabeçote do cilindro e o conjunto da árvore de manivelas, ele apoia os mancais de suporte do conjunto de manivelas e incorpora as paredes dos cilindros.
Cabeçote	Tem a finalidade de vedar a extremidade superior do bloco e o cilindro, ele abriga as válvulas de troca de gás, as velas e os injetores de combustível. Aliado ao pistão ele assegura o formato desejado da câmara de combustão, na maioria dos veículos de passeio o comando de válvulas é montado no cabeçote do cilindro.
Trem de acionamento de válvulas	É um conjunto válvula-engrenagem que permite e controla a troca de gases no motor, nele esta composta as válvulas de admissão e escapamento, as molas e os dispositivos de transmissão de força.
Comando de válvulas	Comandar a dinâmica do motor, direta ou indiretamente através de varetas ou balancins, realiza a abertura e fechamento das válvulas de admissão e escapamento.

Fonte: Adaptado Bosch (2005).

2.2 FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Nos motores de ciclo Otto, um ciclo é concluído quando o pistão percorre quatro cursos, o que corresponde a duas voltas da manivela do motor. Durante esse ciclo, o motor passa pelos quatro tempos: admissão, compressão, combustão e exaustão.

Tempo de admissão: O pistão desloca-se do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI), com este deslocamento o pistão gera uma sucção que causa um fluxo de gases através da válvula de admissão (VA) que neste momento se encontra aberta, o cilindro é preenchido com mistura de ar e combustível.

Tempo de compressão: A válvula de admissão é fechada e o pistão desloca-se do PMI ao PMS, comprimindo a mistura.

Tempo de expansão: próximo ao PMS ocorre a faísca que provoca a ignição da mistura, a combustão provoca um grande aumento de pressão o qual permite “empurrar” o pistão para o PMI, este processo realiza o trabalho positivo útil do motor.

Tempo de escape: com a válvula de escapamento aberta, o pistão desloca-se do PMI para o PMS, “empurrando” os gases da combustão para fora do cilindro, para reiniciar o ciclo pelo tempo de admissão (Brunetti, 2012).

2.2.1 Relação entre ar e combustível

É evidente que o tipo de combustível exibe variações nas propriedades termodinâmicas da mistura. Como é amplamente conhecido, a gasolina pode diferir em suas características de um posto para outro, resultando em diferentes quantidades de calor geradas por litro de combustível, dependendo do estabelecimento. No entanto, os componentes da gasolina compartilham uma característica comum: são compostos por hidrocarbonetos, que consistem em átomos de hidrogênio e carbono. A principal diferença reside no número de átomos presentes em cada composição e no arranjo molecular desses componentes.

A equação química onde os elementos reagem entre si é chamada de estequiometria, uma determinada quantidade de ar tem um número específico de moléculas de oxigênio assim como uma determinada quantidade de gasolina possui uma quantidade exata de hidrocarbonetos. Ao arranjar os dois componentes se tem uma razão entre gasolina e ar e esta é analisada por uma equação estequiométrica (Brunetti, 2012).

A razão de equivalência ϕ expressa a relação entre a razão massa de combustível/massa de ar presente na mistura fresca e a razão estequiométrica combustível/ar. Tal processo é descrito de duas formas:

1-Misturas pobres ou estequiométricas ($\phi \leq 1$): excesso de oxigênio, portanto, quantidades de CO e H₂ nos produtos desprezíveis.

2-Misturas ricas ($\phi \geq 1$): escassez de oxigênio, portanto quantidade de oxigênio desprezível.

Avalia-se que para se atingir uma mistura estequiométrica a relação ar/combustível deve ser 14.7/1, contendo 14,7 gramas de ar para 1g de gasolina, considerando que um cilindro do motor tem um tamanho fixo, entrando uma quantidade máxima de ar é desejável que para se obter uma máxima potência, deve-se utilizar uma mistura levemente rica, para se ter certeza que todas as moléculas disponíveis de ar do cilindro reajam com o hidrocarboneto. Por outro lado, há a possibilidade de perder um pouco de potência e utilizar uma mistura mais pobre, desta forma não haverá sobra de combustível e pode-se buscar uma redução de consumo de combustível (Aird, 2001).

2.2.2 Sistema de ignição

Para geração de potência o motor não necessita apenas de uma boa mistura de ar e combustível, mas também um meio de gerar a combustão corretamente, ela é realizada nos motores de ciclo Otto através de uma pequena faísca elétrica gerada por um arco entre um par de elétrons da vela de ignição, o arco gera uma faísca a qual libera energia suficiente para a combustão (Ribbens, 1998).

O sistema de ignição confiável, deve ocorrer em momento definido com precisão, a ignição correta pode ser obtida através da seleção das localizações da vela de ignição com um bom acesso da mistura e padrões eficientes de turbilhamento. Estas considerações são extremamente importantes para misturas pobres, sendo que melhorias também podem ser realizadas através do posicionamento da vela de ignição em pequenas câmaras de ignição auxiliares. As exigências de energia de ignição dependem da relação da mistura ar/combustível, sendo necessária uma energia de ignição de 0,2mJ para gasolina na faixa estequiométrica, enquanto são necessárias 3mJ para misturas mais ricas ou mais pobres (Bosch, 2005).

2.2.3 Sistema de arrefecimento

Com a finalidade de evitar a sobrecarga térmica, combustão do óleo lubrificante na superfície deslizante do pistão e combustão descontrolada devido a altas temperaturas, os

componentes em torno da câmara de combustão quente como o forro do cilindro, cabeçote do cilindro e válvulas necessitam de sistemas de arrefecimento neste caso se tem duas formas de realiza-lo, uma de forma direta e uma indireta. Arrefecimento direto a ar remove o calor diretamente em seus componentes, geralmente são utilizadas aletas nos mesmo, seu princípio é baseado no fluxo intensivo de ar. O arrefecimento indireto se dá geralmente pela utilização de água, ela possui uma alta capacidade específica de calor e realiza uma transição térmica eficiente entre os materiais, a maioria dos veículos produzidos atualmente possuem este tipo de arrefecimento, o líquido de arrefecimento é bombeado através do motor e de um radiador ar/água, o ar arrefecido flui através do radiador em resposta ao movimento do veículo ou forçado por um ventilador (Bosch, 2005).

2.2.4 Sistema de injeção de combustível através de carburador

Os sistemas de carburadores são utilizados amplamente desde a década de 70, estes sistemas possuem canais internos independentes para o funcionamento, mas que funcionam conjuntamente em determinadas situações, eles são divididos basicamente em 4 setores: marcha lenta, progressão inicial, fase intermediária e aceleração.

O sistema de carburador mede uma quantidade aproximada de ar e combustível para o motor, desta forma, o ar escoar através do venturi e cria uma diferença de pressão entre a entrada do venturi e o giclê de combustível, logo abaixo está a borboleta a qual controla a vazão de mistura e gera a resposta do motor, o escoamento de admissão é acelerado para baixo da pressão da atmosfera reduzindo a área de passagem quando a potência requerida está abaixo do máximo que é obtido quando o acelerador estiver no fundo (Bosch, 2005).

