

SP 02/06/78

NT 013/78

## Consumo de Gasolina no Trânsito Urbano

Artigo traduzido pelo Eng.º Pedro Cury

Esta Nota Técnica é um resumo do estudo *Gasoline Consumption in Urban Traffic*, desenvolvido por técnicos do Laboratório de Pesquisas da GM americana. Julgamos interessante a divulgação deste estudo já que fornece subsídios para avaliar quantitativamente os efeitos sobre o consumo de gasolina decorrentes de intervenções no sistema viário, ou os custos de transporte associados a esse combustível.

### Introdução

Conforme já demonstrado por uma série de estudos e experimentos, o volume de gasolina consumido por distância unitária percorrida pelos veículos que trafegam em áreas urbanas à velocidades menores do que 60 Km/h (aproximadamente) pode ser expresso pela relação:

$$C = K1 + K2 t, \text{ para } V < \sim 60 \text{ Km/h} \quad (1)$$

Onde

C = Volume de gasolina consumido por distância unitária,

V = Velocidade média de percurso da distância unitária,

t = Tempo médio de percurso da distância unitária (o inverso da velocidade média), e

K1 e K2 = Constantes.

Como conseqüência da equação 1, o consumo total de gasolina (G), num percurso de distância D e duração t é dado simplesmente por:

$$G = K1 D + K2 t \quad (2)$$

Após a equação 2 ter sido calibrada no trânsito urbano, para um veículo específico, o consumo de gasolina para um percurso particular pode ser estimado pela medição da distância e do tempo de viagem, sendo suficiente para tanto um odômetro e um relógio. O presente estudo tem por finalidade examinar a generalidade das equações apresentadas e interpretar os coeficientes K1 e K2.

### Objetivos Específicos do Estudo

- Aplicar a equação 2 à viagens realizadas por motoristas distintos, sob diversas condições de tráfego, para testar a sua adequabilidade na avaliação do consumo de gasolina.
- Observar o efeito sobre o consumo quando motoristas são instruídos para dirigirem de maneira diferente da “normal”.

- As constantes K1 e K2 Têm sido correlacionadas à características facilmente mensuráveis dos veículos. Essa interpretação é aqui examinada para vários tipos de veículos.
- As equações 1 e 2 foram obtidas utilizando-se veículos com motores aquecidos. Entretanto, cerca de 1/3 das viagens são do tipo casa-trabalho-casa. Nesses casos, em geral, inicia-se a viagem com motor frio e mesmo quando se chega ao destino não está plenamente aquecido. Este estudo visa modificar as equações 1 e 2 para ajustá-las à condição “partidas frias”, com base em medições de consumo em situações de consumo em situações reais de tráfego, considerando-se ainda o efeito da temperatura ambiente.

### Detalhes Experimentais

- Equipamentos – Para a medição do consumo de gasolina utilizou-se um “*fuel meter*” (medidor de consumo de combustível) desenvolvido pela GM. O transdutor desse instrumento gera um sinal elétrico (pulso) para cada 1ml de gasolina liberado para o carburador do veículo. Um visor instalado no painel indica o volume de gasolina acumulado. As distâncias percorridas foram obtidas pela leitura dos odômetros dos veículos, que foram previamente calibrados. O desvio padrão das leituras foi de 0,020 Km. O carro-teste designado para os experimentos foi um modelo standard de passeio, com motor v-8 de 6600 cilindradas, dois carburadores e três marchas com transmissão automática; exceto nos trabalhos de calibragem da equação 1 para diferentes veículos. As medidas de consumo foram realizadas de acordo com as condições recomendadas pela Sociedade de Engenheiros Automotivos, com relação às temperaturas ambiente e da gasolina.
- Metodologia – A abordagem básica foi medir o combustível consumido, a distância percorrida e o tempo gasto em cada trecho do percurso (micropercurso), sendo que a somatória de todos os trechos do percurso, compunha a trajetória total (macropercurso). Em geral, o próprio motorista registrava num gravador portátil a cada parada, as medidas coletadas. Em alguns casos, como por exemplo nos experimentos “motoristas dirigindo diferentemente do normal”, um observador acompanhante gravava os dados. Para viagens com “partidas quentes”, o veículo rodou durante 20 minutos antes de ser iniciada a coleta de dados. Para “partidas frias”, o veículo ficou estacionado ao ar livre durante um tempo mínimo de 8 horas e, em seguida, seu motor foi acionado em marcha lenta durante 30 segundos antes do início da viagem, como recomendado pelo fabricante. O tanque foi normalmente mantido acima de  $\frac{3}{4}$  de sua capacidade. Os dados foram coletados em vias essencialmente planas num raio de 40 Km do Centro Técnico da GM, Warren, Michigan, de novembro de 1974 a julho de 1975. Nove funcionários da GM, incluindo os autores, serviram como motoristas.

