



## **EFEITOS DA TEMPERATURA, PRESSÃO E UMIDADE DO AR ATMOSFÉRICO NA PERFORMANCE DE UM VEÍCULO**

### **S. M. C. Soares**

FIAT Automóveis S.A.  
Divisão de Testes de Motores  
Rodovia Fernão Dias, BR 381, km 429  
32530-000 – Betim, MG, Brazil  
E-Mail: sandro.soares@fiat.com.br

### **J. R. Sodré**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Dom José Gaspar, 500  
30535-610 – Belo Horizonte, MG, Brazil  
E-Mail: ricardo@pucminas.br

***Resumo.** Este artigo descreve a influência das condições atmosférica na performance de um veículo, testado na estrada sob diferentes condições de temperatura, pressão e umidade ambiente. O parâmetro de avaliação da performance foi o tempo de aceleração. O veículo apresentava um motor de quatro cilindros a gasolina, com comprimento da tubo de admissão variável e sistema de injeção de combustível multiponto. O veículo foi testado ao nível do mar e na altitude de 827 m acima do nível do mar, com a temperatura ambiente variando de 20 a 30 °C. Foram registrados os tempos requeridos para o veículo acelerar de 80 a 120 km/h, 40 a 100 km/h e para atingir as distâncias de 400 m e 1000 m, tendo como ponto de partida a velocidade de 40 km/h. Os resultados mostram que a performance do veículo é mais afetada por variações na pressão atmosférica que na temperatura ambiente. Uma diferença média de 3% foi observada no tempo para necessário para o veículo acelerar até a distância de 1000 m partindo da velocidade de 40 km/h entre as pressões atmosféricas testadas, para uma temperatura fixa.*

**Palavras-chave:** performance, aceleração, pressão atmosférica, temperatura.

## **1. INTRODUÇÃO**

Sabe-se que as condições atmosféricas afetam a performance de motores de combustão interna. Quando um veículo trabalha sob condições atmosféricas diferentes daquela para a qual foi otimizado, sua performance será diferente daquela especificada pelo fabricante. A influência das condições atmosféricas na performance de um veículo pode ser sentida pelo usuário principalmente através da resposta do veículo a acelerações e de variações no consumo de combustível. Estas variações são observadas mediante grandes variações de altitude e temperatura.

Muitos dos trabalhos realizados para investigar a influência das condições atmosféricas na performance de motores referem-se a aplicações aeronáuticas. Nestas situações, as grandes variações de altitude influenciam consideravelmente a potência desenvolvida pelo motor. Os trabalhos dedicados à indústria automotiva geralmente envolvem experimentos realizados em bancada dinamométrica, com os resultados sendo obtidos para variações isoladas de parâmetros ambientais, como pressão, temperatura e umidade. Desta forma uma melhor compreensão da influência de cada parâmetro individualmente pode ser obtida. Contudo, pouca informação sobre a influência conjunta daqueles parâmetros em situações reais na estrada são disponíveis.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar resultados de uma investigação sobre a influência das condições atmosféricas na performance de um veículo. O parâmetro de performance observado foi o tempo de aceleração, para variações em pressão, temperatura e umidade atmosférica.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Um aumento da pressão atmosférica acarreta em um aumento da massa específica do ar, aumentando assim a massa de ar induzida no motor. Ocorre deste modo um incremento na eficiência volumétrica do motor, aumentando também a potência desenvolvida (Pulkrabek, 1997).

Elevadas temperaturas podem ocasionar evaporação estratificada do combustível injetado na câmara. Cada componente do combustível evapora a uma temperatura específica, causando variações cíclicas na combustão nos cilindros. Por outro lado, para baixas temperaturas somente parte do combustível é vaporizado, aumentando a quantidade de combustível não queimado e, assim diminuindo a potência desenvolvida pelo motor (Pulkrabek, 1997). Ainda, a temperatura do ar admitido influencia na velocidade da chama durante a combustão e, conseqüentemente, na potência desenvolvida (Giacosa, 1986).