2.2.5 Sistema de injeção de combustível eletrônico

Com o objetivo principal de controlar eletronicamente o processo de combustão do combustível, a injeção eletrônica proporcionou um significativo avanço na indústria automotiva. Através de sua Unidade de Controle Eletrônico (ECU), aliada a diversos sensores e atuadores, ela regula a injeção de combustível por meio de bicos injetores, que são válvulas eletromagnéticas responsáveis por pulverizar o combustível em forma de spray, misturando-o ao ar admitido. Além de desempenhar essa função, a ECU analisa os dados obtidos e toma

decisões no sistema, como determinar o ponto de ignição adequado e a quantidade de combustível a ser injetada no motor.

A Unidade de Controle Eletrônico (ECU) recebe sinais tanto analógicos quanto digitais para efetuar o controle adequado do sistema. Os sinais analógicos incluem informações da sonda lambda, sensor de posição da borboleta, sensor de massa de ar, sensor de pressão de combustível, sensor de pressão no coletor de admissão, sensor de temperatura do ar na admissão, sensor de temperatura do motor e sensor de posição da válvula de recirculação de gases. Por outro lado, os sinais digitais compreendem dados provenientes do velocímetro, sensor de posição do comando de válvulas, sensor de posição do virabrequim e tensão da bateria.

Em contrapartida, a ECU é responsável pelo controle dos atuadores, tais como bicos de injeção, atuador da borboleta de controle de ar, relé da bomba de combustível, controle de um comando de válvulas variável, válvula de alívio de pressão de combustível, válvula do respiro de óleo, atuador do coletor de admissão variável, aquecimento da sonda lambda e acionamento das bobinas individuais de ignição. As funções dos principais sensores e atuadores estão descritas detalhadamente no Quadro 2.

Quadro 2 - Função dos principais sensores de um motor ciclo Otto.

Componente	Função
Sensor de posição do eixo de manivelas	Possui a finalidade de captar através de uma roda fônica instalada no virabrequim a rotação do motor.
Sensor TPS	Determinar a posição angular de um determinado componente mecânico, ele tem a aplicação na borboleta, pedal do acelerador, válvula EGR, suspensão, abertura do ar condicionado.
Sensor de temperatura	Repassar a ECU a temperatura do componente ou fluido.
Sensor MAF	Gerar a vazão de massa de ar na admissão ou escapamento.
Sensor de pressão	Transformam a pressão de óleo, água, combustível, turbo, freio e envia a ECU.
Sensor sonda Lambda	Instado no sistema de exaustão do veículo, ela é produzida em um elemento cerâmico de zircônio, quando é submetida a gases do escapamento a mais de 300 graus gera uma variação de tensão, esta variação é a informação sobre a diferença de oxigênio presente nos gases da queima em comparação aos 21% de oxigênio presente no ar da atmosfera.
Bobina de ignição	O princípio de funcionamento da bobina é por indução eletromagnética, o circuito primeiro da bobina recebe uma corrente proveniente do sistema de alimentação e esta variação gera um fluxo magnético na bobina, induzindo a uma tensão secundária, esta tensão é responsável pela centelha elétrica nas velas de ignição
Válvula injetora de combustível	Pulverizar o combustível na câmara de combustão.
Bomba de combustível	Enviar combustível com pressão controlado pelo dosador para as válvulas injetoras.
Eletro ventilador	Mais conhecida como ventoinha, tem a função de captar o ar externo e enviar ao radiador para que o mesmo refrigere o líquido de arrefecimento do motor.
Motor de passo	Utilizado como atuador de marcha lenta, controla a rotação de marcha lenta conforme o comando da ECU.

Componente	Função
Borboleta de controle de ar	Controlar a passagem de ar pelo sistema de admissão afim de atender o torque solicitado pelo motor.

Fonte: Lima (2018).

Com a utilização de um sensor *Mass Air Flow* (MAF) que se baseia em um sensor de fio quente, um fio de platina aquecido determina a vazão da massa de ar no sistema de admissão, após o cálculo da massa de ar admitida para o sistema e a quantidade de injeção de combustível pode-se utilizar a realimentação do cálculo, esse processo é denominado através do controle de sonda lambda em malha fechada que transmite a ECU a concentração de oxigênio dos gases de escapamento. A partir do sinal recebido pelo microprocessador ele realiza correções de massa de combustível injetado, trazendo uma exatidão e a estabilidade do controle de combustível. (Brunetti, 2012).

2.3 INJEÇÃO ELETRÔNICA PROGRAMÁVEL

O sistema de injeção eletrônica programável permite ao usuário programar a ignição e a injeção da mistura de ar e combustível. Isso é viabilizado pela criação de mapas de desempenho, que podem ser bidimensionais ou tridimensionais, apresentando informações simultâneas nos eixos. Por exemplo, o eixo X pode representar a quantidade de massa de ar admitida, enquanto o eixo Y representa a quantidade de combustível injetado.

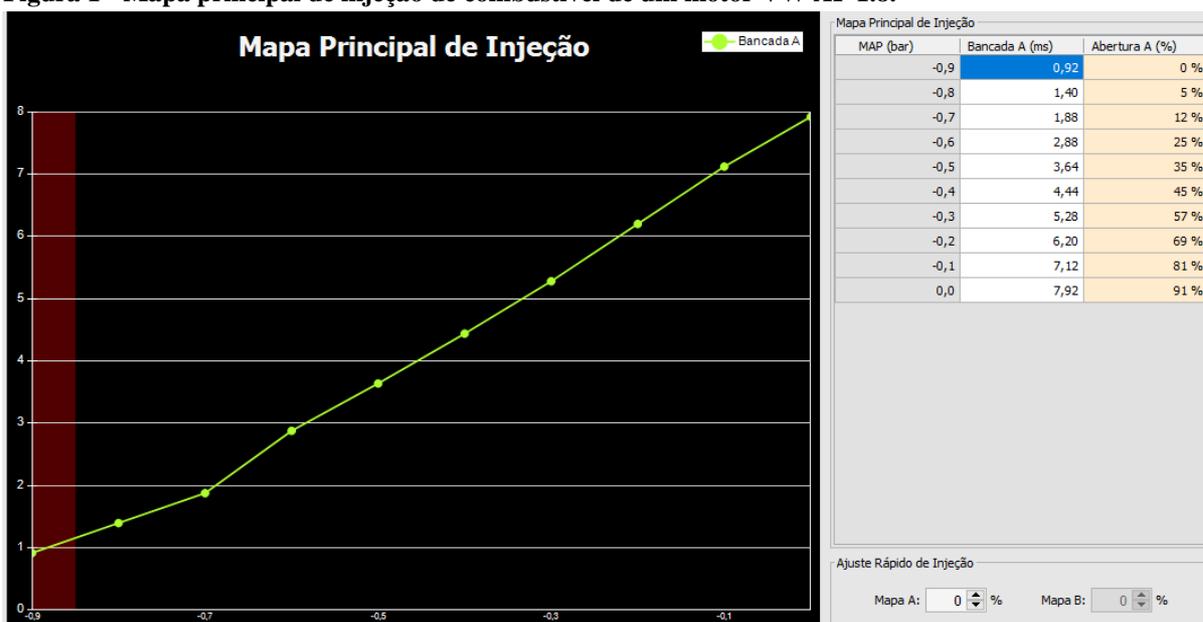
Os modelos atuais desses sistemas possuem uma tela de display, na qual o usuário pode visualizar uma variedade de informações enquanto dirige o veículo. Isso permite antecipar possíveis problemas, como superaquecimento, falta de injeção de combustível, baixo nível de óleo, entre outros. Esse tipo de mecanismo é extremamente útil, especialmente em veículos preparados para alto desempenho (Lima, 2018).

