



**Jean Cláudio Radünz**

**BANCADA DIDÁTICA COM MOTOR VIVO**

**Horizontina**

**2015**

**Jean Cláudio Radünz**

**BANCADA DIDÁTICA COM MOTOR VIVO**

Trabalho Final de Curso apresentado  
como requisito parcial para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de  
Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Anderson Dal Molin, MsC.

**Horizontina**

**2015**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Bancada Didática com Motor Vivo”**

**Elaborada por:**

**Jean Cláudio Radünz**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 09/12/2015  
Pela Comissão Examinadora**

---

**MsC. Anderson Dal Molin  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Dr. Adriano Roberto da Silva Carotenuto  
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

---

**Esp. Fabrício Desbessel  
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Horizontalina  
2015**

## **DEDICATÓRIA**

A Birgid Radünz, minha esposa, com amor, admiração e gratidão por sua compreensão, carinho, presença e incansável apoio ao longo de toda a jornada acadêmica, principalmente no período de desenvolvimento do TFC.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores da FAHOR, que contribuíram para a minha formação, em especial ao meu orientador Anderson Dal Molin, que esteve sempre presente durante o desenvolvimento de todo o trabalho.

Aos amigos e familiares, que em diversas ocasiões entenderam minha ausência e incentivaram a desenvolver meus estudos.

## RESUMO

Existem vários modelos de bancadas didáticas com motores vivos, embora todas utilizem o mesmo conceito para sua utilização, neste trabalho optou-se por desenvolver uma bancada específica e customizada. O trabalho tem por objetivo a construção de uma bancada didática, sendo a mesma equipada com um motor de motocicleta tipo quatro tempos com injeção eletrônica, módulo de injeção de combustível especial e computador, sendo possível a partir desta construção, a realização de análise e modificações no funcionamento do motor. A partir da construção da bancada didática com motor vivo foi possível a realização de medições e visualização de funcionamento do motor a partir do computador. No motor modificaram-se parâmetros de mistura ar e combustível, ponto de ignição, e demais possível parâmetros; com essas modificações no módulo de injeção eletrônica, visualizam-se diferentes funcionamentos do motor. Para o desenvolvimento da bancada didática com motor vivo foram projetadas as estruturas necessárias para a fixação dos componentes. Pode-se concluir que a bancada didática com motor vivo alcançaram-se os objetivos esperados, pois as visualizações dos componentes externos de funcionamento de um motor são identificadas, são modificados parâmetros do funcionamento do motor, possibilitando visualizar os resultados no computador, equipando o laboratório de Máquinas Térmicas da FAHOR com um equipamento didático.

**Palavras-chaves:** Bancada Didática. Motor. Injeção Eletrônica.

## **ABSTRACT**

There are several models of didactic stands with live motors, although all use the same concept of its use in this task, it was decided to design a specific and customized didactic stand. The study aims to build a didactic stand, it is equipped with the motorcycle engine type four stroke with special electronic fuel injection module and computer, being possible from this computer, analyzing and change some adjustment to the engine. Based on the construction of the didactic stand with live engine, it was possible to perform engine operating measurements and viewing modifying from the computer. On the computer was changed air and fuel mixture adjustments, ignition timing, and other possible adjustments; with these changes in electronic fuel injection module, viewed up different engine runs. To the development of didactic stand with live engine were designed structures necessary for fixing components. It can be concluded that the didactic stand with live engine reached the expected goals because the views of the external components of an engine operating are identified, they are modified parameters of the engine operation, allowing view the results on the computer, by equipping the Thermal Machines laboratory of FAHOR with a didactic equipment.

**Keywords:** Didactic stand. Engine. Electronic Fuel Injection

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bancada didática da Dolang.....	13
Figura 2 - Diagrama p-V e T-S do ciclo Otto.....	15
Figura 3 - Motor utilizado na bancada.....	16
Figura 4 - Desenho esquemático Injeção Indireta Monoponto.....	19
Figura 5 - Coletor de admissão Yamaha YS250 Fazer.....	19
Figura 6 - Injeção Eletrônica FuelTech FT500.....	21
Figura 7 - Software FT Manager da FuelTech FT500.....	23
Figura 8 - Chassi parcial de Yamaha YS250 Fazer.....	27
Figura 9 - Suportes de fixação do chassi na bancada.....	28
Figura 10 - Escapamento da motocicleta preso por suportes.....	29
Figura 11 - Mesa de controle e ventilador.....	29
Figura 12 - Serviço de limpeza e pintura concluído.....	31
Figura 13 - Mesa de comando completa.....	32
Figura 14 - Bancada didática com motor vivo (vista lateral).....	36
Figura 15 - Principais componentes da bancada.....	38
Figura 19 - Dinamômetro magnético da DTec.....	42

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações do motor Yamaha.....	16
Quadro 2 - Características da Injeção Eletrônica FuelTech FT500.....	21
Quadro 3 - Principais componentes da bancada.....	37
Quadro 4 - Parâmetros de ajustes do motor. ....	40
Quadro 5 - Resultados em ajuste recomendado.....	40
Quadro 6 - Resultados em ajuste do experimento.....	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	10
1.2	OBJETIVOS .....	10
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
2.1	BANCADAS DIDÁTICAS .....	12
2.2	MÁQUINAS TÉRMICAS.....	13
2.2.1	MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA.....	14
2.2.2	CICLO OTTO.....	14
2.2.3	MOTOR YAMAHA MODELO YS250 FAZER.....	15
2.3	INJEÇÃO ELETRÔNICA.....	17
2.3.1	SISTEMAS DE INJEÇÃO ELETRÔNICA.....	18
2.3.2	INJEÇÃO ELETRÔNICA FUELTECH FT500 .....	20
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	24
3.2	ESCOLHA DO MOTOR.....	25
3.3	ESCOLHA DA INJEÇÃO ELETRÔNICA.....	26
3.4	DESENVOLVIMENTO DA BANCADA.....	26
3.4.1	FABRICAÇÃO DA BANCADA DIDÁTICA.....	26
3.4.2	LIMPEZA E PINTURA .....	30
3.4.3	MONTAGEM DA BANCADA COM LIGAÇÃO ELÉTRICA DOS COMPONENTES .	31
3.4.4	AJUSTES DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR.....	32
3.5	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	34
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
4.1	BANCADA DIDÁTICA COM MOTOR VIVO .....	36
4.1.1	COMPONENTES DA BANCADA DIDÁTICA COM MOTOR VIVO .....	37
4.2	FUNCIONAMENTO DA BANCADA DIDÁTICA.....	38
4.3	EXPERIMENTOS E CÁLCULOS .....	39
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO A - DIAGRAMA ELÉTRICO YAMAHA YS250 FAZER ANO 2010 .....</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>ANEXO B - DIAGRAMA ELÉTRICO FUELTECH FT500 .....</b>	<b>46</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento em motores de combustão interna é fundamental para qualquer estudante de Engenharia Mecânica. Possibilitar o estudo aprofundado em motores à Gasolina, Etanol e Diesel torna-se fundamental. Com o avanço tecnológico da categoria, a necessidade de estudo dos componentes de alimentação de combustível controlados eletronicamente é o desafio da atualidade.

Esse passo é importante e contribui para uma melhor qualificação dos profissionais envolvidos e dos estudantes, porém, é preciso continuar evoluindo para ser possível atender as demandas que a sociedade nos impõe.

Por estes fatores, levando-se em consideração os processos fabris, tecnologia empregada, interligação entre mecânica, eletricidade, eletrônica e computação, tornando-se uma obra de Automação e Controle, decidiu-se, a partir de produtos e equipamentos já existentes no mercado, promover um estudo e desenvolvimento de uma Bancada Didática, auxiliando o estudo e entendimento sobre o funcionamento de um sistema de injeção eletrônica de combustível.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Considerando o aumento significativo na quantidade de veículos existentes, e a preocupação com a emissão dos gases prejudiciais ao meio ambiente provenientes da queima de combustível fóssil por motores de combustão interna, impulsionou a indústria automobilística em duas direções: na busca por combustíveis alternativos, e na melhoria do controle do funcionamento do motor como, por exemplo, a injeção eletrônica de combustível.

Pode-se destacar que a demanda por conhecimentos na área de injeção eletrônica de combustível se faz necessária, pois possui grande limitação na área devido à falta de equipamentos específicos para o estudo prático do funcionamento do sistema de injeção eletrônica de combustível que equipa os principais veículos automotores.

Justifica-se o desenvolvimento da bancada didática com motor vivo em expandir os recursos de experimentos práticos nos laboratórios da FAHOR. A adição de novas ferramentas para aprendizagem gera para os acadêmicos um ambiente que contribui para uma maior interação com a prática, e como resultado, um ensino de maior qualidade por parte da FAHOR.

Esta situação torna-se mais adversa se focarmos a análise na área de eletrônica embarcada e automotiva, portanto este estudo visou o desenvolvimento de uma bancada capaz de suprir parte da demanda por conhecimentos na área de injeção eletrônica de combustível que operam segundo o ciclo Otto de operação.

## 1.2 OBJETIVOS

Desenvolver uma bancada didática capaz de simular o funcionamento de um motor de combustão interna, possibilitando a variação dos parâmetros de injeção de combustível bem como sua medição.

### 1.2.1 Objetivos específicos

Pode-se destacar como objetivos específicos desta pesquisa:

- Os componentes necessários para construção do projeto;
- Adaptar um chassi parcial de motocicleta para fixação em bancada;
- Adaptar um ventilador para arrefecimento do motor;
- Fazer a construção da bancada e montagem dos componentes;
- Fazer a ligação elétrica dos componentes;
- Montar o motor no chassi parcial e ligar seus componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos;
- Modificar, adaptar e interligar o chicote elétrico da motocicleta para a novo módulo de injeção;
- Os sensores e atuadores do motor para parametrização do novo módulo de injeção;
- Apresentar os resultados obtidos juntamente com um programa básico de funcionamento para o respectivo motor e injeção eletrônica;
- Apresentar um experimento de teste na nova injeção eletrônica;

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura consiste em um breve embasamento teórico sobre bancadas didáticas e máquinas térmicas, direcionando para uma descrição conceitual para o modelo de motor utilizado para este projeto, e descrevendo alguns de seus componentes.

### 2.1 BANCADAS DIDÁTICAS

Bancada Didática conforme Giordani, Jurach e Rodrigues (2003), é definida como uma ferramenta de auxílio para a realização de experimentos que possibilita ao operador montar diversos sistemas variando seus parâmetros, se familiarizar com os componentes e ao mesmo tempo verificar na prática a teoria vista em aula.

