

4. APARATO EXPERIMENTAL

Optou-se pela utilização do banco de provas C do Laboratório de Ensaios em Motores do CENPES, pelo espaço disponível, associado às necessidades de instalações de equipamentos sofisticados, de porte, em seu interior, para controle das condições de ensaio e melhoria das análises.

4.1. SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

Dentre os papéis desempenhados pelo sistema de automação AVL PUMA OPEN instalado no banco de provas C destaca-se a possibilidade de programação e gerenciamento, sem a intervenção humana, desde os testes mais simples como levantamento de curvas de potência até os testes mais complexos de emissões e durabilidade. Como vantagens do sistema destacam-se a maior taxa de aquisição de dados, a plataforma Windows XP e a programação orientada ao objeto, mais amigável na criação das seqüências operacionais dos testes. Por sua vez, o hardware moderno facilita a manutenção dos equipamentos. A Figura 4.1 mostra a interface de usuário do sistema de automação AVL PUMA OPEN, na sala de controle do Laboratório de Ensaios em Motores.



Figura 4.1 – Interface de usuário do sistema de automação AVL PUMA OPEN.

4.2. UNIDADE DE CONDICIONAMENTO DO AR DE ADMISSÃO

O condicionamento do ar de admissão do motor, no que se refere à temperatura e umidade relativa, é importante quando se deseja realizar comparações de desempenhos envolvendo diferentes motores e combustíveis, pois estas variáveis podem influenciar de forma significativa o desempenho corrigido do motor. Existem fórmulas que corrigem a potência para uma condição de referência. Porém, em se tratando de pesquisas que envolvem a influência de grande número de variáveis, torna-se importante reduzir ao máximo as interferências externas que podem comprometer a comparação dos resultados. Principalmente se as diferenças de desempenho envolvidas forem pequenas. Nesse sentido, foi utilizada uma unidade de condicionamento do ar de admissão do motor, da marca AVL, que pode ser vista na Figura 4.2.



Figura 4.2 – Unidade de condicionamento do ar de admissão.

O princípio de funcionamento da unidade consiste em succionar o ar ambiente através de um filtro, resfriando-o em seguida por um trocador de calor ar/água para remoção da umidade através da condensação da água. Um ventilador radial bombeia o ar seco, aumentando sua pressão em aproximadamente 1000 Pa, na direção de um aquecedor elétrico. Então, o ar resfriado previamente é aquecido até a temperatura desejada. Vapor de água gerado em uma caldeira elétrica é

injetado na corrente de ar até atingir-se a umidade desejada. Assim, o controle de temperatura é realizado em duas etapas, através do trocador de calor e do aquecedor elétrico, de forma automática, de acordo com a condição desejada. Existe um sensor combinado de temperatura e umidade que mede a temperatura do ar de admissão do motor, enviando o sinal para um controlador PID. O controlador compara o valor real com o valor demandado, controlando a potência do aquecedor elétrico. De forma semelhante, o controle de umidade é realizado em duas etapas, através do trocador de calor e da injeção de vapor na corrente de ar. O sensor combinado de temperatura e umidade mede a umidade relativa do ar de admissão ao motor e envia o sinal para um controlador PID, que controla a potência elétrica para geração de calor na caldeira em função da diferença entre valor lido e valor demandado.

4.3. UNIDADES DE CONDICIONAMENTO E MEDIÇÃO DE CONSUMO DO COMBUSTÍVEL

O condicionamento da temperatura do combustível e medição do seu consumo pelo motor é importante quando se deseja realizar comparações de desempenhos envolvendo diferentes combustíveis. Essas comparações, quando possível, devem ser realizadas na mesma temperatura de combustível, eliminando esta influência nos resultados. O sistema de condicionamento e medição do consumo do banco de provas utilizado o faz através de uma unidade de controle de temperatura, AVL 753C, e de uma unidade de medição de fluxo de massa, AVL 735S, que funcionam de forma integrada com o sistema de automação do banco. A unidade de controle de temperatura (AVL 753C) é instalada entre a unidade de medição do fluxo de combustível (AVL 735S) e o motor. Sua capacidade de bombeamento precisa ser pelo menos 10% superior à da bomba original do motor e três vezes superior ao máximo consumo do motor. Devido à capacidade de bombeamento superior em fluxo constante e capacidade de desenvolvimento de altas pressões, torna-se necessário a instalação de um “by-pass” ou retorno externo próximo ao motor. A razão da instalação do “by-pass” ser próxima ao motor é justificada para melhorar a eficiência do controle da temperatura, na medida em que o combustível recirculado possui temperatura mais próxima da temperatura do combustível que será efetivamente injetado no motor.