2.3.1 Mapas de controle de injeção e ignição

O mapa de controle é a como a ECU irá comandar os atuadores durante o funcionamento do motor em diversas condições, existem mapas gerados em 2 e 3 dimensões, estes parâmetros são programados pelo Tuner. Geralmente o mapa principal é gerado através da quantidade de massa de ar na admissão (MAP) e a porcentagem de tempo que o injetor ficou aberto durante o ciclo de admissão e compressão do motor como pode ser observado neste mapa 2D na Figura 1, (Lima, 2018).

A partir deste mapa principal são realizadas correções dependendo das condições que o motor se encontra, possuindo por exemplo correções por RPM, onde se injetará mais ou menos combustível dependendo da rotação que o motor estiver. Também possuem pela temperatura do motor e do ar admitido, pela tensão elétrica do sistema e a injeção rápida que é quando o motorista aciona rapidamente o acelerador necessitando uma injeção maior de combustível neste momento (Lima, 2018).

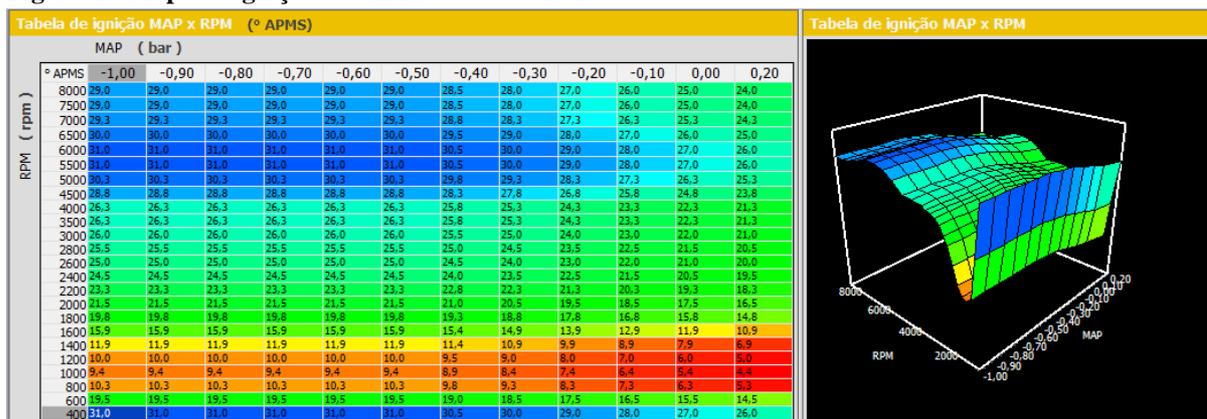
Figura 1 - Mapa principal de injeção de combustível de um motor VW AP 1.8.



Fonte: Fueltech (2022).

Assim como existe o mapa de injeção de combustível também ocorre semelhante o mapa de ignição, possuindo um mapa principal e suas determinadas correções, determinando o momento exato que a vela irá gerar a centelha elétrica, o mapa principal é formada pelo avanço até o ponto morto superior na fase de compressão e o MAP, podendo também ser realizada pela rotação do motor. Na Figura 2 é possível analisar um mapa principal em 3D relacionando o avanço da ignição, MAP e RPM (Lima, 2018).

Figura 2 - Mapa de ignição de um motor VW AP 1.8.



Fonte: Fueltech (2022).

2.3.2 Projeto elétrico de uma injeção eletrônica programável

Para se ter um sistema de injeção eletrônica confiável e eficaz necessita-se um projeto elétrico planejado e bem montado tendo em vista o avanço das ECU, dos sensores e atuadores nos quais hoje em dia dispõe de grande quantidade de tecnologia. Para a realização de um bom projeto elétrico a parte inicial se dá pelo conhecimento de cada dispositivo elétrico que será instalado, buscando verificar em cada componente seu consumo elétrico e proteção. Tendo todos os dados em mão será possível através da razão entre a potência e tensão obter a corrente necessária para a instalação, podendo após este processo realizar a escolha da bateria, fiação, fusíveis, chaves, relés e circuitos de proteção. Para a instalação dos equipamentos é utilizado um chicote elétrico, alguns fornecedores de ECU oferecem chicotes prontos para determinados carros, porém, em projetos específicos é necessário a confecção dos mesmos, neles são passados todos os fios dos atuadores, sensores e aterramentos. Este é um processo muito delicado sendo necessário um acabamento nos conectores e a utilização de produtos de qualidade (Lima, 2018).

Um painel de distribuição é projetado com o propósito de garantir o correto funcionamento, isolamento e proteção de todo o sistema elétrico. Nas montadoras de automóveis, esses painéis são equipados com relés e fusíveis, que fornecem a tensão e corrente necessárias para cada atuador que requer uma voltagem superior a 5V.

Os relés são utilizados para acionar diversos componentes, como a bomba elétrica, eletroventilador, injetores, bobinas de ignição e ECU. Eles possuem quatro pinos de conexão, designados como 30 (positivo da bateria), 85 (aterramento do chassi), 86 (alimentação pós-chave) e 87 (alimentação de saída pós-relé). Os fusíveis desempenham o papel de proteger a instalação elétrica, prevenindo incêndios causados por sobrecarga da fiação. Sua característica

de soluções como sopradores, condutos, difusores e defletores que asseguram a formação de um fluxo contínuo e controlado de ar arrefecido pelos mais diversos ambientes aquecidos do motor considerando as carcaças, cilindros e cabeçotes (Lima, 2017).