### Resultados

- Relação entre C e t - Para estabelecer condições apropriadas à coleta de dados a fim de calibrar a equação 1, duas longas viagens foram realizadas sobre um percurso pré-determinado, que inclui uma variedade de situações de tráfego. As vias foram as principais artérias urbanas, ruas de comércio de Detroit e ruas de Mount Clemens, uma cidade de 21 mil habitantes situada à 34 Km de Detroit. Os valores de C e t para os 206 micropercursos foram correlacionados.

Conforme mostra a figura 1:

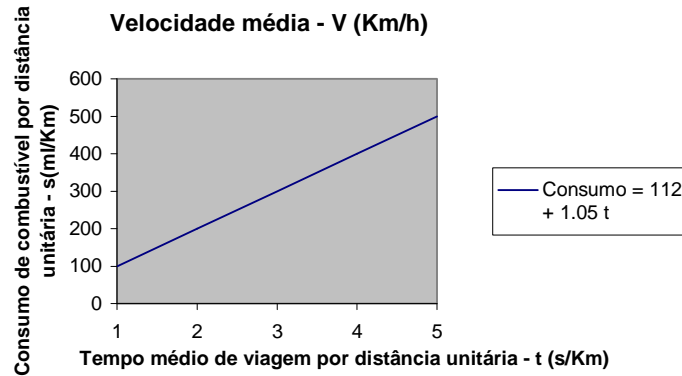


Figura 1 – Consumo de Combustível por Distância Unitária x Tempo Médio de Viagem por Distância Unitária

Micropercursos com  $t < 65$  s/Km ( $V > 55$  Km/h) não foram incluídos na análise já que não se espera a aplicação da equação 1 para velocidade desta ordem de grandeza (o consumo aumenta com a velocidade). Os dados foram agrupados em intervalo de 10 s/Km relativos a t e a regressão foi baseada nos valores médios de C e t em cada intervalo na faixa de  $65$  s/Km  $<$   $365$  s/Km. O limite superior é o maior valor de t para o qual um número proveitoso de dados estava disponível.

A regressão linear obtida para o carro-teste foi:

$$C = 112 + 1,05 t \quad (3)$$

Onde:

C em ml/Km

t em s/Km

- Previsão de consumo em macropercursos

Posto que a equação 3 foi derivada da análise de micropercursos, ela pode ser convertida, como citado anteriormente, numa equação que relaciona o total de combustível consumido (G) num percurso de distância arbitrária (D), completado num tempo (t):

$$G = 112 \cdot D + 1,05 \cdot t \quad (4)$$

Um total de 26 macropercursos com distâncias variando entre 8 e 36 Km foram percorridos por 9 motoristas instruídos a dirigir normalmente no trânsito. Os consumos observados foram comparados com os previstos pela equação 4. Os previstos diferem dos observados de  $-6,4\%$  à  $9,3\%$ . Este resultado indica que a equação 4 estabelece previsões aceitáveis de consumo, relativamente

independente do tipo de via, condições de tráfego ou motorista. Esse resultado contrasta com outro estudo realizado na Inglaterra, onde as diferenças foram de cerca de 20%. Isso deve ser atribuído ao fato de que os veículos usados nesse outro estudo possuíam transmissão manual e os usados aqui, transmissão automática.

#### - Motoristas Dirigindo Diferentemente do Normal

O consumo de combustível é bem explicado pelas equações 3 e 4, desde que os motoristas dirijam normalmente. Desvios podem ser esperados caso os motoristas alterem o seu comportamento normal para ganhar tempo ou poupar combustível. Para estudar este aspecto, 9 motoristas convenientemente instruídos realizaram 34 viagens num percurso de 27 Km no subúrbio de Detroit. A seleção dos motoristas e do conjunto de instruções foi feita de modo a se obter variações significativas do consumo. Dentre os 9 motoristas havia um com experiência em dirigir minimizando o consumo. Para que algumas instruções fossem cumpridas foi necessário o uso de vacuômetros dotados de um mostrador dividido em regiões de 3 cores: verde para uma boa economia de combustível, laranja e vermelho – para altas potências e reduzida economia de combustível.

