

Avaliação da Emissão de Poluentes
provenientes de Veículos Automotivos:
Etanol e Gasolina

JULIANA ROCHA TAVARES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
DEZEMBRO – 2009

Estudo das Emissões de Poluentes provenientes de Veículos Automotivos: Álcool e Gasolina

JULIANA ROCHA TAVARES

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Centro de Ciência
e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense,
como parte das exigências para a
obtenção do título de Mestre em
Ciências Naturais.

Orientador: Prof. Marcelo Silva Stel
Co-Orientador: Prof. Marcelo Gomes da Silva

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
DEZEMBRO – 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

05/2010

Tavares, Juliana Rocha

Avaliação da emissão de poluentes provenientes de veículos automotivos: etanol e gasolina / Juliana Rocha Tavares. – Campos dos Goytacazes, 2009.

vii, 86 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências Físicas. Campos dos Goytacazes, 2009.

Orientador: Marcelo Silva Sthel.

Co-orientador: Marcelo Gomes da Silva.

Área de concentração: Química e física do meio ambiente.

Bibliografia: f. 70-75.

1. Fotoacústica 2. Poluição atmosférica 3. Detecção 4. Etanol 5. Gasolina
I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de
Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências Físicas II. Título

CDD 363.7392

JULIANA ROCHA TAVARES

*Estudo das Emissões de Poluentes provenientes de Veículos
Automotivos: Álcool e Gasolina*

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da
Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para a
obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Campos dos Goytacazes, 15 de dezembro de 2009.

Aprovada por:

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Elza Maria Senra de Oliveira
Instituto Federal Fluminense

Prof. Dra. Maria Priscila Pessanha de Castro
Universidade Estadual do Norte Fluminense

Prof. Dr. Delson Ubiratan da Silva Schramm
Universidade Estadual do Norte Fluminense

Prof. Dr. Marcelo Gomes de Silva
Universidade Estadual do Norte Fluminense

Prof. Dr. Marcelo Silva Sthel
Universidade Estadual do Norte Fluminense

Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine. E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria. E ainda que distribuísse toda a minha fortuna para sustento dos pobres, e ainda que entregasse o meu corpo para ser queimado, e não tivesse amor, nada disso me aproveitaria. O amor é sofredor, é benigno; o amor não é invejoso; o amor não trata com leviandade, não se ensoberbece.

5 Não se porta com indecência, não busca os seus interesses, não se irrita, não suspeita mal; Não folga com a injustiça, mas folga com a verdade; Tudo sofre, tudo crê, tudo espera, tudo suporta. O amor nunca falha; mas havendo profecias, serão aniquiladas; havendo línguas, cessarão; havendo ciência, desaparecerá; Porque, em parte, conhecemos, e em parte profetizamos; Mas, quando vier o que é perfeito, então o que o é em parte será aniquilado. Quando eu era menino, falava como menino, sentia como menino, discorria como menino, mas, logo que cheguei a ser homem, acabei com as coisas de menino. Porque agora vemos por espelho em enigma, mas então veremos face a face; agora conheço em parte, mas então conhecerei como também sou conhecido. Agora, pois, permanecem a fé, a esperança e o amor, estes três, mas o maior destes é o amor. I Cor 13: 1-13

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela graça da vida e pelo amor incondicional que nos oferece.

Aos meus pais, por me ensinarem todos os dias, através de atos e de palavras, a sonhar com um mundo melhor e a lutar por esse mundo.

Ao professor Marcelo Silva Sthel, por ter sido bem mais que um excelente orientador de mestrado, mas um orientador da vida, um amigo mais do que presente, um exemplo de alegria e esperança.

Ao professor Marcelo Gomes da Silva, por solucionar todos os problemas insolúveis e pela sua boa-vontade de se dedicar de modo especial a cada um de seus inúmeros orientados e co-orientados.

Aos demais professores do LCFIS, pela amizade e boa-vontade de todos os momentos.

Aos meus queridos colegas de trabalho Carla, Guilherme, Mila, Layse, Geórgia e Luiza, que muito me auxiliaram durante todas as etapas do Mestrado, com boa-vontade para trabalhar, paciência para ensinar e palavras de incentivo para encorajar.

Aos amigos do LCFIS Paulo Sérgio, Wily, Guto, Sílvia, Aline, Erick, Milena, Sâmylla, Samara, Léo, Chico, Thallis e Emerson, pela amizade sincera e pelo carinho de sempre.

Ao técnico Luís Antônio, pela competência e boa-vontade para nos socorrer nos momentos mais difíceis.

A todos os meus familiares e aos meus incontáveis e incitáveis amigos que sempre me incentivaram e apoiaram.

A toda a população do Estado do Rio de Janeiro, por garantirem a mim a maravilhosa oportunidade de me graduar e concluir o meu mestrado em uma universidade pública de excelência.

SUMÁRIO

I. LISTA DE FIGURAS.....	iii
II. RESUMO.....	vi
III. ABSTRACT.....	vii
CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO	
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objetivos.....	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BILIOGRÁFICA	
2.1. Ambiente e Sociedade.....	5
2.2. Problemas ambientais específicos.....	7
2.2.1. Chuva ácida.....	7
2.2.2. Smog Fotoquímico.....	10
2.2.3. Aquecimento Global.....	12
2.2.4. Poluição do ar e saúde.....	18
2.3. Características dos Combustíveis.....	20
2.3.1. Gasolina.....	20
2.3.2. Etanol.....	22
2.3.1. Do Proálcool aos veículos FLEX.....	27
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	
3.1. Fenômeno Fotoacústico.....	30
3.1.1. Aspectos históricos.....	30
3.1.2. Aspectos teóricos na geração do sinal fotoacústico.....	32
3.2. Laser de Cascata Quântica.....	36
3.3. Espectrômetro Fotoacústico acoplado ao Laser de Cascata Quântica.....	37
3.4. Analisador Infravermelho URAS.....	40
3.5. Analisador Eletroquímico TEMPEST.....	42
3.6. Procedimento de Coleta.....	44

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1. Calibração do Espectrômetro Fotoacústico para detecção de N ₂ O.....	46
4.1.1. Calibração Elétrica.....	46
4.1.2. Calibração do Sinal Fotoacústico.....	47
4.2. Medidas da emissão de carros movidos a gasolina, utilizando o URAS.....	49
4.3. Medidas da emissão de carros movidos a gasolina utilizando o TEMPEST...51	
4.3.1. Medidas de CO.....	51
4.3.2. Medidas de NO _x	54
4.3.3. Medidas de SO ₂	57
4.4. Medidas da emissão de carros movidos a álcool utilizando o TEMPEST.....	60
4.4.1. Medidas de CO.....	60
4.4.2. Medidas de NO _x	61
4.4.3. Medidas de SO ₂	63
4.5. Análise comparativa da emissão de veículos movidos a álcool e a gasolina..	64
4.6. Discussão.....	67
CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO.....	69
CAPÍTULO 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	76

I. LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efeito Estufa: uma camada de gases que se comporta como um cobertor para nosso planeta. Fonte: GORE, 2006.....	14
Figura 2. Estimativas da média global do forçamento radiativo (FR) e faixas em 2005 para o dióxido de carbono (CO ₂), o metano (CH ₄), o óxido nitroso (N ₂ O) antrópicos e outros agentes e mecanismos importantes, juntamente com a extensão geográfica típica (escala espacial) do forçamento e o nível de compreensão científica (NCC) avaliado. Fonte: MCCARTHY et al., 2007.....	15
Figura 3. Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso ao longo dos últimos 10.000 anos (painéis grandes) e desde 1750 (painéis inseridos), obtidas a partir de testemunhos de gelo (símbolos com diferentes cores para os diferentes estudos) e amostras atmosféricas (linhas vermelhas). Fonte: MCCARTHY et al., 2007.....	16
Figura 4. Balanço energético dos principais matérias-primas utilizadas para produção de etanol. Fonte: COPERSUCAR e ÚNICA, 2009.....	24
Figura 5. Evolução da frota brasileira de veículos leves. Fonte: COPERSUCAR e ÚNICA, 2009.....	29
Figura 6. Representação do fofone construído por A. G. BELL (1880).....	31
Figura 7. Geração do sinal fotoacústico em amostras gasosas.....	32
Figura 8. Tunelamento de elétrons através dos poços quânticos presentes na banda de condução de um laser de cascata quântica.....	37
Figura 9. Esquema da montagem experimental do Espectrômetro Fotoacústico acoplado ao Laser de Cascata Quântica.....	38
Figura 10. Foto da célula fotoacústica diferencial.....	39
Figura 11. Foto da montagem experimental do Espectrômetro Fotoacústico acoplado ao Laser de Cascata Quântica.....	39
Figura 12. Esquema de detecção do Analisador Infravermelho URAS.....	40

Figura 13. Foto do Analisador Infravermelho URAS.....	41
Figura 14. Membrana hidrofóbica. Fonte: PONZONI, 2007.....	42
Figura 15. Esquema de um sensor eletroquímico típico. Fonte: PONZONI, 2007.....	43
Figura 16. Foto do Analisador TEMPEST.....	44
Figura 17.(a) Foto da bomba coletora AVOCs; (b) Foto do canister.....	45
Figura 18. Medidas da corrente em função da tensão elétrica aplicada para diferentes temperaturas de operação do Laser.....	46
Figura 19. Medidas da potência emitida pelo Laser em função da tensão elétrica aplicada para diferentes temperaturas.....	47
Figura 20. Espectro de absorção do N ₂ O na faixa de número de onda emitida pelo Laser.....	48
Figura 21. Curva de Calibração do Sinal Fotoacústico em função da concentração de N ₂ O.....	49
Figura 22. Concentração de CO ₂ em veículos movidos a gasolina.....	50
Figura 23. Concentração de CH ₄ em veículos movidos a gasolina.....	51
Figura 24. Concentração de CO em veículos movidos a gasolina – Grupo 1.....	52
Figura 25. Concentração de CO em veículos movidos a gasolina – Grupo 2.....	53
Figura 26. Concentração de CO em veículos movidos a gasolina – Grupo 3.....	53
Figura 27. Concentração de CO em veículos movidos a gasolina – Grupo 4.....	54
Figura 28. Concentração de NO _x em veículos movidos a gasolina – Grupo 1.....	55
Figura 29. Concentração de NO _x em veículos movidos a gasolina – Grupo 2.....	56
Figura 30. Concentração de NO _x em veículos movidos a gasolina – Grupo 3.....	56

Figura 31. Concentração de NO _x em veículos movidos a gasolina – Grupo 4.....	57
Figura 32. Concentração de SO ₂ em veículos movidos a gasolina – Grupo 1.....	58
Figura 33. Concentração de SO ₂ em veículos movidos a gasolina – Grupo 2.....	58
Figura 34. Concentração de SO ₂ em veículos movidos a gasolina – Grupo 3.....	59
Figura 35. Concentração de SO ₂ em veículos movidos a gasolina – Grupo 4.....	59
Figura 36. Concentração de CO em veículos movidos a álcool – Grupo 1.....	60
Figura 37. Concentração de CO em veículos movidos a álcool – Grupo 2.....	61
Figura 38. Concentração de NO _x em veículos movidos a álcool – Grupo 1.....	62
Figura 39. Concentração de NO _x em veículos movidos a álcool – Grupo 2.....	62
Figura 40. Concentração de SO ₂ em veículos movidos a álcool – Grupo 1.....	63
Figura 41. Concentração de SO ₂ em veículos movidos a álcool – Grupo 2.....	64
Figura 42. Emissão de CO em veículos movidos a gasolina (G) e a álcool (A)....	65
Figura 43. Emissão de NO _x em veículos movidos a gasolina (G) e a álcool (A)....	66
Figura 44. Emissão de SO ₂ em veículos movidos a gasolina (G) e a álcool (A)....	66

II. RESUMO

O significativo aumento na concentração atmosférica de gases poluentes provenientes de atividades antropogênicas constitui foco de crescente preocupação no cenário mundial. Tal preocupação é pertinente, uma vez que a concentração anômala de tais gases pode acarretar problemas ambientais, como a depleção da camada de ozônio, a chuva ácida, a formação do “smog” fotoquímico e o aquecimento global, além dos problemas respiratórios e cardiovasculares que atingem diretamente a saúde humana.

Dentre as atividades antropogênicas responsáveis pela emissão de poluentes, o transporte se destaca devido ao aumento em larga escala no número de veículos automotivos que circulam em toda a parte do planeta. Nesse contexto, dois combustíveis merecem destaque: a gasolina, combustível fóssil hegemônico de toda a frota mundial de veículos leves e o etanol, que vem ganhando espaço com o advento dos veículos FLEX, por ser um combustível renovável com a promessa de emitir menor quantidade de poluentes em relação aos combustíveis fósseis.

Neste estudo, detectamos a emissão de gases poluentes em veículos movidos a álcool e a gasolina, de modo a realizar uma análise comparativa entre esses combustíveis. Para isso, utilizamos o Analisador Infravermelho URAS para avaliar a emissão de metano e dióxido de carbono e o Analisador Eletroquímico TEMPEST para detectar o monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio e o dióxido de Enxofre na faixa de ppmV. Como estudo complementar, realizamos a montagem e calibração de um Espectrômetro Fotoacústico acoplado a um Laser de Cascata Quântica afim de possibilitar a detecção do gás estufa Óxido Nitroso.

III. ABSTRACT

The increase in atmospheric concentration of pollutant gases from anthropogenic activities is focus of serious worrying in world scenery. This worrying is pertinent once the anomalous concentration of these gases can occasion environmental problems, as ozone layer depletion, acid rain, photochemical smog and global warming, as well as respiratory and cardiovascular diseases, which reaches directly human healthy.

Among the anthropogenic activities responsible for the emission of pollutants, the transport is highlighted because of the significant increase in the number of automotive vehicles around the globe. In this context, two fuels deserve emphasis: gasoline, hegemonic fuel throughout the world fleet of light vehicles and ethanol, which is becoming increasingly used with the introduction of FLEX vehicles, once it is a renewable fuel which promises emit fewer pollutants than fossil fuels.

In this study, we have analyzed the emission of pollutant gases in alcohol and gasoline vehicles in order to make a comparative analysis between these fuels. For this purpose, we used the Infrared Analyzer URAS to detect the emission of methane and carbon dioxide and the TEMPEST Electrochemical Analyzer to detect carbon monoxide, nitrogen oxides and the sulfur dioxide in the range of ppmV. We also performed the assembly and the calibration of a Photoacoustic Spectrometer coupled to a Quantum Cascade Laser, which permits the detection of the greenhouse gas Nitrous Oxide.

CAPÍTULO 1. APRESENTAÇÃO

1.1. Introdução

Durante muitos séculos, acreditou-se que quaisquer mudanças promovidas pela atividade humana seriam incapazes de alterar de maneira significativa o ambiente em que vivemos. Afinal, nós parecemos tão pequenos diante do vasto e complexo planeta Terra que nos parece que pequenas alterações que viéssemos a provocar seriam rapidamente assimiladas ou transformadas pela natureza, de modo a não causar danos maiores ao ambiente e à vida. A atmosfera, freqüentemente observada por nós como uma infinita imensidão, também nos parece imune a qualquer atividade que lhe seja nociva.

“Nós somos tão pequenos e o grande oceano aéreo tão vasto que parece difícil acreditar que possamos fazer alguma coisa capaz de afetar seu equilíbrio.” (FLANNERY, 2007)

Há de se observar, no entanto, que a composição atual da atmosfera é resultado de mais de um bilhão de anos de trocas gasosas com os seres vivos que habitavam e habitam o planeta Terra. Os processos de respiração, fermentação, fotossíntese e decomposição, entre outros, característicos da vida aqui presente, possibilitaram uma composição atmosférica ideal para a manutenção da própria vida tal qual a conhecemos. Compreendemos, portanto, que a atmosfera possui uma relação intensamente dinâmica com a vida, de forma que o homem e suas atividades podem, sim, interferir na sua composição.

