



MAPEAMENTO DE PROSPECÇÃO SOBRE O USO DO FATOR DE CORREÇÃO APLICADO NA MEDIÇÃO DA POTÊNCIA LÍQUIDA EFETIVA DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Alexandre dos Santos de Melo¹, Mauricio Lerina Bonifati¹ e Lilian Lefol Nani Guarieiro^{1,2}

¹SENAI CIMATEC , 41650-010, Salvador, BA, Brasil

²INCT de Energia e Ambiente, UFBA, 40170-290 Salvador, BA, Brasil

E-mails: alexandre.melo91@hotmail.com, mauricio.bonifati@fieb.org.br,
lilian.guarieiro@fieb.org.br

RESUMO

Tendo em vista a necessidade das indústrias automotivas em desenvolver veículos para atender a projetos globais e a fim de garantir critérios de comparação entre ensaios realizados em diversos locais do mundo, as normas relacionadas a ensaios de motores (SAE J1349 e NBR 1585) exigem a utilização de um fator de correção nos dados obtidos nos ensaios. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o grau de importância da utilização do valor do fator de correção em ensaios de motores de combustão interna (MCI). Para tanto, foi realizada uma avaliação dos parâmetros críticos utilizados no cálculo do fator de correção, juntamente com um inventário da utilização deste fator em pesquisas acadêmicas. Observou-se que grande parte das pesquisas acadêmicas não utilizam o fator de correção nos ensaios em dinamômetros, o que demonstra que os resultados apresentados não podem ser comparados com outros ensaios realizados em diferentes condições atmosféricas.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve um aumento significativo na competitividade dentro da indústria automotiva tornado o mercado cada vez mais saturado. A busca por vantagem competitiva a partir do desenvolvimento de produtos globais que buscam a redução de custos e/ou acesso a mercados em desenvolvimento tem sido parte das estratégias das montadoras multinacionais [1].

Neste sentido, a necessidade das montadoras de desenvolver e ofertar veículos globais com novas tecnologias em motores, visando a redução de emissão de poluentes e a adequação às novas regras ambientais, exige que sejam realizados testes e ensaios de durabilidade que garantam as condições ideais de funcionamento durante todo o período previsto da vida útil do motor. Estes ensaios são realizados em laboratórios específicos, montados com equipamentos industriais desenvolvidos especificamente para ensaios de

motores. Estas instalações possuem um conjunto complexo de instrumentação, equipamentos e infraestrutura de apoio, montados em um ambiente adaptado ou construído exatamente para este fim. Assim, toda a infraestrutura deve funcionar de forma integrada para o laboratório poder funcionar corretamente, atendendo as diversas necessidades operacionais e normas regulamentadoras [2].

Os dinamômetros (Figura 1) são equipamentos capazes de medir o torque de um motor em suas diversas condições de funcionamento. Além do torque, uma bancada dinamométrica é capaz de medir e controlar diversos parâmetros de funcionamento do motor em conjunto com um robusto sistema de automação. Todos os testes são realizados em equipamentos de alto nível tecnológico e estão incorporados a sistemas complexos de automação e controle. Eles fazem com que o laboratório de ensaios de motores, a fim de realizar a simulação das diversas condições do funcionamento do motor a partir da aplicação de carga no volante do motor, opere em conjunto com uma gama de equipamentos da linha industrial trabalhando de forma dedicada aos testes [3].

Figura 26 - Laboratório de Dinamômetros de motores do SENAI CIMATEC.