As aulas práticas podem ajudar no desenvolvimento de conceitos científicos, além de permitir que os estudantes aprendam como abordar objetivamente o seu mundo e como desenvolver soluções para problemas complexos (LUNETTA, 1991). Já HODSON (1998) afirma que as atividades práticas também podem ser feitas através de trabalhos de campo, computadores e estudos em museus.

Pekelman e Mello (2004) defendem a ideia que engenheiros devem ser capazes de aplicar a ciência e a tecnologia que aprendem nas faculdades à prática, uma vez que saiam da faculdade. Na visão dos autores, para que isso seja possível, as instituições de ensino devem proporcionar aos acadêmicos a oportunidade de interagir, na prática, com os temas que estão sendo estudados em sala de aula.

Os laboratórios das faculdades aproximam o aluno da ciência e tecnologia às ferramentas do engenheiro para que ele possa desenvolver suas habilidades para o atendimento das necessidades humanas. Além disso, esses laboratórios também podem servir como ferramenta para o treinamento da criatividade dos estudantes, permitindo a eles desenvolver inúmeras aplicações com as mesmas ferramentas e refletir este aprendizado ao mundo real. (PEKELMAN; MELLO, 2004).

Ao descrever um de seus produtos, uma bancada de treinamento didático para motores de automóveis controladas eletronicamente, a empresa Dolang (2015) afirma que vários testes podem ser estudados e simulados em uma bancada didática para motores, aplicando cargas de trabalho como partida, aceleração, desaceleração, marcha lenta, etc. Enriquece a formação dos estudantes com aplicação prática em

manutenção, de nível iniciante a sênior, e satisfazem as exigências dos professores. A figura 1 apresenta um exemplo de bancada didática da Dolang.

Figura 1 - Bancada didática da Dolang.



Fonte: DOLANG (2015).

## 2.2 MÁQUINAS TÉRMICAS

Segundo Stone (1992), em termodinâmica, máquinas térmicas são sistemas que realizam a conversão de calor ou energia térmica em trabalho mecânico. Isto se dá quando uma fonte de calor leva uma substância de trabalho de um estado de baixa temperatura para um estado de temperatura mais alta. A substância de trabalho (normalmente gás ou vapor em expansão térmica) transfere essa energia através de sua expansão no interior da máquina térmica acionando o sistema mecânico (pistão, rotor ou outro) e realizando trabalho. Durante essa expansão, a substância de trabalho perde calor para o meio.

A obtenção de trabalho é ocasionada por uma sequência de processos realizados numa substância que é denominada “fluido ativo”. As máquinas térmicas

são classificadas em Motores de Combustão Externa e Motores de Combustão Interna (BRUNETTI, 2012). Quanto à forma de se obter trabalho mecânico em Motores de Combustão Interna são classificados em Motores Alternativos, Motores Rotativos e Motores de Impulso (BRUNETTI, 2012).

### 2.2.1 Motor a Combustão Interna

Motores de combustão interna datam-se anterior a 1876 quando Nikolaus Otto desenvolveu a primeira vela de ignição (HEYWOOD, 1988). O motor de combustão interna a pistão deve ser, de longe, a forma mais comum de motor ou força motriz. (STONE, 1992). Os dois principais tipos de motores de combustão interna são: motores de ignição por centelha, onde o combustível é inflamado por uma faísca; e motores de ignição por compressão, em que o aumento da temperatura e pressão durante a compressão é suficiente para causar a ignição espontânea do combustível. (STONE, 1992).

Em motores de ignição por centelha, o combustível e o ar são geralmente misturados em conjunto no sistema de admissão, antes da entrada no cilindro do motor, utilizando um carburador ou o sistema de injeção de combustível (HEYWOOD, 1988).

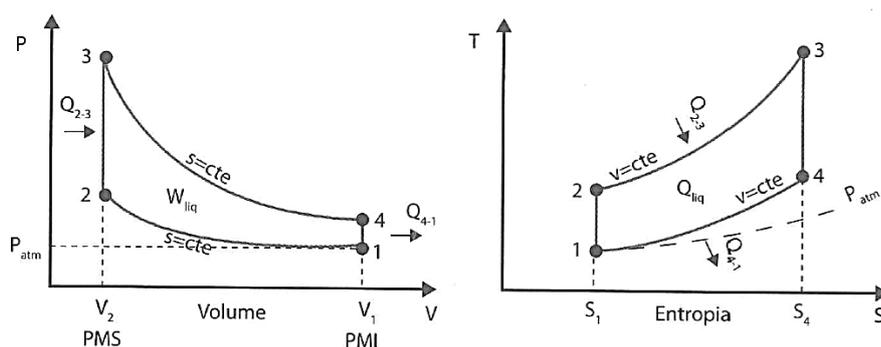
### 2.2.2 Ciclo Otto

O Ciclo Otto, assim denominado, é um ciclo termodinâmico onde um determinado gás executa transformações termodinâmicas, resultando em trabalho. No caso dos motores veiculares de “Ciclo Otto” o gás ou fluido ativo é a mistura de ar e combustível, existindo 4 estágios termodinâmicos: Admissão, Compressão, Combustão e Escape. (BRUNETTI, 2012).

Nos motores alternativos de combustão interna o pistão se move para cima e para baixo dentro de um cilindro, e transmite energia através de uma biela e uma manivela, e esta por sua vez, transmite a energia recebida para o eixo da manivela (HEYWOOD, 1988).

Segundo Borgnakke (2013), o ciclo padrão a ar, Otto, é um ciclo ideal que se aproxima do motor de combustão interna de ignição por centelha. Os diagramas p-V e T-S desse ciclo estão mostrados na figura 2.

Figura 2 - Diagrama p-V e T-S do ciclo Otto.



Fonte: BRUNETTI, 2012, p. 97.

O processo 1-2 é uma compressão isoentrópico do ar quando o pistão se move do ponto morto inferior (PMI) para o ponto morto superior. O calor é, então, transferido para o ar, a volume constante, enquanto o pistão está momentaneamente em repouso no ponto morto superior (PMS). Esse processo corresponde à ignição da mistura combustível-ar pela centelha e à queima subsequente. O processo 3-4 é uma expansão isoentrópica e o processo 4-1 é o de rejeição de calor do ar a volume constante, enquanto o pistão está no ponto morto inferior (BORGNAKKE, 2013).

### 2.2.3 Motor Yamaha modelo YS250 FAZER

O motor de motocicleta Yamaha modelo YS250 FAZER de quatro tempos, possui comando de válvulas simples (em língua inglesa Single Overhead Camshaft - SOHC), refrigerado a ar, duas válvulas, um cilindro, 249,45cc, combustível gasolina, pistão diâmetro 74mm, curso do virabrequim de 58mm, taxa de compressão 9,8:1, potência máxima de 20,7cv a 8.000rpm, torque máximo de 2,09 kgf.m a 6.500rpm, sistema de alimentação por injeção eletrônica indireta, embreagem multi-discos úmidos em cárter do motor, partida elétrica, sistema elétrico 12V, e bateria 12V 6Ah (YAMAHA, 2015).

O motor utilizado na bancada didática pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 - Motor utilizado na bancada.



**Fonte:** Adaptado de YAMAHA, 2015.

No Quadro 1 podemos visualizar as especificações técnicas do motor da motocicleta Yamaha YS250 Fazer utilizado na bancada didática.

Quadro 1 - Especificações do motor Yamaha.

Óleo do motor		
	Sistema de Lubrificação	Cárter Úmido
	Óleo recomendado	YAMALUBE 4 tempos 20W50
	Quantidade de óleo total	1,55 L
	Quantidade de óleo troca periódica	1,35 L
	Quantidade de óleo troca com filtro	1,45 L
Injetor de Combustível		
	Modelo/Fabricante	1100-87K30-A/1
	Quantidade	1
Transmissão		
	Tipo	Engrenagem constante
	Velocidades	5 velocidades
	Proporção de redução primária	74/24 (3,083)
	Proporção de redução secundária	40/13 (3,077)
Corpo de Aceleração		
	Fabricante / Modelo / Quantidade	MIKUNI / 33EHS-2 / 1
Sistema de Ignição		
	Sistema de sistema de ignição	Bobina transistorizada (digital)
	Ponto de Ignição	10° APMS a 1.400rpm
	Modelo/Fabricante da ECU	TBDF89 / DENSO
Bobina de Ignição		
	Modelo / Fabricante	2JN / YAMAHA
	Faísca mínima da vela de ignição	6,0 mm
Cachimbo de vela		
	Material	Resina
	Cachimbo de vela Resistência	5,0 KOhms à 20° C
Sistema de Alimentação		
	Tipo de Sistema	Magneto de Corrente Alternada
	Modelo / Fabricante	LLZ79 / DENSO
	Saída nominal	14,0V 153W à 5.000rpm

Retificador / Regulador		
	Tipo de regulador	Semicondutor, circuito aberto
	Tensão regulada sem carga	13,7V – 14,7V
	Capacidade máxima admitida	20,0 A
	Tensão	200,0 V
Sistema de partida elétrica		
	Tipo de sistema	Engrenamento constante
	Motor de partida – Modelo / Fabricante	SM13 / MITSUBA
	Potência de Saída	0,65 kW
Relé do motor de partida		
	Modelo / Fabricante	MS5F-721 / JIDECO
	Corrente máxima	20,0 A
Sensor de Temperatura		
	Modelo / Fabricante	1S4 / MIKUNI
	Resistência à 80°C	1.569,0 ~1.945,0 Ohms
	Resistência à 100°C	902,0 ~1.142,0 Ohms
Sensor de O <sub>2</sub>		
	Modelo / Fabricante	1B91 / DENSO
	Resistencia do aquecedor	11,7 ~ 15,5 Ohms à 20°C
	Tensão de saída	0,01 ~ 1,00 V

**Fonte:** YAMAHA, 2010.

## 2.3 INJEÇÃO ELETRÔNICA

De acordo com (BRUNETTI, 2012) o carburador já foi o principal componente do sistema de alimentação, na qual era responsável por administrar a mistura ar-combustível nas proporções necessárias para o funcionamento do motor e, embora tenha sofrido muitas modernizações, não conseguiu reduzir a níveis toleráveis a emissão de poluentes de acordo com as exigências que surgiam, portanto, acabou substituído pela injeção de combustível.

O sistema de injeção mecânica de combustível é utilizado desde 1925 em motores de avião, pois independe dos efeitos da gravitação permitindo trabalhar em qualquer posição e apresentar menor sensibilidade ao congelamento (BRUNETTI, 2012).