Os principais componentes da atmosfera são o nitrogênio diatômico, que representa cerca de 78% da composição atmosférica, o gás oxigênio, cuja concentração é de aproximadamente 21% e o argônio, com concentração próxima de 1% (BAIRD, 2002). Outros gases compõe a atmosfera em menores concentrações.

O Nitrogênio, cuja concentração excede à dos demais gases, é um gás de extrema importância, sendo um constituinte indispensável de toda a vida. O oxigênio, por sua vez, é de importância ímpar por possibilitar a respiração dos

seres aeróbicos, como o homem. Destacamos também alguns gases com menores concentrações como, por exemplo, o dióxido de carbono e o metano que, se forem mantidos em uma concentração ideal, ao absorver parte da radiação térmica emitida pela Terra, são responsáveis pela manutenção de uma temperatura agradável à vida humana.

Tal composição peculiar permite que a atmosfera terrestre seja mantida fora do equilíbrio termodinâmico, já que nela ocorrem ininterruptos processos físico-químicos, relacionados a atividades biológicas. Essa situação não é observada, por exemplo, em Marte e Vênus, onde, na ausência de vida, a composição atmosférica não sofre alterações ao longo dos anos. (SANTOS, 2006)

Embora a atmosfera terrestre nos seja tão agradável, o homem, especialmente após as revoluções agrícola e industrial, tem modificado intensivamente a sua composição, através de práticas como o uso da terra e atividades industriais. (BRASSEUR et al., 1999)

Tais modificações são responsáveis por graves problemas ambientais, tais como a degradação da qualidade do ar, o aumento de oxidantes atmosféricos (como o ozônio) que interferem na biosfera e saúde humana, chuva ácida, inversão térmica, smog fotoquímico, depleção da camada de ozônio e, por fim, o aquecimento global, que vem sendo o foco de muitas discussões, devido às terríveis conseqüências que poderá apresentar ao sistema terrestre.

Dentro desse contexto, o transporte é responsável por uma considerável parcela da emissão de poluentes danosos a saúde humana e do planeta. Segundos os dados da Organização Mundial da Indústria Automobilística, a frota mundial de veículos automotivos alcançou no ano de 2008, pela primeira vez, a marca de 1 bilhão de unidades. Considerando-se que esse número continue crescendo de forma significativa por muitos anos, o transporte terá um papel cada vez mais relevante na emissão de gases poluentes, o que justifica o monitoramento dos gases emitidos nos escapamentos dos veículos automotivos.

Para quantificar a emissão de poluentes provenientes de veículos automotivos, necessitamos dispor de diferentes técnicas que nos possibilitem obter informações sobre diferentes gases poluentes emitidos por tais veículos.

Além disso, é necessário desenvolver metodologias sensíveis para detecção do óxido nítrico, já que estudos indicam que esse importante gás estufa é emitido durante o cultivo de matérias-primas para a produção de biocombustíveis devido à utilização de fertilizantes nitrogenados. (CRUTZEN et al., 2008)

A espectroscopia fotoacústica, incluída na família de técnicas fototérmicas, é um importante método para detecção de traços de gases, apresentando alta seletividade, portabilidade, capacidade multicomponente, possibilidade de medição *em situ* e rápida aquisição de dados. (SIGRIST, 2001) Diversos lasers tem sido empregados como fontes de excitação acoplados ao espectrômetro fotoacústico, dentro os quais destacamos o Laser de Cascata Quântica.

Associados à técnica fotoacústica, alguns outros equipamentos convencionais como o Analisador Infravermelho URAS e o Analisador Eletroquímico TEMPEST são de fundamental importância na detecção de diferentes espécies gasosas na faixa de ppmV (partes por milhão por volume), constituindo, portanto, importantes técnicas complementares na detecção de gases poluentes.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação da emissão de gases poluentes no escapamento de uma amostra de veículos automotivos movidos a álcool e a gasolina na cidade de Campos dos Goytacazes durante o 1º semestre de 2009. Utilizamos, dessa forma, o Analisador Infravermelho URAS e o Analisador Eletroquímico TEMPEST para detectar os gases poluentes emitidos na exaustão dos veículos em estudo. Através dessa análise, buscamos identificar algumas vantagens e desvantagens na utilização de cada combustível, relacionando fatores ambientais, econômicos e sociais associados à cadeia de produção, distribuição e consumo desses combustíveis.

A fim de possibilitar a detecção do óxido nitroso, realizamos a montagem e calibração de um espectrômetro fotoacústico acoplado a um Laser de Cascata Quântica. Dessa forma, buscamos obter o limite inferior de detecção desse importante gás estufa, tendo em vista a forte polêmica internacional em torno da emissão desse gás durante a produção agrícola de biocombustíveis.

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ambiente e Sociedade

A Atmosfera é uma camada de gases que envolve o planeta Terra composta principalmente por Nitrogênio, Oxigênio e Argônio. Sua composição possui características muito peculiares e adequadas ao tipo de vida que encontramos na Terra. A atmosfera também é extremamente dinâmica, de forma que o gás emitido em um local específico pode, em alguns dias, ser transportado para o outro lado do mundo.

No início da história da humanidade, o homem tinha uma relação muito próxima com o ambiente em que vivia. O início da civilização coincidiu com o uso do fogo e de outros instrumentos utilizados para modificação do ambiente. Hoje, por causa das conquistas tecnológicas, pode parecer que os seres humanos dependem menos do ambiente natural para suas necessidades diárias. Muitos nos esquecemos da nossa dependência da natureza em termos de ar, água e alimento, sem mencionar a assimilação de resíduos, recreação e outros serviços oferecidos pelo ambiente. (ODUM e BARRET, 2007)

Apesar do pressuposto distanciamento entre a sociedade e a natureza, alguns alertas ecoaram para nos lembrar da nossa responsabilidade para com o planeta que nos acolhe. Em 1661, o escritor inglês John Evelyn publicou o livro “Fumifugium, or the inconvenience of era and smoke of London, dissipated, together with some remedies humbly proposed”, onde destacava os incômodos da fumaça do carvão, que atingia locais a quilômetros de distância da fonte de emissão.

No ano de 1952, um nevoeiro muito intenso proveniente da poluição industrial causou a morte de mais de 4000 pessoas na Inglaterra, acarretando mais de 20.000 casos de doenças. Tal situação levou a aprovação, em 1956, da Lei do Ar Puro, que estabelecia limites entre a emissão de poluentes e os níveis aceitáveis de qualidade do ar. Outras leis se seguiram nos Estados Unidos, América do Norte, países da Europa Ocidental e no Japão.

A partir de 1968, quando os astronautas tiraram as primeiras fotografias da Terra vistas do espaço, pudemos observar a Terra inteira e perceber o quanto a Terra é pequena e frágil diante da imensidão do universo. Durante a década de 70, surgiram movimentos que passaram a se preocupar com questões ambientais como a poluição, a destruição de áreas naturais, o consumo de alimentos e energia, além da diversidade biótica. A década de 70 ficou conhecida como “década do ambiente” e o dia 22 de abril de 1970 como o primeiro “Dia da Terra”. (ODUM e BARRET, 2007)

Em 1972, ocorreu em Estocolmo a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, promovido pelas Organizações das Nações Unidas (ONU) com a participação de 114 países, trazendo os novos conceitos de desenvolvimento sustentável e de ecodesenvolvimento. (SZINVELSKI, 2005)

Nessa mesma década, constatou-se que a concentração de ozônio estratosférico, que nos protege da radiação ultravioleta, estava sendo reduzido de maneira bastante significativa, em especial, na Antártida. Em 1974, os cientistas Paul Crutzen, F. Sherwood e Mario Molina alertaram que o esgotamento do ozônio era provocado por produtos químicos, em especial, a emissão de gás clorofluorcarbono (CFC). Em 1987, foi assinado o Protocolo de Montreal, no qual os governos do mundo concordavam em abandonar os produtos químicos nocivos. Esse protocolo tem um caráter especial, por ter sido o primeiro de abrangência mundial.

Em 1992, no Rio de Janeiro, 155 nações assinaram a Convenção das Nações Unidas para a Mudança Climática, que estabeleceu o ano 2000 como limite para os signatários reduzirem suas emissões no nível de 1990. Em 1997, os signatários chegaram a um novo entendimento sobre a redução das emissões, que ficou conhecido como Protocolo de Kyoto, que estabelecia limites para emissões de gases do efeito estufa para os países desenvolvidos e a possibilidade de comercialização dos chamados créditos de carbono. Somente em 2004, no entanto, um número suficiente de países, não incluindo Estados Unidos, assinaram o protocolo, que pôde, enfim, entrar em vigor. (FLANNERY, 2007)

No ano de 2007, os Relatórios divulgados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima alertaram para a gravidade dos problemas que iremos enfrentar se não reduzirmos de maneira drástica a emissão de gases estufa na atmosfera.

Já no ano de 2009, em abril, foi divulgado um importante relatório da Agência de Proteção Ambiental estadunidense (EPA), denominado “Mandatory Reporting of Greenhouse gases; Proposed rules”, que propõe finalmente uma regulamentação da emissão de gases do efeito estufa para todos os setores da economia relacionados ao suprimento de petróleo e gás, e à emissão direta de gases geradores do efeito estufa. Esse relatório tem grande importância, pois mostra, finalmente, uma preocupação dos Estados Unidos da América com a redução na emissão dos gases estufa.

Em maio de 2009, uma comissão da Universidade de Londres (University College of London Lancet Commission) lançou um relatório denominado “Managing the healthy effects of climate changes”, que faz um estudo a respeito dos inúmeros problemas de saúde que poderão ser ocasionados em decorrência das mudanças climáticas, a desigual distribuição desses problemas entre os países ricos e pobres, e traça algumas diretrizes sobre o modo de mitigar tais problemas. É um relatório bastante extenso e preocupante a respeito do futuro.

Apesar da relevância que a questão ambiental vem ganhando no cenário mundial, notamos que as ações ainda são demasiadamente lentas e incipientes em relação ao que é realmente necessário para modificar o doloroso quadro que nos vem sendo apresentando em relação ao presente e futuro do nosso planeta. No entanto, enquanto o foco das decisões mundiais estiverem pautadas nas vantagens econômicas, em detrimento das necessidades dos homens e do ambiente, tal quadro não poderá ser revertido. É necessário que haja uma mudança decisiva no modo de pensar o mundo.

2.2. Problemas Ambientais Específicos

2.2.1. Chuva Ácida

A acidez de um meio é determinada pelo equivalente da concentração de íons H^+ nesse meio, representada pelo pH. O pH nada mais é que o logaritmo negativo na base 10 da concentração dos íons H^+ . Quando o pH é menor que 7, dizemos que o meio é ácido, ou seja, com excesso de íons positivos. O pH igual a 7 é o indício de um meio neutro, enquanto o pH maior que 7 indica que o meio é básico, ou alcalino.

Normalmente, a chuva já é ligeiramente ácida (pH em torno de 5,6) devido à presença na atmosfera do dióxido de carbono que, ao reagir com a água, origina o ácido carbônico, conforme a seguinte reação:

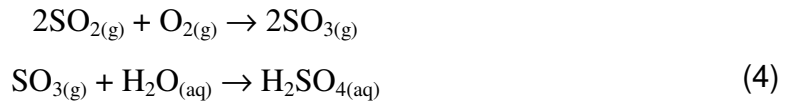


Em seguida, o ácido carbônico sofre um processo de ionização e libera o íon H^+ , que dá o caráter ácido à chuva.

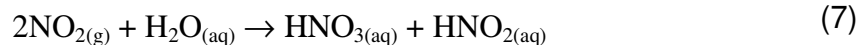
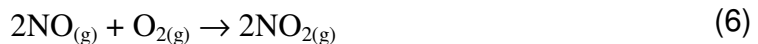


No entanto, do ponto de vista ambiental, a chuva só será considerada realmente ácida quando seu pH for inferior a 5. Isso ocorrerá quando estiverem presentes na atmosfera determinados gases que poderão acentuar a acidez produzida pelo ácido carbônico. (BAIRD, 2002)

Dentre esses gases, destacamos o dióxido de enxofre (SO_2) e os óxidos de nitrogênios (NO_x), que, na presença da radiação solar, reagem com a água em suspensão, formando os ácidos sulfúrico (H_2SO_4), o ácido nítrico (HNO_3) e o ácido nitroso (HNO_2). O ácido sulfúrico é formado predominantemente a partir das reações:



A formação dos ácidos nitrogenados ocorre, na maior parte das vezes, a partir da interação inicial do nitrogênio com o oxigênio atmosférico, que forma o óxido nítrico. Esse, por sua vez, pode reagir novamente com o oxigênio, gerando o dióxido de nitrogênio que, reagindo com a água, forma o ácido nítrico e o ácido nitroso. As reações descritas são mostradas abaixo.



Na Europa e no nordeste dos Estados Unidos foram registradas amostras de chuvas com valores de pH acentuadamente baixos, especialmente, nas áreas mais industrializadas. No Brasil, nas cidades de Niterói e do Rio de Janeiro foram encontrados valores de pH entre 4,3 e 5,3. No Rio Grande do Sul, na região metropolitana de Porto Alegre, os valores mínimos encontrados na água das chuvas ficaram em torno de 4,0. (MIRLEAN et al., 2000)

O homem tem contribuído decisivamente para o aumento da concentração atmosférica dos gases responsáveis pela acidificação da chuva. Naturalmente, o SO_2 é liberado em emissões vulcânicas e durante a decomposição de plantas. O aumento da emissão antrópica do SO_2 se dá pela combustão de carvão nas termoelétricas, nos processos de mineração e também na queima de combustíveis fósseis, como a gasolina e o diesel utilizados no transporte.

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) provêm de fontes naturais, tais como atividade vulcânica, queima de biomassa (fundamentalmente queima de florestas provocada por fontes naturais) e atividade bacteriana. Porém, o tráfego automobilístico, assim como a combustão em caldeiras e fornos, atividades antropogênicas, constituem as principais fontes de formação destes óxidos. As

emissões de NO_x no mundo são de 10 milhões de toneladas por ano, provenientes de fontes naturais e 40 milhões de toneladas por ano, de fontes antropogênicas oriundas principalmente dos processos de combustão, tais como as emissões automotivas. (CÓNSUL et al., 2004)

Como esses gases podem ser levados pelo vento a grandes distâncias, as chuvas ácidas poderão ocorrer em localidades distantes da fonte de emissão dos gases. Tal característica faz com que a chuva ácida seja um problema regional de poluição, ultrapassando, muitas vezes, as fronteiras dos estados e nações.

Os gases NO_x e SO_2 podem acarretar danos e prejuízos ao ambiente e ao homem mediante dois mecanismos diferentes. No primeiro deles, a que denominamos de deposição seca, os gases são depositados em sólidos ou líquidos antes mesmo de sofrerem oxidação no ar. Dessa forma, a oxidação e conversão para ácido ocorre após a deposição. Esse mecanismo pode causar sérios danos a vegetação e a outras estruturas e monumentos arquitetônicos construídos pelo homem. (GOLDEMBERG, 2002)

A precipitação úmida, onde os gases sofrem reações em contato com a água da chuva antes mesmo da precipitação, é extremamente nociva ao solo que, se tornando muito ácido, reduz a capacidade de crescimento de algumas plantas de forma indireta, gerando a volatilização de compostos orgânicos nitrogenados, com prejuízos à vegetação e à agricultura. Além disso, a chuva ácida provoca a acidificação de lagos e rios, sendo extremamente nociva aos ecossistemas aquáticos.

2.2.2. Smog Fotoquímico

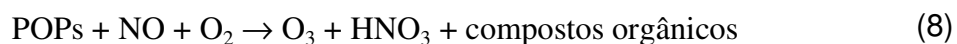
A palavra “smog” vem da combinação das palavras “smoke”, que significa fumaça e “fog”, cuja tradução é neblina. Sua ocorrência se deve a principalmente a uma concentração anômala do ozônio (O_3) na região atmosférica mais próxima da Terra, denominada de troposfera. Normalmente, o ozônio é encontrado na estratosfera, onde exerce importante papel ao filtrar a radiação ultravioleta. No entanto, a presença de diversos poluentes na atmosfera, tem induzido um grande

número de reações químicas, que ocasionam a geração do ozônio em regiões inadequadas.