Considerando o desenvolvimento global de veículos, os ensaios em seus motores precisam ser padronizados. Tal padronização se torna evidente, uma vez que quanto menor for a quantidade de modificações em um determinado produto que pretende atender diversos mercados em todo o mundo, menor será o custo de produção deste novo produto. Devido ao requisito de padronização, os laboratórios de ensaios em motores utilizam um fator de correção dos dados obtidos durante os testes, uma vez que as condições atmosféricas do local de funcionamento do MCI influenciam diretamente o comportamento do mesmo. O torque e a potência disponível em um MCI naturalmente aspirado estão diretamente relacionados com a densidade do ar admitido pelo motor utilizado no processo da combustão. Isto significa que, considerando a mistura sempre estequiométrica (relação ar/combustível próxima de 1), quanto maior a quantidade de moléculas de oxigênio admitida pelo motor, maior será a energia gerada na saída do mesmo [4]. Este comportamento influencia diretamente os resultados de torque e potência obtidos nos dinamômetros.

A pressão, umidade e temperatura do ar de entrada de um motor são fatores que afetam a vazão de massa de ar e da potência na saída no volante do motor [4]. Dessa forma, a fim de fornecer base mais precisa para as comparações e repetibilidade entre os ensaios de motores realizados em diferentes regiões do mundo, fatores de correção são usados para ajustar o valor de torque medido e valores de eficiência volumétrica para o padrão de condições atmosféricas. A Tabela 1 demonstra as condições padrões utilizadas para o cálculo do fator de correção.

Tabela 3- Valores padrões de condições atmosféricas [2]

pressão atmosférica	umidade relativa	Temperatura
1 bar	30 %	25 °C
750 mmHg		298 K


Não existem grandes barreiras tecnológicas para a injeção de combustível na câmara de combustão, entretanto, a potência que um MCI pode alcançar está limitada pela carga de ar que pode ser aspirado por ele. Sabe-se que a busca por um valor de eficiência volumétrica mais alto possível é uma meta importante no desenvolvimento de motores de alto desempenho, e o projeto de sistemas de admissão e escape, válvulas e passagens do cilindro afetam diretamente os resultados da combustão. A eficiência volumétrica de um motor tende a ser, em grande parte, independente da variação da pressão de ar. Entretanto, a massa de ar consumida tende a variar diretamente com a densidade, que é em si proporcional à pressão absoluta [2].

Os projetos de salas de dinamômetros preveem uma concepção de sistema de ventilação que mantenha uma pressão negativa reduzida dentro das salas. Esta estratégia é utilizada para prevenir a saída dos gases de escape para a sala de controle. Entretanto, este pequeno decréscimo não influencia nas condições de combustão. Essas variações de pressão estão diretamente relacionadas com a mudança do local de utilização do motor. A Tabela 2 demonstra o efeito da variação da altitude na pressão atmosférica.

Tabela 4 - Influência da mudança de altitude na pressão atmosférica [4]

Altitude (m)	Queda na pressão (bar)
0	0
500	0,059
1000	0,115
1500	0,168
2000	0,218
3000	0,312
4000	0,397

A variação de pressão no fornecimento de ar para combustão (a pressão inicial do cilindro) gera uma mudança na pressão de combustão de forma proporcional. Isto pode ter um efeito significativo de acordo com o gradiente da mudança de pressão de admissão.



No Brasil, a NBR ISO 1585 especifica um método de ensaios de motores projetados para utilização em veículos automotores. Esta norma se aplica à avaliação do seu desempenho, observando as curvas de torque / potência e de consumo específico de combustível à plena carga em função da rotação [5].

A norma define os valores padrões para as condições atmosféricas:

- Temperatura de referência: $T = 298 \text{ K}$ (25°)
- Pressão seca de referencia: $p_{dref} = 99 \text{ KPa}$

Estes valores devem ser considerados nas equações de calculo do fator de correção (α). Tal cálculo é função do tipo de motor. Para motores de ignição por centelha, onde o sistema de controle é projetado para manter uma relação ar/combustível constante nas mudanças ambientais, a norma define a seguinte equação:

$$\alpha_a = \left(\frac{99}{p_d} \right)^{1,2} \left(\frac{T}{298} \right)^{0,6} \quad (1)$$

Onde:

T é a temperatura absoluta em Kelvin, na entrada de ar do motor.

p_d é a pressão atmosférica seca, em quilopascals, isto é, a pressão barométrica total menos a pressão do vapor d'água.