Dois grandes eventos ocorreram durante a década de 1970 nos EUA e Europa que começaram a tendência para o uso de aparelhos eletrônicos modernos no automóvel: (1º) a introdução de regulamentações governamentais para as emissões de gases de escapamento e economia de combustível, o que exigiu um melhor controle do motor que não era possível com os métodos utilizados na época; e (2º) o desenvolvimento de um módulo sólido de eletrônica digital com custo relativamente baixo para substituir a função do carburador para o controle do motor (RIBBENS, 1998).

Lançado no Brasil em 1988, o sistema de injeção eletrônica analógica, que surgiu com o objetivo de substituir o carburador, dominou o mercado automotivo a partir de 1991. Seu funcionamento caracterizou-se pelo aumento da eficiência do motor, pois seu sistema eletrônico controla a dosagem certa da mistura (ar-combustível). Por não possuir sensor de oxigênio, necessário à correção da mistura, nem memória e diagnóstico de defeitos, acabou perdendo seu espaço para sistemas mais modernos, como a injeção eletrônica digital (OVERCAR, 2015).

Atualmente a injeção eletrônica vem ganhando terreno, levada por um fator predominante; a redução no desperdício de combustível, e a redução de gases poluentes (ZANLORENZI, 2007).

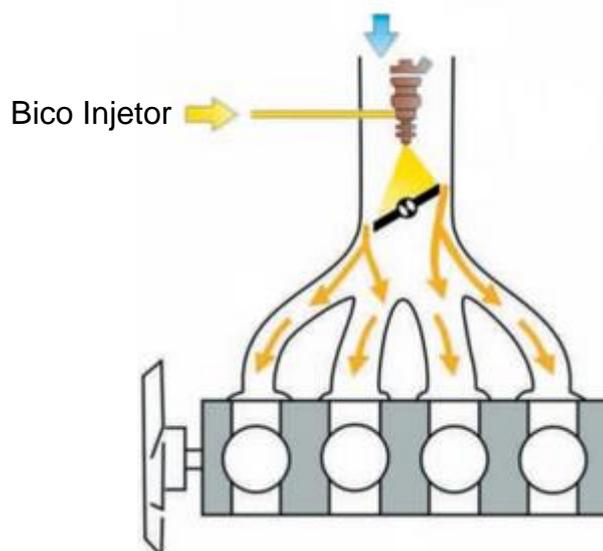
Segundo (ZANLORENZI, 2007) os combustíveis fósseis provenientes do petróleo estão se esgotando. Estes fatores fazem com que o preço do combustível aumente cada vez mais, e este é o motivo preponderante para a necessidade de sistemas que economizem combustível tais como as injeções eletrônicas.

### 2.3.1 Sistemas de Injeção Eletrônica

Sistemas de injeção eletrônica de combustível têm a função de dosar corretamente a massa de combustível em função das condições de operação do motor e são classificados em função da estratégia de controle, do número de válvulas injetoras e da posição das válvulas injetoras no sistema de admissão do veículo, sendo dividido em três grupos, injeção indireta monoponto, injeção indireta multiponto, injeção direta multiponto (PUJATTI, 2007).

Na bancada o motor utilizado é de injeção indireta monoponto. Segundo (PUJATTI, 2007) este sistema é composto por apenas uma válvula injetora posicionada próximo à válvula controladora de fluxo de ar para admissão, independentemente do número de cilindros no motor. Esta única válvula é responsável por fornecer todo combustível consumido pelo motor. Considerando um motor ciclo Otto com quatro cilindros, o sistema monoponto realiza duas injeções de combustível por volta completa do eixo da árvore de manivelas. Por estar posicionada no coletor de admissão esta injeção de combustível é denominada indireta, como ilustra a Figura 4.

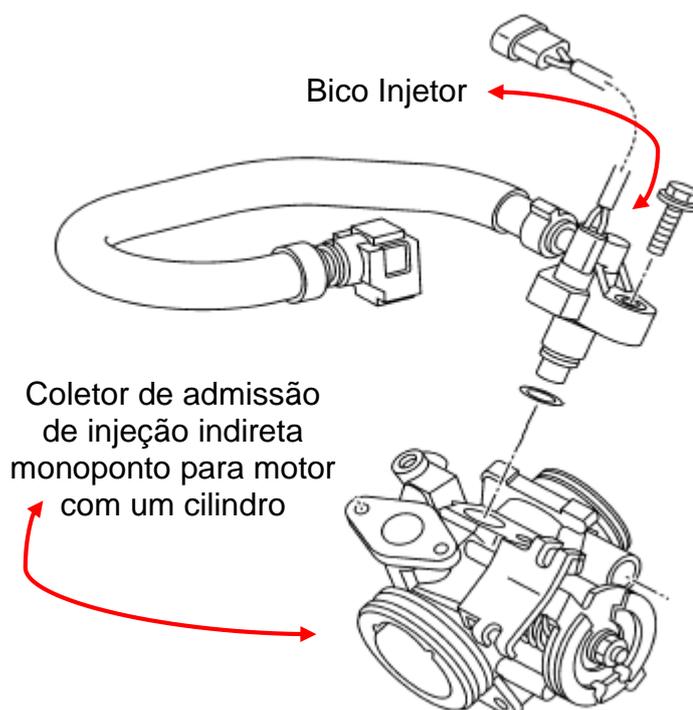
Figura 4 - Desenho esquemático Injeção Indireta Monoponto.



**Fonte:** Adaptado de ALBALADEJO, 2011.

O motor Yamaha utilizado no projeto, possui um coletor de admissão com somente um bico injetor, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Coletor de admissão Yamaha YS250 Fazer



**Fonte:** Adaptado de YAMAHA, 2010.

O coletor de admissão de injeção indireta monoponto da motocicleta Yamaha YS250 Fazer foi projetado para alimentar um motor de somente um cilindro, com possibilidade de utilização de somente um bico injetor.

### 2.3.2 Injeção Eletrônica FuelTech FT500

A FuelTech FT500 é uma injeção eletrônica totalmente programável, em tempo real, que permite a alteração de todos os mapas de injeção e ignição conforme as condições do motor. A programação pode ser feita diretamente no módulo, através de sua tela de toque de 4,3 polegadas ou via software *FT Manager* com comunicação USB de alta velocidade. A configuração dos mapas e compensações podem ser realizada na forma simples (2D) ou avançada (3D) no formato de tabela e a resolução dos mapas podem ser alterados via software *FT Manager*. Pode ser aplicada em qualquer tipo de motor de ciclo Otto, que utiliza injeção indireta, dois ou quatro tempos, com até doze cilindros ou até quatro rotores, gasolina, álcool, metanol, GNV, nitrometano e outros combustíveis compatíveis (FUELTECH, 2014).

O controle eletrônico da válvula de fluxo de ar de admissão é totalmente integrado ao módulo, configurando diretamente em seu visor sem necessidade de computadores ou módulos adicionais. É possível programar alertas para situações perigosas para o motor em situações como: excesso de rotação, pressão de óleo baixa, excesso de temperatura do motor, entre outros. Estes alertas também podem ser programados para limitar a rotação ou desligar o motor trazendo mais segurança ao usuário. A injeção conta também com cinco mapas totalmente independentes, permitindo configurações diferentes de motores e/ou carros (FUELTECH, 2014).

O controle da ignição pode ser realizado através do distribuidor ou roda fônica. Desta forma, é possível trabalhar com uma única bobina, com bobinas duplas, ou com bobinas individuais por cilindro, no modo centelha perdida ou sequencial. Os injetores de combustível podem ser controlados de forma sequencial, com compensação individual por cilindro, semi-sequencial ou multiponto. Também é possível alterar o ângulo de fase de injeção (FUELTECH, 2014).

O equipamento conta ainda com o menu favoritos, que busca facilitar o acesso aos principais menus de ajuste do motor, permitindo executar alterações rápidas nos mapas. O painel de instrumentos é totalmente configurável, possibilitando ao usuário alterar o tamanho de exibição e os tipos de leituras de cada parâmetro, assim como os limites de leitura apresentados na tela (FUELTECH, 2014).

A Figura 6 demonstra a vista frontal da injeção eletrônica FuelTech FT500, ilustrando a tela de visualização dos sensores durante o funcionamento de um motor.

Figura 6 - Injeção Eletrônica FuelTech FT500.



Fonte: Adaptado de FUELTECH, 2014.

O Quadro 2 possibilita identificarmos as características da injeção eletrônica FuelTech FT500, sendo especificações de entradas de sensores e funções de parametrização de diferentes opções de mapas de injeção e ignição de combustível.

Quadro 2 - Características da Injeção Eletrônica FuelTech FT500.

Especificações e Entradas	
Máxima rotação	32.000rpm
Sensor MAP	Interno de 7bar (103psi) absolutos, 1bar relativo ao vácuo e 6 bar de pressão positiva
Tamanho de tela	4,3 Polegadas
Resolução de tela	16,8 milhões de cores
Processador	375 MIPS (Milhões de Instruções Por Segundo)
Controle de motores ciclo Otto	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 e 12 cilindros
Controle de motores Wankel (rotativos)	2, 3 e 4 rotores
Bancadas de injeção	2 bancadas (A e B)
Resolução do tempo de injeção	0,001ms
Resolução do ângulo de inclinação	0,01°
Canais de entrada modulares	11 canais totalmente configuráveis
Canais de entrada fixos	2 canais (rotação e fase)
Canais de saída modulares	20 canais totalmente configuráveis
Canais de saída fixos	4 canais (motor de passo)
Controle de Ignição	Roda Fônica ou Distribuidor
Comunicação	USB com computador
Temperatura de trabalho	-10°C a 60°C