Sete foram as instruções:

- 1- dirigir normalmente no tráfego;
- 2- minimizar o tempo de percurso;
- 3- acelerar e desacelerar bruscamente;
- 4- minimizar o consumo;
- 5- manter o indicador do vacuômetro na região verde;
- 6- manter o indicador do vacuômetro na região verde ou laranja; e
- 7- dirigir como um motorista prudente.

Para cumprir a instrução 2, os motoristas mudavam de faixa livremente e ajustavam suas velocidades de modo a ultrapassar os semáforos quando possível. Com relação a instrução 3, os motoristas limitaram-se a manter o máximo possível de velocidade. Não previam situações nas quais uma redução temporária da velocidade tornasse possível uma redução no tempo de viagem. As reações dos motoristas à instrução 4, podem ser classificadas em dois grupos: os que reduziram a aceleração e a velocidade e os que reduziram o número de paradas através de ajustamentos da velocidade em algumas situações. A instrução 5 somente pôde ser seguida limitando-se as acelerações a valores bem inferiores àqueles que normalmente ocorrem no trânsito. A instrução 6 também exigiu baixas acelerações, mas dentro da faixa de valores normais. Para seguir a instrução 7, os motoristas aceleravam pouco e mantinham baixas velocidades, evitando mudanças de faixa.

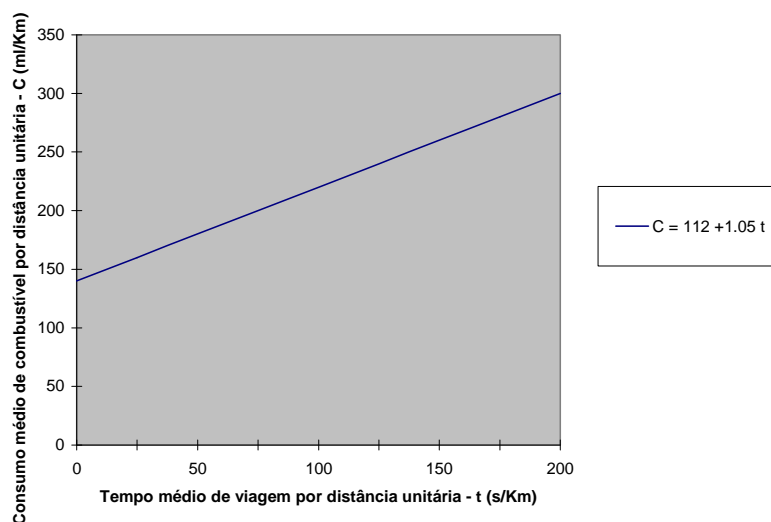
A tabela 1 apresenta os valores médios e desvios padrões dos consumos e dos tempos de viagens relativos à cada instrução. A figura 2 mostra que os valores médios não se ajustam à equação 3, obtida dos micropercursos. Com exceção do valor médio relativo à instrução 5, os valores médios pertencem a uma reta aproximadamente ortogonal à reta de regressão. Isso ilustra o contraste entre mudanças de velocidade de acordo com as condições de tráfego e mudanças de velocidades devidas à alterações de comportamento no trânsito.

Tabela 1 – Efeitos do Consumo Decorrentes de Instruções dadas a Motoristas para Dirigirem Diferentemente

Instrução	C (ml/Km)		t (s/Km)		Número de Corridas
	Médio	Desvio Padrão	Médio	Desvio Padrão	
1	202	6	89,1	7,1	11
2	222	15	77,0	4,7	6
3	237	16	79,6	6,0	3
4	181	13	89,6	8,0	*
5	206	-	118	-	1
6	191	5	90,4	5,9	2
7	188	9	96,0	10,6	3

\*Valor não indicado na Tabela Original

Figura 2 – Consumo médio de Combustível por Distância Unitária x Tempo Médio de Viagem por Distância Unitária de Motoristas sob Diversas Instruções.