Mistura combustível/ar pré-aquecida sob baixa velocidade rotacional é favorável à combustão. Sob altas rotações, a mistura pré-aquecida prejudica a eficiência volumétrica do motor (Chiu and Horng, 1992).

Umidade do ar é um parâmetro que influencia a performance de um motor, embora sua influência não seja comparável às da pressão e temperatura atmosférica (Redsell et al., 1993). Partículas de água no ar admitido pelo motor são vaporizadas sob as altas temperaturas no cilindro e se expandem, aumentando a pressão local. Por outro lado, umidade do ar elevada é desfavorável à combustão, pois diminui a velocidade da chama (Giacosa, 1986).

## **3. EXPERIMENTOS**

### **3.1. Equipamento and Instrumentação**

Um veículo equipado com um motor de quatro cilindros e sistema de injeção de combustível multiponto, com comprimento do tubo de admissão variável e tempo de abertura da válvula de admissão variável, utilizando gasolina com combustível, foi utilizado nos testes. A temperatura ambiente foi medida através de um termopar tipo J instalado no teto do veículo. A temperatura do ar admitido foi medida por três termopares tipo K, um localizado antes do filtro de ar, outro após o filtro, e o terceiro no corpo da borboleta do acelerador. Outros termopares do tipo K foram instalados no sistema de arrefecimento, próximo ao cabeçote, na entrada e na saída do radiador, no sistema de combustível, próximo aos injetores, e no cárter. Um transdutor de pressão foi instalado no sistema de admissão.

Os seguintes parâmetros foram também monitorados durante os testes: vazão mássica do ar admitido, tempo de injeção do combustível, ângulo de ignição, posição da válvula borboleta, leitura do sensor lambda, pressão do ar de admissão e velocidade de deslocamento do veículo. Um sensor ótico foi usado para medir a distância percorrida que, junto ao tempo registrado, permitiu a determinação da velocidade do veículo. O sensor foi montado na traseira no veículo, para minimizar a força de arrasto adicional devido à sua introdução. As distância ao longo da estrada e a inclinação do percurso (0 grau) foram certificados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia). As condições atmosféricas nos locais de teste - temperatura, umidade, pressão, altitude e velocidade e direção do vento - foram registradas.

### **3.2. Procedimento Experimental**

Os testes foram conduzidos a partir da velocidade de deslocamento do veículo de 40 km/h, com o veículo em quarta marcha, até que a distância de 1000 m fosse percorrida. Os testes ocorreram em duas diferentes localizações, uma ao nível do mar e a outra a 827 m acima do nível do mar. Ao nível do mar os testes transcorreram nas temperaturas de 20 °C e 25 °C, ao longo de um mesmo dia. Ao longo de um outro dia, na altitude de 827 m acima do nível do mar, os testes ocorreram nas temperaturas de 20 °C, 25 °C e 30 °C. Os testes foram realizados com deslocamentos do veículo em direções contrárias ao longo do trajeto para minimizar os efeitos do vento atuante nos resultados. Assim, para cada condição atmosférica testada, 5 testes transcorreram com o veículo se deslocando em uma direção e outros cinco com o veículo indo na direção oposta.

Como procedimento de teste, a velocidade do veículo era estabilizada em  $39 \pm 0.5$  km/h nos primeiros 500 m percorridos na pista plana e reta. Então, o acelerador era totalmente pressionado e, quando a velocidade do veículo atingia 40 km/h, o sistema de aquisição de dados automaticamente iniciava o registro do tempo, distância percorrida, velocidade e de todos os outros parâmetros monitorados, até a distância de 1000 m. Os dados eram gravados a cada 100 m percorridos, ou a cada acréscimo de 10 km/h na velocidade do veículo. Permitiu-se, assim, a avaliação do tempo exigido pelo veículo para atingir as velocidades de 100 km/h partindo de 40 km/h e 120 km/h a partir de 80 km/h, e para percorrer as distâncias de 400 m e 1000

