

## CONJUNTO DIDÁTICO PARA O ESTUDO DO SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR EM MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

**Marcos Antonio de Carvalho Guedes**<sup>2</sup> – marcos.guedes@fatec.sp.gov.br  
**Armando Antonio Maria Laganá**<sup>1</sup> – lagana@lsi.usp.br  
**Daniel Silva Ferreira Bruno**<sup>1</sup> – dsfb4ws@gmail.com  
**Felipe Serafim Albaladejo**<sup>2</sup> – serafim@lsi.usp.br  
**Fabio Delatore**<sup>2</sup> – f.delatore@terra.com.br  
**Luiz Vasco Puglia**<sup>2</sup> – lvpuglia@terra.com.br

<sup>1</sup> Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Av. Professor Luciano Gualberto, 158- travessa 3, sala A1-46 LSI

<sup>2</sup> Faculdade de Tecnologia de Santo André  
Rua Prof. Justino Paixão, nº150 – Centro  
CEP 09020-130 – Santo André, SP

**Resumo:** Com o crescimento e desenvolvimento da eletrônica embarcada, foi possível melhorar o rendimento dos veículos, conciliando economia de combustível e emissões de gases. O sistema de admissão de ar em motores a combustão interna ciclo Otto é um dos sistemas mais importantes e fundamentais ao veículo. O presente artigo foca o desenvolvimento de um conjunto didático para o estudo do mesmo, de forma a familiarizar o aluno com o funcionamento do sistema de admissão de ar e com a eletrônica embarcada utilizada, abrangendo sensores de entrada como o MAP (Manifold Absolute Pressure), o MAF (Mass Air Flow), o TPS (Throttle Position Sensor) e o pedal do acelerador. Através de um microcontrolador PIC16F877A, foi desenvolvido todo o software de gerenciamento eletrônico do sistema, para controlar o atuador da Válvula Borboleta e disponibilizar no display os parâmetros gerados pelos sensores (Pressão, Temperatura, Fluxo de massa de ar, TPS, rotação da Turbina e Pedal). Em conjunto com este sistema existe um gerador de vácuo (turbina de um aspirador de pó), cuja rotação é controlada por outro microcontrolador com a mesma nomenclatura, com o intuito de aproximá-lo a um sistema real automotivo. O projeto foi distribuído em uma arquitetura descentralizada a fim de tornar o sistema mais didático, dividindo-o em dois módulos de controle: o de rotação do gerador de vácuo e o de gerenciamento do sistema de admissão de ar, havendo entre os dois microcontroladores uma comunicação SPI (Serial Peripheral Interface).

**Palavras-chave:** Sistema de Admissão de Ar, Eletrônica, Gerenciamento de Motores, Válvula Borboleta.

### 1 INTRODUÇÃO

O presente artigo apresenta o desenvolvimento de um conjunto didático para o ensino de eletrônica automotiva, onde mais especificamente simula o sistema de admissão de ar da

injeção eletrônica de um motor a combustão interna ciclo Otto. Neste trabalho serão apresentados os objetivos desse conjunto didático a serem atingidos durante as aulas e também, a descrição do sistema (parte mecânica, circuitos eletrônicos, programas a serem desenvolvidos pelos alunos) e os resultados já obtidos.

A motivação para este trabalho decorre inicialmente do forte crescimento da produção de veículos no Brasil ocorrida na última década, ultrapassando a marca de 3 milhões de veículos/ano, e culminando em 2010 numa acirrada disputa com a Alemanha pela quarta posição mundial. Neste cenário, o corpo de engenharia tem aumentado significativamente. Porém quando comparado com outros países produtores de veículos é verificado que a engenharia encontra-se aquém do desejado, considerando a quantidade de veículos produzida. Esta situação é mais adversa ainda se for realizada esta análise, focada somente na área de eletrônica automotiva. Neste contexto a Escola Politécnica da USP (POLI-USP) e a FATEC Santo André têm dedicado esforços no desenvolvimento de uma *Unidade Eletrônica de Controle* (ECU) de um motor à combustão interna ciclo Otto, visando contribuir para a formação de recursos humanos na área de eletrônica automotiva, criando uma plataforma completa para futuros desenvolvimentos agregando mock-ups e dinamômetro ativo de bancada.