Para aplicação em ensaios de motores do ciclo Otto, o AVL 753C opera como um sistema de resfriamento controlado. O AVL 753C possui um sistema de detecção e retirada de vapor, que garante um fluxo de combustível contínuo, livre de bolhas.

A unidade para medição do fluxo de massa de combustível, AVL 735S, baseia-se no princípio de Coriolis, o que permite uma medição contínua do consumo. A unidade pode fornecer a medição do consumo instantâneo e acumulado em determinado período nas bases mássica e volumétrica, na medida em que mede também a massa específica do combustível. As unidades de condicionamento e medição do consumo de combustível podem ser vistas na Figura 4.3.



Figura 4.3 – Unidades de condicionamento e medição do consumo de combustível.

4.4. MEDIÇÃO DA PRESSÃO E ANÁLISE DE COMBUSTÃO

Uma ferramenta muito útil para investigação da combustão em motores é o equipamento para medição e indicação da curva de pressão na câmara de combustão. Através da análise da curva de pressão pode-se extrair e calcular dados de combustão importantes para comparações de desempenho tais como, pressão máxima de combustão, pressão média efetiva, atraso de ignição, duração da combustão, curva de fração mássica de combustível queimada, curva de calor liberado para o motor, etc. O equipamento de indicação de pressão e análise de combustão é cada vez mais utilizado pela indústria automobilística nos projetos de desenvolvimento e otimização de motores.

Para o presente trabalho foi utilizado o sistema de aquisição de dados de pressão na câmara de combustão, modelo Indimodul da empresa AVL, possibilitando investigações e comparações mais amplas do desempenho de etanol anidro e hidratado em testes de motor. A partir da curva de pressão, o sistema pode calcular em tempo real a taxa de calor liberado na câmara de combustão e a pressão média efetiva conforme mostrado na Figura 4.4. Os parâmetros de configuração são basicamente os dados referentes à geometria da câmara de combustão.

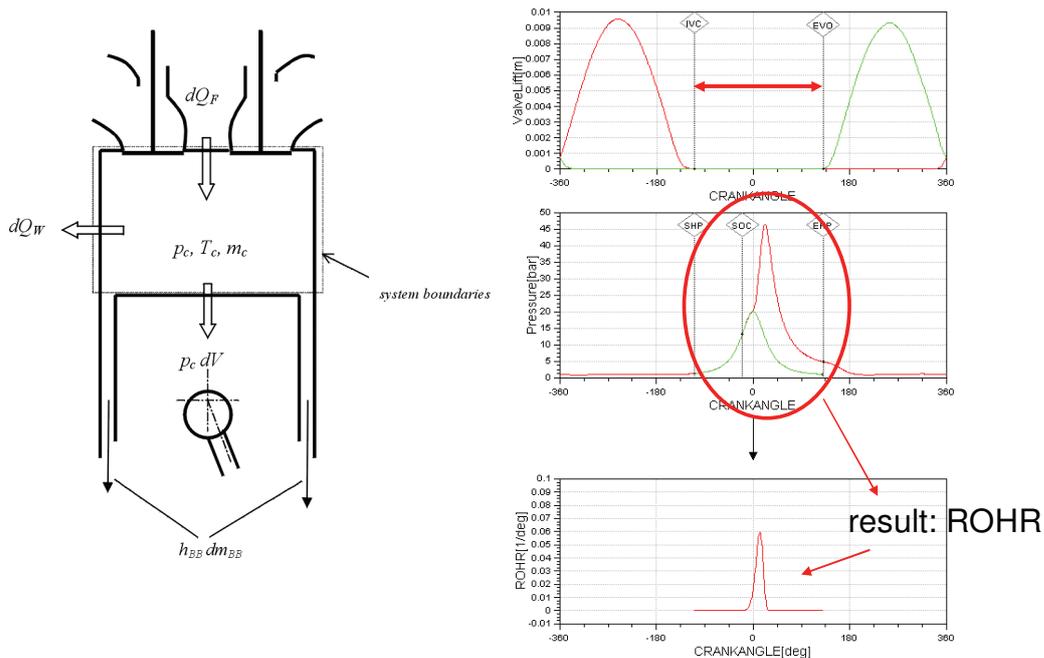


Figura 4.4 - Medição de pressão e taxa de calor liberado.