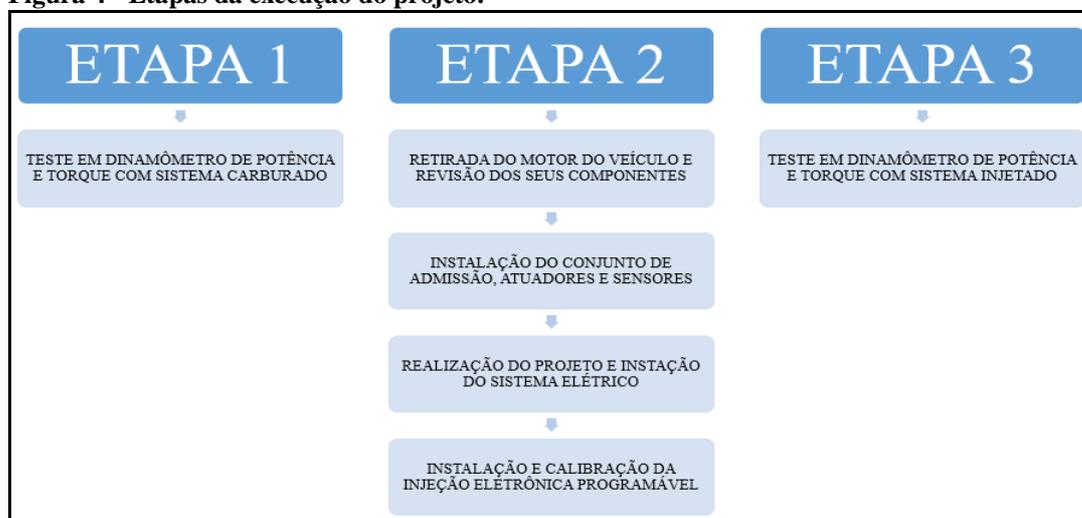
2.5 DINAMÔMETRO

Dinamômetros são equipamentos utilizados para medir potência e torque dos motores, os mais utilizados são: dinamômetro de inércia ou rolo, dinamômetros elétricos, dinamômetros hidráulicos e dinamômetro freio de Prony. O dinamômetro de inércia também é conhecido como dinamômetro de rolo, este tipo de dinamômetro possui cilindros de inércia que são obrigados a rodar com o motor, onde o motor pode ser fixado diretamente ao dinamômetro ou também pode colocar o veículo com as rodas em contato com os cilindros de inércia, assim medindo o sistema de transmissão e rodas do veículo. A vantagem do dinamômetro de inércia é por ser de fácil operação e por proporcionarem resultados rapidamente (Martins, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Através de um estudo de caso, pretende-se analisar a substituição do sistema de ignição e alimentação de combustível de um motor VW boxer em um veículo Kombi. A pesquisa apresenta uma abordagem quantitativa aplicada, utilizando dados coletados e realizando testes em um dinamômetro para comparar a potência e o torque dos sistemas. A Figura 4 demonstra as etapas da pesquisa, bem como os procedimentos adotados.

Figura 4 - Etapas da execução do projeto.



Fonte: Autor (2023).

3.1 VEÍCULO VOLKSWAGEN KOMBI STANDARD 1.6 1994

Para realização do projeto foi utilizado um veículo Kombi ano de produção de 1994. Segundo a montadora Volkswagen o veículo possui um motor boxer de 4 cilindros com 1584cm³, diâmetro de cilindro 85,5mm, curso de pistão 69mm, potência máxima no motor de 58cv a 4400rpm e torque máximo no motor de 11,2 kgfm a 2600rpm. Conta com dois carburadores modelo Weber, duas válvulas por cilindro e sistema de refrigeração a ar. O veículo do estudo (Figura 5) possui um sistema de ar condicionado instalado.

Figura 5 - Motor do veículo Kombi com sistema de carburadores.



Fonte: Autor (2023).

3.2 TESTE DE POTÊNCIA E TORQUE EM DINAMÔMETRO COM CARBURADORES

No dia 23 de março de 2023, o veículo foi encaminhado à oficina III Milênio em Chapecó, localizada a uma altitude de 674 metros acima do nível do mar, para realizar a medição de potência e torque em um dinamômetro de inércia. Nessa data, a temperatura registrada foi de 23 °C, com uma umidade relativa do ar de 70%.

O dinamômetro utilizado foi o Dynotech 720I, fabricado pela marca Dynotech, especialmente projetado para veículos de tração em duas rodas. Esse equipamento é capaz de medir a potência e o torque tanto nas rodas quanto no motor, além de fornecer uma tabela de tempo de aceleração. Possui também um ventilador especial de ar progressivo e cintas para amarrar o veículo. A Figura 6 apresenta o modelo do dinamômetro utilizado. O teste foi conduzido seguindo uma sequência de procedimentos detalhados descritos no Quadro 4.

Figura 6 - Dinamômetro Dynotech 720I.



Fonte: Dynotech 720i (2023).

Quadro 4 - Procedimentos para aferição de potência e torque dinamômetro Dynotech 720i.

Sequência dos procedimentos	Descrição dos procedimentos realizados
1	Abastecimento do veículo até completar o tanque de combustível com Gasolina Comum visando utilizar o mesmo combustível nos dois testes.
2	Calibração dos pneus dianteiros e traseiros com 35 libras de pressão segundo indicação do fabricante do veículo.
3	Posicionamento do veículo sobre os rolos do dinamômetro de inércia.
4	Colocação das cintas com catraca para fixação do veículo.
5	Acionamento do ventilador em direção ao motor do veículo.
6	Acionamento da partida a frio do veículo em marcha neutro.
7	Espera de 2 minutos com o motor ligado para aquecimento do sistema.
8	Passagem de 1ª, 2ª até a 3ª marcha.
9	Com a 3ª marcha acionada foi utilizado um pistola Estroboscópica de ponto foi medida a rotação do motor até chegar a 3000RPM para poder dar o parâmetro de rotação ao dinamômetro.
10	Acionamento através do computador para início da medição.
11	Com o veículo em 3ª marcha foi acelerado o máximo do pedal do acelerador de 2300 RPM até 4800rpm.
12	Esperado reduzir o rpm em marcha neutro e após isso desligado o veículo
13	Impressão do laudo de potência, torque e tempo de aceleração

Fonte: Autor (2023).

3.3 RETIRADA DO MOTOR DO VEÍCULO E VERIFICAÇÃO DOS COMPONENTES

Nesta fase, deu-se início ao processo de desmontagem do motor e inspeção das peças. O veículo foi posicionado em um elevador automotivo para facilitar a remoção das conexões

entre o motor e o câmbio. Em seguida, os periféricos do motor, como o sistema de ar condicionado, chicote elétrico, escapamento, carburadores e proteções metálicas, foram desmontados. Posteriormente, o motor foi removido e as demais peças foram desmontadas, deixando apenas o bloco com os componentes internos e os cabeçotes. Devido à presença de uma considerável quantidade de sujeira, foi realizada uma minuciosa limpeza externa em todos os componentes.

Após a limpeza, as peças e componentes foram inspecionados, revelando uma falha de funcionamento no alternador do veículo, que não estava fornecendo a tensão necessária, o mesmo foi substituído por um novo. Um problema notado foi a folga das válvulas de admissão e escapamento, as quais foram ajustadas seguindo os parâmetros fornecidos pela montador. Com a retirada do escapamento notou-se grande quantidade de oxidação e buracos no mesmo, desta forma foi substituído por um novo.

3.4 INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR, SENSORES E ATUADORES

Após a remoção dos carburadores, um novo sistema de admissão de ar foi instalado no veículo. Foi adquirido um conjunto de coletores de admissão da Kombi fabricada entre os anos 1998/2005, conforme ilustrado na Figura 7. Nesse período de produção, a Volkswagen utilizava o mesmo bloco e componentes internos. Portanto, o conjunto pôde ser fixado sem a necessidade de modificações, utilizando os mesmos pontos de fixação. O conjunto adquirido já incluía o atuador de marcha lenta, o sensor de posição da borboleta (TPS) e o sensor MAP, todos originais da Volkswagen.

Figura 7 - Coletor de admissão de ar Volkswagen Kombi 1998/2005.



Fonte: Autor (2023).

3.4.1 Roda fônica e sensor de rotação

Para realizar a medição da posição do virabrequim e, conseqüentemente, a rotação do motor, foi instalada uma roda fônica composta por 60 dentes, sendo 58 dentes completos e um intervalo vazio equivalente a dois dentes. O modelo selecionado possui uma roldana do tipo Poli-V para correia 4PK. Esse sistema foi escolhido para substituir a utilização inicial de duas polias associadas ao virabrequim: uma conectada ao compressor do ar condicionado e outra ao alternador. Para essa modificação, foi necessário trocar a polia do ar condicionado por uma polia 4PK e instalar uma nova polia no alternador, fornecida como parte do kit de polias. Para realizar a medição, foi utilizado um sensor de rotação por indução com uma saída de 3 vias. A Figura 8 ilustra o sistema antigo de polias e o novo sistema.