Neste contexto, a verificação da utilização do fator de correção em pesquisas que atuam no estudo do MCI torna-se importante uma vez que a não aplicação deste fator pode acarretar em falhas na comparação de dois ou mais ensaios realizados em locais com diferentes condições atmosféricas.

2. METODOLOGIA

A utilização do fator de correção em pesquisas sobre desenvolvimento de MCI foi avaliada através de um mapeamento de prospecção utilizando a bibliográfica presente na literatura sobre trabalhos que destacam a utilização deste em seu desenvolvimento. Primeiramente foram selecionadas palavras chaves que pudessem ser estratégicas na busca por artigos indexados na base de dados da ScienceDirect - www.sciencedirect.com. As palavras chaves utilizadas foram:

- *combustion engine;*
- *dynamometer test;*
- *correction factor;*

Mediante o número total de artigos encontrados no período, foi feito um filtro com base no título para artigos que realizaram ensaios considerados mais próximos de ensaios padronizados, a fim de caracterizar o uso das normas que exigem a utilização do fator de correção. Após este filtro, foi realizada uma avaliação no percentual de artigos que destacam o uso do fator de correção para as medições de torque e potência de MCI e destacados alguns estudos importantes para realização da discussão do tema.

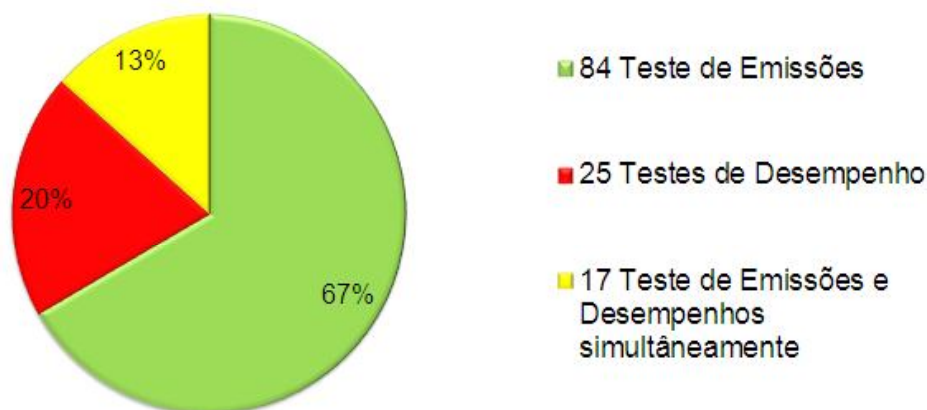
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Afim de garantir confiabilidade e robustez no desenvolvimento de motores, o levantamento das características de funcionamento e os impactos gerados no desempenho de um motor, devido a uma modificação na sua forma de funcionamento, seja ela mecânica ou simplesmente a troca do combustível a ser queimando, deve ser realizado em um laboratório com dinamômetro. Devido a isso, a quantidade de trabalhos e pesquisas relacionados a este tema é imensurável, visto que a gama de ensaios e parâmetros a serem melhorados em um MCI pode ser considerada praticamente inesgotável.

Desta forma, seguindo a metodologia proposta, o mapeamento de prospecção realizado nos bancos de dados de artigos referenciados gerou uma lista de 860 artigos que possuíam as palavras chaves selecionadas para a pesquisa. Após o filtro aplicado nos títulos dos artigos, foram selecionados 126 artigos relacionados com o tema deste trabalho. Vale ressaltar que existe um número muito maior de artigos que abordam ensaios para desenvolvimento de motores, entretanto, os artigos foram selecionados com base nas características dos ensaios e aplicação das palavras chaves supracitadas na metodologia.