O sistema Indimodul possui um software denominado GCA (Gas Exchange and Combustion Analysis), além de dois sensores adicionais de pressão de admissão de ar e de pressão de gases de escape. Com o uso da ferramenta GCA o novo sistema pode realizar estudos avançados relacionados a parâmetros termodinâmicos, incluindo análise dos 4 ciclos do motor. As Figuras 4.5 e 4.6 mostram um esquema de medição dos 3 sensores de pressão (na admissão, na câmara de combustão e no escapamento) em funcionamento no programa GCA. A Figura 4.7 mostra a tela do Indimodule com a medição de pressão na câmara de combustão.

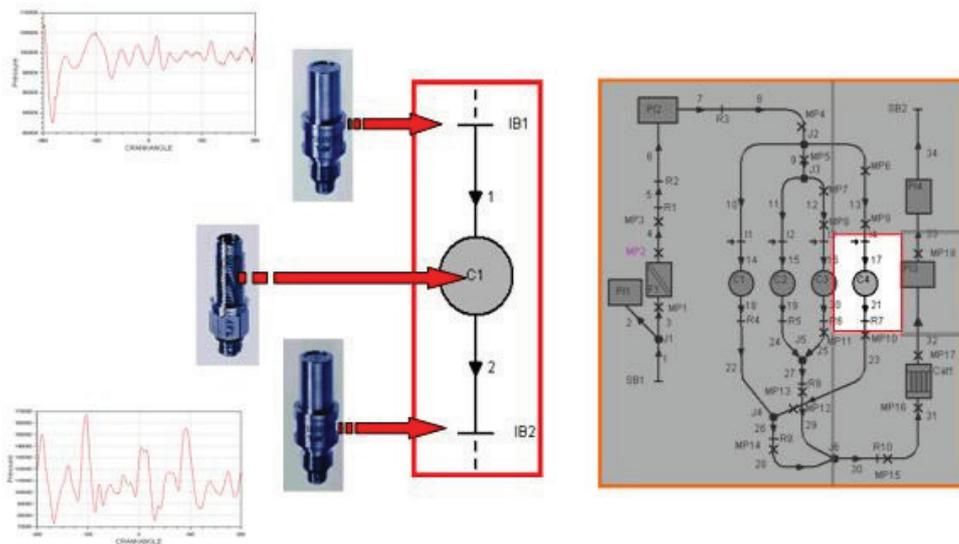


Figura 4.5 - Esquema de medição de pressão do sistema Indimodul.