Adicionalmente a FATEC Santo André implantou o curso de tecnologia em Eletrônica Automotiva onde a grade curricular além de contemplar disciplinas de eletrônica como Eletrônica Digital, Eletrônica Analógica, Microcontroladores, Sensores e Atuadores Automotivos, Controle, Redes de Comunicação Automotiva e outros, contempla disciplinas voltadas para os veículos automotivos como Motores a Combustão Interna, Gerenciamento de Motores, Inspeção Veicular, Sistemas de Freios, Sistemas de Transmissão, Suspensão e Direção, Diagnose e outras.

Nesta direção, o conjunto didático para simulação do sistema de ar foi desenvolvido com o objetivo de atender o conteúdo das disciplinas de Microcontroladores, Sensores e Atuadores Automotivos, Controle e Motores de Combustão Interna I do curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os motores de combustão interna de ignição por centelha necessitam, por princípio, de algum tipo de controle sobre a formação e a queima da mistura ar/combustível. As soluções iniciais empregavam componentes mecânicos (carburador e platinado), porém apresentavam baixo rendimento em relação ao consumo de combustível e emissões de poluentes, e com o crescimento da frota mundial, tornou-se necessário regulamentar o nível de emissão de poluentes pelos veículos. A partir desse momento e também pelo crescimento da indústria de semicondutores, iniciou-se a adoção de sistemas eletrônicos de controle do motor. Atualmente, a adoção de sistemas eletrônicos de controle é encontrada em todos os sistemas do veículo, em sistemas de segurança (freios ABS, controle de estabilidade), em sistemas de conforto (sistemas de climatização eletrônicos, controle de portas) e sistemas de entretenimento (conectividade sem fios, capacidade de assistir vídeos).

A unidade de gerenciamento dos motores (ECU – *Electronic Control Unit*) a combustão interna, é capaz de controlar a formação e a queima da mistura ar/combustível. A ECU recebe os sinais dos sensores do motor, permitindo seu funcionamento, então às informações dos sensores são processadas pela ECU, e usando estratégias de controle implementadas por software, determinam que parâmetros ou atuadores devem ser utilizados para garantir o funcionamento ótimo do motor.

Os sistemas eletrônicos de controle de motor são sistemas embarcados, ou seja, representam uma parte do produto com o qual o usuário final não interage diretamente (GUERROAUT & RICHTER, 2005).

Abaixo estão algumas das características dos sistemas computacionais embarcados (BERGER, 2001) (WUYTS *et al.*, 2005):

- Empregados em tarefas específicas;
- Possuem ampla variedade de arquitetura de processadores disponível;
- São sensíveis ao custo final do produto;
- Possuem restrições temporais na execução de tarefas;
- Implicações de falhas no software são mais severas do que em desktops;
- Possuem restrições em relação ao consumo de energia;
- Usualmente devem operar sob condições de ambiente extremos;
- Possuem menos recursos de sistema quando comparados aos computadores pessoais, principalmente em disponibilidade de memória (RAM e ROM) e capacidade de processamento.

Entre os aspectos mais importantes de um sistema embarcado estão a confiabilidade, a eficiência e o custo (LAPLANTE, 2003). A confiabilidade se refere ao correto funcionamento do sistema na presença de falhas e erros (DOUGLASS, 2002). A eficiência diz respeito a propriedades como consumo de energia, tamanho do código, tempo de execução e peso (GUERROAUT & RICHTER, 2005).

Com o avanço na tecnologia de circuitos integrados e microprocessadores, os sistemas embarcados tem se tornado mais sofisticados e complexos. Do ponto de vista de desenvolvimento de software embarcado, isso também se torna uma atividade custosa e propensa a erros (GUERROAUT & RICHTER, 2005) (HATTON, 2003) (KIMOUR & MESLATI, 2005) (NEEMA, 2004).

### **3 OBJETIVOS E ESTRATÉGIA PARA O PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.**

O conjunto didático para o estudo do sistema de admissão de ar em motores a combustão interna desenvolvido visa atingir os seguintes objetivos:

- Complementar conhecimento de motores a combustão interna com injeção eletrônica.
- Levar aos alunos experiência na aplicação e programação de microcontroladores na área automotiva.
- Complementar conhecimento e levar aos alunos experiência prática em sensores e atuadores automotivos;
- Preparar os alunos para desenvolvimento de trabalhos em semestres posteriores envolvendo mock-ups e veículos.