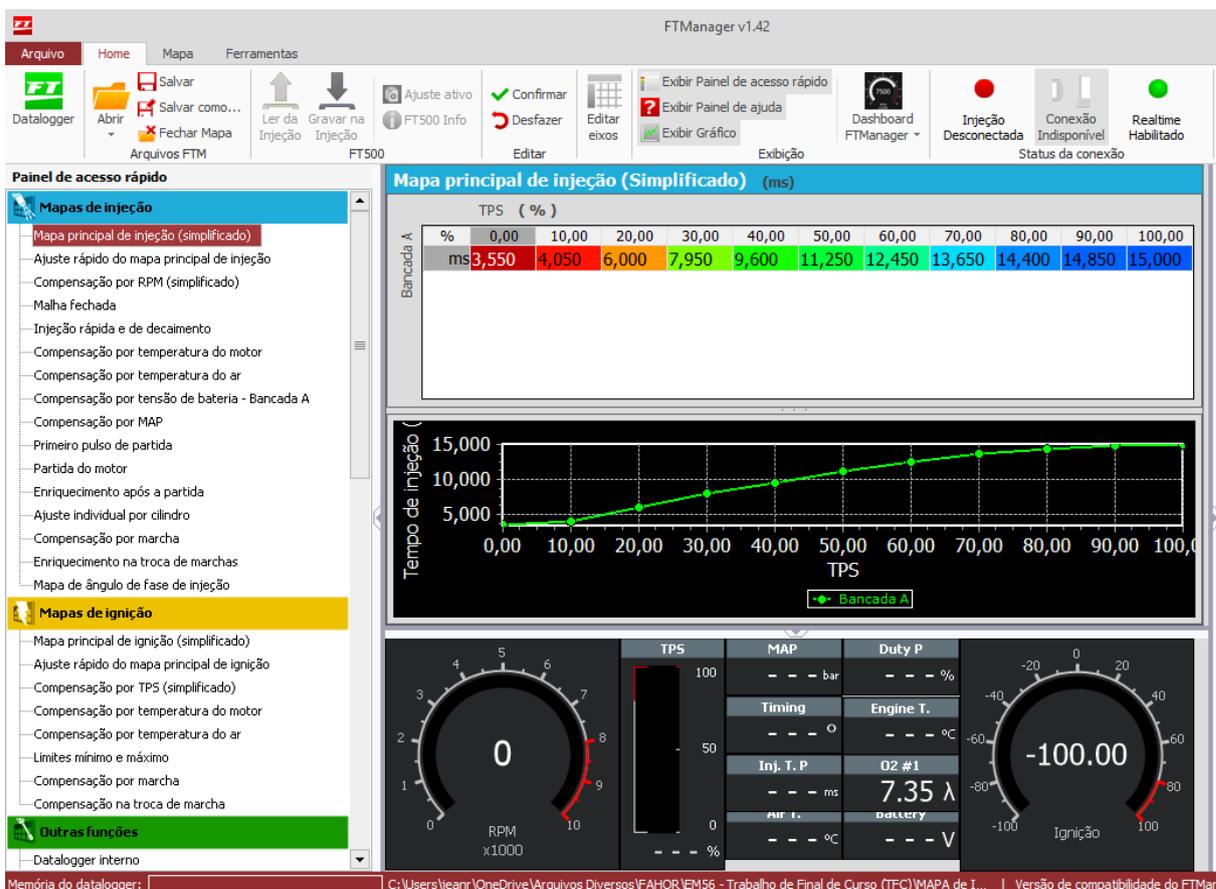
Peso	280g
<b>Funções</b>	
	Controle de injeção em modo sequencial, semi-sequencial e multiponto
	Controle de ignição em modo sequencial ou centelha perdida
	Controle de marcha-lenta por borboleta eletrônica, motor de passo, ponto de ignição e por solenoide
	Opções de ajuste do mapa principal, marcha lenta e injeção rápida por MAP ou por TPS
	Programável em tempo real no equipamento ou através do software de PC
	Compensações de ignição e de injeção individuais por cilindro
	Mapas de injeção e ignição simples (2D) e avançados (3D – Tabela 32x32)
	Resolução dos mapas de injeção e ignição configuráveis (via software <i>FT Manager</i> e cabo USB)
	Mapa de ângulo de fase de injeção
	Ajuste da injeção rápida e de decaimento
	Compensação do ponto de ignição por vácuo e pressão de turbo e posição da borboleta (TPS)
	Compensação da injeção e da ignição por temperatura do motor e do ar
	Compensação da injeção por tensão da bateria
	Limitador de rotação por corte de combustível e corte de ignição
	Corte de combustível na desaceleração (Cut-Off)
	Exclusivas funções de arrancada
	Controle eletrônico de até dois eletroventiladores por temperatura do motor
	Mapa de primeiro pulso de injeção e enriquecimento pós-partida
	Controle temporizado da bomba elétrica de combustível
	Acionamento de comando de válvulas variável (VTEC)
	Controle de nitro progressivo com enriquecimento de mistura e retardo de ponto
	Senha de proteção do usuário e do preparador
	Alertas por iluminação do painel, sonoro e por saída para acionamento de luz externa
	Ajuste de intensidade da iluminação da tela e do volume do aviso sonoro
	5 memórias para gravar diferentes ajustes dos conjuntos de mapas

**Fonte:** FUELTECH, 2014.

A injeção eletrônica FuelTech FT500 cria um mapa padrão para o motor, configurado em suas etapas de inicialização. Após o mapa padrão pronto, é possível fazer modificações em diversos parâmetros de funcionamento do motor, via software *FT Manager* da FuelTech ou via painel no equipamento.

A Figura 7 demonstra a tela principal do software *FT Manager* da FuelTech.

Figura 7 - Software FT Manager da FuelTech FT500.



Via software também é possível alterar os intervalos da leitura de vácuo/pressão de turbo, sensor de posição do acelerador (em língua inglesa Throttle Position Sensor - TPS) e rotação do motor, possibilitando ajustar de forma mais precisa um intervalo específico do mapa onde se deseja efetuar um ajuste fino do motor. Esta configuração está disponível para o mapa principal e compensações de injeção (FUELTECH, 2014).

### 3 METODOLOGIA

A bancada didática proposta teve seu trabalho de pesquisa e desenvolvimento conforme os objetivos e justificativas apresentados. E por estes fatores, levando-se em consideração os processos fabris, tecnologia empregada para ligação e comunicação entre mecânica, eletricidade, eletrônica e a computação, tornando-se uma obra de automação e controle, decidiu-se, a partir de produtos e equipamentos já existentes no mercado, promover um estudo e desenvolvimento de uma Bancada Didática com Motor Vivo para atender as nossas necessidades, auxiliando o estudo e entendimento sobre o funcionamento de um sistema de injeção eletrônica.

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Dentro dos procedimentos metodológicos de pesquisa foram executados os seguintes passos para o desenvolvimento da bancada:

- Coletar informações sobre conceitos de bancada didática com motor vivo, através de pesquisa bibliográfica em livros, catálogos de fabricantes e internet, buscando adquirir maior conhecimento sobre o tema com objetivo de um desenvolvimento que atenda aos requisitos solicitados pela instituição de ensino FAHOR - Faculdade Horizontina;
- Identificar os elementos necessários para o desenvolvimento da bancada didática com motor vivo, como motor, sistemas de controle e modificação de parâmetros do motor, tanque de combustível, quadro de comando, entre outros elementos necessários para sua fabricação;
- Verificar disponibilidade de materiais para a construção da bancada didática com motor vivo consultando o estoque e depósitos da FAHOR, e a partir dos mesmos definir quais podem ser utilizados para o projeto;
- Pesquisar e escolher o motor de ciclo Otto a ser utilizado no projeto;
- Pesquisar e escolher o modulo de injeção a ser utilizado no projeto, observando a possibilidade de utilização do próprio modulo original do motor escolhido;
- Realizando o detalhamento, fez-se uma análise do produto detalhado conferindo se a bancada atenderia a necessidade da FAHOR. A partir desta etapa iniciou-se a fabricação do cavalete principal de sustentação, adaptação do chassi parcial da motocicleta para acomodação no cavalete principal, e montagem e adaptação da mesa de controle. A estrutura da bancada foi fabricada pelo próprio autor do

projeto, nos laboratórios da instituição de ensino. Nos casos em que a instituição de ensino não dispunha de ferramental ou de matéria prima, buscou-se fornecedores externos para a conclusão da tarefa;

- Pintura e acabamento da estrutura foi realizada após a conclusão da fase de construção, e foi realizada em um fornecedor externo e paga pela faculdade;
- Por fim, a montagem de todos os componentes na estrutura fabricada para a bancada didática de motor vivo, modificação do chicote elétrico do motor, adaptação do chicote elétrico da nova injeção eletrônica para os sensores e atuadores do motor, montagem de quadro de comando e conectividade com o computador;
- Na fase final de testes da bancada didática com motor vivo, iniciou-se fase de experimentos, onde foi montado um mapa de injeção calibrado para o motor da bancada, executados experimentos de emissão excessiva de gás carbônico e controle de enriquecimento de combustível por compensação de temperatura.

### 3.2 ESCOLHA DO MOTOR

A escolha do motor utilizado na bancada didática com motor vivo teve como orientações principais os custos de aquisição, tamanho e peso, e não possuir uma grande quantidade componentes externos ao motor, facilitando assim o seu manuseio posterior a conclusão do projeto e custo de manutenção reduzido.

Levando como base as orientações das necessidades solicitadas pela FAHOR, iniciou-se uma pesquisa sobre as possibilidades de modelos de motores de ciclo Otto disponíveis no mercado. Dentre os vários motores encontrados, o melhor motor com custo de aquisição reduzido foi motores de motocicletas. Dentre as motocicletas, o motor que se enquadrou nas necessidades técnicas do projeto foi o motor da motocicleta Yamaha modelo YS250 Fazer.

O motor da motocicleta Yamaha modelo YS250 Fazer foi escolhido por, além de apresentar um custo de aquisição de acordo, possuir todas as características para estudo dos componentes dos motores de ciclo Otto e dos componentes para estudo da injeção eletrônica. Possui partida elétrica e refrigeração a ar, facilitando o controle de partidas e não possuir componentes externos como radiadores de refrigeração líquida, o que resultaria em maiores custos.

### 3.3 ESCOLHA DA INJEÇÃO ELETRÔNICA

A escolha da injeção eletrônica utilizada na bancada didática teve como orientações a possibilidade de modificações de parâmetros de regulação da injeção de combustível e ponto de ignição.

Durante as pesquisas sobre os modelos de injeção eletrônica disponíveis no mercado, também estudou-se a própria injeção eletrônica original do motor escolhido para o projeto, mas por se tratar de uma injeção eletrônica de objetivo funcional para o motor e identificação de erros e defeitos, não foi possível utilizar a injeção eletrônica da própria Yamaha YS250 Fazer.

Dentre algumas marcas de módulos de injeção eletrônica disponíveis no mercado paralelo e de acessórios de competição para motocicletas e automóveis, a marca e modelo escolhida para o projeto foi a FuelTech FT500, que possibilita ajustes e programação da injeção eletrônica para atender os requisitos do projeto.

A escolha desta marca e modelo teve um ponto chave possibilitar a integração com um computador, através de cabo de comunicação USB, utilizando um software do fabricante para manuseio dos ajustes de parâmetros de programação, além de possibilitar a análise em tempo real na tela do computador várias variáveis de sensores do motor, como temperatura, rotação do motor, dentre outros. A ligação com um computador também facilitou a integração do mestre e estudantes com o motor da bancada didática, através de uma melhor visualização em tela de computador, sem a necessidade de acessórios externos para leitura de sensores.