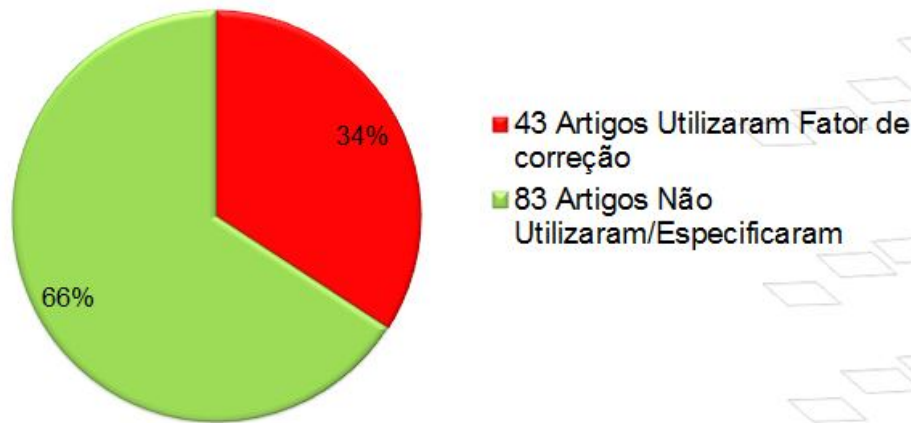
Dentre os artigos selecionados, foram realizados filtros de forma a identificar a origem dos ensaios e a utilização do fator de correção. A Figura 2 apresenta qual o resultado esperado com a realização do ensaio. Percebe-se que o foco das pesquisas esta relacionado com resultados de emissões, ou seja, as condições atmosféricas são fatores determinantes para o resultado final.

Figura 27 - Foco da pesquisa desenvolvida nos artigos analisados correlacionados ao tema.



Contudo, analisando a questão de utilização do fator de correção, foi observado que dos 126 artigos catalogados, apenas 43 (34 %) utilizaram o fator de correção em seus estudos. Os demais 83 artigos (66 %) não informaram ou não utilizaram nenhum cálculo de fator de correção como apresentado na Figura 3.

Figura 28 - mapeamento da utilização do fator de correção.



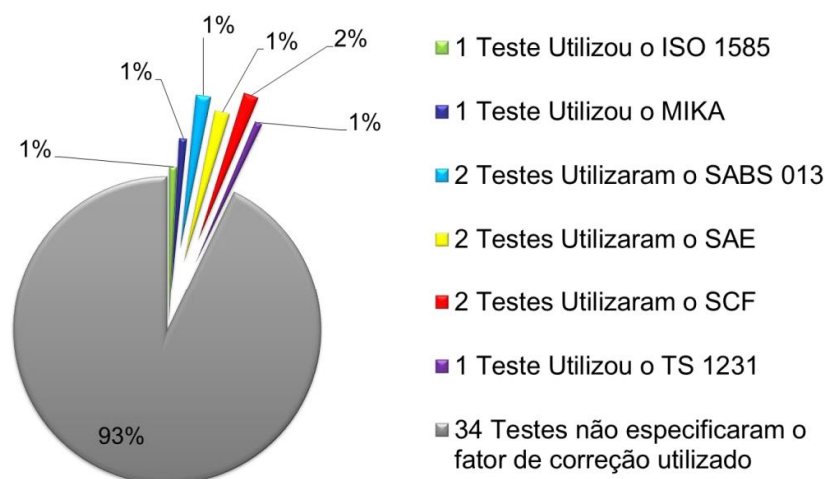
O fator de correção é calculado a partir da temperatura do ar, umidade relativa e pressão barométrica. Infelizmente, não é apenas uma fórmula que é utilizada em todo o mundo para correção atmosférica, e as diferenças entre as fórmulas podem causar uma variação no resultado final do ensaio em até 4%. É por isso que sempre que um valor de torque e potência é citado, deve-se esclarecer qual o padrão de correção foi utilizado.