O nosso procedimento metodológico teve como estratégia para alcançarmos os objetivos propostos conceber um projeto a ser desenvolvido pelos alunos mais próximo da realidade do carro para aumentar sua motivação e que eles o desenvolvessem de uma forma seqüencial. Neste sentido escolhemos entre outras idéias este projeto que simula o sistema de admissão de ar, onde os alunos desenvolvem seqüencialmente as seguintes partes: controle da abertura da válvula borboleta, leitura dos sensores MAP e MAF utilizando tabelas, muito empregadas nas Unidades Eletrônicas de Controle (ECU) dos motores e finalmente inserindo o controle de rotação da turbina utilizada.

## 4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

### 4.1 Descrição geral

A visão geral do conjunto didático de admissão de ar pode ser observada através do diagrama de blocos apresentado pela Figura 1. O conjunto didático é formado pela válvula borboleta e pedal eletrônico (*drive by wire*), sistema gerador de vácuo (obtido a partir de uma turbina de um aspirador de pó), sistema de aquecimento (obtido utilizando um secador de cabelo), sensores de pressão e temperatura (MAP), sensor de fluxo de massa de ar (MAF) e sistema eletrônico de controle de potência.

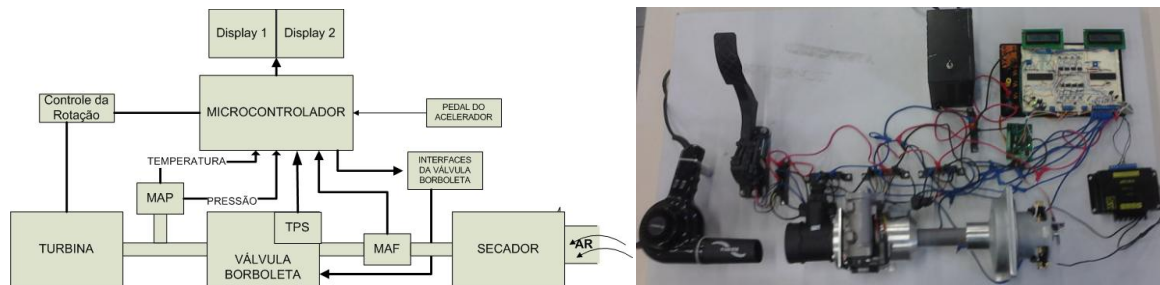


Figura 1 – Diagrama de blocos e visão geral do conjunto didático.

### 4.2 Descrição geral dos circuitos de controle

Os circuitos eletrônicos de controle do sistema de gerenciamento de admissão são compostos basicamente por dois microcontroladores PIC16F877A, sendo um para controle do sistema de admissão propriamente dito e outro para o controle da rotação da turbina. Existem ainda dois displays LCD e mais duas opções de circuitos de potência para realizar o acionamento da válvula borboleta (*driver Darlington*, com os transistores BD137 e 2N3055; *driver ponte H* Freescale CI MCP33926).

O diagrama de blocos do circuito eletrônico descrito, fornecendo uma visão geral do mesmo, pode ser visualizado pela Figura 2 e pela Figura 3, que apresenta o circuito eletrônico desenvolvido.

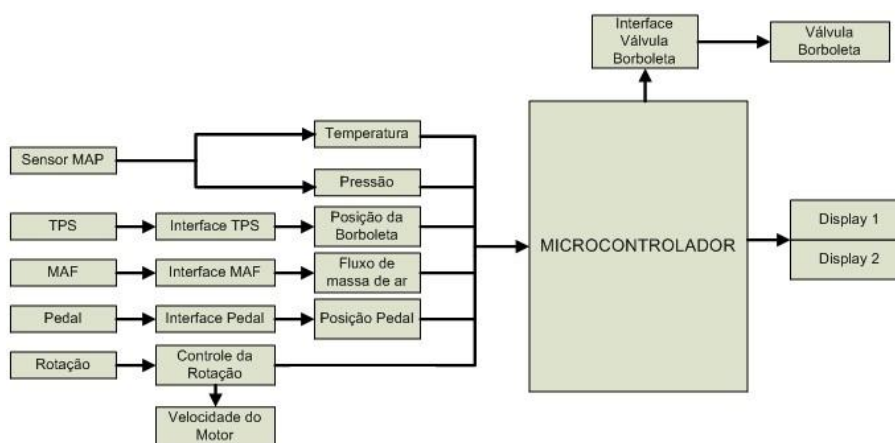


Figura 2 – Diagrama em blocos do controle do sistema de admissão de ar.