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA

O desenvolvimento da bancada didática com motor vivo está dividido em quatro fases: Fabricação da bancada, limpeza e pintura, na montagem da bancada com ligação elétrica dos componentes, e nos ajustes de funcionamento do motor.

#### 3.4.1 Fabricação da bancada didática

A bancada didática foi fabricada utilizando como base dois racks industriais de acomodação de peças, unidos no comprimento para atender ao requisito de comprimento necessário para a bancada com motor vivo, que serviram como suporte para todos os elementos funcionais da bancada. Os dois racks industriais foram utilizados do estoque da FAHOR.

Para a união dos dois racks industriais, ambos foram cortados e unidos por solda, ficando com medida de comprimento externo de 2110mm e medida de largura externa de 910mm. Para obter movimentação da bancada sem a necessidade de empilhadeira, foram adaptados rodízios giratórios nos quatro pés do rack, sendo eles da marca Vonder do tipo linha industrial leve de 150mm de altura, fabricado em aço com dupla pista de esferas e acabamento zincado de alta resistência a corrosão, com rodas de borracha proporcionando boa mobilidade, baixo ruído, maciez e não marca o piso, suportando até 100Kg cada roda.

Na fixação do motor da motocicleta na bancada utilizou-se um chassi parcial de uma motocicleta Yamaha modelo YS250 Fazer. A Figura 8 mostra o chassi parcial na fase de construção da bancada.

Figura 8 - Chassi parcial de Yamaha YS250 Fazer.



Criou-se suportes adicionais, no chassi da Yamaha, para acomodar o chassi à bancada, através de coxins de borracha para absorção das vibrações do motor em funcionamento para a bancada. A Figura 9 mostra os suportes fabricados para adaptação do chassi parcial junto a estrutura principal, juntamente com os coxins de borracha.

Figura 9 - Suportes de fixação do chassi na bancada.

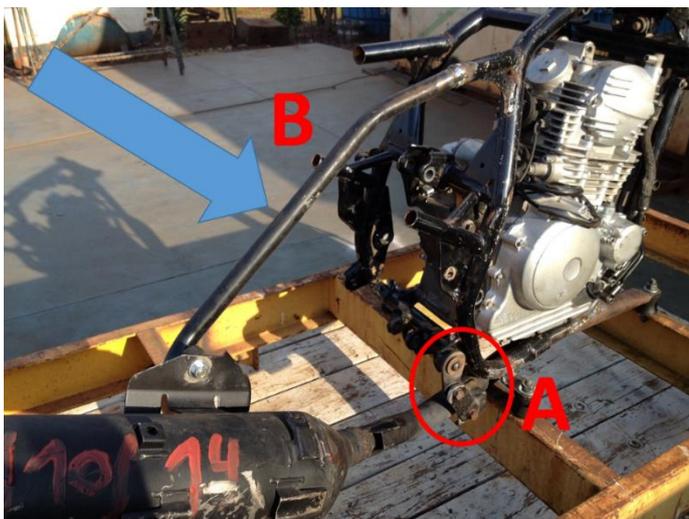


Os coxins de borracha utilizados para absorver as vibrações são da linha automotiva, produzidos para os veículos Ford Pampa/Del Rey 1.8 ano 1981 a 1991 para a fixação dos seus respectivos escapamentos. Para a união do chassi aos coxins e dos coxins à bancada, foi utilizado o próprio parafuso 10mm disponível no coxim com arruelas lisas e arruelas de pressão ambas de 10mm e porca convencional 10mm.

A fixação do escapamento original da motocicleta Yamaha YS250 Fazer foi realizada com dois suportes prendendo o escapamento no chassi da motocicleta, juntamente com outros dois coxins de borracha.

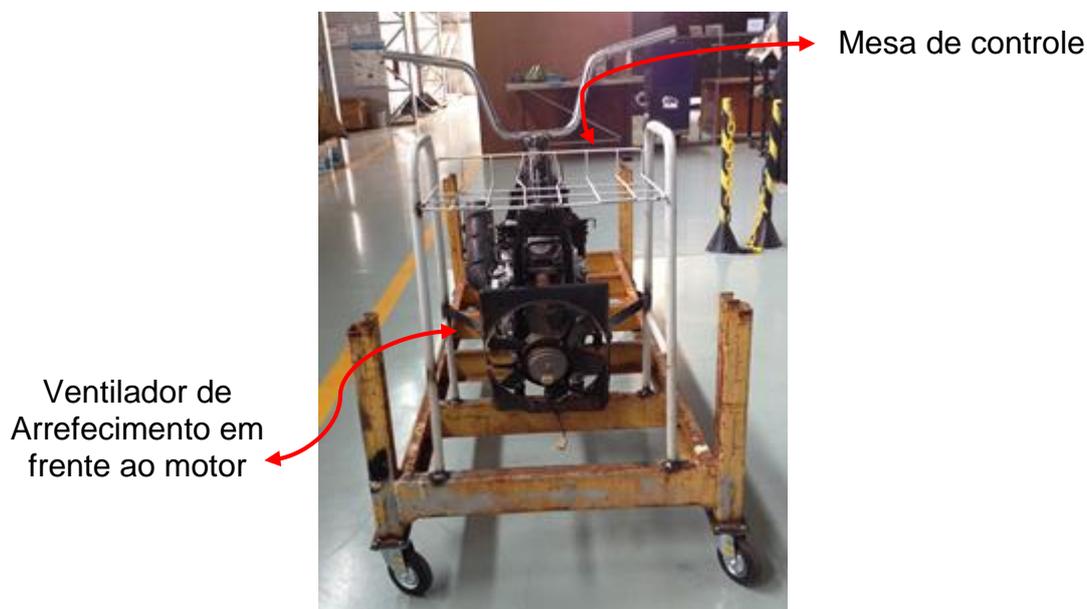
Na Figura 10 é demonstrado os dois suportes de fixação. O suporte "A" foi fabricado com uma chapa 1020 de 4,75 mm de espessura e com dois furos de 8mm distantes 60mm entre centros, preso por parafusos 8mm ao coxim de escapamento original da Yamaha YS250 Fazer. O suporte "B" foi fabricado em tubo 1020 de 2mm de espessura da parede, de diâmetro 20mm, unido através de solda no chassi da motocicleta e por coxim de borracha em sua outra extremidade prendendo o escapamento em seu suporte original.

Figura 10 - Escapamento da motocicleta preso por suportes.



Como dispositivo de arrefecimento do motor, utilizou-se um ventilador de arrefecimento automotivo, ajustado e adaptado logo à frente do motor da motocicleta, fornecendo troca de calor do ar ao motor, simulando o motor estar em movimento em uma motocicleta. A Figura 11 demonstra a posição do ventilador de arrefecimento e da mesa de controle.

Figura 11 - Mesa de controle e ventilador



Para a mesa de controle dos dispositivos e equipamentos, foi utilizado uma estrutura metálica de uma mesa tipo escolar. Essa estrutura passou por adaptações

nos pés de apoio para acomodação junto ao cavalete principal de sustentação da bancada. Os pés de apoio foram unidos ao cavalete principal através de soldagem.

### 3.4.2 Limpeza e pintura

Ao concluir a etapa de fabricação da estrutura da bancada, desmontou-se todos os equipamentos já fixados durante a fabricação para limpeza e pintura. O cavalete principal da estrutura, juntamente com o chassi parcial da motocicleta, foram limpos através de jato-de-granalha. O serviço de jato-de-granalha foi executado em um fornecedor local, e pago pela FAHOR. O cavalete principal foi pintado na cor azul. O chassi da motocicleta foi pintado na cor preta.

O motor adquirido para o projeto estava com uma pintura sem defeito, portanto, optou pela simples limpeza. O motor foi limpo com detergente desengraxante, posteriormente protegido com óleo protetor para evitar a oxidação dos parafusos e componentes metálicos presente em seu exterior. O escapamento do motor passou por um processo de lixamento manual, com posterior pintura na cor preta, com tinta especial para altas temperaturas.

O tanque de combustível da motocicleta utilizado no projeto, passou por um processo de remoção de pintura, com posterior lixamento. Foi pintado na cor branca. O suporte do ventilador de arrefecimento do motor foi pintado na cor preto. O ventilador limpou-se com detergente.

A Figura 12 demonstra o serviço de limpeza e pintura concluído para o cavalete principal de sustentação, para o chassi parcial da motocicleta, escapamento, motor, e ventilador de arrefecimento.

Figura 12 - Serviço de limpeza e pintura concluído.



### 3.4.3 Montagem da bancada com ligação elétrica dos componentes

Iniciou-se a montagem do chassi parcial da motocicleta junto ao conjunto principal da bancada didática. A união do chassi e da bancada se fez por quatro coxins de borracha para reduzir as vibrações geradas pelo motor em funcionamento. A fixação do motor ao chassi da motocicleta foi desenvolvida através dos próprios suportes e parafusos de fixação originais da Yamaha. O escapamento original da motocicleta foi fixo na sequência, obedecendo a posição original no chassi. O escapamento é preso no coletor de escapamento do motor, no coxim intermediário do chassi e no suporte de sustentação do silenciador de redução de ruídos.

A mesa de controle recebeu um tampo de mesa fabricado sob medida, em material MDF, com acabamento de PVC nas laterais. A mesa de controle acomodará o quadro de comando principal, injeção eletrônica FuelTech FT500 sob um suporte de sustentação e um computador pessoal tipo notebook. A mesa de controle e quadro de comando foram dispostos na posição em que o chicote elétrico ficasse de fácil adaptação e ligação, próximo a um computador portátil conectado a nova central de controle de injeção eletrônica. Todos os comandos e controles do motor e injeção eletrônica são feitos a partir dessa mesa.

A Figura 13 demonstra a mesa de comando completa, com o computador ligado e software *FT Manager* em execução, juntamente com a injeção eletrônica da FuelTech FT500 ativa.

Figura 13 - Mesa de comando completa.



O chicote elétrico da motocicleta Yamaha YS250 Fazer foi totalmente reconstruído. O chicote original foi aberto e retirado fios elétricos de sistemas que não serão utilizados na bancada, como luzes de pisca, luz de farol, etc. Todos conectores elétricos dos atuadores e sensores do chicote original da Yamaha foram utilizados para interligação com a nova injeção eletrônica. A ligação elétrica do chicote original da motocicleta com a nova injeção eletrônica foi executada a partir do estudo do diagrama elétricos da motocicleta e do manual técnico da injeção eletrônica. Todos os componentes foram ligados em conformidade, conforme anexo A.