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados mostrados são a média de dez testes realizados em cada condição atmosférica. A Fig. 1 mostra que o tempo requerido pelo veículo para atingir 100 km/h partindo da velocidade de 40 km/h sob carga máxima variou consideravelmente somente para diferentes altitudes (e, assim, diferentes pressões atmosféricas), apresentando pouca variação quando a temperatura e umidade mudaram na mesma altitude. Pode ser observado que o tempo de aceleração do veículo no intervalo de velocidades investigado aumenta com o aumento da temperatura e diminui com o aumento da pressão. A vazão mássica de ar admitido registrada foi aproximadamente 200 g/min maior na temperatura de 20 °C que nas temperaturas de 25 °C e 30 °C. Na altitude de 827 m acima do nível do mar a vazão mássica induzida para o motor foi entre 100 e 350 g/min menor que nos testes ao nível do mar. Quando uma quantidade de ar maior é admitida pelo motor, maior é a potência desenvolvida, o que parcialmente explica porque o veículo foi mais rápido sob temperaturas mais baixas e pressões mais elevadas. Contudo, a diferença de tempo observada para o intervalo de velocidades testado não deve ser somente atribuído aos processos no interior dos cilindros do motor, mas também à atuação da força de arrasto atuante no veículo. A 827 m acima do nível do mar foi necessário 317,1 m para o veículo atingir 100

km/h partindo de 40 km/h, enquanto ao nível do mar o veículo percorreu somente 290,9 m para a mesma variação de velocidade. Estes resultados são sumarizados na Tabela 1.

Figura 2 mostra os resultados do tempo requerido pelo veículo para atingir 120 km/h, partindo de 80 km/h. Neste intervalo de velocidades, o veículo foi mais estável que no intervalo de 40 a 100 km/h, desenvolvendo maior potência, e as diferenças de tempo entre as condições atmosféricas testadas foram maiores. Como no caso anterior, a diferença de tempo no intervalo de velocidades não deve ser atribuído somente a variações na potência desenvolvida pelo motor sob a influência das condições atmosféricas, mas também à força de arrasto atuante sobre o veículo. Neste intervalo de velocidades, o veículo percorreu uma distância média de 311,7 m na altitude de 827 m acima do nível do mar e, ao nível do mar, o veículo percorreu 281,4 m. Os resultados obtido neste intervalo de velocidades são mostrados na Tabela 2.

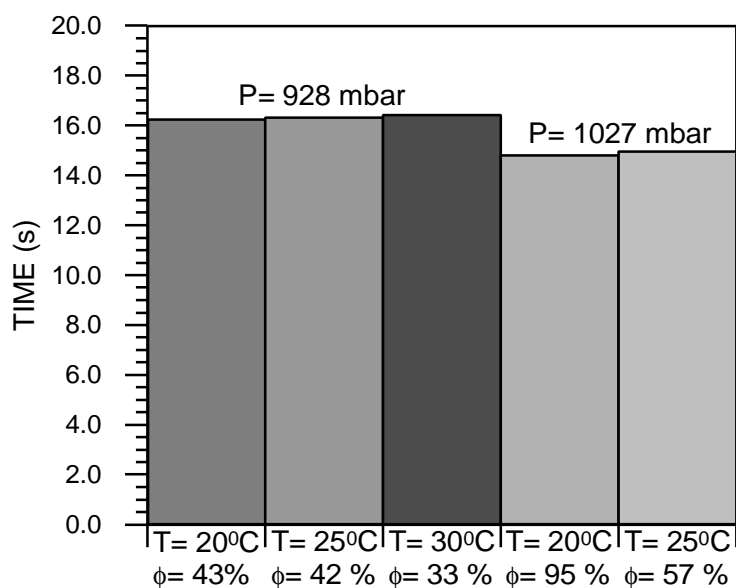


Figura 1- Tempo de aceleração de 40 km/h a 100 km/h.