Figura 8 - Comparação entre sistemas de polias, esquerda sistema inicial com duas polias no virabrequim e direita sistema com apenas uma polia roda fônica e sistema Poli V.



Fonte: Autor (2023).

3.4.2 Bomba de combustível

Neste projeto, foi empregada uma bomba de combustível externa da marca Euro Polo, com uma taxa de fluxo de combustível de 130lb/h a uma pressão de 3bar. Para seu funcionamento adequado, a bomba requer uma tensão de 12V e uma corrente de 6,5A. Além disso, foi acoplado um filtro de combustível e um dosador de combustível.

Figura 9 - Bomba e filtro de combustível.



Fonte: Autor (2023).

3.4.3 Bicos injetores

Para o suprimento de combustível, foram utilizados quatro bicos injetores da marca Bosch, cada um com uma vazão máxima de 30lb/h.. Esses bicos injetores requerem uma resistência total de 12A. Além disso, eles são equipados com conectores de 2 vias, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Flauta de combustível e bico injetor.



Fonte: Autor (2023).

3.4.4 Bobinas de ignição

Tendo como objetivo deixar o motor com um melhor comando eletrônico para ignição, foi instalada uma bobina de ignição da marca NGK com saída de 4 vias como detalhada na Figura 11

Figura 11 - Bobina de ignição NGK.



Fonte:Autor (2023).

3.4.5 Leitor e condicionador de sonda Lambda

Foi selecionado o sensor de oxigênio FT LSU 4.2 (Figura 12), fabricado pela Bosch, para monitorar a quantidade de oxigênio no escapamento. Para a leitura dos dados, foi utilizado o módulo Wide Band Nano da Fueltech (Figura 13). Esse módulo estabelece a comunicação por meio do protocolo CAN (Controller Area Network) e transmite as leituras da quantidade de oxigênio para a ECU.

Figura 12 - Sensor FT LSU 4.2 instado no escapamento.



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 - Leitor de sonda Wide Band Nano.



Fonte: Autor (2023)

3.5 REALIZAÇÃO DO PROJETO E INSTALAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

Para o controle de injeção e ignição, foi adotada a unidade FT450 (Figura 14), um módulo produzido pela Fueltech. Esse dispositivo possui sete entradas para sensores e dez saídas configuráveis para o acionamento de cargas. Com uma conexão CAN integrada, o módulo oferece entradas dedicadas para sinal de fase e rotação, utilizando um conector de 26 vias. A configuração e programação podem ser realizadas de duas formas: através da tela de toque sensível do módulo ou por meio do software FTManager, fornecido gratuitamente pela empresa, permitindo a programação via computador.

Figura 14 - Módulo ECU FT450.



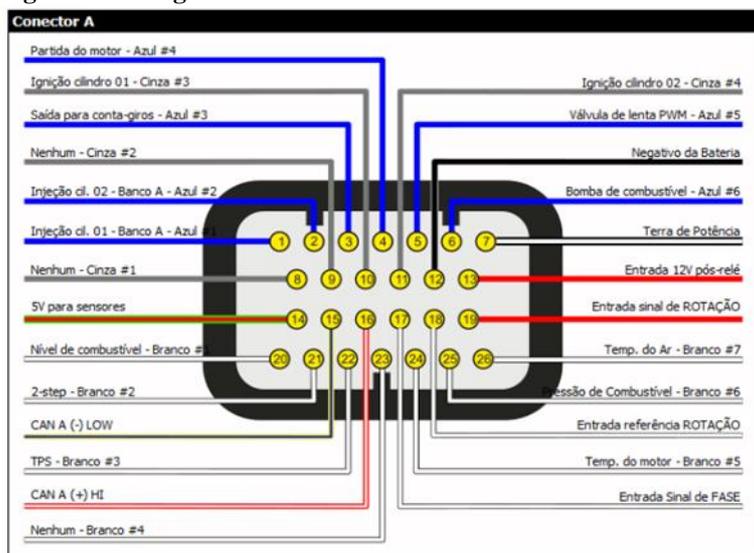
Fonte: Autor (2023)

Utilizando o software FTManager, foram fornecidas informações ao sistema afim de criar o diagrama elétrico e os mapas principais de injeção e ignição como:

Tipo de motor: Motor a pistão. Número de cilindros: 4 cilindros. Ordem de ignição: 1-4-3-2 (VW a ar). Pressão máxima: 0,1 bar. Rotação máxima: 6000rpm. Rotação do motor de partida: 400rpm. Mapa principal: Através do MAP. Mapa de marcha lenta por TPS. Injeção rápida de combustível por TPS. Tipo de combustível: Gasolina de posto.

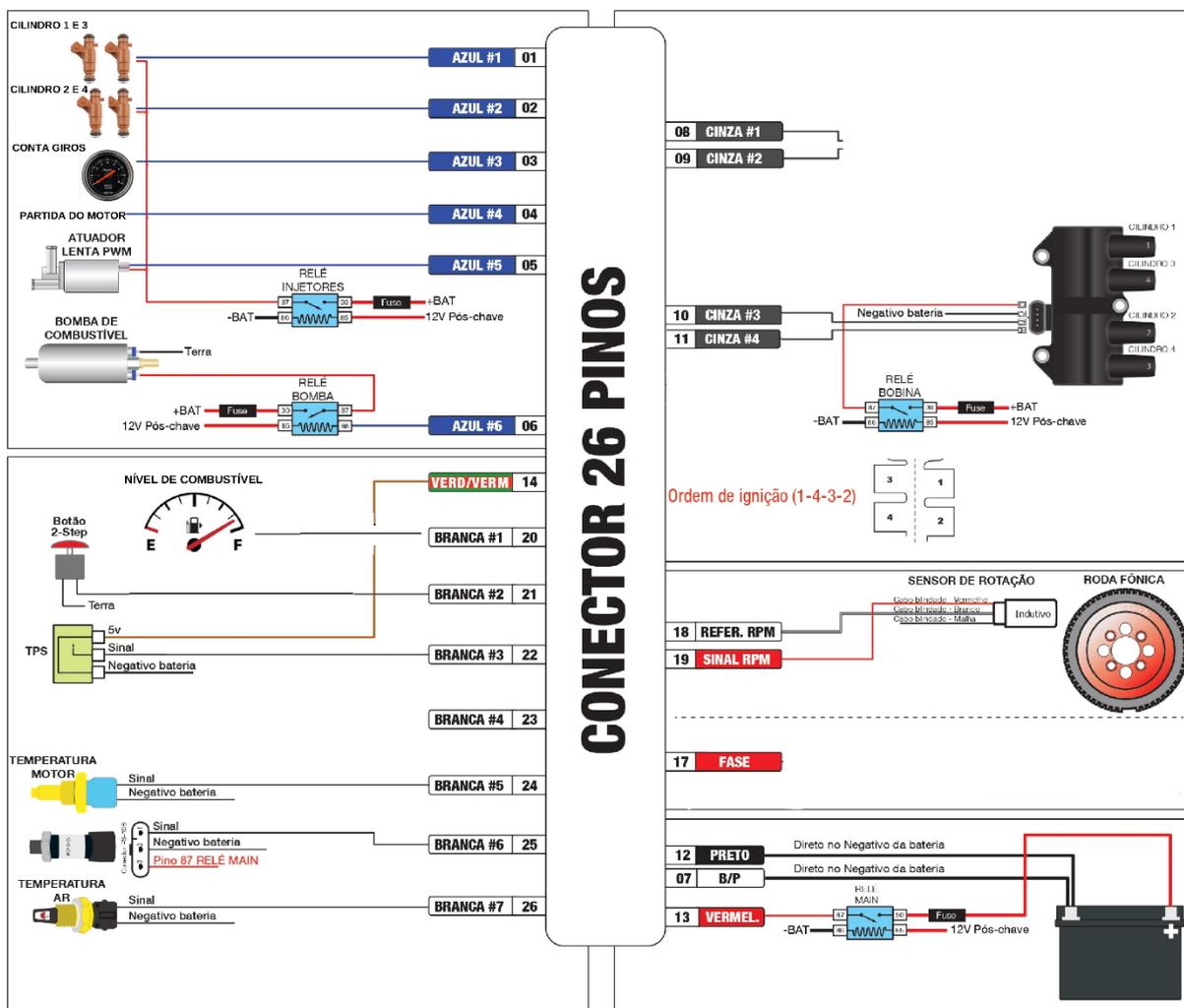
Com as informações enviadas ao software o mesmo forneceu o diagrama de saídas e entradas do conector de 26 pinos, detalhado na Figura 14. Através deste diagrama foi possível realizar o projeto elétrico descrito na Figura 15. Utilizando um chicote de 6 metros fornecido pela empresa Fueltech foram separados os cabos que ficariam na parte da frente do veículo como saída para conta giros, partida do motor e 2step. Já o restante do cabeamento foi transferido pela parte inferior do veículo para parte traseira onde está alocado o motor. Seguindo o diagrama de instalação foram feitas o restante das ligações dos sensores e atuadores, sendo necessários fazer diferentes ligações para conectores que utilizam 2, 3 ou 4 vias.