O sistema de arrefecimento do motor foi montado logo em frente ao motor da motocicleta, em uma posição em que seu ar ficou direcionado ao radiador de óleo do motor, ao cilindro e cabeçote do motor, além de não ser direcionado aos estudantes e ao mestre durante o funcionamento, ocorrendo o mesmo com os gases de escapamento. Sua ligação elétrica foi desenvolvida para controle via chave liga/desliga no quadro de comando.

#### 3.4.4 Ajustes de funcionamento do motor

Conforme manual de instalação e operação da FuelTech FT500, iniciou-se o passo-a-passo para criar o mapa padrão FuelTech através do painel de toque do equipamento. Para gerar o mapa padrão, necessitou-se fazer o levantamento técnico

das características do motor. Foram 43 passos até a conclusão do mapa, dentre os principais destacam-se abaixo:

- Mapa principal por: TPS (sensor de posição do acelerador);
- Sensor de rotação: Indutivo diferencial, borda de subida (invertida);
- Roda fônica: 12-1 no virabrequim (ou seja, em 360° do virabrequim, o sensor irá detectar 11 pulsos, sendo distribuídos em 12 pontos hermeticamente a cada 30°, faltando 1 pulso dos 12 pulsos teóricos do total, momento em que a injeção eletrônica detecta volta completa do motor);
- Alinhamento do primeiro dente da roda fônica: 7 pulsos + 15° ou 195° (ou seja, o motor estando em PMS – ponto máximo superior, o sensor de rotação está posicionado a 195° do primeiro dente após a falha da roda fônica, contando em sentido contrário à rotação normal de funcionamento do motor);
- Vazão total do bico injetor: 13 lb/h, obtido através de cálculo executado conforme orientações do manual da Fueltech, a partir preenchimento das especificações do motor em tabelas no site [www.fueltech.com.br/calculo-de-injetores](http://www.fueltech.com.br/calculo-de-injetores), demonstrando o resultado recomendado;

Ao concluir todos os passos de parametrização do modelo de motor utilizado na injeção eletrônica da FuelTech FT500, foi apresentado a mensagem “Gerar mapa padrão FuelTech” no painel de toque do equipamento.

O mapa padrão FuelTech é um cálculo automático dos mapas básicos de injeção e ignição, baseando-se nas informações fornecidas no passo-a-passo de inicialização do mapa. Realizando esse cálculo automático, todos os mapas de injeção e ignição, incluindo as compensações por temperatura, etc, serão preenchidos com base nas características informadas do seu motor. Este mapa serve como base de acerto para seu motor, inclusive se for passar o mapa para o modo avançado posteriormente, através do software *FT Manager* (FUELTECH, 2014).

Ao concluir os passos iniciais de criação do mapa padrão, deu-se partida no motor e o mesmo funcionou regularmente, apresentando os dados e resultados de funcionamento na tela do computador e alguns no painel do equipamento. Para acerto do motor, utilizou-se o sensor lambda original da Yamaha, posicionado na entrada do coletor de escapamento da motocicleta. Os valores obtidos em tempo real do sensor lambda, serviram para identificar mistura de ar-combustível rica ou pobre. Após a

primeira partida do motor, o sensor lambda mostrava um resultado de mistura de ar-combustível com falta de ar.

Algumas modificações do mapa padrão foram realizadas para aproximar com as condições normais de funcionamento do motor, como rotação padrão da marcha lenta e ponto de ignição em marcha lenta. Conforme (YAMAHA, 2010) a marcha lenta da Yamaha YS250 Fazer é 1.400rpm, com ângulo de avanço de ignição em 10° APMS (antes do ponto máximo superior). Outro exemplo de modificação que foi realizado é referente ao enriquecimento da mistura ar-combustível por análise da temperatura do motor, onde o mapa padrão gerou uma tabela muito rica para temperaturas baixas que giram entre 0°C até 60°C.

Após os testes e ajustes no mapa padrão FuelTech, o motor da Yamaha YS250 Fazer apresentou um funcionamento considerado próximo ao de fábrica. O mapa padrão foi salvo em arquivo através do software *FT Manager*, como backup de referência para futuros testes e modificações.

### 3.5 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a fabricação da bancada, além das ferramentas tradicionais foram utilizados:

- Esmerilhadora angular 4.1/2" fabricante DWT com disco para corte de metais;
- Esmerilhadora angular 4.1/2" fabricante DWT com disco de desbaste;
- Máquina de Solda Mig-205 monofásica fabricante V8 BRASIL com Tocha conector Euro de 3 Metros e arame 1,2 mm;
- Furadeira de Bancada 4 velocidades monofásica fabricante GAMMA;

Os principais equipamentos do projeto foram:

- Computador portátil;
- Motor de motocicleta Yamaha YS250 Fazer;
- Injeção Eletrônica FuelTech FT500;

Os materiais utilizados para a fabricação foram:

- 2 racks industriais usados disponibilizados pela FAHOR;
- Chassi parcial da motocicleta;
- Ventilador de arrefecimento automotivo;

- 4 Coxins de amortecimento de vibração;
- Tampo de mesa em MDF;
- Caixa para quadro elétrico;

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com o tema do trabalho definido como a prática na aprendizagem, com foco no uso de bancadas nas aulas de engenharia, vinculadas a máquinas térmicas, os resultados do estudo desenvolvido estão relacionados com os experimentos e testes que poderão ser realizados na bancada, e também com o alcance do objetivo do trabalho, desenvolver uma bancada didática com motor vivo para atender a necessidade da FAHOR. A adição da bancada irá aumentar as oportunidades de estudos práticos e execução de experiências, o que gera melhorias na qualidade do ensino das matérias ligadas à motores de combustão interna de ciclo Otto com injeção eletrônica de combustível.

### 4.1 BANCADA DIDÁTICA COM MOTOR VIVO

A bancada desenvolvida é estruturada por vigas tipo U de 570mm de comprimento por 60mm de largura e 5mm de espessura de aço estrutural, unidas em topo com solda para formação dos quatro pés de apoio nas laterais. Estruturada também por outras vigas tipo U de comprimento 2065mm por largura de 120mm e espessura de 5mm de aço estrutural unidas por solda para formação da estrutura central de apoio e sustentação. Pés e estrutura central são unidas por solda, formando uma estrutura rígida e com boa aparência física. Possui dimensões de 2110mm de comprimento, 910mm de largura e 1130mm de altura. A bancada didática com motor vivo com desenvolvimento finalizado pode ser visualizada na Figura 14.

Figura 14 - Bancada didática com motor vivo (vista lateral).



Com o objetivo de facilitar a movimentação, a bancada apresenta quatro rodízios giratórios, um em cada pé de sustentação, e alça para manuseio e direção.

#### 4.1.1 Componentes da bancada didática com motor vivo

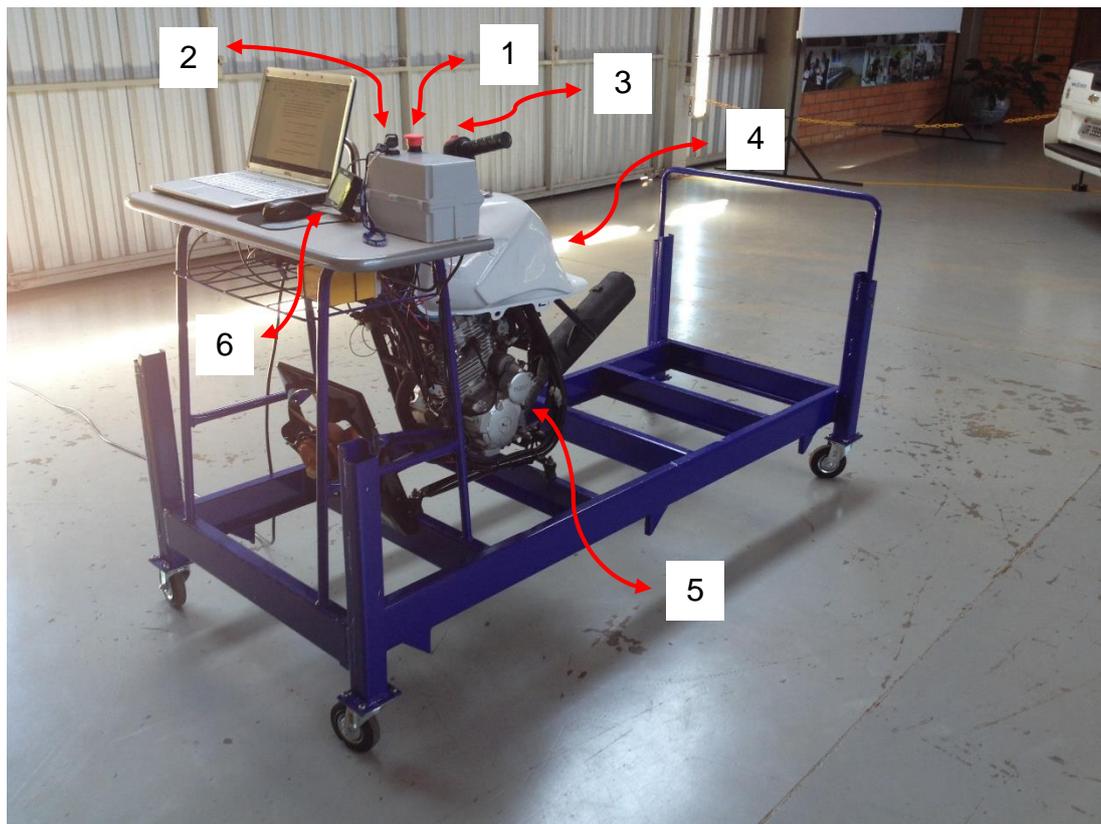
O Quadro 3 lista os principais componentes da bancada didática, descrevendo uma breve descrição de cada componente e sua respectiva função.

Quadro 3 - Principais componentes da bancada.

Identificação	Componente	Descrição	Imagem
1	Chave GERAL / Emergência	Chave Liga/Desliga monofásica, acionada por chave seletora, da marca Sibratec. Suporta tensões de 230V e correntes com 20A de intensidade.	
2	Chave Liga/Desliga MOTOR VIVO	Chave Liga/Desliga da linha automotiva, acionada por chave com segredo. Responsável pelo acionamento 12V do circuito elétrico do motor vivo.	
3	Conjunto Acelerador e Chaves de Controle	Manopla de controle de aceleração manual do motor vivo, com chaves de controle de partida e parada de funcionamento do motor vivo.	
4	Tanque de Combustível	Tanque de combustível modelo original da motocicleta Yamaha YS250 Fazer. Capacidade 19 litros com bomba de combustível integrada.	
5	Motor Vivo	Motor ciclo Otto da marca Yamaha modelo YS250 Fazer, 4 tempos, refrigerado a ar, 249,45cc, gasolina, taxa de compressão 9,8:1, potência máxima de 20,7cv a 8.000rpm, torque máximo de 2,09 kgf.m a 6.500rpm.	
6	Injeção Eletrônica	Injeção Eletrônica da marca FuelTech modelo FT500, totalmente programável, em tempo real, diretamente em seu painel 4,3 polegadas ou via software em computador.	