Motoristas que dirigiram na velocidade do fluxo de tráfego (instruções 4, 6 e 7) economizaram combustível. Por outro lado, motoristas que andaram a velocidade maiores do que o fluxo (instruções 2 e 3), reduziram o tempo de viagem mas consumiram mais combustível. A instrução 5 resultou num aumento de consumo e também de tempo de viagem.

A instrução 4 resultou numa maior economia de combustível do que as instruções 5,6 e 7. Sob a instrução 4 os motoristas ajustavam suas velocidades para evitar paradas, o que não era feito sob as demais. Tal fato decorre do menor tempo médio de percurso associado à instrução 4: nosso estudo mostrou que o carro-teste parado e em marcha lenta durante 30 segundos, aguardando sinal verde para continuar o percurso, e depois acelerando até atingir a velocidade de 60 Km/h, consome cerca de 70 ml de combustível a mais do que quando ultrapassa o cruzamento à velocidade constante de 60 Km/h. A rota de testes incluiu 56 cruzamentos semaforizados.

- Interpretação Física dos Parâmetros K1 e K2

Em estudos anteriores o parâmetro K1 foi interpretado como sendo o combustível consumido por distância unitária, visando superar a resistência de rolamento. Pelo fato da resistência de rolamento ser aproximadamente proporcional à massa de veículo, estimou-se nesse estudo, que K1 também o seja. K2 é o combustível consumido por unidade de tempo para compensar as várias perdas mecânicas. Essa quantidade não é dispendida para colocar o veículo em movimento, sendo representada aproximadamente pelo consumo em marcha lenta. Quando a velocidade tende a zero, K2 tende a ser o próprio consumo em marcha lenta. Logo, espera-se que K2 seja aproximadamente proporcional a este consumo. Para testar estas interpretações de K1 e K2, a equação 1 foi calibrada para vários tipos de carro. Os resultados estão apresentados na Figura 3. Os valores de K1 e K2 para as curvas apresentadas, bem como outras características dos carros, são dados na Tabela 2. A Figura 3 e a Tabela 2 incluem resultados de outros estudos.

Figura 3 – Relação Linear  $C = K1 + K2 t$ , obtida para 7 veículos:

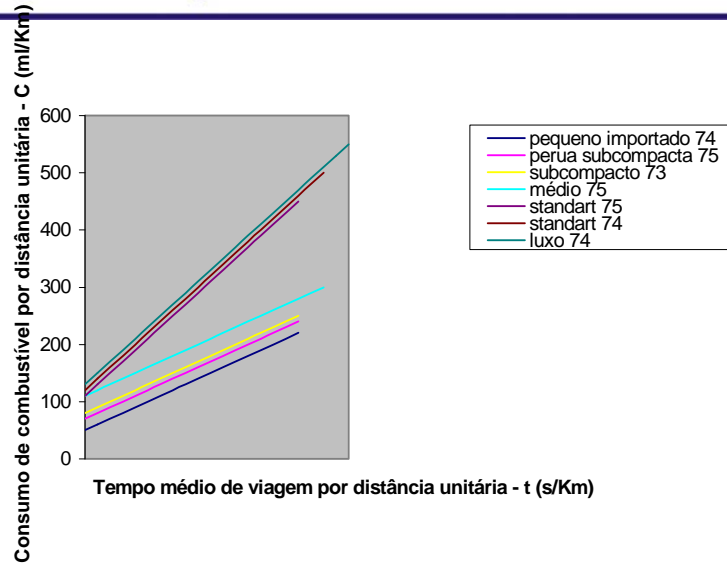


Tabela 2 – Características dos veículos

Ref.	Veículos	Ano	Massa de testes - M (Kg)	K1 (ml/Km)	K1 ---- M	K2 (ml/s)	Consumo em marcha lenta - I (ml/s)	K2 ---- I
1	Standart	74	2259	111,59	0,0494	1,045	0,88	1,187
1	Standart	75	2291	94,64	0,0413	0,964	0,80	1,198
1	Pequeno (import.)	74	1033	45,54	0,0441	0,664	0,56	1,186
1	Médio	75	1720	85,12	0,0495	0,756	0,70	1,080
1	Grande de luxo	74	2483	121,80	0,0491	1,084	0,83	1,306
1	Perua subcompacta	75	1285	72,19	0,0562	0,590	0,46	1,283
2	Subcompacto	73	1642	90,30	0,0550	0,440	0,28	1,571
2	Furgão	56	1067	35,93	0,0337	0,313	0,21	1,496
2	Inglês	55	1372	76,83	0,0560	0,623	0,37	1,414
2	Miniônibus vazios	65	1086	91,26	0,0541	0,349	-	-
2	Miniônibus cheio	65	2083	100,91	0,0484	0,400	-	-
2	Inglês pequeno	65	1021	56,45	0,0553	0,322	-	-
2	Inglês	64	1178	84,91	0,0574	0,532	-	-
2	Perua Australiana	66	1451	62,10	0,0428	0,595	-	-