Os reagentes originais mais importantes nas ocorrências do smog fotoquímico são o óxido nítrico (NO) e os chamados Poluentes orgânicos permanentes (POPs). O óxido nítrico é produzido a partir da combinação do nitrogênio diatômico e o oxigênio presentes no ar. Tal combinação ocorrerá quando estes estiverem submetidos a elevadas temperaturas, o que ocorre, por exemplo, em reações de combustão.

Os POPs são provenientes da queima incompleta nos motores de combustão interna e outras fontes. São substâncias que se vaporizam facilmente, como os hidrocarbonetos e seus derivados. Os POPs mais reativos no ar urbano são aqueles que têm uma ligação dupla entre dois carbonos, como é o caso do etileno (C₂H₄). (BAIRD, 2002).

Outro elemento indispensável na formação do ozônio troposférico é a luz solar, que propicia um aumento nas concentrações dos radicais livres, que participam das reações químicas que geram o smog. A reação da formação do ozônio na troposfera é a seguinte:



Nessa reação, destacamos o fato de que o NO e os POPs são emitidos diretamente no ar, sendo chamados de poluentes primários. O ozônio e o ácido nítrico (HNO₃), por sua vez, não são emitidos diretamente, mas são produtos da reação química, sendo chamados, portanto, de poluentes secundários.

A ocorrência de smog fotoquímico está bastante associada ao tráfego intenso de veículos comum nas grandes cidades, uma vez que a combustão veicular é a principal fonte de emissão dos compostos orgânicos voláteis, além de ocasionar a formação do óxido nítrico. Altas temperaturas e forte incidência de radiação solar também são fatores que facilitam a ocorrência das reações que promovem o smog fotoquímico. Lembramos ainda que, quando o movimento das

massas de ar é relativamente pequeno, os poluentes não serão rapidamente espalhados e diluídos, o que também facilita a ocorrência do smog.

Algumas cidades, que apresentam muitos desses fatores, como Los Angeles, Denver, Tóquio, Atenas, São Paulo e Roma apresentam casos freqüentes de smog fotoquímico. (BAIRD, 2002)

O nível elevado de ozônio na troposfera durante a ocorrência do smog fotoquímico pode ocasionar graves conseqüências. Dentre elas, destacamos os danos causados à agricultura e a alguns materiais, como borracha e tecidos, além dos sérios prejuízos acarretados à saúde humana. Diferentes estudos mostram que um aumento de apenas 10 ppb na concentração de ozônio troposférico pode elevar as taxas de mortalidade humana em até 0,87%. (NAWROT et al., 2007)

Para reduzir a incidência desse fenômeno na atmosfera das grandes cidades, torna-se necessário reduzir a concentração dos reagentes, como o NO e os hidrocarbonetos mais reativos, que possuem ligação dupla entre os carbonos.

2.2.3. Aquecimento Global

O fenômeno do aquecimento global tem recebido recentemente enorme destaque no cenário mundial devido aos significativos impactos que pode acarretar. Dentre esses, destacamos o aumento das temperaturas médias globais do ar e do oceano, a redução nas superfícies de gelo na Groenlândia e na Antártida, a ocorrência dos eventos climáticos extremos, como seca, precipitação forte, ondas de calor e ciclones tropicais mais intensos, extinção de espécies animais e vegetais. (MCCARTHY ET AL., 2007) Há previsões de que, o nível do mar seja elevado de maneira significativa devido ao derretimento das calotas polares (SIDALL et al, 2009)

Artigos recentes alertam que algumas dessas conseqüências são inevitáveis, dada a irreversibilidade do fenômeno e o elevado tempo de residência dos gases estufa na atmosfera. (SOLOMAN et al., 2008; HANSEN et al, 2008)

Além dos impactos ao meio ambiente, o aquecimento global poderá gerar sérios danos à saúde humana, ao alterar os padrões das doenças conhecidas,

possibilitar a multiplicação dos vetores de certas doenças em muitas regiões, além de contribuir com a escassez de água e alimentos, o que, de maneira indireta, contribui com o aumento de doenças. (LANCET UCL, 2009)

O aquecimento global é o resultado do processo de intensificação de um fenômeno natural, o efeito estufa. Sobre o planeta Terra incide radiação solar, que aquece a sua atmosfera, geosfera e hidrosfera, sendo, dessa forma, responsável pelo ciclo hidrológico e pela manutenção da biosfera.

A quantidade máxima de radiação solar incidente sobre a Terra se situa numa faixa de comprimento de onda entre $0,15\ \mu\text{m}$ a $3\ \mu\text{m}$. Essa faixa compreende a radiação ultravioleta, situada na faixa de $0,15\ \mu\text{m}$ a $0,4\ \mu\text{m}$, a radiação visível, na faixa de $0,4\ \mu\text{m}$ a $0,7\ \mu\text{m}$ e a radiação Infravermelha, na faixa de $0,7\ \mu\text{m}$ a $3\ \mu\text{m}$. Da luz incidente total, 20% é absorvida por gases estratosféricos, 30% refletida de volta para o espaço e apenas 50% alcança a superfície da Terra, grande parte formada pela luz visível. A Terra absorve a maior parte da radiação solar que incide sobre sua superfície e, em seguida, reemite a energia absorvida na faixa de comprimentos de onda do infravermelho, entre $4\ \mu\text{m}$ e $50\ \mu\text{m}$. (BAIRD, 2002).

Os chamados gases estufa são constituídos de moléculas, cujo espectro de absorção se encontra inserido na faixa da radiação infravermelha emitida pela Terra. Como exemplo, podemos citar o CO_2 , que absorve radiação com comprimento de onda em torno de $15\ \mu\text{m}$, o metano, cuja região de absorção encontra-se na faixa de $7,7\ \mu\text{m}$ e o óxido nítrico, que absorve radiação na faixa de $8,6\ \mu\text{m}$, todos na região do infravermelho emitida pela Terra. Dessa forma, os gases estufa absorvem a radiação proveniente da Terra para, em seguida, reemitir em todas as direções, fazendo com que parte da radiação que escaparia de volta para o espaço fique retida na Terra, resultando num aquecimento adicional da atmosfera e da superfície terrestre.

O efeito estufa natural é de extrema importância, pois mantém a temperatura média do planeta em torno dos $14,5^\circ\text{C}$. Não fosse a presença dos gases estufa, a temperatura média da Terra estaria em torno de 30°C abaixo da temperatura média atual, inviabilizando a vida de grande parte das espécies existentes no planeta, inclusive a vida humana.

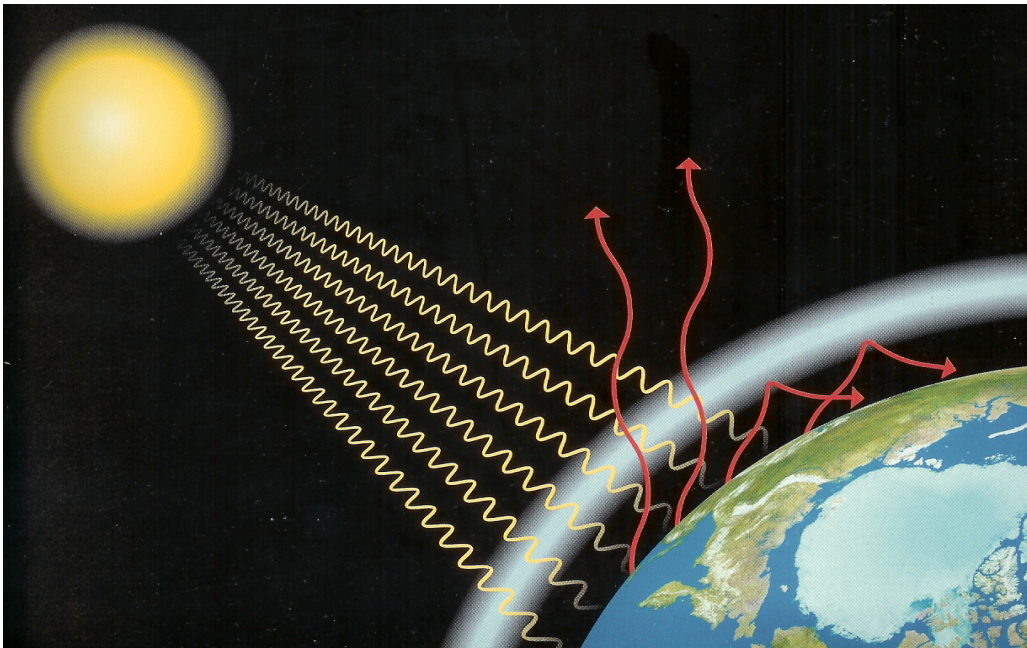


Figura 1. Efeito Estufa: uma camada de gases que se comporta como um cobertor para nosso planeta. Fonte: GORE, 2006.

O homem, no entanto, principalmente após a Revolução Industrial, devido ao uso incontrolável de combustíveis fósseis, tem acrescentado na atmosfera uma quantidade excessiva de gases geradores do efeito estufa, alterando, dessa forma, a constituição atmosférica e retendo mais calor no planeta.

A primeira parte do Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC), divulgado em fevereiro de 2007 apresenta a Figura 2, que contém os principais componentes que produzem um forçamento radiativo, definido como a perturbação do balanço de energia do sistema Terra-atmosfera medido em watts por metro quadrado.

O forçamento radiativo positivo produz um efeito de aquecimento, enquanto o forçamento negativo produz um efeito de resfriamento. Observamos na Figura 2 que, ao somar os forçamentos radiativos positivos e negativos, obtemos um saldo positivo de $1,6\text{W/m}^2$, o que nos indica que a Terra está de fato aquecendo, devido a um acréscimo de $1,6\text{J}$ de energia por segundo em cada metro quadrado de sua superfície. Nota-se que os principais gases indutores do efeito estufa são a

o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o ozônio troposférico (O₃).

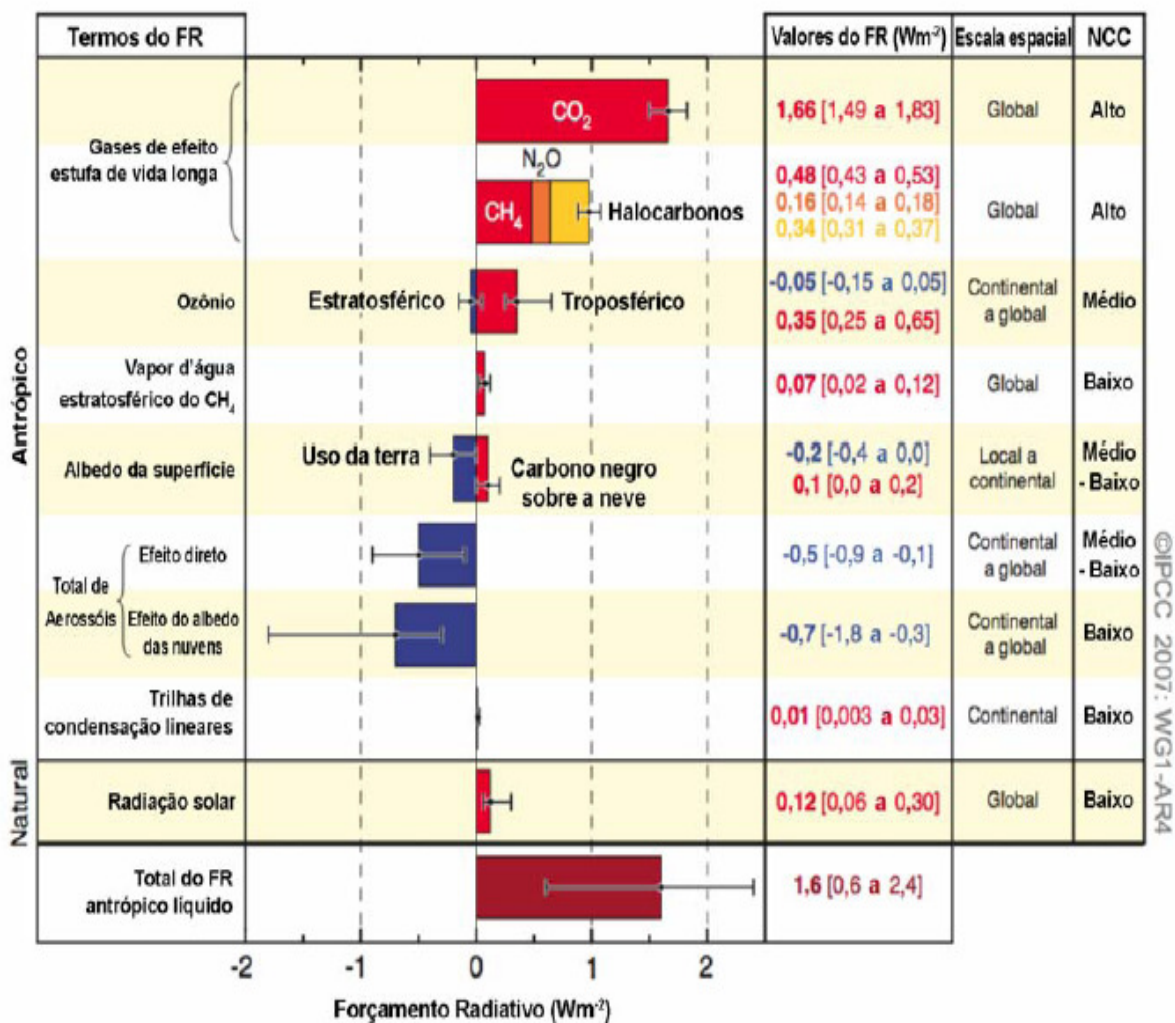


Figura 2. Estimativas da média global do forçamento radiativo (FR) e faixas em 2005 para o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) antrópicos e outros agentes e mecanismos importantes, juntamente com a extensão geográfica típica do forçamento e o nível de compreensão científica (NCC) avaliado. Fonte: MCCARTHY et al., 2007.

O mesmo relatório também apresenta a concentração de gases estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso) ao longo dos últimos 10.000 anos (figura 3). As medidas foram feitas a partir da análise das bolhas de ar aprisionadas nos mantos de gelo de Antártida e da Groenlândia.