Após demonstrados os principais componentes da bancada no quadro acima, é possível visualizar a localização dos mesmos na imagem da bancada didática com motor vivo desenvolvida, representado pela Figura 15.

Figura 15 - Principais componentes da bancada.



#### 4.2 FUNCIONAMENTO DA BANCADA DIDÁTICA

Importante, antes iniciar as atividades experimentais na bancada didática com motor vivo, verificar o nível de combustível no tanque de combustível. O mínimo de combustível no tanque de gasolina recomendado é 2 litros.

Para dar início as atividades na bancada didática com motor vivo desenvolvida, a mesma deve estar conectada à rede elétrica monofásica, com tensão de 220V. O início geral é feito modificando a posição da chave geral/emergência de liga/desliga para a posição ligado, presente no quadro de comando principal da bancada. A partir da energia recebida, será energizado o circuito elétrico da fonte de energia do computador portátil e do circuito elétrico do ventilador de arrefecimento do motor. Ligar o computador portátil neste momento e aguardar seu início completo.

A partir do computador portátil estar ligado e pronto para uso, ligar a chave comutadora liga/desliga com segredo do circuito elétrico da motocicleta, localizada no quadro de comando principal da bancada. O circuito 12V da motocicleta será ativo, ligando a injeção eletrônica, e automaticamente executando os primeiros testes de

sensores e atuadores pela central de injeção eletrônica. Abrir o software *FT Manager* do computador pessoal.

A partida do motor vivo é dada pela chave denominada punho de partida, montado em conjunto com o comando de aceleração do motor. Verificar a posição da chave liga/desliga motor estar na posição ligado, e pressionar a chave partida. O motor vivo irá partir e iniciará seu funcionamento em rotação de marcha lenta. Soltar a chave de partida quando o motor vivo estiver em funcionamento.

O funcionamento do motor vivo é controlado pela injeção eletrônica através das leituras de sensores e dos comandos de acionamentos dos atuadores. Ligar a chave liga/desliga do ventilador de arrefecimento quando atingir temperatura do motor em 80°C, localizada no quadro de comando da bancada.

Durante os testes e experimentos, no computador pessoal através do software *FT Manager* da FuelTech irá mostrar as mais variadas informações referentes ao funcionamento do motor, como temperatura do motor, temperatura do ar na entrada da admissão do motor, rotação do motor, ponto de ignição, nível de O<sub>2</sub> no escapamento, dentre outras informações.

Todos os mapas e ajustes de injeção eletrônica poderão ser modificados, a fim de experimentos, para análise dos resultados via software no computador portátil. Recomenda-se o uso do mapa padrão de funcionamento antes de encerrar as atividades experimentais na bancada de motor vivo, a fim de evitar possível erros e problemas de funcionamento do motor na próxima atividade experimental.

### 4.3 EXPERIMENTOS E CÁLCULOS

Acadêmicos e mestres ligados a FAHOR poderão executar inúmeros tipos de experimentos na bancada didática com motor vivo desenvolvida. A partir dos dados obtidos em cálculos ligados a máquinas térmicas vistos em sala de aula, será possível comparar com os práticos obtidos no funcionamento do motor da bancada. Outros cálculos poderão ser aplicados em ajustes na injeção eletrônica, e observados os resultados em outro experimento de funcionamento do motor vivo. A partir destas atividades, o estudante irá entender de forma real as variáveis existentes nas fórmulas ligadas ao dimensionamento de motores de ciclo Otto à gasolina.

Como experimento de exemplo, o quadro 4 apresenta os parâmetros de ajustes recomendados pelo fabricante para uma rotação constante de 4.000rpm e os

parâmetros sugeridos pelo software *FT Manager* da FuelTech com base nas especificações técnicas do motor, também para a mesma rotação. O quadro 5 apresenta os resultados de medições de temperatura do motor para condição de ajuste do fabricante. O quadro 6 apresenta os resultados de medições de temperatura do motor para condição sugerida pelo software *FT Manager* da FuelTech. Para o experimento prático utilizou-se gasolina Premium da Ipiranga e o ar atmosférico do dia do experimento.

Quadro 4 - Parâmetros de ajustes do motor.

Parâmetros de ajuste do motor	Recomendado	Experimento
Ponto de ignição antes ponto morto superior	10°	21,8°
Tempo de injeção de combustível	11ms	15,055ms
Posição do acelerador	8% aberto	12% aberto

Quadro 5 - Resultados em ajuste recomendado

Componente	Resultado
Temperatura da entrada de ar atmosférico	25,3°C
Temperatura do motor antes do início do experimento prático	25,5°C
Temperatura do motor após 2 minutos em funcionamento à rotação constante 4.000rpm desde sua partida a frio	66°C

Quadro 6 - Resultados em ajuste do experimento

Componente	Resultado
Temperatura da entrada de ar atmosférico	25°C
Temperatura do motor antes do início do experimento prático	25,7°C
Temperatura do motor após 2 minutos em funcionamento à rotação constante 4.000rpm desde sua partida a frio	74°C

De acordo com os valores obtidos do experimento, as principais diferenças entre o funcionamento recomendado e o experimento, são que no funcionamento recomendado o motor apresentou um funcionamento visivelmente mais linear e rodando de uma forma homogênea, além de apresentar na leitura do sensor de temperatura do motor um valor inferior ao experimento. No funcionamento modificado para o experimento, o motor apresentou um funcionamento visivelmente de mistura rica, com dificuldades de manter a rotação constante, além de apresentar na leitura do sensor de temperatura do motor uma forte elevação. Nesse experimento, conseguimos concluir que o ajuste recomendado fará o motor consumir menos combustível, ter um aquecimento menor, e como consequência uma redução de emissão de poluentes. Já no ajuste do experimento, o motor terá um consumo maior de combustível, calor maior durante o funcionamento, e emitindo maiores concentrações de poluentes.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo e desenvolvimento realizado teve como objetivo melhorar a forma de aprendizado dos acadêmicos da FAHOR através de aulas práticas em bancada didática capaz de simular o funcionamento de um motor a combustão interna.

A partir dos resultados demonstrados ao longo do trabalho, o objetivo de desenvolver uma bancada didática com motor vivo foi alcançado. Nos itens 3.1, 3.2 e 3.3 desenvolveu-se a pesquisa exploratória dos elementos funcionais para a bancada didática. A partir do desenvolvido no item 3.4, é possível verificar os passos do desenvolvimento da bancada, como o processo fabril, limpeza e pintura, montagem do conjunto com a ligação elétrica dos componentes, e os ajustes de funcionamento do motor. Através dos itens 4.1, 4.2 e 4.3, é apresentado a bancada didática finalizada, descrito o funcionamento, e conclui-se com um experimento realizado. É possível analisar todos os objetivos específicos do trabalho, além de que, através do item 6, sugestões para trabalhos futuros é apresentado.

Conclui-se com este trabalho que conceitos vistos em sala de aula serão facilmente executados na prática. Pode-se citar ainda que com a exposição dos acadêmicos da FAHOR às aulas práticas usando a bancada didática com motor vivo, eles também terão a oportunidade de interagir diretamente com o motor de combustão interna através do módulo de injeção eletrônica de combustível.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se o estudo da viabilidade de adaptar à bancada um sistema de dinamômetro, com a aplicação de cargas no motor da bancada didática. Com a aplicação de cargas no motor durante seu funcionamento, poderá ser possível analisar os ganhos e perdas de potência e torque no motor, conforme as modificações executadas em experimentos na injeção eletrônica. A Figura 19 mostra um modelo de dinamômetro magnético da DTec produzido na Áustria. Por ser magnético, possui menos componentes mecânicos.

Figura 16 - Dinamômetro magnético da DTec.



**Fonte:** Adaptado de [www.dtec.net.au](http://www.dtec.net.au).

Outra sugestão é o estudo da viabilidade de adaptar um outro sistema de controle de aceleração do motor, com o objetivo de manter em posição constante, a abertura do acelerador durante os experimentos, permitindo aos estudantes e ao mestre ter as mãos livres durante o decorrer dos experimentos.

Sugere-se também o estudo de viabilidade de modificação do tanque de combustível da motocicleta utilizado na bancada didática, sendo possível visualizar o combustível e a bomba de combustível em funcionamento através de uma janela, incluindo marcações de nível, possibilitando aos estudantes e ao mestre executar medições de consumo de combustível em diferentes ajustes na injeção eletrônica de combustível.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBALADEJO, F. S.; LAGANA, A. A. M.; CARVALHO, A. T.; **Desenvolvimento de um sistema didático de gerenciamento eletrônico para motores a combustão interna.** (USP, SP) por estaquia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIX, 2011, Blumenau. Anais... Blumenau: FATEC, 2011.

BORGNACKE, C; SONNTAG, R. E., Fundamentos da Termodinâmica. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

BRUNETTI, F.; **Motores de Combustão Interna.** Volume 1. 3º ed. São Paulo: Blucher, 2012.

DOLANG TECHNOLOGY EQUIPMENT; Jetta SDI Electronical Controlled Engine Training Set. Disponível em: <<http://www.dolang.cn/ying/cpcon.php?pid=804>>. Acesso em: 08 de outubro de 2015.

FLINK, J.; **The Age of Automobile.** Massachusetts/USA: Halliday Lithograph, 1990.

FUELTECH: **MANUAL DE INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO.** Porto Alegre, 2014.

GIORDANI, R. E; JURACH, P. J; RODRIGUES, M. J. **Bancada didática de pneumática.** CEFET. Rio Grande do Sul, 2003.

HEYWOOD, John B., **Internal Combustion Engine Fundamentals.** New York/USA: R. R. Donnelley & Sons Company, 1988.

HODSON, D. **Mini-special issue: taking practical work beyond the laboratory.** International Journal of Science Education, v.20, n.6, p. 629-632, 1998.

LUNETTA, V. N. **Actividades práticas no ensino da Ciência.** Revista Portuguesa de Educação, v. 2, n. 1, p. 81-90, 1991.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H.N., **Princípios da termodinâmica para engenharia.** 4. ed. Rio de Janeiro, 2002.