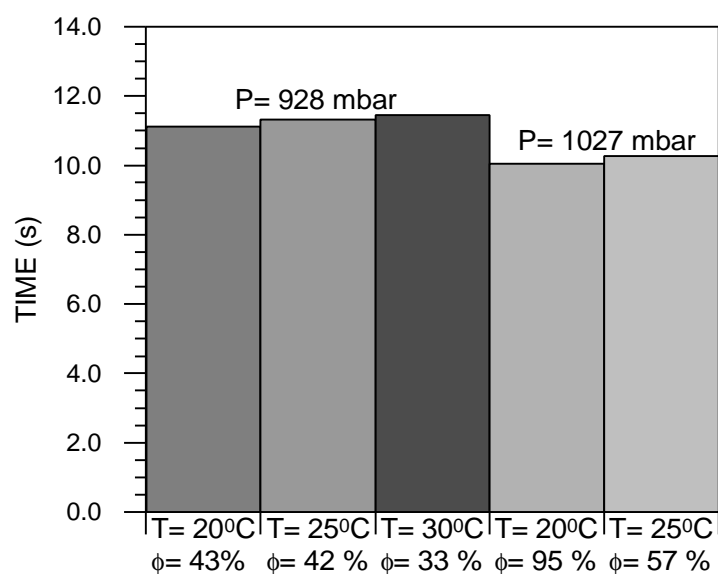


Figura 2- Tempo de aceleração de 80 km/h a 120 km/h.

Tabela 1- Dados dos testes de 40 a 100 km/h.

Teste	T (°C)	P (mbar)	$\phi$ (%)	t (s)	Dist. (m)
1	20	1026	95	14.80	165.4
2	25	1027	57	14.96	165.8
3	20	927	43	16.24	180.9
4	25	929	42	16.31	182.0
5	30	926	33	16.42	182.2

Tabela 2- Dados dos testes de 80 a 120 km/h.

Teste	T (°C)	P (mbar)	$\phi$ (%)	t (s)	Dist. (m)
1	20	1026	95	10.05	278.7
2	25	1027	57	10.27	284.1
3	20	927	43	11.11	307.7
4	25	929	42	11.31	312.3
5	30	926	33	11.44	315.2

Figura 3 mostra a diferença entre o tempo exigido pelo veículo para atingir distância específicas sob diferentes pressões atmosféricas e a uma temperatura fixa. O resultado mostra que a pressão atmosférica exerce menor influência no tempo para atingir distâncias mais curtas. Uma possível explicação vem das condições transitórias do motor neste estágio, fazendo com que as variações estabelecidas pelos sistemas de controle do motor sejam mais influentes que a pressão atmosférica.

Como observado nos testes anteriores, os efeitos da temperatura ambiente no tempo necessário para o veículo atingir a distância de 400 m foram menores que os efeitos da pressão atmosférica (Fig. 4). O tempo para o veículo atingir 400 m aumenta à medida que a temperatura ambiente é aumentada, e diminui para pressões atmosféricas mais elevadas. Estes resultados são sumarizados na Tabela 3.

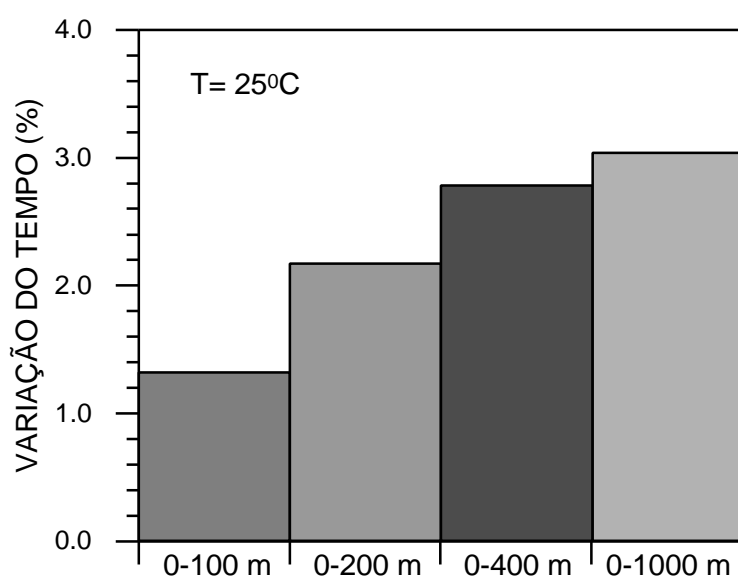


Figura 3- Diferença no tempo de aceleração de 929 a 1027 mbar.