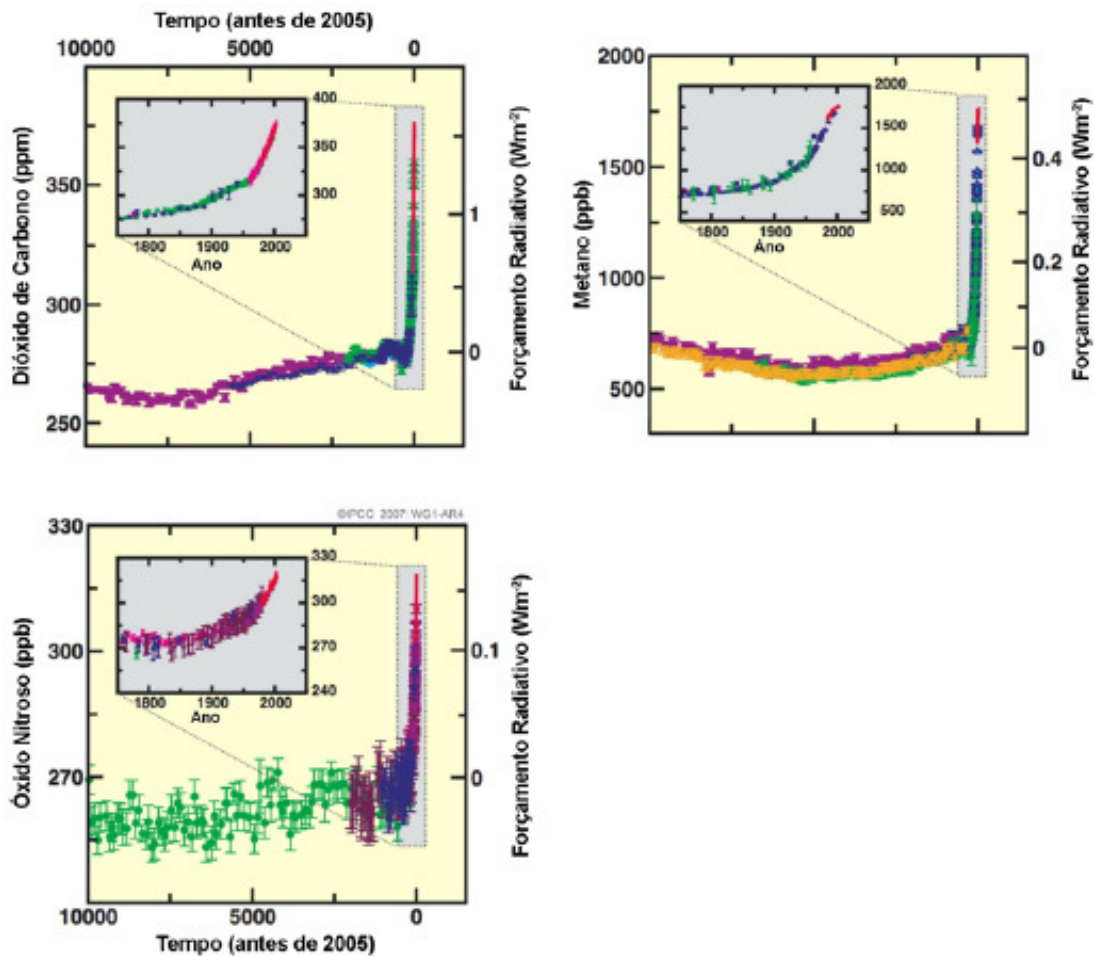


Figura 3 - Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso ao longo dos últimos 10.000 anos (painéis grandes) e desde 1750 (painéis inseridos), obtidas a partir de testemunhos de gelo (símbolos com diferentes cores para os diferentes estudos) e amostras atmosféricas (linhas vermelhas). Fonte: MCCARTHY et al., 2007

Entre os gases geradores do efeito estufa, o dióxido de carbono (CO_2) é o mais abundante. A maior contribuição antrópica na emissão de gás carbônico é proveniente da queima de combustíveis fósseis (como o carvão, o petróleo e o gás natural para a geração de energia elétrica e automotiva). Os combustíveis fósseis foram formados a partir da decomposição e compactação de matéria orgânica ao longo de milhões de anos, de forma que sua queima resulta num acréscimo de carbono há muito tempo enterrado e ausente do ciclo do carbono.

A concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005, como nos mostra

a figura 3 (desde o início das medições diretas contínuas). A taxa de aumento da concentração anual de dióxido de carbono foi mais elevada durante os últimos 10 anos (média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano). (MCCARTHY et al., 2007)

Como a molécula de CO_2 não se decompõe química ou fotoquimicamente, não é fácil determinar seu tempo de vida na atmosfera. Em média, após alguns anos de sua emissão no ar, uma molécula de CO_2 se dissolverá na superfície da água ou será absorvida, tornando-se parte de uma planta em crescimento. O problema é que esse sumidouro de carbono é apenas temporário, já que, alguns anos mais tarde, parte dessas moléculas são liberadas de volta ao ar. O sumidouro permanente para a deposição do dióxido de carbono são as águas profundas do oceano ou a sua precipitação na forma de carbonato de cálcio insolúvel. (BAIRD, 2002)

O metano (CH_4) é 21 vezes mais efetivo que o CO_2 em causar aquecimento global. Pela Figura 3, podemos notar que o metano também sofreu um aumento expressivo desde a época pré-industrial, já que sua concentração de 715 ppb aumentou para 1732 ppb. Segundo o relatório do IPCC, é *muito provável* que esse aumento se deva às atividades antrópicas, como a agricultura e o uso de combustíveis fósseis.

O metano é produzido durante a decomposição anaeróbia de matéria orgânica, o que ocorre em larga escala em pântanos, brejos e terrenos úmidos de cultivo de arroz. Esse tipo de decomposição também é bastante comum nos aterros sanitários, que constituem importante fonte de emissão desse gás. Alguns animais, ao digerirem a celulose de seus alimentos, produzem grandes quantidades de metano como subproduto. O metano também é liberado no ar durante a mineração, processamento e distribuição de combustíveis fósseis. Em relação ao CO_2 , possui um tempo de vida curto na atmosfera, entre 10 e 15 anos.

Por fim, outro importante gás estufa é o óxido nitroso (N_2O), que é um importante gás atmosférico, oriundo de processos de desnitrificação biológica em ambientes ricos em oxigênio e de nitrificação biológica em ambientes anaeróbios. O seu estudo é de incontestável relevância, para o entendimento do ciclo do nitrogênio. (ERNFORS, 2008)

O óxido nitroso, também conhecido como gás hilariante, causa um efeito de aquecimento 310 vezes maior que o dióxido de carbono. Segundo o IPCC, sua concentração sofreu um aumento de um valor pré-industrial de 270 ppb para 319 ppb em 2005, o que simboliza um aumento superior a 18%. O aumento de sua concentração a partir da era pré-industrial contribui para um forçamento radioativo de $0,16 \pm 0,02$ W. (MCCARTHY et al., 2007)

Estima-se que as atividades antropogênicas sejam responsáveis por um total de 40% da emissão total de N_2O . Dentre essas atividades, destaca-se o manejo de solos para a agricultura, com a utilização freqüente de fertilizantes a base de amônia e nitrato, a pecuária, devido a nitrificação e destrinificação do nitrogênio presente nos resíduos de origem animal (estrume e urina), queima de combustíveis fósseis em fontes estacionárias e móveis, produção industrial dos ácidos adípico e nítrico, além das emissões provenientes de processos de tratamento de água residual. (USEPA, 2006)

A agricultura é a principal atividade humana que contribui para a emissão de N_2O , sendo responsável por um total de 84% das emissões de óxido nitroso dentre as fontes antrópicas. (USEPA, 2006)

CRUTZEN et al. (2007) adverte que a produção de biocombustíveis para mitigar a emissão de CO_2 , pode, em contrapartida, acarretar um aumento na emissão de N_2O , podendo gerar, em determinadas situações, um efeito contrário ao esperado. Dessa forma, coloca-se em cheque algumas das vantagens ambientais relacionadas aos biocombustíveis.

2.2.4. Poluição do ar e saúde

Diversos estudos vêm sendo feitos de modo a analisar os efeitos de diferentes poluentes atmosféricos na saúde humana. Nas grandes cidades, em especial, onde o ar costuma ser mais poluído devido ao grande número de veículos automotivos, esses problemas se mostram ainda mais graves.

A maioria das doenças associadas à poluição do ar são respiratórias e cardiovasculares. Alguns estudos na cidade de São Paulo demonstraram uma

associação entre os problemas respiratórios e a presença de poluentes, como material particulado, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e ozônio. Outros problemas cardiovasculares, como esquemias e acidentes vasculares cerebrais também estão associados à poluição atmosférica. (MIRAGLIA et al., 2005)

O ozônio (O_3) tem recebido uma grande atenção nos meios científicos, por prejudicar gravemente as funções respiratórias. O O_3 pode irritar os pulmões e causar inflamação. Outros sintomas incluem tosse, respiração dolorosa e dificuldades da prática de exercício ao ar livre. Exposições repetidas ao O_3 por vários meses podem causar lesões pulmonares permanentes. Mesmo a baixas concentrações, este poluente pode causar agravamento de asma, redução da função respiratória e aumento da susceptibilidade a doenças respiratórias, tal como a pneumonia e bronquite. (MENDES e SILVA, 2006)

O dióxido de enxofre (SO_2) é outro importante poluente atmosférico que pode ocasionar mudanças nos padrões respiratórios e, em concentrações mais elevadas, pode, inclusive, ocasionar lesões irreversíveis na mucosa nasal.

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um gás muito tóxico. A pessoa atingida sente imediatamente ardência nos olhos, no nariz e nas mucosas em geral. O NO_2 reage com todas as partes do corpo expostas ao ar, pele e mucosas provocando lesões celulares. Os epitélios (revestimentos celulares) que mais sofrem são aqueles das vias respiratórias, ocorrendo degenerações celulares e inflamações no sistema respiratório, desde o nariz até a profundidade dos alvéolos pulmonares. (CÓNSUL et al., 2004)

O monóxido de carbono, gás incolor e inodoro, tem uma grande afinidade com a hemoglobina sangüínea. Dessa forma, quando se liga a ela, o CO impede o transporte do oxigênio, gás responsável por fornecer energia as nossas células. Se aproximadamente 2% da hemoglobina estiver ligada ao CO, a atividade normal da pessoa fica debilitada. Se esse percentual estiver entre 10 e 20% pode causar a morte do indivíduo. (LAWRENCE and FOLINSBEE, 1992).

Uma exposição prolongada ao CO, mesmo em baixas concentrações, pode ocasionar efeitos tóxicos cumulativos como insônia, cefaléia, fadiga, diminuição da

capacidade física, tonturas, vertigens, náuseas, vômitos, distúrbios visuais, alterações auditivas, doenças respiratórias, anorexia, síndrome de Parkinson, isquemia cardíaca, cardiopatias e arteriosclerose (LACERDA, 2005)

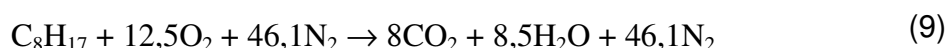
A resolução do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) nº 3, de 28 de junho de 1990 dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. O documento está disponível nos anexos.

2.3. Características dos combustíveis

2.3.1. Gasolina

A Gasolina é o combustível mais consumido em todo o mundo. Esse importante derivado do petróleo é um combustível não-renovável, constituído primordialmente por hidrocarbonetos leves, que contém de 4 a 12 carbonos. Sua faixa de destilação varia de 30°C a 220°C à pressão atmosférica. (CPS, 2001).

De acordo com MILHOR (2002), para analisar a reação de combustão da gasolina, podemos, com algumas aproximações, representar sua fórmula molecular como C_8H_{17} . Supondo que o ar seja composto por 21% de O_2 e 79% de N_2 , a reação de combustão completa da gasolina pode ser descrita pela reação:



Em um funcionamento hipotético de um motor ideal, seria consumida uma mistura ar combustível estequiométrica, ou seja, que mantém a proporção ideal entre os reagentes para a ocorrência de uma queima completa, de modo a formar apenas CO_2 e água.

No entanto, segundo MARTINS (2005), não é possível que um motor de combustão interna real efetue apenas a queima completa do combustível, devido a alguns fatores, tais como: tempo reduzido para a reação entre o combustível e o oxigênio, mistura não-homogênea entre o ar e o combustível, fazendo com que certos locais fiquem com excesso de oxigênio e outros com falta, variações de

carga, rotação, temperatura do ar e do próprio motor, que promovem alterações na combustão, demandando o fornecimento de misturas fora da razão estequiométrica, dentre outros fatores.

Dessa forma, quando a quantidade de oxigênio é insuficiente para proporcionar a combustão completa, teremos como subproduto, além do dióxido de carbono, o monóxido de carbono. Verifica-se que quanto maior o percentual de carbono no combustível será a emissão de monóxido de carbono na região de mistura rica. Dessa forma, a emissão de CO quando o combustível utilizado é a gasolina, em que o percentual de carbono é de 86,37%, deverá ser maior do que quando se utiliza o etanol, cujo percentual de carbono é de apenas 52,14%. (DELAVIA, 2000)

Além disso, a gasolina utilizada nos veículos não é completamente pura, sendo constituída também de compostos sulfurados, compostos nitrogenados e traços de metais. Dessa forma, quando o enxofre presente na gasolina reage com o oxigênio do ar, haverá a formação do dióxido de enxofre. A formação dos óxidos de nitrogênio, por sua vez, poderá ocorrer através da oxidação do nitrogênio atmosférico em elevadas temperaturas na câmara de combustão, ou ainda através da oxidação de compostos de nitrogênio presentes no próprio combustível. (CÓNSUL et al., 2004)

Uma importante característica da gasolina é o poder anti-detonante ou a octanagem, que é a resistência à combustão espontânea, avaliada em relação à temperatura e a pressão. A octanagem é uma propriedade fundamental para o bom desempenho do motor. (MARQUES et al., 2003).

O chumbo tetraetila é utilizado com objetivo de aumentar a octanagem da gasolina. No entanto, em virtude de seu alto grau de toxicidade, ele vem sendo gradativamente substituído por compostos oxigenados. No Brasil, o composto oxigenado mais utilizado é o etanol, que constitui de 20 a 25% da nossa gasolina. A utilização do álcool etílico em substituição do chumbo tetraetila para aumentar a octanagem da gasolina mostra-se ambientalmente e economicamente vantajosa no Brasil.

2.3.2. Etanol

Ultimamente, o etanol tem recebido grande destaque na mídia, sendo apontado como um potencial substituto para a gasolina na indústria automobilística. Entre suas vantagens, destaca-se o fato de ser um combustível renovável e de reduzir de maneira considerável a emissão de CO₂. Essa redução se deve principalmente a dois fatores: o primeiro deles é devido ao fato de que, durante o crescimento da planta (por exemplo, a cana-de-açúcar) utilizada na produção do etanol, o CO₂ emitido no processo de combustão é retirado do ar, através da fotossíntese. Isso propicia ao etanol grande vantagem em relação à gasolina.

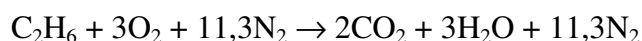
O segundo fator está relacionado à própria relação estequiométrica da combustão. É possível calcular o dióxido de carbono máximo teórico na relação de combustão através do balanceamento da massa. No caso da gasolina, esse balanceamento produz um valor máximo de 13,34% de dióxido de carbono, e no caso do álcool, esse valor é de 12,24%. (DELAVIA, 2000)

Além disso, as emissões de determinados poluentes, como material particulado, monóxido de carbono e dióxido de enxofre são, em geral, reduzidas em relação à gasolina.

Uma desvantagem em relação à utilização do etanol é o aumento na emissão de aldeídos. Entretanto, o acetaldeído proveniente do uso do álcool é menos agressivo à saúde humana e ao meio ambiente que o formaldeído produzido pela combustão de gasolina. (SZWARC, 1995)

O etanol pode ser produzido a partir do processo de fermentação de açúcares ou amido produzidos em larga escala em determinadas plantas, como a cana-de-açúcar, o milho, a beterraba e o sorgo. O etanol também pode ser produzido através da hidrólise de materiais lignocelulósicos presentes, por exemplo, no bagaço e na palha da cana-de-açúcar e na madeira.

A combustão completa do etanol, desconsiderando a fração de água presente no álcool hidratado, pode ser representada pela relação:



Para prever as vantagens ambientais do etanol é necessário considerar todas as etapas de sua cadeia produtiva. Dessa forma, percebemos que existe emissão de N_2O durante o plantio da espécie agrícola que será utilizada para produção do etanol. Segundo CRUTZEN et al. (2008), o efeito de redução de emissões de CO_2 é contrabalanceado pela maior emissão de óxido nitroso, cujo efeito de aquecimento é cerca de 310 vezes maior do que o do CO_2 .

Além da emissão desse poderoso gás estufa, devemos levar em conta a emissão de CO_2 durante a combustão do óleo diesel utilizado no maquinário agrícola e nos caminhões que transportam a matéria-prima até a usina, e ao processo de fermentação para gerar o etanol. É possível que algumas das vantagens ambientais do etanol sejam reduzidas depois de analisados todos os passos desse processo.