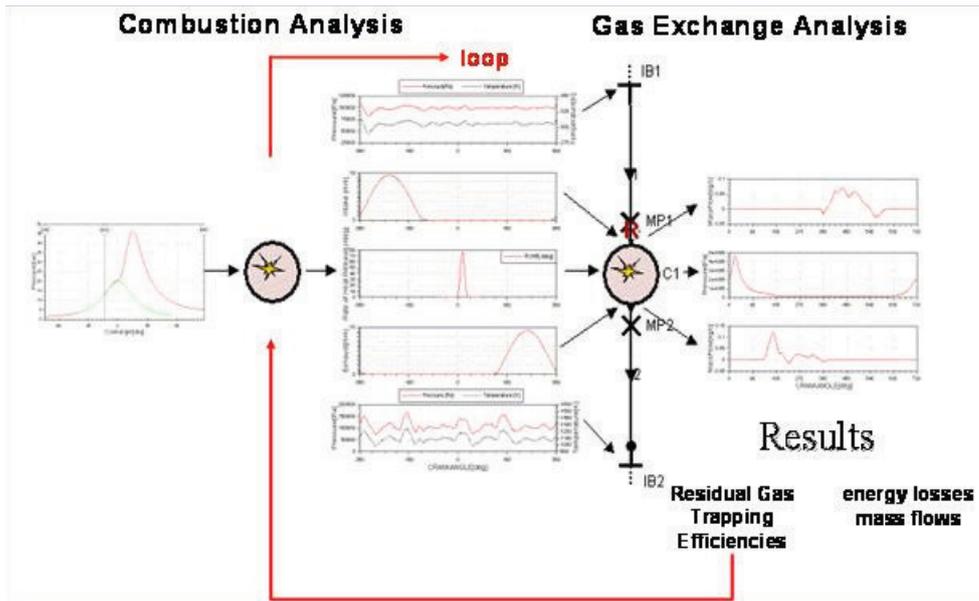


Figura 4.6 - Esquema de análise de combustão usando o software GCA.

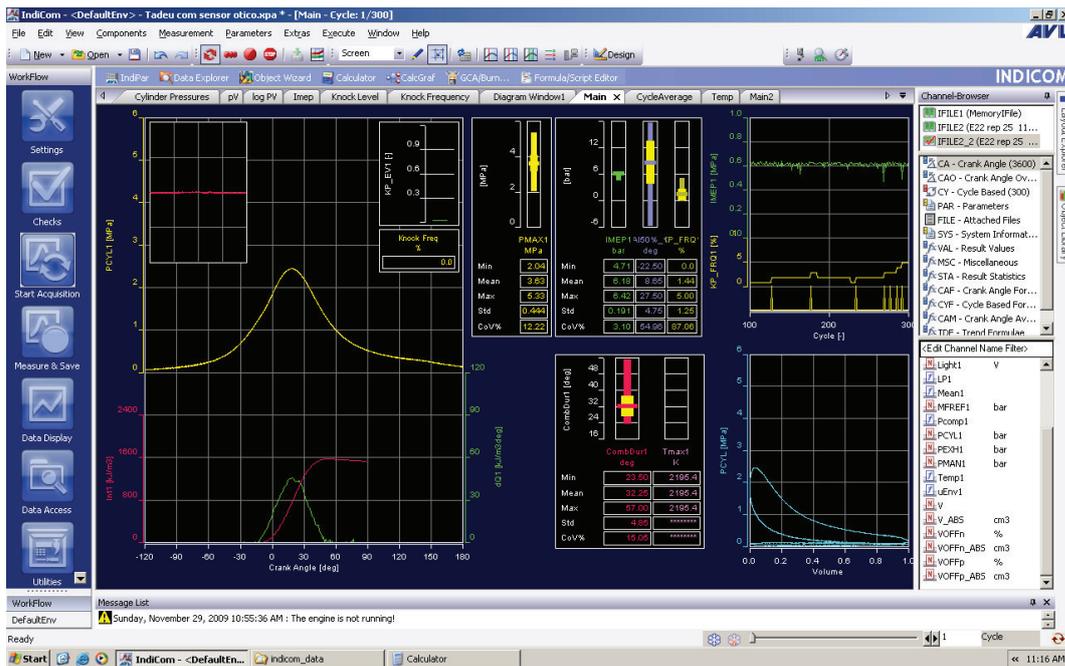


Figura 4.7 – Tela do Indimodul com medição de pressão e verificação da detonação.

O sistema para medição de pressão de combustão é constituído por um transdutor de pressão piezoelétrico, um amplificador de carga, cabos especiais de medição, medidor de ângulo do eixo de manivelas do motor e equipamento de indicação. O equipamento de indicação é constituído por unidade de aquisição de dados, baseada no ângulo do eixo de manivelas e memória rápida para gravação

temporária de dados. Os componentes do sistema são montados conforme o esquema típico ilustrado na Figura 4.8.