OVERCAR, **Injeção eletrônica analógica.** 2015. Disponível em: <<http://www.overcar.com.br/index.php/artigos/injecao-eletronica/3-injecao-eletronica/12-injecao-eletronica-analogica>>. Acesso em: 03 de junho de 2015.

PEKELMAN, H.; MELLO Jr. A.G; **A importância dos laboratórios no ensino de Engenharia Mecânica.** Disponível em: <[http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2004/artigos/01\\_219.pdf](http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2004/artigos/01_219.pdf)>. Acesso em: 08 de outubro de 2015.

PUJATTI, Fabrício José Pacheco; **Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento Eletrônico para Motores de Ignição por Centelha.** (Tese Doutorado) Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2007.

RIBBENS, W. B., **Understanding Automotive Electronics.** 5. ed. Boston/USA: Butterworth-Heinemann, 1998.

STONE, Richard, **Introduction to Internal Combustion Engines.** 2. ed. Houndmills/USA: The MacMillian Press Ltd, 1992.

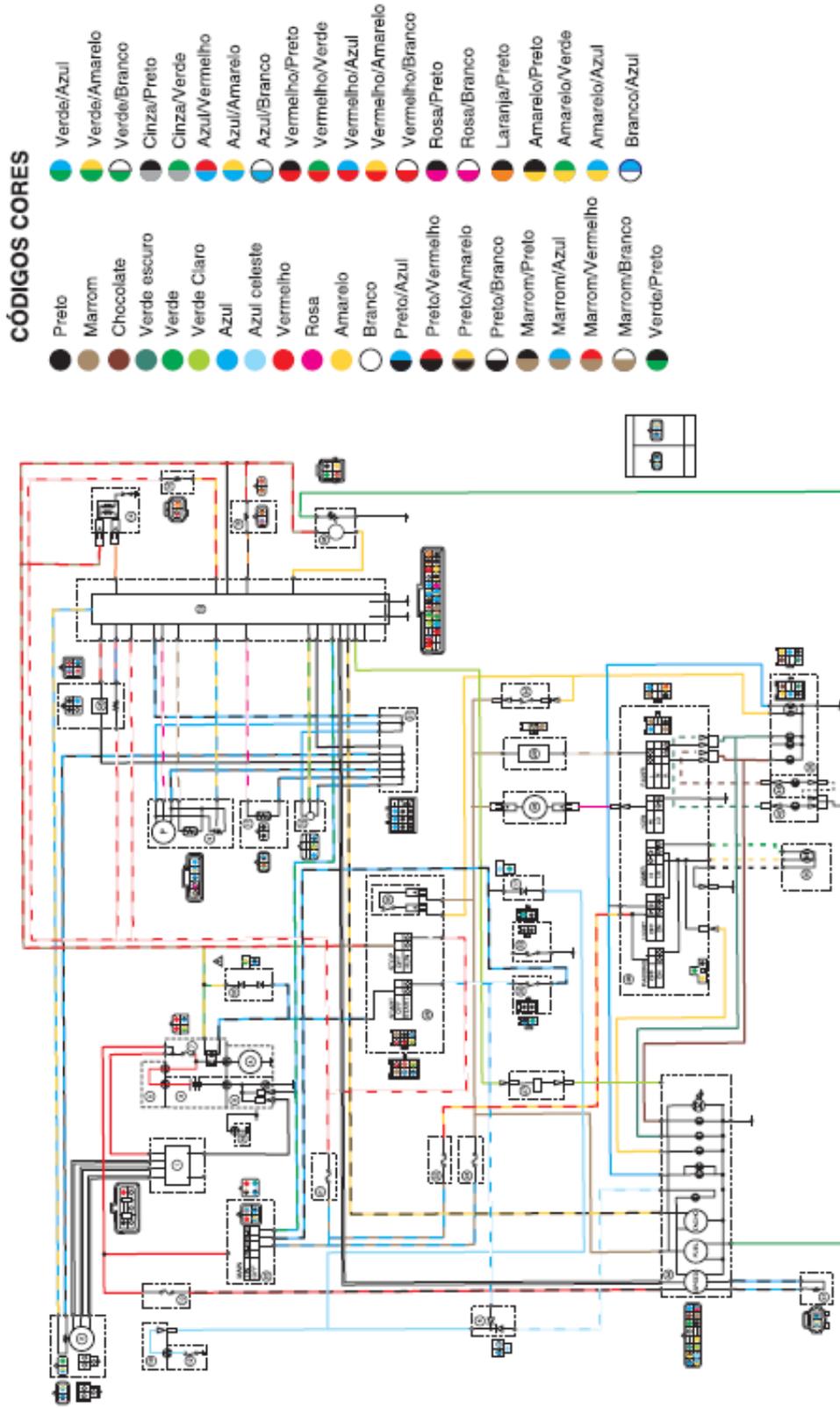
YAMAHA Motor da Amazônia Ltda: **FAZER YS250 SUPLEMENTO MANUAL DE SERVIÇO.** Manaus, 2010.

YAMAHA Motor da Amazônia Ltda, **FICHA TÉCNICA YAMAHA YS250.** 2015. Disponível em: <<http://www.yamaha-motor.com.br/motocicletas/fazer/250-blueflex>>. Acesso em: 28 de setembro de 2015.

ZANLORENZI, J. G.; **Bancada didática de injeção eletrônica.** 2007. Monografia (Bacharelado em Engenharia da Computação) Centro Universitário Positivo, Curitiba, 2007.

## 8 ANEXO A - DIAGRAMA ELÉTRICO YAMAHA YS250 FAZER ANO 2010

DIAGRAMA ELÉTRICO FAZER YS250

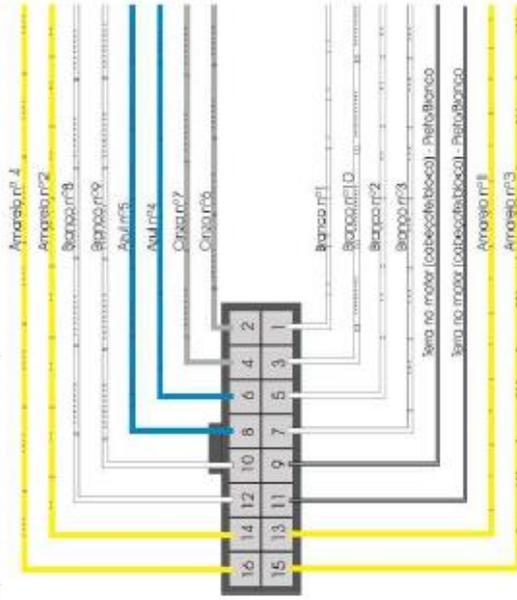


## 9 ANEXO B - DIAGRAMA ELÉTRICO FUELTECH FT500



4.2 Conexões do chicote elétrico - conector de 16 vias

Cor do fio	Pino	Ligação	Observações
Branco n°1	1	Entrada do Branco n°1	Podem ser configuradas como qualquer sensor analógico ou digital.
Branco n°2	5	Entrada do Branco n°2	
Branco n°3	7	Entrada do Branco n°3	
Branco n°4	12	Entrada do Branco n°4	
Branco n°5	10	Entrada do Branco n°5	
Branco n°10	3	Entrada do Branco n°10	
Cruza n°6	2	Saída Cruza n°6	
Cruza n°7	4	Saída Cruza n°7	
Azul n°4	6	Saída Azul n°4	
Azul n°5	8	Saída Azul n°5	
Preto/Branco	9	Entrada de terra de políéstera	
Amarelo n°1	13	Saída do Amarelo n°1	
Amarelo n°2	14	Saída do Amarelo n°2	
Amarelo n°3	15	Saída do Amarelo n°3	
Amarelo n°4	16	Saída do Amarelo n°4	

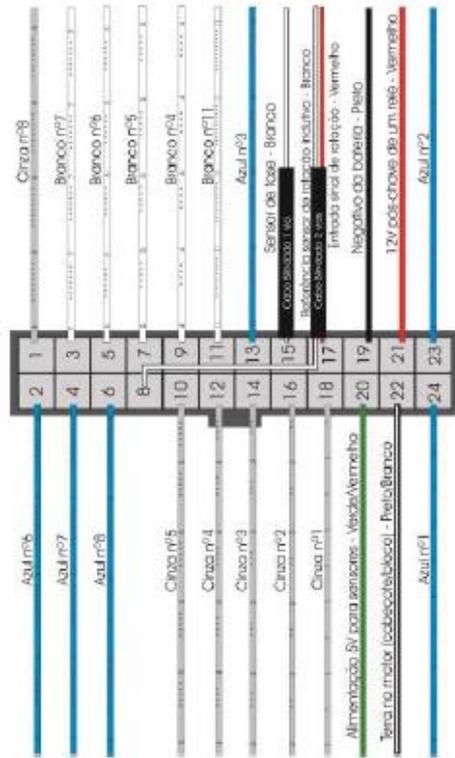


Vista Traseira do Conector do Chicote



4.1 Conexões do chicote elétrico - conector de 24 vias

Cor do fio	Pino	Ligação	Observações
Azul n°1	24	Saída de injeção n°1	
Azul n°2	23	Saída de injeção n°2	
Azul n°3	13	Saída de injeção n°3	
Azul n°6	2	Saída de injeção n°6	
Azul n°7	4	Saída de injeção n°7	
Azul n°8	6	Saída de injeção n°8	
Branco n°4	9	Entrada do Branco n°4	
Branco n°5	7	Entrada do Branco n°5	
Branco n°6	5	Entrada do Branco n°6	
Branco n°7	3	Entrada do Branco n°7	
Branco n°11	18	Entrada do Branco n°11	
Cruza n°1	19	Saída cruza n°1	
Cruza n°2	18	Saída cruza n°2	
Cruza n°3	14	Saída cruza n°3	
Cruza n°5	12	Saída cruza n°5	
Cruza n°8	10	Saída cruza n°8	
Cruza n°8	1	Saída cruza n°8	
Branco do cabo blindado de 2 vias	8	Referência do sensor de rotação indutivo	
Vermelho do cabo blindado de 2 vias	17	Entrada sinal derivação	
Branco do cabo blindado de 1 via	15	Entrada sinal de fase	
Vermelho	21	Entrada 12V pós-relé	
Preto	19	Entrada negativo de Bateria	
Preto/Branco	22	Entrada de terra de políéstera	
Vermelho/Vermelho	20	Saída 5V para Sensores	



Vista Traseira do Conector do Chicote