A partir dos estudos de MACEDO et al. (2008), a Copersucar e a Única (2009) elaboraram um gráfico, que apresenta o balanço energético das principais matérias-primas utilizadas para a produção de etanol (figura 4). O balanço energético simboliza a quantidade de energia renovável que pode ser gerada para cada unidade de energia fóssil utilizada na produção do etanol. Nota-se que o etanol brasileiro, produzido a partir da cana-de-açúcar, apresenta um balanço energético bastante superior ao etanol gerado a partir de qualquer outra matéria-prima no mundo. O milho americano, por exemplo, requer uma unidade de energia proveniente de combustíveis fósseis para produzir somente 1,4 unidades de energia renovável, enquanto a cana brasileira é capaz de produzir 9,3 unidades de energia para cada unidade de combustível fóssil. Sendo assim, a cana brasileira desponta como a matéria-prima mais eficiente na produção de biocombustíveis.

Em seu estudo, MACEDO também prevê que o balanço energético da cana-de-açúcar deve aumentar para um valor 11,6 até o ano de 2020, caso sejam implementados esforços para reduzir a quantidade de fertilizantes minerais e de combustíveis fósseis na cadeia produtiva da cana.

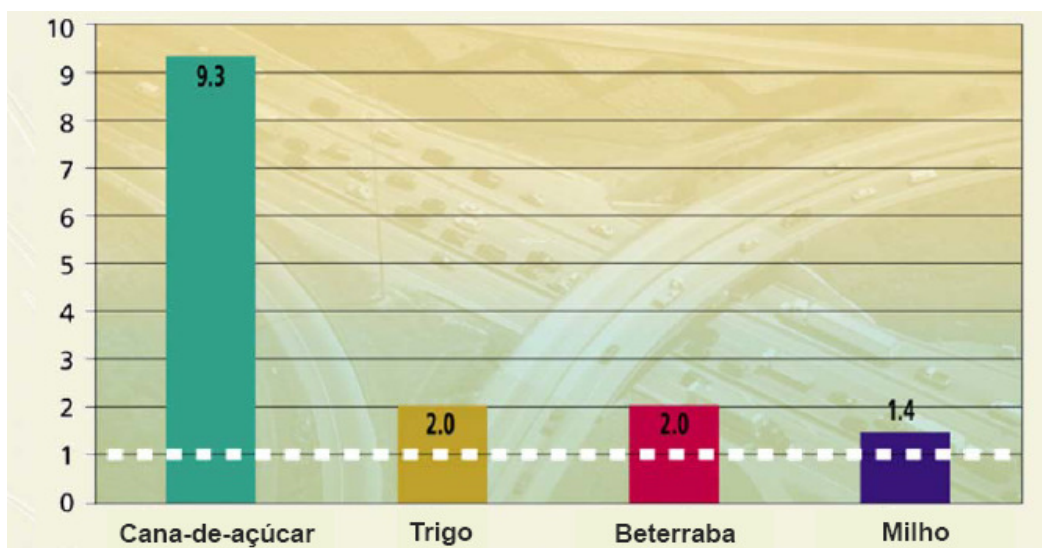


Figura 4. Balanço energético das principais matérias-primas utilizadas para a produção de etanol. Fonte: COPERSUCAR e ÚNICA, 2009.

Alguns estudos, no entanto, apresentam resultados discrepantes para o balanço energético da cana-de-açúcar. Segundo ANDREOLI e SOUZA (2007), o etanol da cana-de-açúcar seria capaz de gerar apenas 3,24 unidades de energia renovável produzidas a partir de uma unidade de energia fóssil. PATZEC e PIMENTEL (2005) afirmam que, caso o bagaço e o restolho da cana não sejam utilizados como fonte de energia na produção do etanol, o balanço energético da produção da cana-de-açúcar pode alcançar valores negativos. Essa polêmica está longe de ser resolvida, de forma que é necessário implementar novos estudos a respeito das emissões de gases estufa no ciclo de vida da cana-de-açúcar.

Uma outra questão relevante é o procedimento comum e prejudicial adotado em grande parte dos canaviais brasileiros: a queima anual que ocorre antes da colheita para remover o material das folhas mortas e alguma camada de cera. Essa queima libera gás carbônico, ozônio, óxidos de nitrogênio e de enxofre, além da fuligem da palha queimada.

A queimada contribui ainda com a destruição da microbiota, diminuição da umidade e porosidade dos solos, aumentando a compactação e, conseqüentemente, a erosão. A lixiviação carrega grandes quantidades de nutrientes e a combustão, da mesma forma, contribui para essa perda; um

canavial em chamas expõe de 30 a 60 kg de nitrogênio e de 15 a 25 kg de enxofre por hectare. (CAMARGO et al, 2007)

Em São Paulo, através do “Protocolo Verde”, a indústria canavieira paulista promete acelerar a eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar, que deverá ocorrer até 2017. Para erradicar definitivamente as queimadas, é necessário aumentar a fiscalização e a punição dos responsáveis por essa prática tão atrasada e prejudicial à atmosfera.

Além disso, um outro problema a ser analisado é a possibilidade de que a crescente utilização do etanol combustível esteja afetando e venha a afetar ainda mais a produção de alimentos no mundo, gerando inflação e aumentando a fome. Isso é bastante preocupante, já que, de acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO, 2009), a fome já atinge mais de 1 bilhão de pessoas em todo o mundo. A utilização do milho norte-americano para produção de etanol, por exemplo, pode ser um fator decisivo para a inflação no preço de alimentos à base de milho e de carne. Apesar das especulações em torno do assunto, não existe ainda nenhuma prova definitiva de que o etanol brasileiro produzido a partir da cana-de-açúcar esteja contribuindo com o aumento nos preços dos alimentos ou com a fome no mundo.

Segundo o Anuário Estatístico da Agroenergia do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, no Brasil, 8,92 milhões de hectares de terra foram utilizados para o plantio de cana-de-açúcar no ano de 2008, o que corresponde a aproximadamente 1% das terras agricultáveis brasileiras. Segundo dados da Embrapa, existem 90 milhões de hectares disponíveis para a expansão da agricultura no Brasil.

Esse quadro ainda é bastante favorável. No entanto, se o Brasil se propuser a satisfazer não só o seu mercado interno, mas à crescente demanda do mercado mundial, é possível que esse quadro se torne insustentável ao longo do tempo. A expansão da produção de cana-de-açúcar poderá tomar espaço de outras culturas, como a soja, resultando num aumento do seu preço no mercado. Essa expansão poderá também fazer com que essas culturas ocupem outras áreas,

podendo ocasionar desmatamento em áreas como a Amazônia, o Pantanal e o Cerrado, com graves conseqüências à biodiversidade brasileira.

Além disso, cabe lembrar que, historicamente, a cana tem sido produzida no Brasil em grandes latifúndios monocultores. Durante o Proálcool, houve um grande investimento nas regiões sucro-alcooleiras, acompanhado pelo processo de expropriação, acumulação primitiva e concentração de terras. Esse fato representa um enorme problema, já que no Brasil existe enorme demanda por um programa sério de reforma agrária.

Uma alternativa interessante seria tentar aumentar a produtividade dos biocombustíveis, através de desenvolvimentos tecnológicos no setor industrial e agroindustrial, sem aumentar a área da cultura. Isso pode ser feito através do desenvolvimento do chamado etanol de segunda geração, produzido a partir de materiais lignocelulósicos, presentes no bagaço e na palha da cana. Isso permitiria, a princípio, um aumento de 200% na produção de etanol com a mesma área plantada. (LEITE, 2007)

Do ponto de vista social, existem inúmeras denúncias de que o setor sucro-alcooleiro emprega mão-de-obra infantil e femininas em tarefas penosas e insalubres, com jornadas longas, salários miseráveis e contratos que não lhes garantem nenhum direito. Segundo ALVES (2006), diariamente, um trabalhador que corta cana caminha, em média, 8.800 metros, despende 36.6300 golpes de podão, faz 800 trajetos levando 15kg nos braços por uma distância média de 1,5 a 3 metros, faz aproximadamente 36.630 flexões de perna para golpear a cana, perde, em média, 8 litros de água, estando exposto ao sol, sob efeitos da poeira, da fuligem, trajando uma indumentária que o protege da cana, mas aumenta a temperatura de seu corpo. São condições subumanas sem um mínimo de insalubridade e respeito às condições de vida desse trabalhador.

A questão é demasiadamente complicada e é necessário pensar em todos os aspectos envolvidos. Se o etanol tende a ganhar bastante espaço no mercado brasileiro e mundial, podendo ser um dos prováveis substitutos do combustíveis fósseis no setor de transporte, é preciso criar condições para que essa expansão seja feita com bastante cautela. O governo deve fiscalizar de maneira séria e

garantir aos cortadores de cana os devidos amparos trabalhistas, melhores salários, melhores condições e menor carga diária de trabalho. Se atualmente vemos que a Petrobrás oferece diversos benefícios aos seus funcionários, como, por exemplo, a tradicional participação nos lucros, porque a indústria sucroalcooleira não pode também oferecer tais benefícios aos seus trabalhadores? Afinal, se o lucro gerado pelo etanol ficar concentrado nas mãos de poucos agronegociadores, não haverá de fato o sonhado desenvolvimento econômico e social.

2.3.3. Do Proalcóol aos veículos FLEX

A utilização do etanol produzido a partir da cana no Brasil remonta da década de 70, quando a súbita elevação no preço do barril do petróleo gerou uma grande crise no Brasil e em todos os países onde a matriz energética era fortemente dependente dos combustíveis fósseis. Tal situação propiciou uma busca de alternativas que diminuíssem nossa dependência desse tipo de combustível.

Essa busca fez com que, no ano de 1975, o Governo Brasileiro criasse o Programa Nacional do Álcool, ou Proálcool. Numa primeira fase, o programa previa a adição de 22% de etanol à gasolina (gasohol). A seguir, foram produzidos veículos movidos exclusivamente a álcool que, rapidamente, se espalharam por todo o país, já que o preço do álcool combustível era bem inferior ao da gasolina. O programa brasileiro foi economicamente e tecnologicamente muito bem sucedido, contando com profissionais de excelente qualificação e sendo mundialmente reconhecido.

No entanto, com a queda do preço da gasolina, o preço do etanol combustível, inicialmente fixado a 64,5% do preço da gasolina, chegou a alcançar um percentual de 80% no início dos anos 90, perdendo algumas de suas vantagens competitivas. Além disso, nesse mesmo período, o governo brasileiro passou a dar incentivos fiscais aos chamados "carros populares", movidos a gasolina, que, por serem mais baratos, passaram a exercer forte concorrência aos

carros movidos a álcool . Paralelamente a isso, os usineiros brasileiros passaram a destinar a maior parte da cana para a produção de açúcar, ocasionando uma grande queda na produção do etanol, o que gerou uma desconfiança no suprimento regular desse combustível, levando o Brasil à situação de extrema de ter que importá-lo. Todos esses fatores fizeram com que, em meados da década de 90, a venda de carros movidos a álcool no Brasil ficasse próxima de zero, desmantelando o principal programa de biomassa combustível existente no mundo.

Recentemente, com o advento dos veículos FLEX, esse quadro começa a se modificar, uma vez que a possibilidade de abastecer o veículo com álcool ou gasolina dá ao consumidor a opção de escolher o combustível que mais vantagens em cada situação, além de eliminar as incertezas a respeito da irregularidade no abastecimento. Inicialmente desenvolvida nos Estados Unidos e na Europa, essa tecnologia foi introduzida no Brasil somente em 2003, mas está sendo rapidamente difundida por quase todas as montadoras. Atualmente, já existem no mercado brasileiro mais de sessenta modelos de veículos FLEX produzidos por dez montadoras.

No caso brasileiro, o veículo FLEX possui um módulo de injeção eletrônica capaz de gerenciar o funcionamento do veículo para 100% de gasohol (gasolina com etanol anidro misturado em 20 a 25%), para até 100% de álcool hidratado e para qualquer valor de mistura desses combustíveis (BUCCI *et al.* 2003).

A figura 5 mostra a evolução da frota brasileira de veículos leves. Podemos notar os veículos FLEX ocupam uma fatia cada vez maior no mercado de veículos que utilizam o Ciclo Otto, ou seja, que não utilizam diesel como combustível. O gráfico também estima que a participação desses veículos tende a se tornar cada vez maior com o decorrer dos anos, podendo alcançar o valor de 50% dos veículos leves, em 2012 e de 65%, no ano de 2015.

Diante dessa nova realidade trazida pelos veículos FLEX, o consumo de etanol voltou a aumentar de maneira significativa no Brasil. Em 2008, o etanol já era responsável por cerca de 50% do consumo nacional de combustíveis entre

automóveis e veículos comerciais leves movidos a etanol e/ou gasolina. (JANK e NAPPO, 2009)

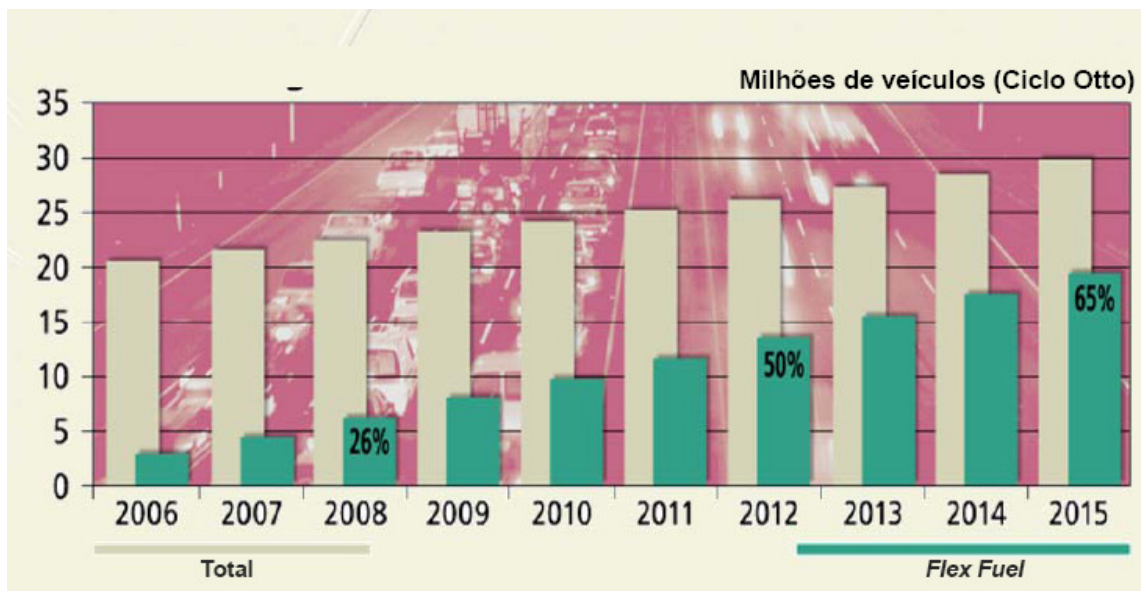


Figura 5. Evolução da frota brasileira de veículos leves. Fonte: COPERSUCAR e ÚNICA, 2009.

CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Fenômeno Fotoacústico

3.1.1. Aspectos históricos

A espectroscopia fotoacústica representa uma excelente técnica para o monitoramento de poluição ambiental. Isto se deve ao fato de preencher vários requisitos necessários à detecção de gases poluentes, tais como: alta sensibilidade e seletividade, capacidade multicomponente, boa resolução temporal, possibilidade de medição *em situ* e ampla faixa de detecção. Além disso, é uma técnica não-destrutiva e de operação relativamente fácil. (SIGRIST et al, 2001)

O efeito fotoacústico foi descoberto pelo cientista e inventor Alexander Graham Bell, em 1880, através do advento que ele denominou de fotofone. O dispositivo era constituído de um espelho plano acoplado ao diafragma de um tubo de fala e de um espelho parabólico receptor conectado a um circuito telefônico. Quando a luz do sol incidia no espelho plano, era modulada pelas vibrações produzidas pela voz da pessoa no diafragma. A luz modulada era refletida e incidia no espelho, convergindo para o foco desse espelho. No foco, havia um disco de selênio conectado ao circuito elétrico do telefone. Como a resistência do selênio varia de acordo com a intensidade da luz incidente, a luz modulada fazia variar a resistência do selênio e, conseqüentemente, a corrente elétrica no dispositivo eletrônico. Como a freqüência de modulação da fala da pessoa é idêntica à modulação da corrente elétrica, a voz da pessoa pode ser reproduzida através do circuito eletrônico. (BELL, 1880)

A figura 6 representa, de maneira esquemática, o dispositivo desenvolvido por Bell. Durante a realização do seu experimento, Bell pôde constatar que era possível produzir som de forma direta a partir da modulação da luz, o que ficou conhecido como efeito fotoacústico. Ele percebeu ainda que o efeito observado também poderia ocorrer em materiais sólidos diversificados, líquidos e gases.

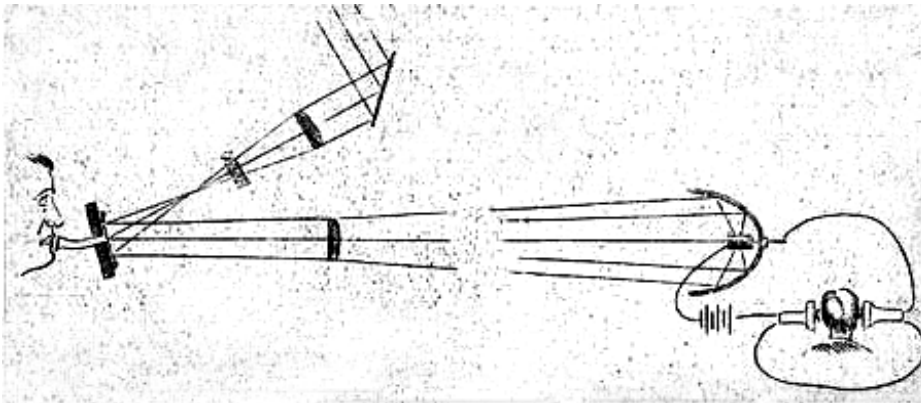


Figura 6. Representação do fofone construído por A. G. BELL (1880)

Nesse mesmo experimento, foi descoberta a possibilidade de se utilizar uma cavidade como amplificador acústico, o que foi de extrema importância durante a demonstração do efeito. (BELL, 1881)

No entanto, devido a falta de instrumentação adequada, como fontes de radiação monocromáticas que tivessem potência elevada em determinadas faixas de absorção, microfones e outros dispositivos eletrônicos, o efeito ficou praticamente esquecido durante quase um século.

Em 1938, Viegnerov introduz um novo sistema fotoacústico, utilizando um corpo negro como fonte de excitação e microfones para amplificar o sinal fotoacústico produzido. A radiação infravermelha produzida era utilizada para detectar moléculas de CO_2 diluídas em gás nitrogênio. (VIEGNEROV, 1939)

Um importante avanço foi conquistado na década de 60, quando, pela primeira vez, o laser passou a ser utilizado como fonte de radiação para a detecção fotoacústica de gases. Comparado às tradicionais fontes de luz utilizadas, o laser proporcionou maior potência e qualidade de feixe. (KERR and ATWOOD, 1968)

Em seus experimentos, KREUZER (1971) consegue obter excelentes resultados, alcançando limites de detecção da ordem de ppbV (partes por bilhão por volume) em amostras de CH_4 diluídos em N_2 . A partir de então, nas décadas de 70 e de 80, a detecção fotoacústica se generalizou. Altas sensibilidades foram

alcançadas em sistemas fotoacústicos utilizando-se lasers a gás que emitem na faixa do infravermelho, tais como os lasers de CO e CO₂.

Hoje, novas fontes de radiação mais compactas, como o laser diodo, o oscilador óptico paramétrico e os lasers de cascata quântica, associados a células mais sensíveis e sistemas eletrônicos mais modernos, possibilitam novos avanços na detecção de traços de gases.

3.1.2. Aspectos teóricos na geração do sinal fotoacústico

De maneira simplificada, o fenômeno fotoacústico consiste na geração de ondas acústicas a partir do aquecimento periódico de espécies gasosas excitadas por uma fonte de radiação. Quando a frequência da radiação incidente coincide com a frequência de absorção de determinadas moléculas presentes na amostra gasosa, estas irão absorver a radiação, saindo do estado fundamental para estados mais elevados.

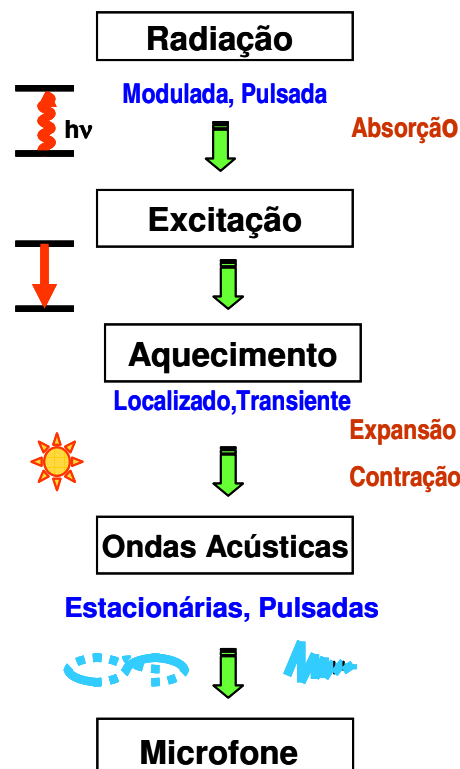


Figura 7. Geração do sinal fotoacústico em amostras gasosas.

A faixa de comprimento de onda escolhida para a realização dos estudos espectroscópicos em moléculas de gás se situa na região do infravermelho médio, entre 3 a 15 μm , onde as moléculas absorvem radiação e são excitadas em seus níveis roto-vibracionais. (SIGRIST et. al, 2001)

As moléculas excitadas em seus níveis roto-vibracionais poderão sofrer dois tipos de decaimento: radiativo e não-radiativo. Como o tempo de decaimento não-radiativo (10^{-6} a 10^{-9} s) é bem inferior ao tempo de decaimento radiativo (10^{-1} a 10^{-3} s) na região do infra-vermelho, o primeiro acaba sendo predominante no processo de desexcitação das moléculas gasosas. O decaimento não-radiativo se dá através de colisões entre as moléculas de gás, gerando um aquecimento na amostra.

Um aspecto fundamental na análise do fenômeno fotoacústico é o fato de que a radiação incidente na amostra é sempre modulada. Em alguns casos, mecanicamente, utilizando-se um chopper; em outros casos, a modulação é elétrica. Em decorrência da modulação, o aquecimento gerado na amostra é periódico. Sendo realizado a volume constante, esse aquecimento periódico irá gerar na amostra uma onda de pressão. Essa onda de pressão, ou onda acústica, será detectada por microfones presentes na célula fotoacústica, transformada em sinal elétrico e enviada a um amplificador *lock-in*.

As leis da mecânica dos fluidos e da termodinâmica podem ser usadas para modelar a geração de ondas acústicas e térmicas nos gases. (MIKLÓS and HESS, 2001)

A densidade de energia por unidade de volume gerado na amostra pode ser obtida por meio da relação:

$$H(r, t) = N\sigma I_0 e^{i\omega t} \quad (11)$$

onde N é a densidade total de moléculas, σ é a seção de choque de absorção das moléculas gasosas, I_0 é a intensidade da radiação e ω é a frequência angular de modulação da radiação incidente. (MIKLÓS and HESS, 2001)

A onda de pressão gerada pode ser relacionada ao aquecimento da amostra através da relação:

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} p(r,t) - v^2 \nabla^2 p(r,t) = (\gamma - 1) \frac{\partial}{\partial t} H(r,t) \quad (12)$$

onde v representa a velocidade do som, γ é o coeficiente adiabático do gás e H , a densidade de calor depositada no gás pela absorção da luz.

A onda de pressão, ou seja, a onda acústica é gerada nas localidades onde a luz é absorvida pelas espécies monitoradas. O sinal fotoacústico de uma amostra monocomponente pode ser calculado através de:

$$S(\lambda) = CP(\lambda)Nc\sigma(\lambda) \quad (13)$$

onde C é a constante da célula, P é a potência emitida pelo Laser no comprimento de onda escolhido, N é a densidade total de moléculas, σ é a seção de choque de absorção das moléculas gasosas e c é a concentração do gás, que desejamos detectar. (MIKLÓS and HESS, 2001)

Utilizando a expressão supracitada, é possível determinar a concentração mínima detectável do gás com o espectrômetro fotoacústico, através de:

$$c_{min} = \frac{S_{min}}{NCP\sigma} \quad (14)$$

onde S_{min} é o sinal mínimo para um gás não-absorvedor inerte (normalmente o sinal do ruído eletrônico).

Podemos observar que o sinal é obtido em função de um determinado comprimento de onda específico para a molécula que desejamos detectar. Observamos ainda que o sinal obtido é diretamente proporcional à concentração do gás. Dessa forma, é possível obter a concentração em função do sinal gerado.

Para uma amostra multicomponente, onde deseja-se determinar a concentração de diferentes espécies gasosas, o sinal fotoacústico pode ser obtido em função de diferentes comprimentos de onda, correspondentes à absorção de cada componente a ser analisado. Nesse caso, o sinal pode ser obtido pela relação:

$$S(\lambda_i) = CP(\lambda_i)N \sum_{j=1}^n c_j \sigma_{ij} \quad (15)$$

com $i = 1, 2, \dots, m$ e $j = 1, 2, \dots, n$ e $m \geq n$.

Nessa situação, o índice i representa as linhas de emissão do laser para cada gás j da amostra. A solução dessa equação para a concentração de cada espécie gasosa é dada por:

$$c_j = \frac{1}{CN} \sum_{i=1}^m (\sigma_{ij})^{-1} \left(\frac{S_i}{P_i} \right), \quad (16)$$

onde $(\sigma_{ij})^{-1}$ é a matriz inversa da matriz (σ_{ij}) .

A constante C da célula depende da geometria da célula, das condições da medida, da frequência de modulação e das características do microfone. Para algumas medidas, em que as células são usadas como ressonadores acústicos, os modos longitudinal, radial e azimutal naturalmente melhoram o parâmetro C da célula em determinadas frequências, onde o sinal se torna bem maior do que em operações não-ressonantes. (BOSCHETTI, 2002) A constante da célula C pode ser expressa como:

$$C = \frac{(\gamma - 1)GLQ}{\omega_1 V} R_{mic} p(r_{mic}), \quad (17)$$

onde γ é o coeficiente adiabático do gás, L e V são respectivamente o comprimento e o volume da célula fotoacústica ressonante, G é a integral de acoplamento entre o feixe de excitação e os modos de ressonância acústicos da célula, $p(r_{mic})$ é a distribuição de pressão, R_{mic} é a sensibilidade do microfone (em

milivolts por pascal) e Q é fator de qualidade da ressonância, que pode ser calculado por:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}, \quad (18)$$

onde f_0 é frequência de ressonância e Δf representa o perfil normalizado de ressonância a meia-largura.

3.2. Laser de Cascata Quântica

O Laser de Cascata Quântica, desenvolvido por FAIST (1994), representa uma excelente fonte para o monitoramento de traços de gases. Dentre suas vantagens destaca-se o seu tamanho compacto, a emissão contínua, alta resolução espectral e a possibilidade de ser operada a uma temperatura próxima à temperatura ambiente. (LIMA, 2006)

Além disso, eles podem ser fabricados para operar em ampla faixa de comprimentos de onda, de 3 μm a 24 μm . Entre suas aplicações, destacamos o monitoramento ambiental, industrial e de controle de processos, além de aplicações químicas e biomédicas. (BECK, 2002)

O Laser de Cascata Quântica acoplado a um detector fotoacústico tem sido utilizado com sucesso para medir a concentração de diferentes gases que absorvem radiação na faixa do infravermelho médio, como o ozônio (GOMES, 2004), a amônia (FILHO, 2005), além dos gases NO_2 e N_2O . (LIMA, 2006)

Esse tipo de laser faz parte da família dos lasers semicondutores, com a particularidade de usar transições quânticas dentro de uma mesma banda. Um Laser de Cascata Quântica compreende uma série de camadas finas de diferentes materiais. Tal configuração permite que sejam criados diferentes barreiras de potenciais elétricos em todo o dispositivo, de modo que os elétrons podem ficar aprisionados nessas regiões, chamadas de poços quânticos. Dessa maneira, são criadas dentro da banda de condução, uma série de subbandas com energias diferentes. (figura 8)

Quando estimulados, os elétrons sofrem transições e tunelam para uma subbanda de menor energia e, então, fótons são emitidos. Um mesmo elétron pode realizar várias transições, ou seja, emitir vários fótons. (GMACHL, 2001)

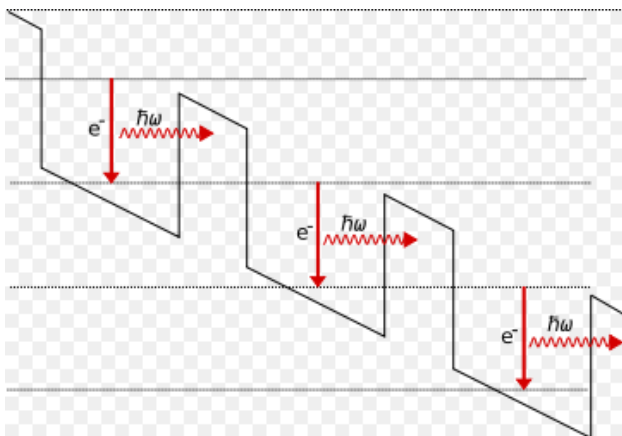


Figura 8. Tunelamento de elétrons através dos poços quânticos presentes na banda de condução de um laser de cascata quântica.

Uma outra característica muito importante dos Lasers de Cascata Quântica é que o comprimento de onda pode ser monitorado pela espessura das camadas dos materiais, ao invés de serem determinadas pela diferença de energia entre as bandas. A escolha de diferentes temperaturas faz variar a espessura do material pelo efeito de dilatação térmica, fazendo com que o tamanho dos poços também seja alterado. Alterando-se o tamanho dos poços, é possível fazer a variação do comprimento de onda emitido pelo Laser, de modo que esse parâmetro está associado à escolha da temperatura. (KOSTEREV, 2002)

O Laser de Cascata Quântica que utilizamos em nosso experimento (Alpes Laser) é do modelo #sb745 e emite radiação na faixa de comprimentos de onda entre 7687 nm até 7798 nm.

3.3. Espectrômetro Fotoacústico acoplado ao Laser de Cascata Quântica

O arranjo experimental utilizado para a detecção do gás N_2O (figura 9) é constituído basicamente de uma fonte de corrente contínua, um gerador de pulsos, uma chave distribuidora, um Laser de Cascata Quântica (Alpes Laser - modelo #sb745) como fonte de excitação, uma célula fotoacústica diferencial, uma

lente convergente, fluxômetros, um medidor de potência, o amplificador *lock-in* e o computador, para aquisição de dados.