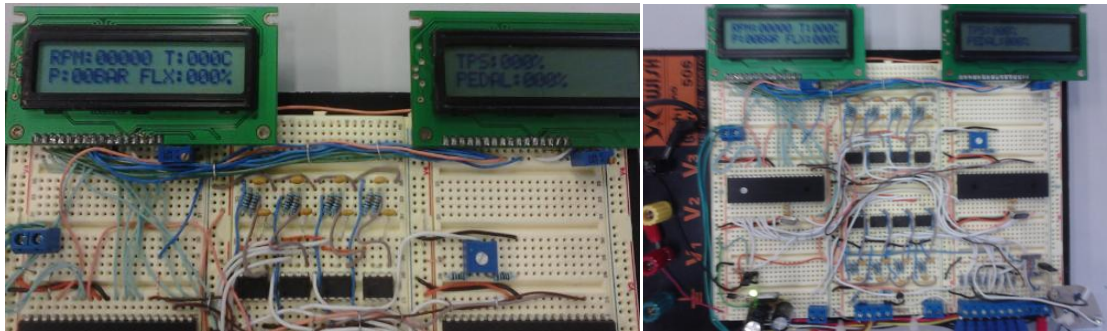


Figura 3 – Circuito eletrônico desenvolvido.

### 4.3 Funcionamento e roteiro do projeto

O funcionamento consiste em partindo de uma tensão gerada pelo pedal comandar, através de um microcontrolador e circuito de potência, a abertura da Válvula Borboleta, através da qual é controlado o fluxo de massa de ar admitido por um motor. O fluxo citado é gerado por depressão a partir de uma turbina integrante de um aspirador de pó de 1300 Watts. A rotação desta turbina será controlada por outro microcontrolador que controlará o ângulo de condução dos Triacs. Em paralelo é realizada a medida da temperatura e da pressão do ar admitido através do sensor MAP e o fluxo de massa de ar através do sensor MAF. Desta forma o aluno no desenvolvimento do seu projeto seguirá a seqüência mostrada na Figura 4.

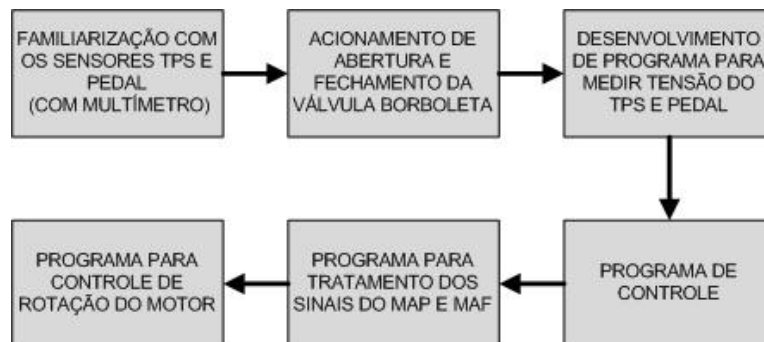


Figura 4 – Seqüência de desenvolvimento do projeto a ser seguido pelo aluno.

Nota-se que inicialmente o aluno irá se familiarizar com as características de resistência e tensão tanto do sensor de posição da válvula borboleta (TPS) como do pedal, sem utilizar o microcontrolador.

Em um segundo momento, o aluno começa a se familiarizar com o controle da abertura da válvula borboleta gerando sinais PWM com duty cycle diferentes, sendo 90% para abrir, 10% para fechar e 50% para manter parado, fechando e abrindo de forma compassada a válvula borboleta.

Posteriormente, o aluno passa a dar início à medição simultânea da posição da válvula através do sinal de TPS, mostrando o resultado dessa medição no display. Finalmente, será desenvolvido o programa básico de controle, onde a partir do sinal analógico do pedal faz-se uma conversão (analógica/digital), criando-se assim o sinal de referência para o posicionamento da válvula borboleta.