1 – Referentes ao presente estudo

2 – Referentes a outros estudos

Na figura 4 estão representados os pontos K1 x massa do veículo e na Figura 5 os pontos K2 x consumo em marcha lenta do veículo. Da proporcionalidade apresentada, pode-se determinar, aproximada e indiretamente, os parâmetros K1 e K2, para um carro genérico, desde que conhecidos a sua massa e seu consumo em marcha lenta.

FIGURA 4 - K1 x Massa do Veículo

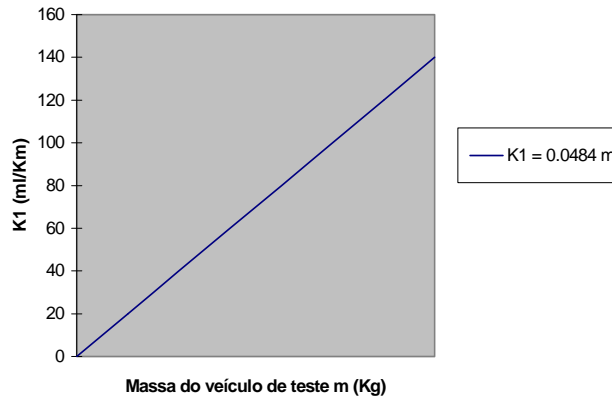
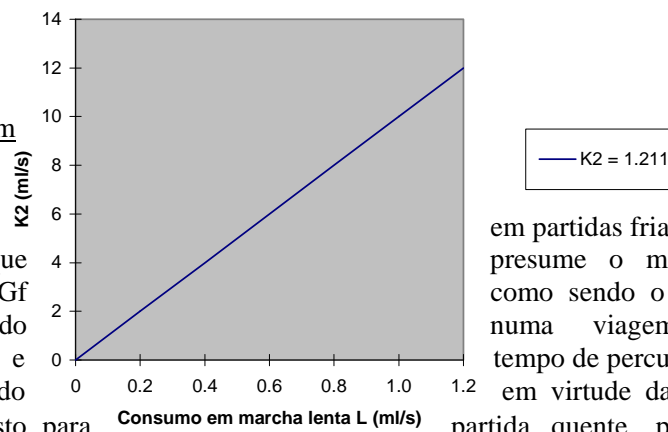


FIGURA 5 - K2 x Consumo em Marcha lenta



• Combustível Consumido em Viagens Pendulares

Mais combustível é consumido o previsto pela equação 2, que carro aquecido. Considere-se  $G_f$  total de combustível consumido motor frio, com distância  $D$  e excesso de combustível consumido fria ( $\Delta G$ ) acima do previsto para estimado pela equação:

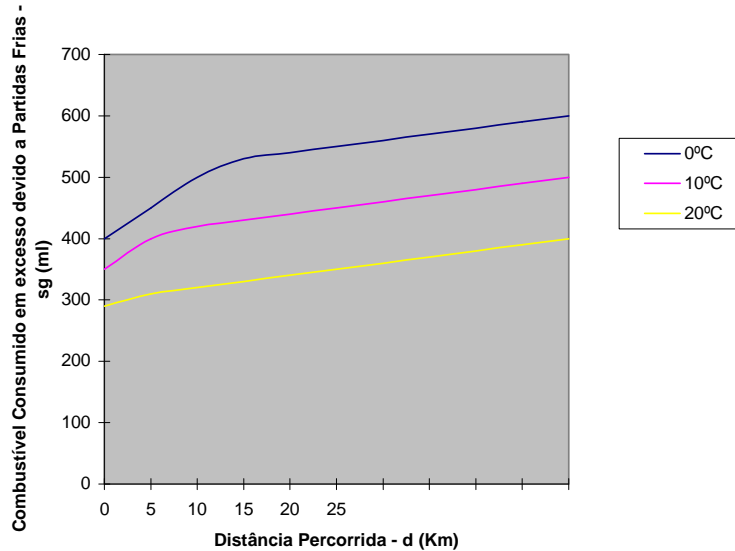
em partidas frias do que presume o motor do como sendo o volume numa viagem com tempo de percurso  $T$ . O em virtude da partida partida quente, pode ser