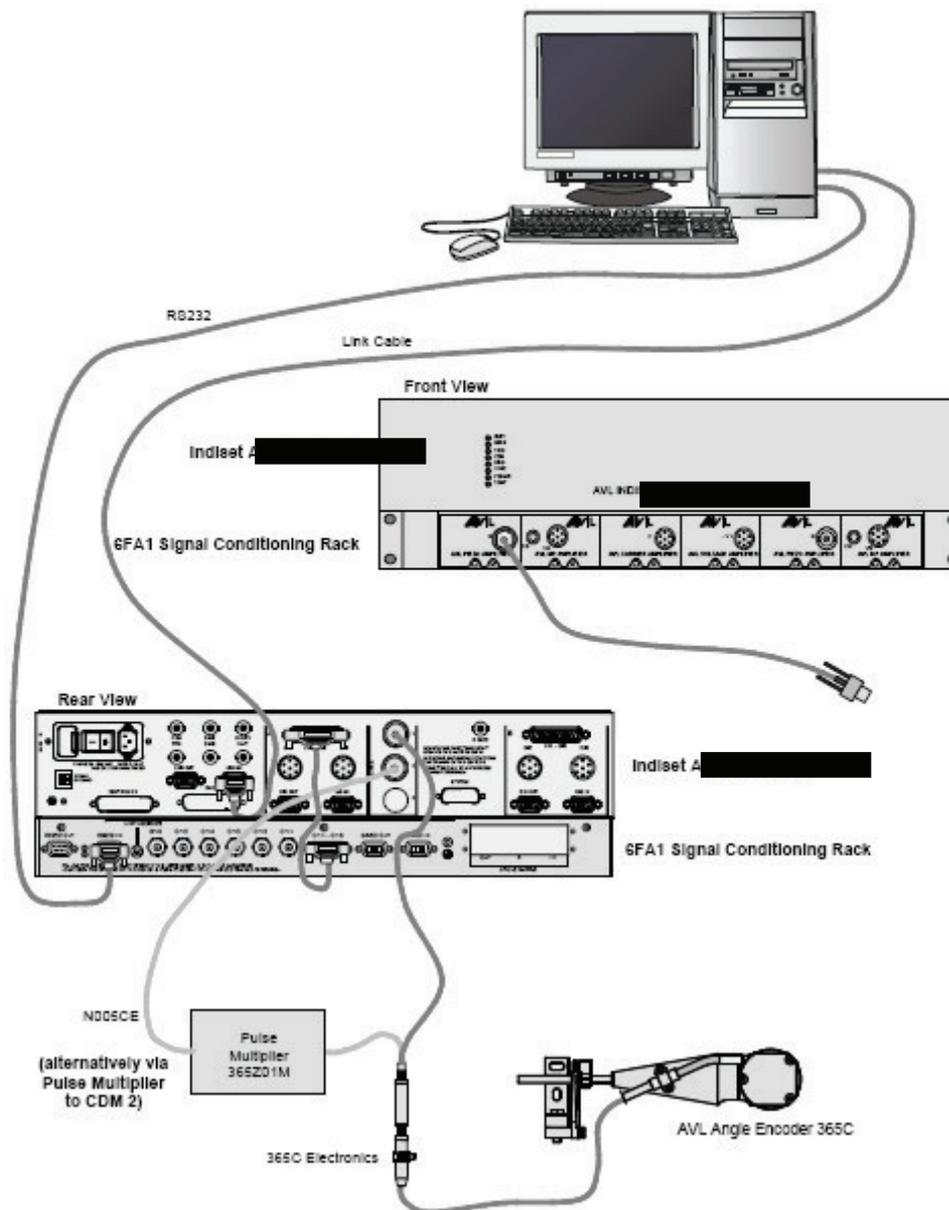


Figura 4.8 – Esquema de Montagem do Indimodul.

O transdutor de pressão piezoelétrico trabalha com o princípio de geração de carga eletrostática a partir de carregamento mecânico, com a carga elétrica de saída sendo proporcional à pressão aplicada. A carga elétrica de saída do transdutor é convertida em sinal de tensão através do amplificador de carga, que envia o sinal para o equipamento de aquisição de dados e indicação, onde será

processado. Os cabos de medição são utilizados para transmissão dos sinais de carga elétrica e tensão. Devido à saída de carga elétrica baixa dos transdutores de pressão, a conexão entre estes e o amplificador de carga é crítica e exige elevados níveis de isolamento. Baixa sensibilidade a ruídos é exigida para os cabos e amplificador de carga. A saída de tensão analógica do amplificador de carga é digitalizada e gravada no equipamento de indicação. Os dados são acessados na memória para cálculos, gravação e visualização dos parâmetros de interesse por intermédio de um computador integrado ao sistema.