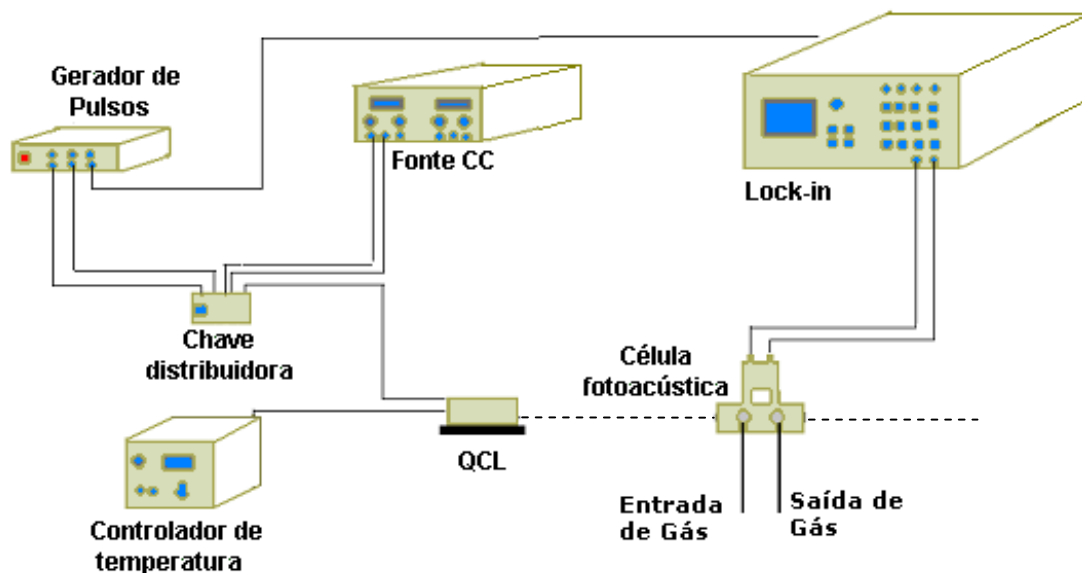


Figura 9. Esquema da montagem experimental do espectrômetro fotoacústico acoplado ao Laser de Cascata Quântica.

A fonte de corrente contínua (Tektronics – modelo PS280 DC Power supply) é utilizada na alimentação e operação do diodo laser. Ela é conectada, através da chave distribuidora, com o gerador de pulsos. Através do Gerador de Pulsos (LPG 128-T), podemos determinar o tempo de duração do pulso do Laser e seu tempo de descanso. Alguns parâmetros podem ser monitorados através de um osciloscópio. Quando ligamos a fonte e o gerador de pulsos ao Laser de Cascata Quântica, uma radiação eletronicamente pulsada é gerada. Com o auxílio de lentes convergentes, essa radiação é focalizada no interior da célula fotoacústica diferencial.

A célula fotoacústica diferencial (figura 10) foi projetada de modo a garantir alta sensibilidade e baixo nível de ruídos eletrônicos e acústicos. (MIKLÓS and HESS, 2001). Tal célula possui dois tubos ressonantes cilíndricos com comprimento de 4 cm e diâmetro de 5,5 mm, dispostos paralelamente. Cada tubo possui um microfone sensível (Knowles 3029) com propriedade e resposta praticamente idêntica. Nessa célula, o fluxo da amostra gasosa passa pelos dois

tubos ressonantes, mas o feixe de Laser passa apenas por um deles. Dessa forma, o ruído e o sinal de fundo são igualmente detectados nos dois microfones, enquanto o sinal fotoacústico é gerado apenas no microfone colocado no tubo ressonante pelo qual atravessa o Laser. Assim, fazendo-se a subtração dos sinais detectados pelos dois microfones, obtém-se uma significativa supressão dos ruídos e do sinal de fundo e, portanto, um aumento na sensibilidade.

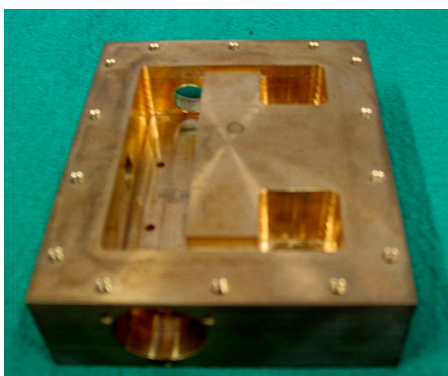


Figura 10. Foto da célula fotoacústica diferencial.

A célula possui duas aberturas: para a entrada e para a saída do gás a ser analisado. O fluxo desse gás é devidamente controlado através de fluxômetros (Brooks Instruments). A foto do arranjo experimental é mostrada na figura 11.

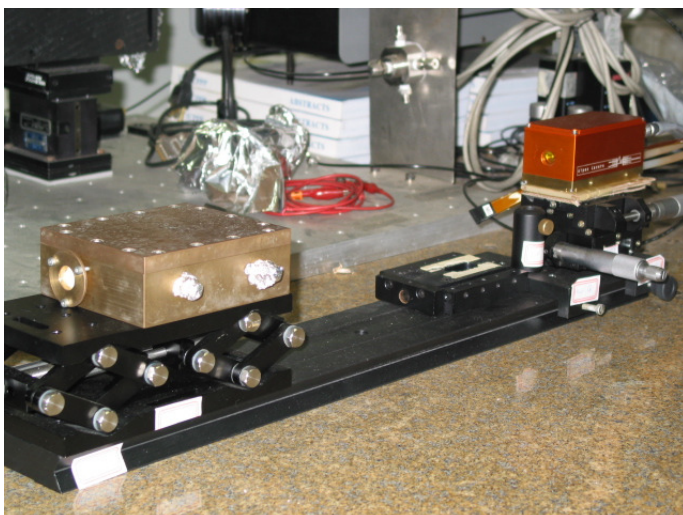


Figura 11. Foto da montagem experimental do Espectrômetro Fotoacústico acoplado ao Laser de Cascata Quântica.

A amostra no interior da célula absorve a radiação emitida pelo Laser, gerando um sinal acústico, que é captado e pré-amplificado pelos microfones, convertido em sinal elétrico, sendo, em seguida, enviado ao amplificador *lock-in* (Stanford Research Systems, SR 850), onde o sinal é detectado, filtrado e processado em amplitude e fase.

Outro elemento de grande importância nessa montagem é o controlador de temperatura (TC-51) que, associado a um banho térmico, permite que o diodo opere em diferentes temperaturas. A escolha da temperatura está associada à escolha do comprimento de onda desejado.

3.4. Analisador Infravermelho URAS

O Analisador Infravermelho URAS (ABB) é um analisador de gases, cujo funcionamento está relacionado à absorção dos gases na região do infravermelho e ao princípio fotoacústico.

O esquema de detecção do URAS (figura 12) é formado por duas células separadas. Uma delas contém o gás nitrogênio, que é inerte. A outra contém o gás que pretendemos analisar. Uma fonte de radiação infravermelha, modulada por um *chopper* incide sobre ambas as células. Na célula que contém o nitrogênio, a radiação é transmitida praticamente em sua totalidade, uma vez que o gás nitrogênio não absorve a radiação. Na outra célula, a radiação é absorvida pelas espécies gasosas que pretendemos medir.

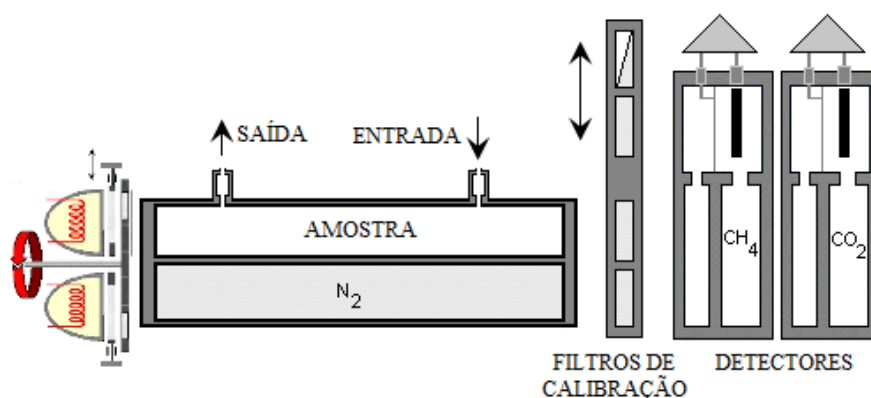


Figura 12. Esquema de detecção do Analisador Infravermelho URAS.

Após atravessar as duas células, a radiação alcança duas câmaras preenchidas com o gás puro certificado que pretendemos detectar. Como a radiação chega de maneira diferenciada nas duas câmaras, o sinal fotoacústico gerado em seu interior também será diferenciado. Uma membrana capacitiva entre as câmaras é defletida em virtude da diferença de pressão e um microfone transforma o sinal acústico em sinal elétrico. Com esse sinal, podemos obter a concentração da espécie gasosa desejada.



Figura 13. Foto do Analisador Infravermelho URAS.

Uma vez que as câmaras detectoras possuem diferentes gases com diferentes faixas de absorção, o Analisador URAS é capaz de detectar vários gases, como CO_2 , CO , SO_2 , NH_3 , NO , N_2O e CH_4 .

Em nossa trabalho, utilizamos o Analisador Infravermelho URAS na detecção dos gases estufa CO_2 e do CH_4 no escapamento de veículos movidos a gasolina.

3.5. Analisador Eletroquímico TEMPEST

As técnicas eletroquímicas constituem poderosas ferramentas na detecção de espécies gasosas, especialmente por causa de algumas características vantajosas como a elevada sensibilidade das determinações, portabilidade, facilidade de automação, possibilidade de miniaturização e baixo custo. (BARD and FAULKNER, 2001)

Os sensores eletroquímicos foram inicialmente utilizados com o simples objetivo de monitorar níveis de oxigênio. Com o avanço das técnicas utilizadas na construção destes dispositivos, no entanto, eles ficaram menores, mais leves e mais seletivos, se tornando capazes de detectar outros gases. Atualmente, uma grande variedade de sensores eletroquímicos está sendo utilizada na detecção gasosa com inúmeras aplicações, dentre as quais, destacamos a aplicação ambiental. (MELLO, 2008)

Um sensor eletroquímico é constituído por um eletrodo de detecção, um eletrodo reagente, um eletrodo auxiliar e um eletrólito inserido entre os eletrodos. Além disso, uma barreira permeável ao gás, também conhecida como membrana hidrofóbica deve recobrir o eletrodo de detecção do sensor a fim de evitar a entrada de água e gases indesejados, além de controlar a quantidade de moléculas gasosas que alcançam a superfície do eletrodo, conforme ilustra a figura 14.

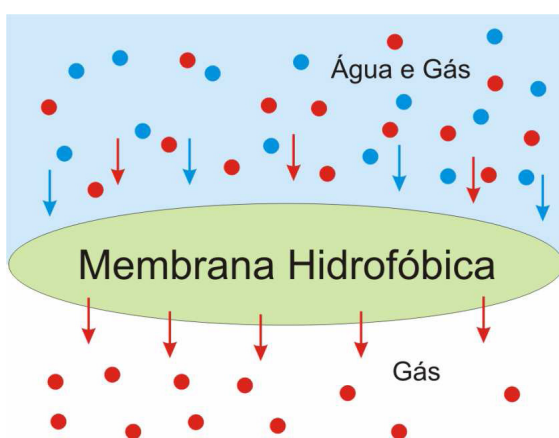


Figura 14. Membrana Hidrofóbica. Fonte: PONZONI, 2007.

Quando o gás penetra no sensor, irá reagir com o eletrodo reagente e, posteriormente, com o eletrodo auxiliar sofrendo processos de oxi-redução. Como os eletrodos estão interconectados a um resistor, será gerada uma corrente elétrica entre o catodo e o anodo. A corrente gerada será proporcional à concentração de gás. (CHOU, 2000) Na figura 15, representamos o esquema de detecção de um sensor eletroquímico.

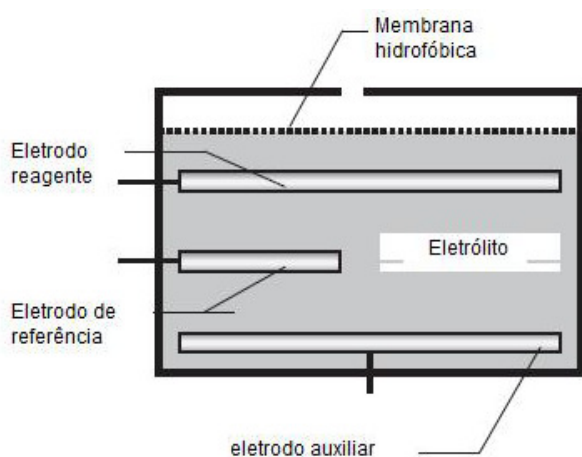
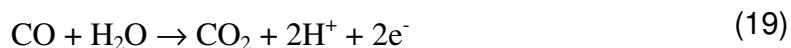


Figura 15. Esquema de um sensor eletroquímico típico. Fonte: PONZONI, 2007.

A escolha do material que constitui o eletrodo depende do tipo de gás a ser detectado. Normalmente são escolhidos os metais nobres, como ouro ou platina. A função do eletrólito é facilitar a reação e transportar a carga iônica eficazmente através dos eletrodos. Para melhor entendermos as reações que ocorrem nos eletrodos, daremos como exemplo o caso da detecção do monóxido de carbono (CO). No eletrodo reagente (anodo), a reação de oxidação do CO pode ser representada por:



Já no eletrodo auxiliar (catodo), com o auxílio de moléculas de oxigênio, observamos a reação de redução, representada por:



As reações de oxidação e redução que ocorrem nos eletrodos são responsáveis pela geração da corrente elétrica através do resistor, o que permite determinar a concentração do gás a ser analisado.

Neste trabalho, utilizamos o Analisador Eletroquímicos TEMPEST (figura 16) para a detecção de CO, SO₂ e NO_x (grupo que compreende os gases NO e NO₂) no escapamento de veículos movidos a álcool e a gasolina.



Figura 16. Foto do Analisador TEMPEST

3.6. Procedimento de Coleta

Para realizar as medidas com o Analisador Infravermelho URAS, é necessário realizar a coleta do gás a ser analisado. Para coletar os gases emitidos no escapamento dos veículos, utilizamos recipientes metálicos revestidos internamente de *teflon*, denominados *canisters*. Esses recipientes, mostrados na figura 17(a), são previamente evacuados e, por diferença de pressão, os gases são captados para o seu interior.

Para retirar os gases do *canister*, utilizamos uma bomba pneumática do coletor AVOCS (Ambient Volatile Organic Canister Sample ou Coletor Orgânico Volátil de Amostras Ambiente), que bombeia os gases coletados para os nossos sistemas de detecção. A bomba AVOCS é apresentada na figura 17(b).

O Analisador Infravermelho URAS foi utilizado para a detecção dos gases CO₂ e CH₄ em cinco veículos movidos a gasolina.



Figura 17. (a) Foto do canister (b) Foto da bomba coletora AVOCs

Tal procedimento não é necessário quando se utiliza o Analisador TEMPEST, uma vez que ele é portátil e possui uma mangueira que pode ser inserida diretamente no escapamento dos veículos.

O Analisador Eletroquímico TEMPEST foi utilizado na detecção de CO, SO₂ e NO_x em 40 veículos movidos a gasolina e 20 veículos movidos a álcool. Salientamos que grande parte dos veículos a álcool analisados são, na verdade, veículos FLEX abastecidos por um intervalo de no mínimo 2 meses apenas com esse combustível.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Calibração do Espectrômetro Fotoacústico para Detecção de N₂O

Com intuito de otimizar as condições de operação do dispositivo fotoacústico, realizamos testes de calibração elétrica e do sinal fotoacústico. A otimização dos parâmetros elétricos e óticos é de fundamental importância para a obtenção do menor limite inferior de detecção do óxido nítrico em nosso espectrômetro fotoacústico.