Figura 15 - Diagrama de entradas e saídas do conector FT450.



Fonte: Autor (2023).

Figura 16 - Diagrama de instalação elétrica.



Fonte: Autor (2023).

Foi executada a montagem do painel de proteção e distribuição de cargas elétricas (Figura 17). Esse painel foi construído sobre uma placa de acrílico e incluiu a utilização de quatro relés com fusíveis integrados. Cada relé opera com uma carga de 12V e 40A, com capacidade máxima de pico de 50A. Os fusíveis possuem um limite de corrente de 40A.

Os relés e fusíveis foram empregados para controlar os seguintes componentes: bicos injetores, atuador de marcha lenta, bomba de combustível, bobinas de ignição, ECU e módulo de leitura da sonda Lambda.

Figura 17 - Painel de proteção e distribuição de cargas elétricas.



Fonte: Autor (2023)

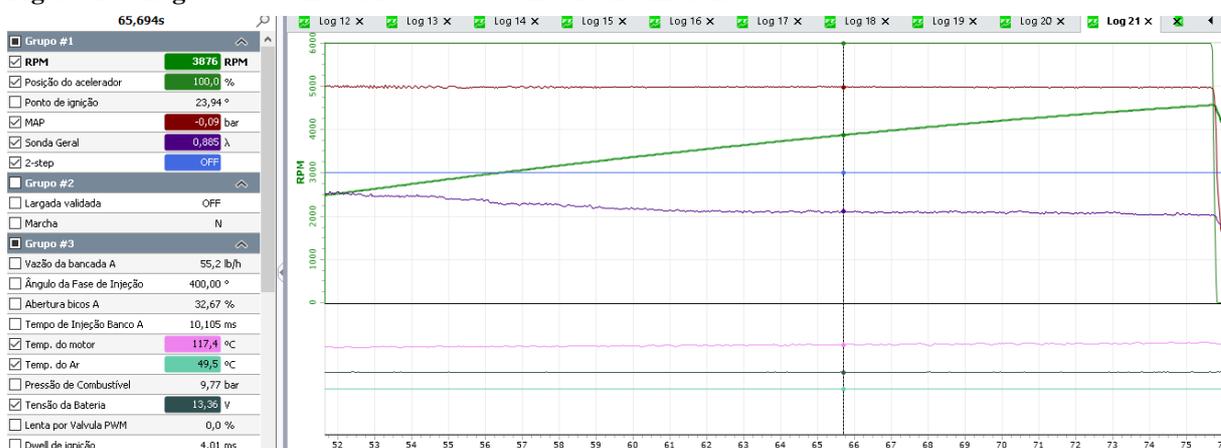
3.6 CALIBRAÇÃO DA ECU

A primeira etapa da calibração foi conduzida com o motor removido do veículo, utilizando um relógio comparador instalado no local da vela de ignição para determinar o ponto exato em que o cilindro 1 alcançava o ponto morto superior. Após identificar essa condição, as informações foram comunicadas à unidade de controle eletrônico (ECU), informando que o ponto morto superior estava localizado no 38º dente da roda fônica. Após dar partida no motor, uma pistola estroboscópica foi utilizada para verificar a posição real, revelando a necessidade de uma correção de 6 graus. Dessa forma, estabeleceu-se a posição correta para o sistema de ignição.

Utilizando o software FTManager, iniciou-se o processo de calibração e operação do motor. Após inserir as informações básicas do motor, o software gerou um mapa principal de injeção de combustível e um mapa de ignição. Com esses mapas, foi possível dar a primeira partida no motor. Após o funcionamento do motor, foi necessário ajustar a marcha lenta, visando atingir uma meta de sonda lambda de 0,90 e uma faixa de rotação entre 1000/1050 rpm para a marcha lenta. Para isso, foram realizadas medições por meio do Datalogger e, após análise, foram efetuadas correções no mapa de injeção de combustível da marcha lenta com base nos dados da posição do acelerador (TPS).

Com o ajuste de marcha lenta realizado o veículo foi direcionado ao dinamômetro de rolo Dynotech 720i para realização dos ajustes de injeção e ignição. Foram realizados 8 testes no dinamômetro visando os ajustes de injeção de combustível, onde o veículo foi acelerado em determinadas condições, extraído o Log como na Figura 18 com todas as informações e efetuada correções. Desta forma foram estabelecidos os seguintes mapas e correções: mapa principal de injeção de combustível (Figura 19), injeção rápida e de decaimento, compensação de injeção por rotação, temperatura do motor, temperatura do ar, TPS. Para realização do acerto de ignição do veículo foram realizados 2 testes no dinamômetro onde se obteve o mapa principal de ignição detalhado na Figura 20 assim como suas devidas correções.

Figura 18 - Log de dados motor 1600cc VW em terceira marcha.