4.5. MOTOR DE TESTE SELECIONADO

Optou-se pelo motor da Fiat 1.4 8v Fire tetrafuel. Alguns dos dados geométricos relacionados são necessários para que o software do equipamento de medição de pressão na câmara de combustão possa realizar cálculos e fornecer dados para análise do processo de combustão. Este motor é projetado para operar com gasolina A, gasolina C, etanol hidratado e qualquer mistura de gasolina C e etanol, além do gás natural. Sua central de controle eletrônico possui mapas de calibração específicos para os diferentes combustíveis e estratégias de interpolação entre os mapas que permitem cobrir todas as possibilidades de misturas de gasolina e etanol. A taxa de compressão deve respeitar um compromisso entre a aplicação gasolina e etanol. A calibração não possui mapas otimizados para todas as opções de combustível, utilizando estratégias de interpolação entre alguns mapas base. Assim, não se extrai do conjunto motor/combustível todo seu potencial. Este fato ilustra a necessidade de utilização de uma unidade de gerenciamento eletrônico do motor programável para se avaliar o potencial de cada combustível diferente que será avaliado no projeto. A Tabela 4.1 resume os principais dados do motor utilizado, enquanto a Figura 4.9 mostra o motor instrumentado e montado no banco de provas.

Tabela 4.1 – Dados principais do motor 1.4L *Tetrafuel* da Fiat

Potência máxima	80 cv (5500 rpm, gasolina 100%) 80 cv (5500 rpm, gasolina com 20% de etanol) 81 cv (5500 rpm, etanol 100%) 68 cv (5500 rpm, GNV)
Torque máximo	12,2 kgfm (2250 rpm, gasolina 100%) 12,2 kgfm (2250 rpm, gasolina com 20% de etanol) 12,4 kgfm (2250 rpm, etanol 100%) 10,4 kgfm (2250 rpm, GNV)
Número de Cilindros	4 em linha
Cilindrada Total	1396 cm ³
Número de Válvulas por Cilindro	2
Eixo de Comando de Válvulas	1 no cabeçote
Taxa de Compressão	10,35:1
Curso do Pistão	84,0 mm
Diâmetro do Pistão	71,9 mm
Entre centros biela	128,95 mm
<i>Off Set</i> pino do pistão	0,67 mm
Diâmetro do Cilindro	72,0 mm
Ângulo de abertura da válvula de admissão	6° DPMS
Ângulo de fechamento da válvula de admissão	48° DPMS
Ângulo de abertura da válvula de escape	40° APMI
Ângulo de fechamento da válvula de escape	2° DPMS