Existem diversas normas em todo mundo que determinam a utilização do fator de correção:

- SAE J1349 (Society of Automotive Engineers)(Sociedade dos Engenheiros Automotivos) - Padrão americano, normalmente indicado em kW ou convertido para HP (Mechanical horsepower).
- DIN 70020 (Deutsches Institut für Normung)(instituto Alemão de Normatização) - Padrão alemão medido em kW, mas ainda divulgado em PS (Pferdestärke=horsepower em alemão) para fins comerciais.
- EEC 1269 (European Economic Community) (Comunidade Econômica Européia)
- ECE R85 (Economic Commission for Europe) (Comissão Econômica da Europa)
- ISO 1585 (International Organization for Standardization) (Organização Internacional de Padronização) - Padrão na maioria dos países que adotam o SI - (Système International d'unités) (Sistema Internacional de Unidades)
- JIS D1001 (Japanese Industrial Standard) (Padrão Industrial Japonês)- Padrão japonês, derivado da norma alemã Deutsche (por isso também medido em PS), mas com valores de parâmetros base diferentes.
- ABNT NBR 1585 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) - Padrão brasileiro adotado para homologação de potência de veículos comercializados no Brasil.

Dentre os artigos que mencionaram o uso do fator de correção, foi avaliado se estavam explícitos quais os fatores utilizados. A Figura 4 apresenta o resultado desta avaliação e pode-se observar que os poucos testes que utilizaram fator de correção, não especificaram qual foi utilizado e, quando especificaram, ficou explícito que a maioria deles não seguia um padrão.

Figura 29 - Especificação do fator de correção utilizado



Estes resultados indicam um distanciamento da procura por comparação entre os trabalhos de pesquisa acadêmica, uma vez que, se a norma utilizada para a realização do teste não foi informada, a repetibilidade do mesmo fica completamente comprometida.

Tendo em vista a necessidade de desenvolvimentos automotivos para mercados globais e as diferentes condições climáticas em diferentes locais do globo terrestre, observa-se que a padronização dos ensaios é de extrema importância para a comparação dos resultados para o desenvolvimento de novos produtos. Dessa forma a utilização do fator de correção é um dos meios para padronização dos resultados com o objetivo de melhorar o processo de comparação. Estes fatores de correção previstos nas normas levam em conta as respostas divergentes dos vários tipos de motor para mudanças do percentual de oxigênio no ar de admissão.

Como resultado da prospecção observou-se que Mustafa [6] avaliou diversos valores de pressão de entrada de ar e os seus efeitos no consumo específico (Figura 5), medição de torque (Figura 6) e eficiência da combustão (Figura 7).

Figura 5 - Influência da pressão no consumo específico [6]

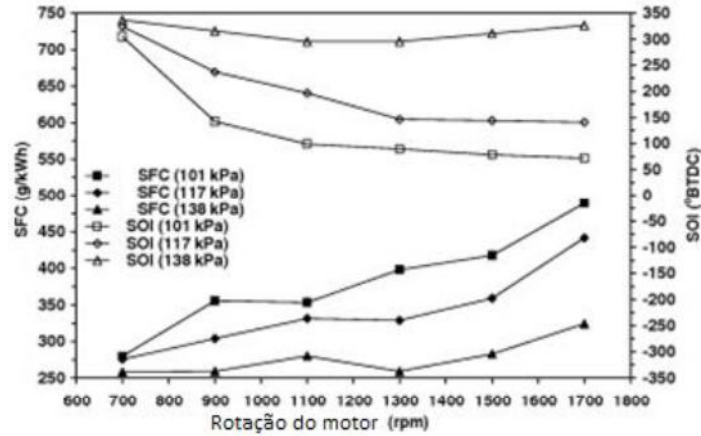


Figura 6 - Influência da pressão no Torque medido [6]