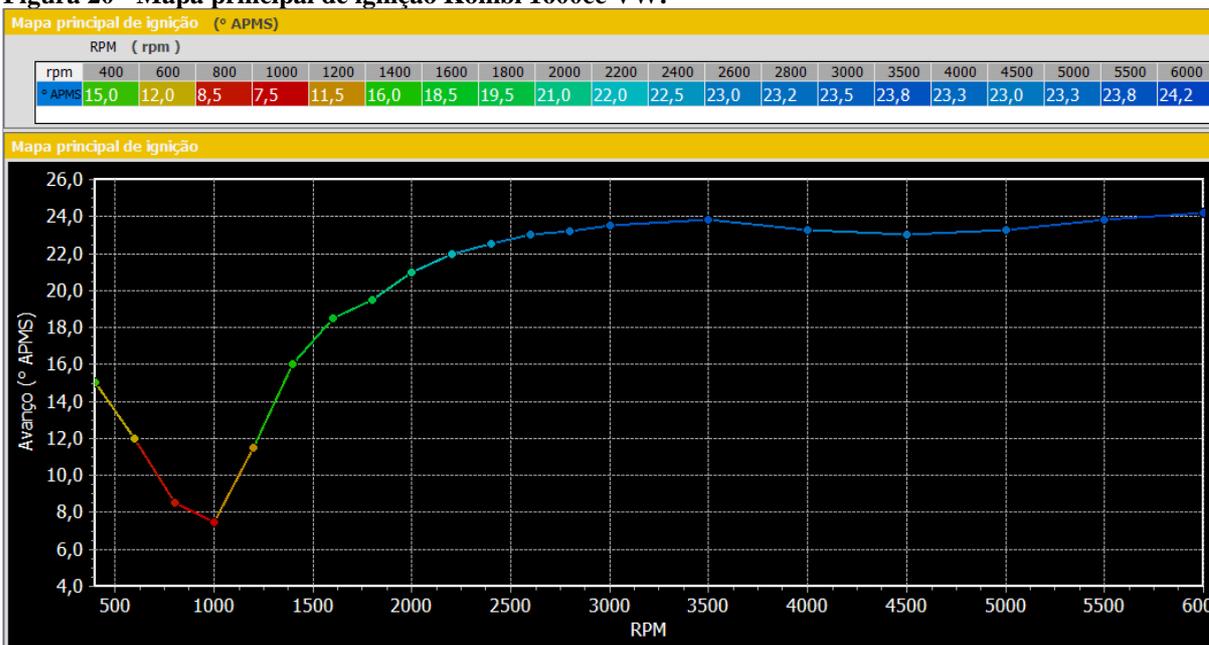


Fonte: Autor (2023).

Figura 19 - Mapa principal de injeção motor 1600cc VW.



Fonte: Autor (2023).

Figura 20 - Mapa principal de ignição Kombi 1600cc VW.

Fonte: Autor (2023).

3.7 TESTE DE POTÊNCIA E TORQUE EM DINAMÔMETRO COM INJEÇÃO ELETRÔNICA PROGRAMÁVEL

Em 7 de junho de 2023, o automóvel foi levado à oficina III Milênio em Chapecó como pode ser visto na Figura 21, situada a uma elevação de 674 metros em relação ao nível do mar, a fim de efetuar a avaliação de potência e torque em um dinamômetro de inércia. Na referida data, a temperatura aferida foi de 18 °C, acompanhada de uma umidade relativa do ar de 67%. Foi realizado o teste de potência e torque seguindo os parâmetros do Quadro 4.

Figura 21 - Veículo em teste no dinamômetro.

Fonte: Autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

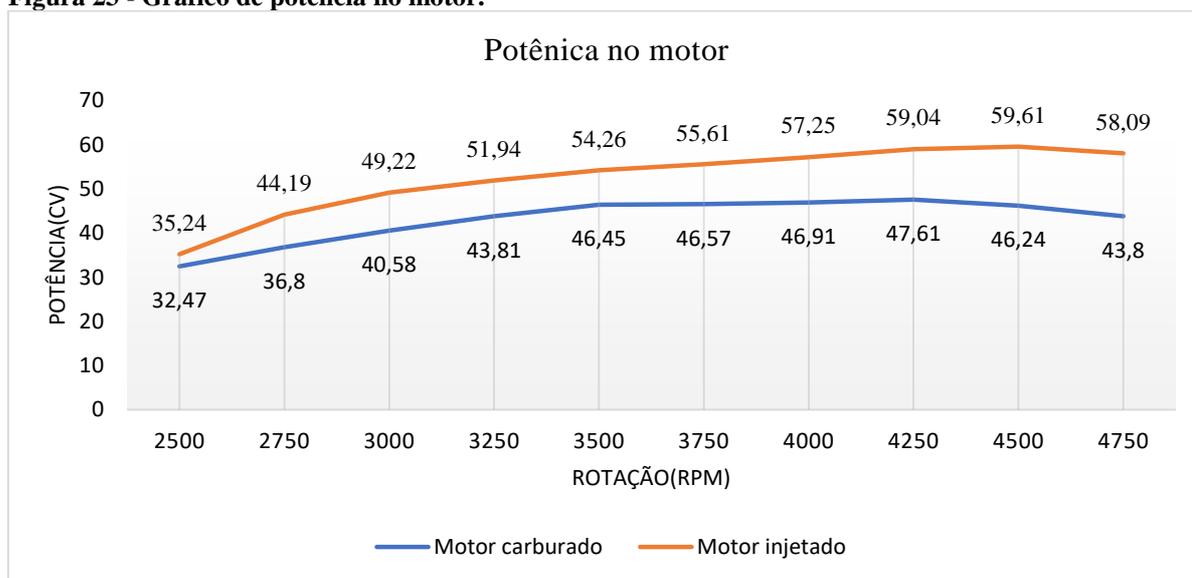
A Figura 22 demonstra a comparação entre os resultados obtidos de potência no motor, potência nas rodas e torque fornecidos pelo software do dinamômetro, na cor preta representa o veículo com sistema de injeção eletrônica de combustível, já na cor azul com sistema de carburadores.

Figura 22 - Resultado teste de potência no motor, potência nas rodas e torque entre sistema carburado e injetado.



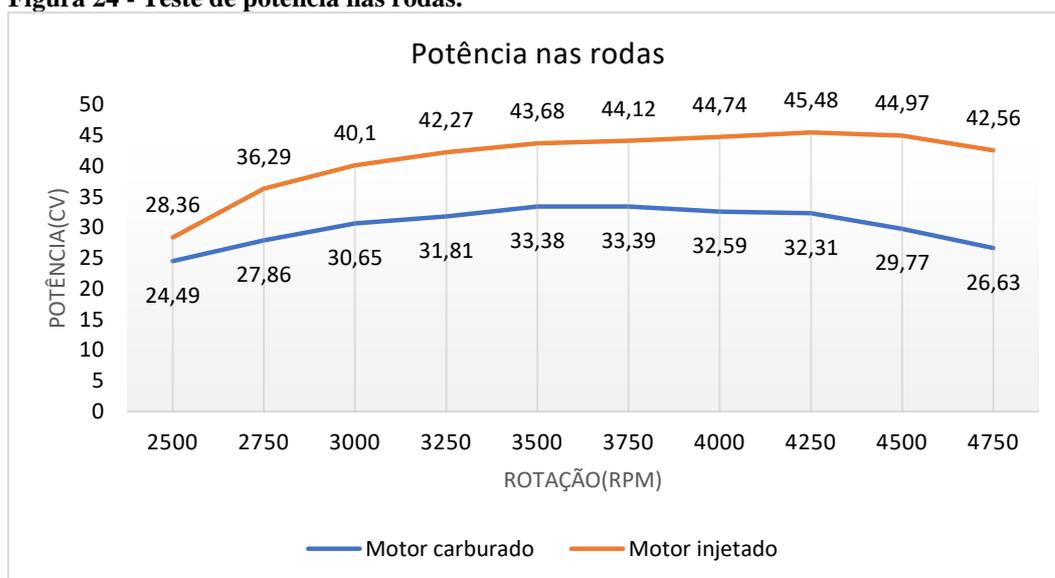
Fonte: Autor (2023).