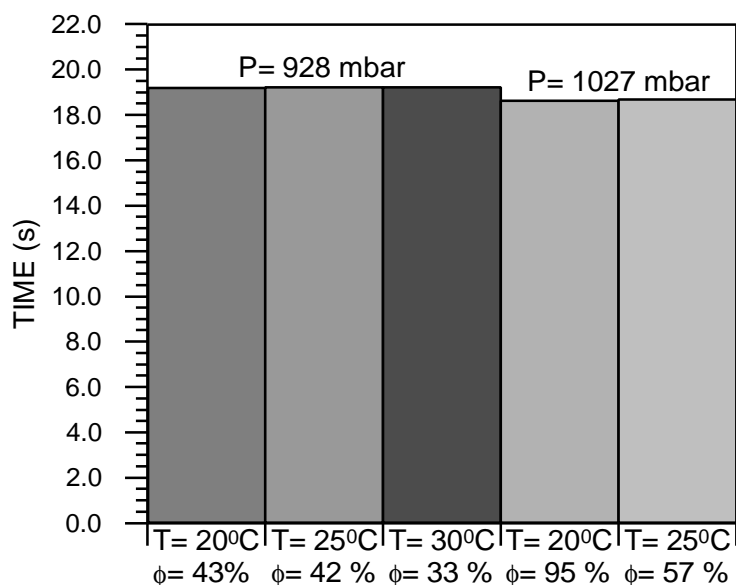


Figura 4- Tempo de aceleração de 0 a 400 m.

Tabela 3- Dados dos testes de 0 a 400 m.

Teste	T (°C)	P (mbar)	φ (%)	t (s)	Dist. (m)
1	20	1026	95	14.80	400
2	25	1027	57	14.96	400
3	20	927	43	16.24	400
4	25	929	42	16.31	400
5	30	926	33	16.42	400

Figura 5 mostra o tempo requerido pelo veículo para atingir 1000 m. A diferença de tempo de aceleração entre uma condição atmosférica e outra foi geralmente maior que aquelas observadas para o veículo atingir a distância de 400 m. As tendências observadas foram basicamente as mesmas que no caso anterior, com períodos mais longos requeridos para temperaturas mais elevadas e pressões mais baixas. Estes resultados são sumarizados na Tabela 4.

Tabela 4- Dados dos testes de 0 a 1000 m.

Teste	T (°C)	P (mbar)	φ (%)	t (s)	Dist. (m)
1	20	1026	95	14.8	1000
2	25	1027	57	14.96	1000
3	20	927	43	16.24	1000
4	25	929	42	16.31	1000
5	30	926	33	16.42	1000

Um aumento na temperatura é seguido por uma diminuição na umidade, como mostrado nas Figs. 1 a 5, mas não muito pode ser dito a respeito da influência deste último parâmetro na performance do

veículo a partir dos resultados obtidos neste trabalho. Como comentado anteriormente, sua influência na performance do motor depende das condições no interior do cilindro, mas estima-se que é modesta em relação às influências da temperatura e da pressão. Uma vez que a umidade não foi medida no sistema de admissão do motor mas somente na atmosfera, não são feitas conclusões sobre seus efeitos na performance do veículo.

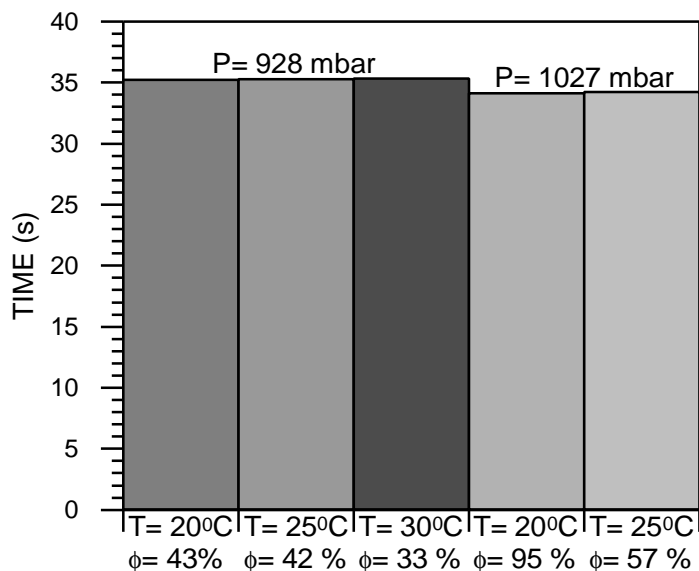


Figura 5- Tempo de aceleração de 0 a 1000 m.