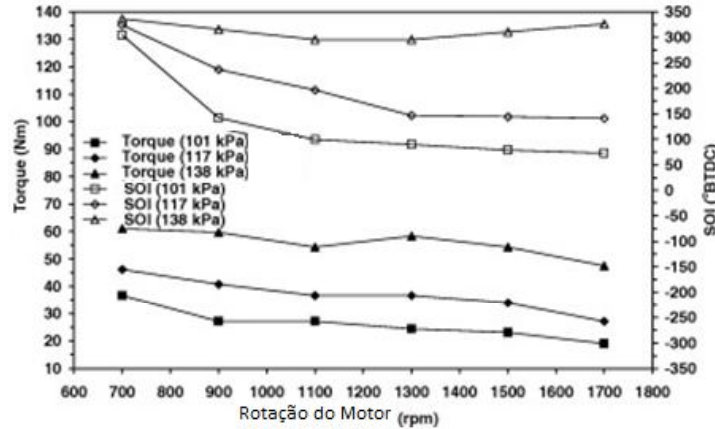
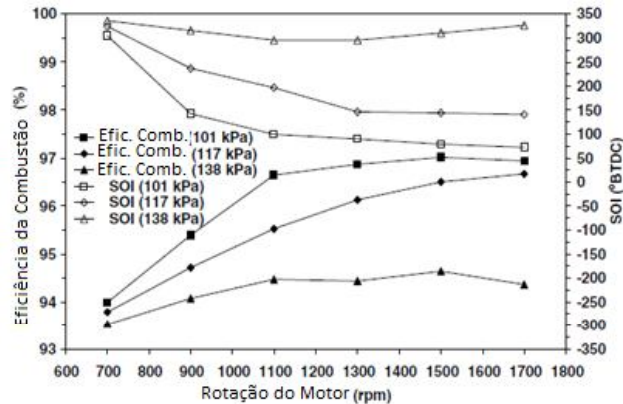


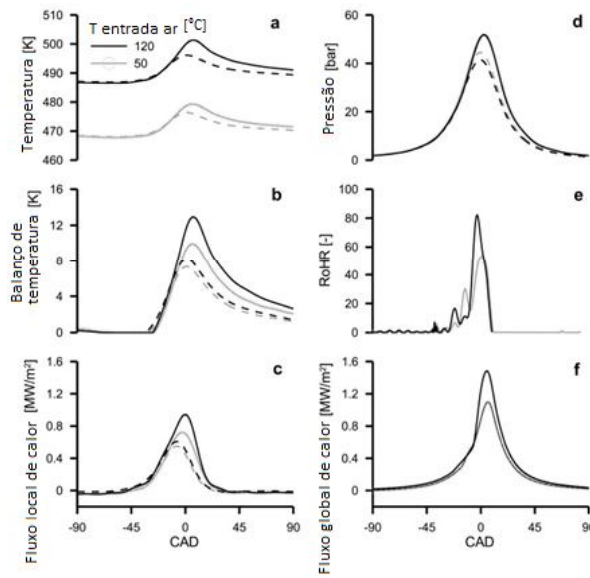
Figura 7 - Influência da pressão na eficiência de combustão [6]



Pode ser observado que o aumento da pressão do ar de entrada, reflete em uma redução do consumo específico, aumento do torque de saída e da eficiência da combustão.

A Figura 8 demonstra também que a variação da temperatura do ar de admissão interfere nos parâmetros de combustão [7].

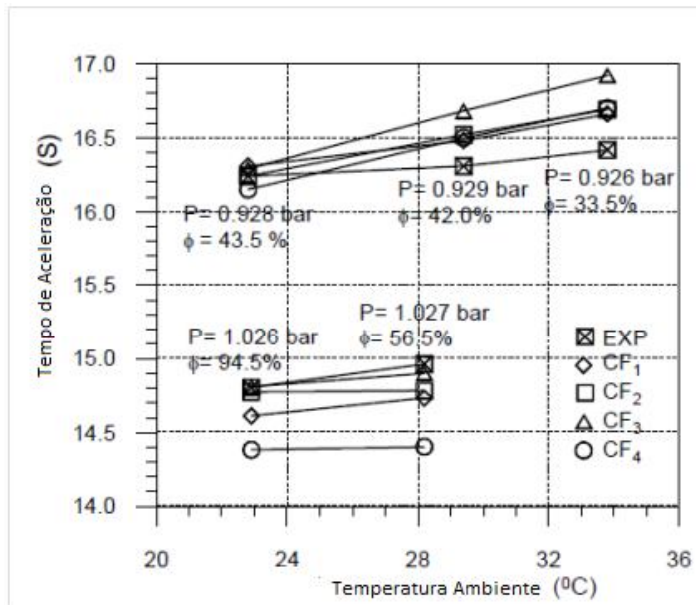
Figura 8 - Efeitos da variação de temperatura do ar de admissão nos parâmetros de combustão [7]