Ao analisar os dados obtidos através do dinamômetro, é evidente, ao observar a Figura 23, a discrepância entre os gráficos de potência do motor. Na primeira medição, utilizando um sistema de carburadores, o veículo alcançou uma potência máxima de 47,75 cv a 4225 rpm, enquanto que, com o sistema de injeção, atingiu uma potência de 59,84 cv a 4425 rpm, resultando em uma diferença de 12,09 cv.

Figura 23 - Gráfico de potência no motor.

Fonte: Autor (2023).

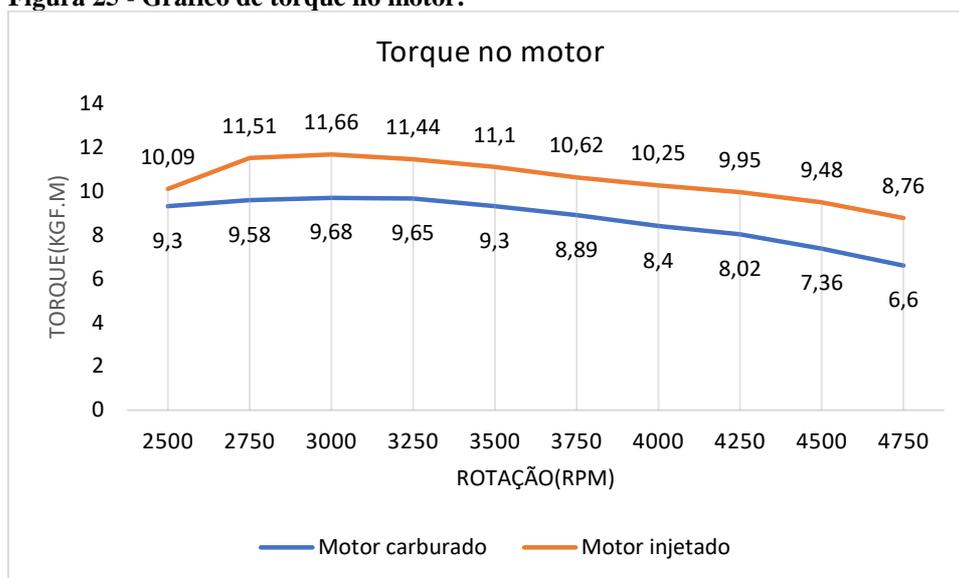
Ao examinar os dados fornecidos pelo dinamômetro em relação à potência nas rodas, conforme representado na Figura 24, foi constatado que o sistema de carburador registrou uma potência máxima de 33,58 cv a 3650 rpm, enquanto o sistema de injeção atingiu 45,61 cv a 4175 rpm. Essa discrepância de 12,08 cv revela também um atraso no pico de potência em 525 rpm.

Figura 24 - Teste de potência nas rodas.

Fonte: Autor (2023).

Com relação a aferição realizada do torque no motor constatou-se uma diferença de 1,93kgf.m entre o sistema de injeção eletrônica e o sistema carburado, sendo com carburadores um torque máximo de 9,74kgf.m a 3075rpm já com o a injeção eletrônica 11,67kgf.m a 2950rpm como pode ser analisado na Figura 25.

Figura 25 - Gráfico de torque no motor.



Fonte: Autor (2023).

Com caráter comparativo a Tabela 1 detalha os ganhos de potência referente a substituição do sistema de alimentação de combustível e ignição do veículo Kombi.

Tabela 1 - Comparação entre resultados obtidos no teste em dinamômetro.

Parâmetros	Carburada	Injetada	Percentuais
Potência no motor (cv)	47,75	59,84	25,31%
Potência nas rodas (cv)	33,58	45,61	35,82%
Torque (kgf.m)	9,74	11,67	19,81%

Fonte: Autor (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o intuito de analisar a substituição do sistema de ignição e alimentação de combustível e comparar os resultados de potência e torque de um veículo Kombi verificou-se ganhos expressivos referente ao desempenho do veículo, assim como tornou o funcionamento do veículo muito mais seguro e confiável devido ao sistema de controle da ECU programável.

Considerando que o veículo possuía componentes antigos, com certos desgastes, folgas nas válvulas de admissão e escape, carburadores sem um ajuste fino e grande quantidade de impurezas isso refletia diretamente em seu desempenho, assim como o grande atrito gerado pela utilização de duas polias acopladas em seu virabrequim.

Em contraponto o novo sistema de admissão de ar e polias tornou o sistema mais leve e funcional, associado ao controle exato do ponto de ignição e um controle preciso da relação ar/combustível foi possível chegar a ganhos expressivos de 35,85% na potência aferida nas rodas do veículo.

Desta forma conclui-se que os objetivos foram atingidos realizando a substituição do sistema de injeção combustível e ignição de um motor VW Boxer 1600. Desta forma é recomendado para quem busca um conjunto mais desempenho e com uma segurança de pilotagem maior.

REFERÊNCIAS

AIRD, Forbes. **Bosch Fuel Injection Systems**. HPBooks, 2001.

BOSCH, **Gerenciamento de motor motronic**. Apostila técnica.1998.

BOSCH, Robert. **Apostila Técnica de Gerenciamento de Motor**. São Paulo. 2005.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna. Volume 1**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2012.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna. Volume 2**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2012b.

DYNOTECH 720i. [S. l.], 2023. Disponível em:
<https://www.dynotechpower.com/produtos/dynotech-720i>. Acesso em: 12 abr. 2023

FUELTECH. **Mapas de exemplo**. [S. l.], 2022. Disponível em:
<https://fueltech.com.br/pages/mapas-de-exemplo>. Acesso em: 12 out. 2022

HEYWOOD, John B. **Internal combustion engines fundamentals**. 1. ed. United States of America: McGraw-Hill Education, 1988.

LIMA, Evandro Nabor de. **Injeção eletrônica programável**. 2 ed. Cascavel: Autotech, 2018.

LIMA, Evandro Nabor de. **Técnicas profissionais para a preparação e desenvolvimento do motor VW refrigerado a ar**. 1 ed. Cascavel: Autotech, 2017.

MARTINS, Jorge. **Motores de combustão interna**. Quarta Edição. Porto, Portugal: Publindústria, 2013.

PANDOO PERFORMANCE PARTS. **Manual de instalação e operação: Pandoo Pulser Plus.** [S. l.], 2013. Disponível em: https://update.pandoo.com.br/Manual_Pandoo_Pulser_Plus_v0.08.pdf. Acesso em: 13 fev. 2023.

PASSARINI, Luis Carlos. **Projeto e análise de válvulas eletromagnéticas injetoras de combustível: uma nova proposta.** 1993. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

PENIDO FILHO, Paulo. **Os motores a combustão interna.** Primeira Edição. Belo Horizonte, MG: Lemi S.A, 1983.

RIBBENS, William B. **Understanding Automotive Electronics.** Butterworth-Heinemann, 1998.