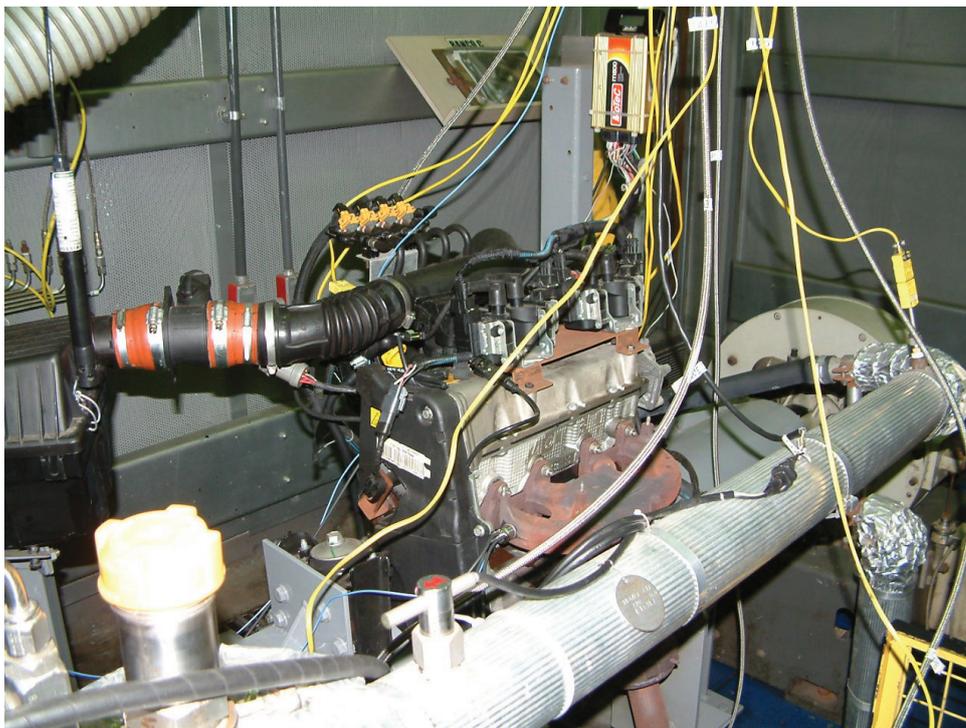


Figura 4.9 – Motor instrumentado montado no banco de provas.

4.6. INSTALAÇÃO DE UNIDADE PROGRAMÁVEL DE CONTROLE ELETRÔNICO DO MOTOR

Para possibilitar uma avaliação mais ampla dos diferentes combustíveis de teste, optou-se por instalar uma central de gerenciamento eletrônico do motor programável, a MoTec m800. Assim é possível modificar a calibração original do motor, orientada para os combustíveis comerciais, adaptando-a para otimizar o desempenho de cada um dos combustíveis de teste. Para viabilizar a instalação da central, foi necessário modificar o chicote elétrico do motor e adaptar novos sensores com respectivas curvas de calibração, que devem ser informadas à central. A Figura 4.10 mostra a central eletrônica programável montada no banco de provas e sua interface com o usuário para otimização do mapa de injeção de combustível.

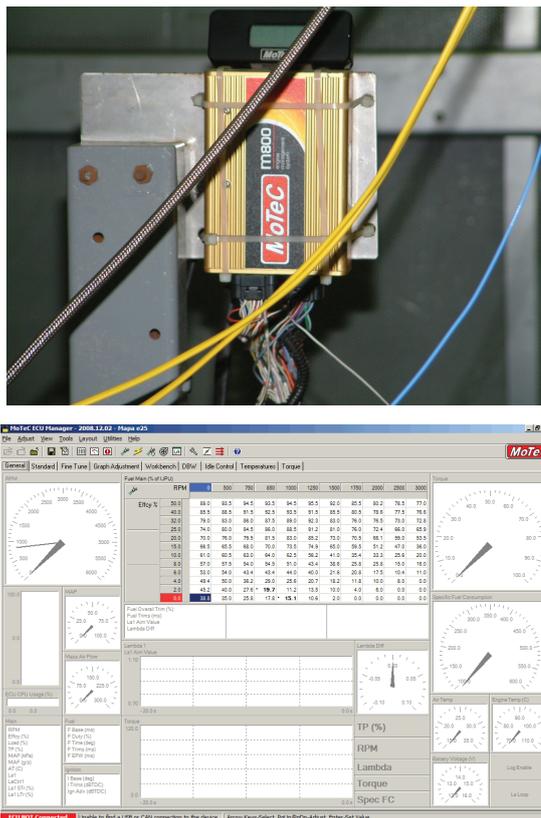


Figura 4.10 – Central programável e sua tela para otimização do mapa de combustível.

4.7. MEDIÇÃO DE EMISSÕES

Pretende-se avaliar as emissões de poluentes durante a realização dos ensaios, com o intuito de observar as tendências de redução ou aumento, com os combustíveis ensaiados. Nota-se que a legislação de emissões para veículos considerados leves exige a realização de ensaios em dinamômetro de chassi, com equipamentos específicos, segundo a Norma ABNT NBR 6601. Isso não invalida o caráter investigativo em banco de provas de motor, uma vez que as tendências consistentes observadas poderão se repetir nos ensaios de emissões em dinamômetro de chassi. Dessa forma, será adaptado um analisador de gases de escapamento, normalmente utilizado para medições on board em veículos, o Horiba OBS 2200, para avaliação dos poluentes legislados, CO, THC, NO_x, além do CO₂, atualmente não legislado, porém gás que contribui para o efeito estufa. As Figuras 4.11 e 4.12 mostram o equipamento Horiba OBS 2200, bem como adaptação necessária para realizar coleta dos gases no banco de provas.



Figura 4.11 – Equipamento para medição de emissões, Horiba OBS 2200.



Figura 4.12 – Adaptação para coleta dos gases em banco de provas.