Uma vez desenvolvido o programa de controle, o aluno passa a se dedicar aos programas para medir e mostrar nos displays os valores de pressão e do fluxo de massa do ar admitido que são baseados pelo datasheet de cada sensor.

Para finalizar, o aluno irá focar no desenvolvimento de um programa para realizar o controle de rotação da turbina a partir da posição da válvula borboleta.

## 5 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

O software desenvolvido utiliza a linguagem C e pode ser dividido em três blocos. O primeiro que pode ser visualizado na Figura 5 controla a abertura da válvula borboleta em função da posição do pedal. Fundamentalmente é criada a partir do sinal analógico uma referência para um novo posicionamento da válvula borboleta. Este é comparado com a posição atual. No caso de estarem dentro de um intervalo determinado, os valores do display referentes à posição do pedal e da válvula borboleta são atualizados e feita nova medida da posição do pedal. No caso de ser maior, é aumentado o duty cycle do sinal PWM e monitorada a abertura até atingir o intervalo estabelecido, repetindo-se a situação já descrita. No caso de ser menor, o duty cycle será diminuído e realizado procedimento análogo.

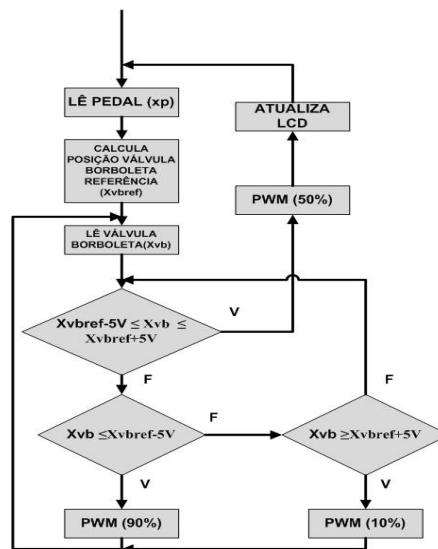


Figura 5 – Fluxograma do software do primeiro bloco.

O segundo bloco, no qual o fluxograma pode ser visualizado na Figura 6, basicamente consiste em converter os sinais analógicos dos sensores MAP e MAF para digital, estabelecer um indexador para matrizes pré-determinantes e amostrar os resultados no segundo display.

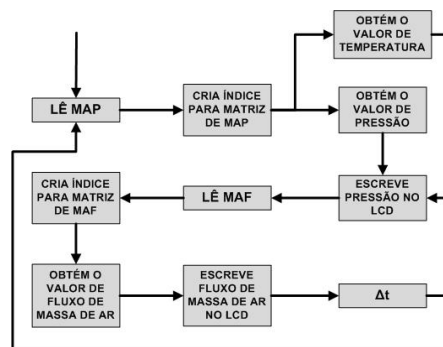


Figura 6 – Fluxograma de software do segundo bloco.

Finalmente o terceiro bloco que pode ser visualizado na Figura 7, mostra o fluxograma para controle da rotação determinando o ângulo de condução dos Triacs partindo da posição da válvula borboleta, através de comunicação SPI com o primeiro microcontrolador.

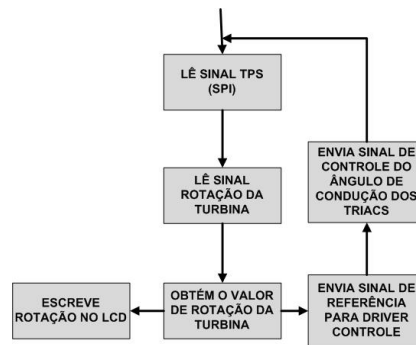


Figura 7 – Fluxograma de software do terceiro bloco.