## 5. CONCLUSÕES

- Observou-se que a pressão é o parâmetro atmosférico que mais influencia a velocidade de aceleração do veículo, em comparação com a temperatura e umidade. Sua influência foi mais evidente para testes no intervalo de velocidades de 80 a 120 km/h, quando maior potência foi desenvolvida pelo motor. A diferença média no tempo requerido pelo veículo para percorrer as distâncias de 400 e 100 m a 827 m acima do nível do mar foi de 3 %.
- Os resultados mostram que temperaturas ambientes mais elevadas aumentam o tempo de aceleração. Foi encontrada uma diferença máxima de 0,4 % no tempo requerido pelo veículo para atingir 1000 m para um intervalo de temperatura de 5 °C, mostrando que a temperatura não exerce uma influência tão importante na performance do veículo como a pressão atmosférica.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FIAT Automóveis S.A., pelo apoio financeiro a este projeto.

## 8. REFERÊNCIAS

- Pulkrabek, W. W., 1997, "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine", Prentice Hall, Inc..
- Giacosa, D., 1986, "Motori Endotermici", 2 ed., Milão, Ulrico Hoepli Editore S.p.A. (In Italian)

- Chiu, C.P., and Horng, R.F, 1992, "Effects of Intake Air Temperature and Residual Gas Concentration on Cycle-to-Cycle Combustion Variation in a Two-Stroke Cycle S.I. Engine Equipped with an Air – Assisted Fuel Injection System.", JSME International Journal, Vol. 37, n.4, pp. 957-965.
- Redsell, M., Lucas, G.G. and Ashford, N.J. , 1993, "Factors Affecting Car Fuel Consumption ", Proc. Instn. Mechanical Engineers, Vol. 207.

## 7. NOMENCLATURA

P- pressão (mbar)

t- tempo (s)

T- temperatura (°C)

$\phi$ - umidade relativa (%)

## EFFECTS OF ATMOSPHERIC TEMPERATURE AND PRESSURE ON THE PERFORMANCE OF A VEHICLE

### S. M. C. Soares, M.Sc.

FIAT Automobile S.A.

Engine Engineering Division

Rodovia Fernão Dias, BR 381, km 429

32530-000 – Betim, MG, Brazil

E-Mail: sandro.soares@fiat.com.br

### J. R. Sodr , Ph.D.

Pontifical Catholic University of Minas Gerais

Department of Mechanical Engineering

Av. Dom José Gaspar, 500

30535-610 – Belo Horizonte, MG, Brazil

E-Mail: ricardo@pucminas.br

**Abstract.** *This paper describes the influence of the atmospheric conditions on the performance of a vehicle. Tests were carried out on the road, under different conditions of ambient temperature, pressure and humidity, measuring the acceleration time. The tested vehicle featured a gasoline-fuelled four-cylinder engine, with variable intake manifold length and multi-point fuel injection. The vehicle was tested at sea level and at the altitude of 827 m above sea level, with the ambient temperature ranging from 20 to 30 °C. The time required for the vehicle to go from 80 km/h to 120 km/h, from 40 km/h to 100 km/h, and to reach the distances of 400 m and 1000 m leaving from the initial speed of 40 km/h at full acceleration were recorded. The results showed the vehicle performance to be more affected by changes on the atmospheric pressure than on the temperature. An average difference of 3% on the time to reach 1000 m leaving from the speed of 40 km/h at full acceleration was found between the atmospheric pressures tested, for a fixed temperature.*

**Keywords:** vehicle performance, acceleration time, atmospheric pressure, atmospheric temperature.