Comparando com os efeitos gerados na combustão pela variação da temperatura e da pressão do ar de admissão, os efeitos da umidade relativa são menores, com exceção de valores altos de temperatura.

Alguns estudos realizaram experimentos para avaliar os métodos utilizados para correção do valor de potência medido em função das condições atmosféricas [8]. As análises foram feitas em experimentos realizados em veículos rodando em estrada em diferentes condições de temperatura, pressão e umidade do ar. Os métodos comparados foram: DIN 70020 (DIN, 1986), SAE J 1349 (SAE, 1995), JIS D 1001 (JIS, 1993) e ISO 1585 (ISO, 1992; ABNT, 1996). A Figura 9 demonstra um dos resultados obtidos durante o experimento. Observa-se que a variação da pressão atmosférica gera uma influencia maior do que a variação de temperatura. Observa-se também existem diferenças nos resultados corrigidos pelos fatores de correção analisados.

Figura 9 - Variação do tempo de aceleração com variação de pressão e temperatura do ar [8]



4. CONCLUSÃO

Grande parte das pesquisas acadêmicas não utilizam o fator de correção nos ensaios em dinamômetros. A não utilização demonstra que o foco das pesquisas não é realizar comparações entre resultados de ensaios e sim avaliar o comportamento do motor naquelas condições experimentadas. Entretanto, este comportamento não permite que os testes sejam repetidos por outros pesquisadores e assim permitir realizar comparações adequadas.

Assim, a utilização de padrões de comparação, como o fator de correção, é fundamental no desenvolvimento de motores para a venda de veículos em diversos locais do mundo, entretanto, quando se trata do meio acadêmico, as pesquisas realizadas acabam não seguindo procedimentos que levem em conta a utilização deste motor em outras condições atmosféricas e dessa forma não é tratada como fator fundamental.



REFERÊNCIAS

- ¹ SHIBATA, R. M., **Engenharia de produtos: desenvolvimento de veículos globais em subsidiária brasileira de multinacional**, Dissertação de Mestrado, FEI/ENGENHARIA MECÂNICA, São Paulo, 2010.
- ² PLINT, M.A., MARTYR, A.J., **Engine Testing Theory and Practice**, 3ª Edição, 2007.
- ³ HAICAL, C. R. **Desenvolvimento de um sistema de controle de dinamômetro para teste de motores de combustão interna**. Escola de Engenharia da universidade Federal do Rio de Grande do Sul. Junho de 2009.
- ⁴ HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. Massachusetts, 1988
- ⁵ ABNT, NBR ISO 1585. **Veículos rodoviários – Código de ensaio de motores – Potência líquida efetiva**. 1996
- ⁶ MUSTAFA, C. **An experimental study for the effects of boost pressure on the performance and exhaust emissions of a DI-HCCI gasoline engine**. Department of Mechanical Education, Kocaeli University, Turkey, 2007.
- ⁷ DESANTES, J.M., TORREGROSAA, A.J., BROATCHA, A. e Olmeda, P. **Experiments on the influence of intake conditions on local instantaneous heat flux in reciprocating internal combustion engines**. CMT-Motores Térmicos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Espanha, 2010
- ⁸ SODRÉ J. R. e SOARES S. M. C., **Comparison of Engine Power Correction Factors for Varying Atmospheric Conditions** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Programa de Engenharia Mecânica, Belo Horizonte,- MG. Brasil, 2003