## 6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos concluir pelo conteúdo apresentado que os objetivos propostos são plenamente atingidos. O aluno ao realizar este projeto antecipará alguns conhecimentos relativos à injeção eletrônica que serão importantes na disciplina Motores a Combustão Interna II quando ele estudará mais detalhadamente o motor com injeção eletrônica, principalmente quando ele aprender a expressão para o cálculo da massa do ar admitido a partir das medidas de pressão e temperatura. Do ponto de vista do aprendizado de microcontroladores o aluno desenvolve um programa que interage com diversas partes do sistema de injeção eletrônica do motor como válvula borboleta, sensor MAP, sensor MAF e sensor de posição da válvula borboleta. Com isto obtém uma boa experiência inicial em programação de microcontroladores, considerando que para a maioria dos alunos este é o primeiro contato com este componente.

No futuro imediato o roteiro apresentado será ampliado, passando a incluir também o estudo de toda a dinâmica envolvida no sistema de controle e gerenciamento do motor, permitindo o levantamento de funções de transferência, modelamento matemático de sistemas e desenvolvimento de controladores, capazes de atender os requisitos de mudanças de *setpoint* e de *tracking*, além da rejeição de distúrbios externos, geralmente encontradas em sistemas de controle aplicados ao gerenciamento do motor.

Dessa forma, a partir dos objetivos apresentados na seção 3, serão adicionados ao sistema desenvolvido, estudos relacionados a sistemas de controle e servomecanismos aplicados ao gerenciamento do motor.

A partir do exposto nas seções anteriores, os resultados já obtidos com os alunos foram positivos, facilitando de uma forma geral, o entendimento do funcionamento do gerenciamento do motor, bem como dos sensores e atuadores necessários para a realização do seu controle.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERGER, Arnold S., Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools and Techniques, CMP Books, 1st edition, 237p, Dec. 2001.
2. DOUGLASS, Bruce Powel, Real-Time Design Patterns: Robust Scalable Architecture for Real-Time Systems, Addison-Wesley Professional, 528 pages, Oct. 02.
3. GUERROAUT, Abdelaziz, RICHTER, Harald, A Formal Approach for Analysis and Testing of Reliable Embedded Systems, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, v. 141, n. 3, 91-106, Dec. 2005.

4. HATTON, Les, Embedded system paranoia: a tool for testing embedded system arithmetic, Computing Laboratory, University of Kent, Information and Software Technology, v. 47, n. 8, p. 555-563, June 03.
5. KIMOUR, Mohamed T., MESLATI, Djamel, Deriving objects from use cases in real-time embedded systems. Information & Software Technology 47(8): 533-541 June 05.
6. LAPLANTE, Phillip A., Real-Time Systems Design and Analysis, Wiley-IEEE Press; 328 p., 5 edition, Ap. 04, September 03.
7. NEEMA, Sandeep , Bapty, Ted, Shetty , Shweta e Nordstrom Steven, Autonomic fault mitigation in embedded systems, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 17, Issue 7, October 2004, Pages 711-725 Autonomic Computing Systems
8. WUYTS, Roel, DUCASSE, Stephane, e NIERSTRASZ, Oscar, A data-centric approach to composing embedded, real-time software components. Journal of Systems and Software — Special Issue on Automated Component-Based Software Engineering, 74(1):25–34, 2005.



## **DIDATIC KIT FOR THE STUDY OF INTAKE AIR SYSTEM IN INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

**Abstract:** *With the growth and development of the embedded electronic in automobiles, it was possible to improve efficiency of the vehicles, conciliating fuel economy and gas emission. The intake air system in internal combustion engine of Otto cycle is one of the most important and fundamental system to vehicle. The present paper focus on development of a didactic kit for the study of it, in order to familiarize the reader with all the system and embedded electronic used in a intake air system, using sensors like MAP (Manifold Absolute Pressure), MAF (Mass Air Flow), TPS (Throttle Position Sensor) and the position of gas pedal. Through of a microcontroller PIC16F877A, was developed all the electronic management software of the system, to control the throttle body actuator and show in the display the parameters generated by sensors (Pressure, Temperature, Mass Air Flow, TPS, turbine rotation and position of gas pedal). Together with this system there is a vacuum cleaner turbine whose rotation is controlled by other microcontroller with the same nomenclature, to generate vacuum in the system to approximate it to real automotive system. The project was distributed in a decentralized architecture to become the system more didactic, dividing it in two control modules: the turbine rotation and the intake air system management, there between the two microcontrollers a SPI (Serial Peripheral Interface) communication.*

**Key-words:** *Intake Air System, Electronic, Engine Management, Throttle Body.*