$$\Delta G = G_f - G \quad (5)$$



Quarenta e uma viagens com partidas frias, incluindo viagens pendulares (percursos casa-trabalho-casa), foram realizadas à temperaturas ambiente de -17°C à 30°C. O excesso de consumo ( $\Delta G$ ) foi estimado de quilometro em quilometro, para cada viagem. Para um determinado percurso de distância D,  $\Delta G$  diminuiu com o aumento da temperatura ambiente (O). Uma regressão linear de  $\Delta G$  sobre O à cada valor de D, resultou em coeficientes de correlação de cerca de -0,66. O excesso de combustível em partidas frias em função da distância percorrida, para temperaturas ambiente de 0,10 e 20°C é apresentado na figura 6.

Figura 6 - Combustível Consumido em Excesso devido a Temperaturas Frias



Um outro fator, além da partida fria, que afeta o consumo em viagens pendulares, é a dependência da velocidade média com relação à distância percorrida. Dados publicados para viagens pendulares de e para o Centro Técnico da GM foram utilizados para estimar a velocidade de viagens/trabalho relativamente à distâncias percorridas. Pela combinação destes dados com as informações da figura 6, pode-se deduzir o consumo de viagens pendulares com partidas frias pela relação:

$$G_f = \Delta G + K_1 D + K_2 T \quad (6)$$

Onde  $T = D/V$

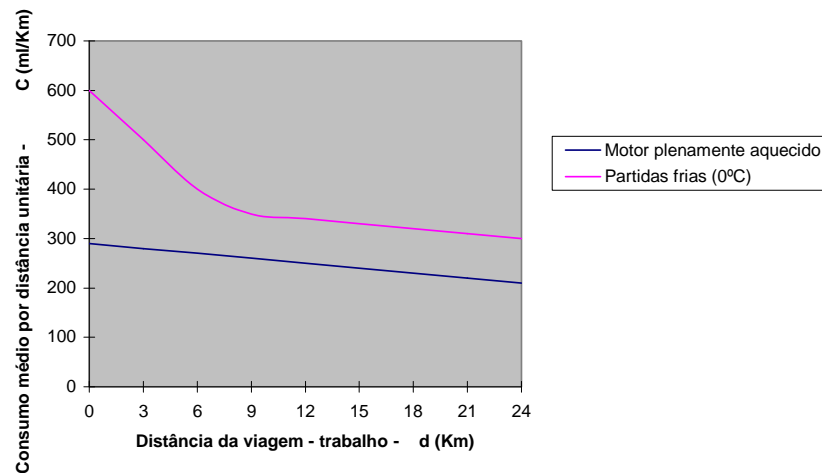
A figura 7 mostra C, isto é,  $G_f/D$ , plotado em função de D (de viagens pendulares) para partidas frias à temperatura ambiente de 0°C e para partidas quentes. Se V fosse independente da distância, a curva de partida quente seria paralela ao eixo horizontal.

Alguns exemplos ilustrativos derivados da figura 7 são dados abaixo:

Distância	Relação entre Distâncias	Relação entre consumos	
		Partidas quentes	Partidas frias
10 Km x 5 Km	2	1,75	1,56
15 Km x 5 Km	3	2,43	2,06

Uma viagem pendular de partida fria, de 10 Km, requer 56% a mais de combustível do que um percurso de 5 Km e não 100% como a simples proporção da distância sugeriria. Este efeito é bem significativo e deve ser considerado nas estimativas de consumo das viagens pendulares com diferentes locais de trabalho e domicílio.

Figura 7 - Consumo médio estimado de combustível por unidade de distância x distância da viagem - Trabalho para partidas frias e quentes.



#### Referência Bibliográfica.

Chang, Man - Feng Et Al. Gasoline Consumption in Urban Traffic. In; Transportation of Energy Constraints. Washington. Transportation Research Record. 599 pg. 25-30, 1976\*

-----  
Artigo traduzido pelo Eng.º Pedro Cury  
Assistente de Superintendente - APE/DSC