4.1.1. Calibração Elétrica

Utilizando uma duração de pulso de 50ns e o tempo de descanso do diodo de 2,5 μ s, realizamos medidas de caracterização do Laser de Cascata Quântica para observar a dependência da corrente em função da tensão aplicada para diferentes temperaturas de operação do Laser: -30°C, -15°C, 0°C, 15°C e 30°C. (figura 18)

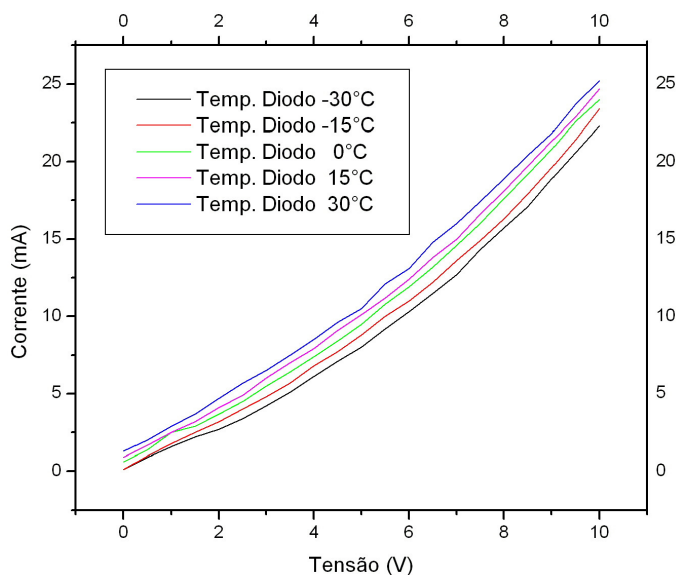


Figura 18. Medidas da corrente em função da tensão elétrica aplicada para diferentes temperaturas de operação do Laser.

Observamos na figura 18 que a corrente apresenta um comportamento não-linear em função da tensão aplicada. Tal comportamento é uma característica marcante dos diodos. Observamos, também que, para temperaturas mais altas, a corrente obtida é maior.

Em seguida, determinamos com ajuda do medidor de potência a relação entre a potência emitida pelo Laser e a tensão fornecida pela Fonte. Observamos, através da figura 19 que o Laser passa a emitir radiação somente a partir da tensão de 8V. Para valores de tensão menores que 8V, não observamos valores de potência significativos, o que nos leva a considerar que ele não está emitindo radiação nesse intervalo.

No intervalo de 8 a 10V, contudo, nota-se que a potência emitida pelo Laser cresce exponencialmente em função da tensão aplicada para todas as temperaturas escolhidas. Notamos também que a potência apresenta valores maiores quando o diodo opera em temperaturas mais baixas (-30°C e -15°C).

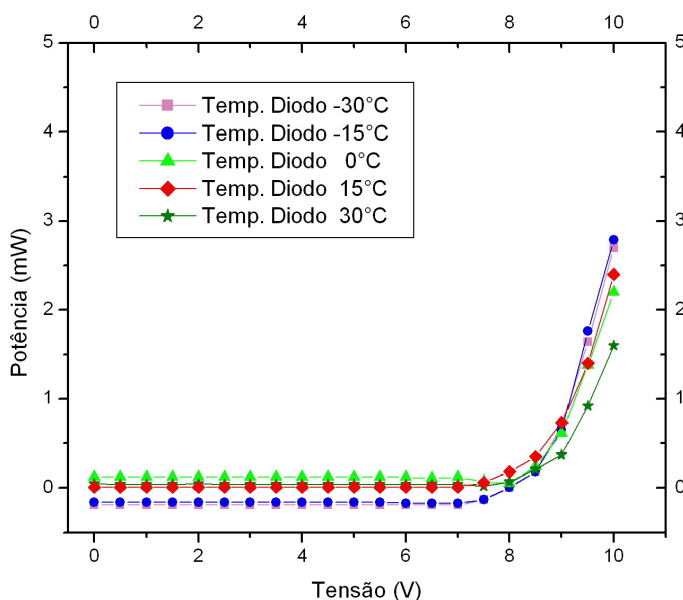


Figura 19. Medidas da potência emitida pelo Laser em função da tensão elétrica aplicada para diferentes temperaturas.

4.1.2. Calibração do Sinal Fotoacústico.

Utilizando uma amostra certificada de 5 ppm de óxido nítrico, realizamos uma varredura do sinal fotoacústico na faixa de números de onda emitidos pelo Laser. Tal procedimento, obtido através da variação da temperatura do diodo, nos permitiu obter o espectro de absorção do N_2O na faixa escolhida (figura 20). Dessa forma, é possível determinar o número de onda onde há maior absorção do gás. Este valor é mantido fixo durante curva de calibração para determinar o limite inferior de detecção do sistema.

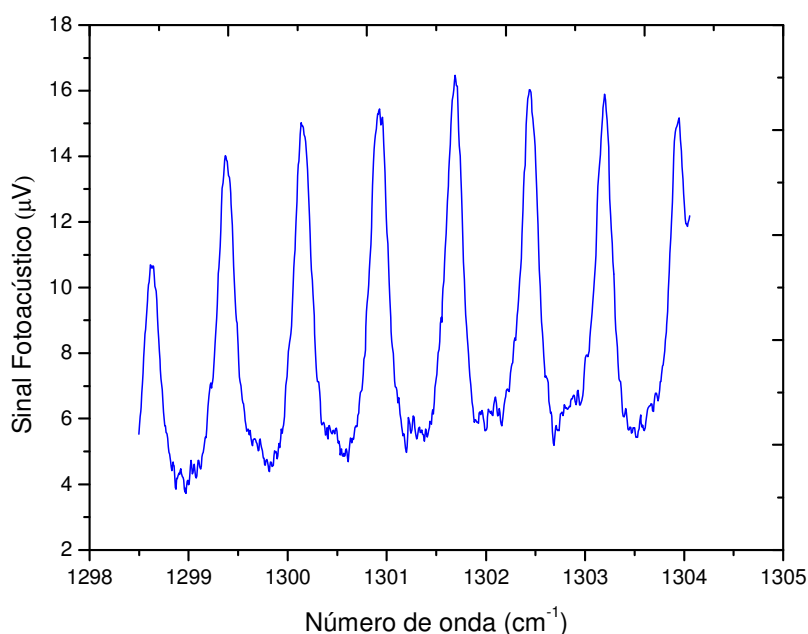


Figura 20. Espectro de absorção do N_2O na faixa de número de onda emitida pelo Laser.

Com ajuda de fluxômetros eletrônicos, realizamos, em seguida, a diluição de uma amostra padrão de 5ppm de óxido nítrico em nitrogênio puro, obtendo, para cada uma das concentrações escolhidas, um sinal fotoacústico correspondente. Tal procedimento nos possibilitou obter o fator de linearidade entre a concentração e o sinal fotoacústico e o limite de detecção do nosso espectrômetro fotoacústico.

Analisando a figura 21, constatamos um alto índice de linearidade do sinal fotoacústico com a concentração do gás e alcançamos um excelente limite inferior de detecção de 50 ppbV. Tal valor permite medidas que exigem alto grau de precisão, uma vez que, segundo os dados do IPCC, a concentração média do N_2O no ar atmosférico é de 320 ppbV.

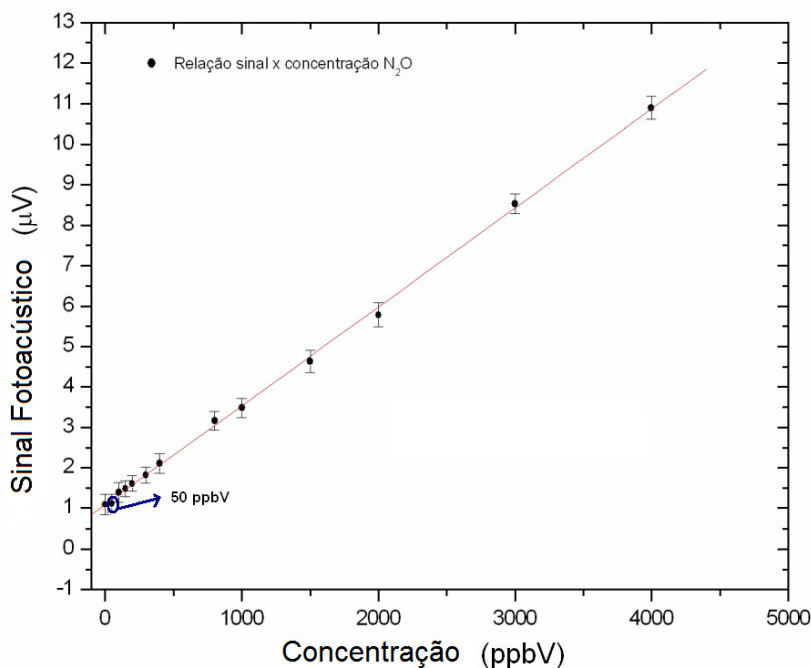


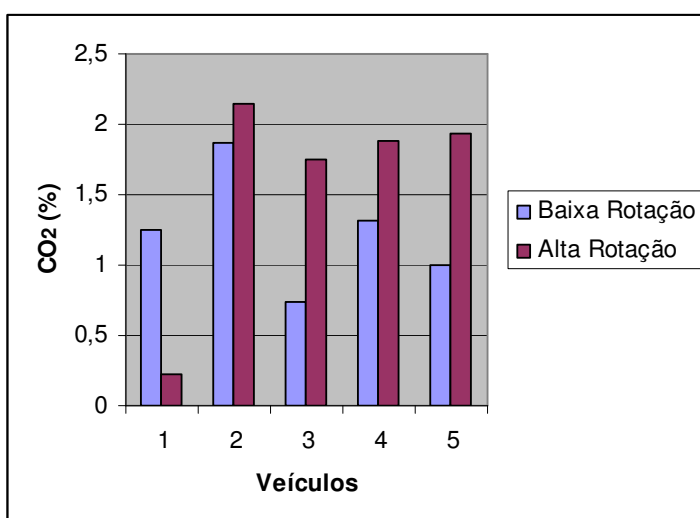
Figura 21. Curva de Calibração do Sinal Fotoacústico em função da concentração do N_2O .

4.2. Medidas da emissão de carros movidos a gasolina utilizando o URAS.

Realizamos a coleta de amostras provenientes do escapamento de cinco veículos diferentes movidos a gasolina. A análise foi realizada no Analisador URAS, onde pudemos detectar os gases CO_2 e CH_4 . Os gráficos abaixo mostram o resultado obtido para esses carros para dois modos de operação: baixa rotação do motor (em torno de 1000 rpm) e alta rotação (em torno de 3000 rpm).

Na figura 22, podemos observar a emissão de CO_2 de cinco veículos movidos a gasolina de diferentes modelos, ano de fabricação e potência. Observamos que para os veículos 2, 3, 4 e 5, existe maior emissão de CO_2 no

modo de alta rotação do que no modo de baixa rotação. Isso é justificado, uma vez que no modo de alta rotação do motor, mais combustível está sendo queimado, gerando, portanto, o CO₂, que é produto da combustão completa da gasolina. O veículo 1, que é uma caminhonete mais antiga, apresenta comportamento diferenciado dos demais veículos, o que pode ser fruto de algum problema na manutenção do veículo.



Veículos	CO ₂ (%)	
	B. R.	A. R.
1. Caminhonete Ford 96 1.8	1,25	0,23
2. Pálio 98 1.0	1,87	2,14
3. Santana 98 1.8	0,74	1,75
4. Partner 2001 1.8	1,31	1,88
5. Santana 2002 1.8	1	1,93

Figura 22. Concentração de CO₂ nos veículos movidos a gasolina.

Com o URAS, pudemos analisar também a emissão de metano na faixa de ppmV para esse mesmo grupo de veículos movidos a gasolina. A emissão do metano não é fruto da combustão completa da gasolina, que originaria apenas CO₂ e água, mas é fruto da queima incompleta, que acaba quebrando a gasolina em hidrocarbonetos menores, como o metano.

O resultado, apresentado na Figura 23, nos mostra que nos modos de baixa rotação do motor, para os cinco veículos testados, a emissão de metano é maior do que no modo de alta rotação. Isso nos mostra que a combustão incompleta predomina quando a rotação do motor é mais baixa e a temperatura de combustão é menor. Uma vez que para temperaturas maiores, espera-se obter uma melhor reação de combustão.

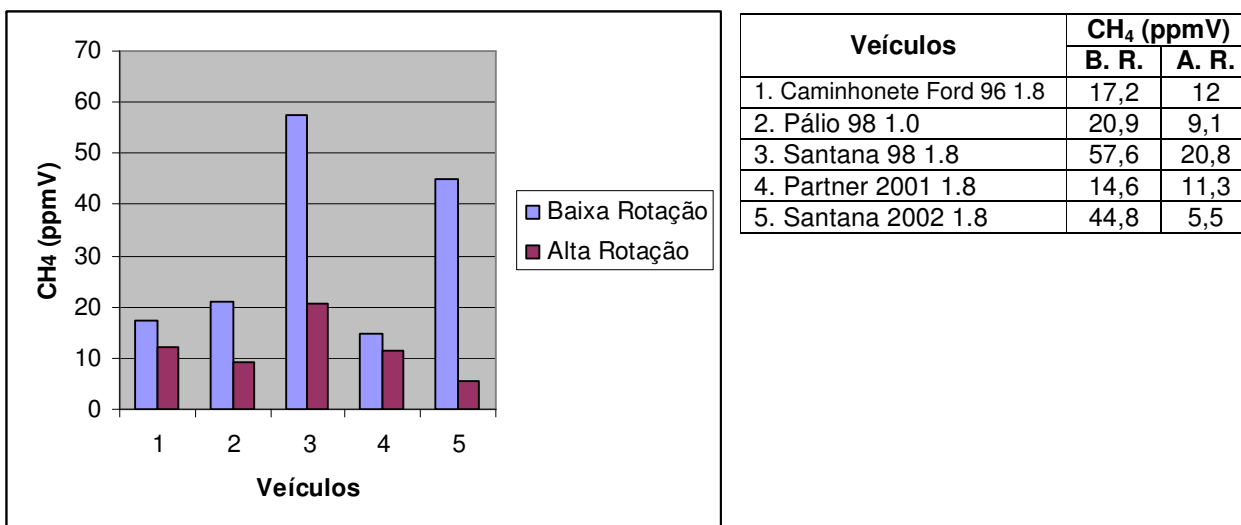


Figura 23. Concentração de CH₄ nos veículos movidos a gasolina.

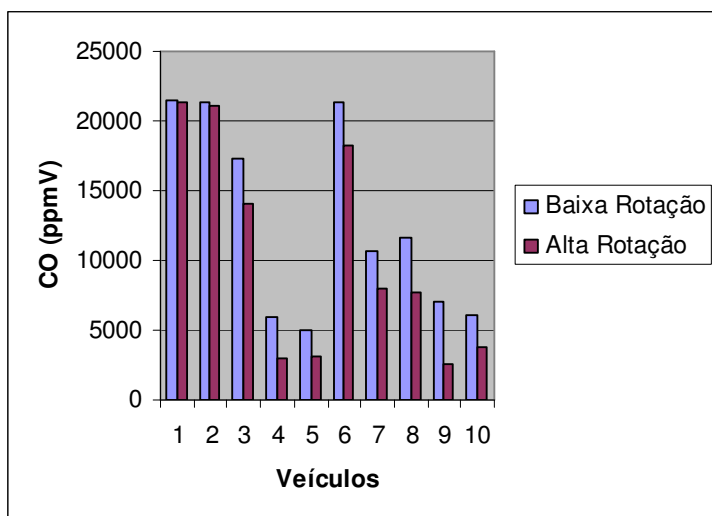
4.3. Medidas da emissão de carros movidos a gasolina utilizando o TEMPEST.

Utilizando o Analisador Eletroquímico TEMPEST realizamos medidas da emissão de poluentes em 40 carros a gasolina. Para facilitar a análise, dividimos esses 40 carros em 4 grupos de 10 carros: o grupo 1 apresenta apenas carros da Fiat; o grupo 2 é composto por veículos da Volkswagen; o grupo 3 contém carros das empresas norte-americanas Chevrolet e Ford; e o grupo 4, mais heterogêneo contém alguns veículos importados e outros veículos montados no Brasil que apresentam potências elevadas.

4.3.1. Medidas de CO

A Figura 24 refere-se às medidas de CO de carros a gasolina pertencentes ao grupo 1. Podemos notar que para todos os veículos pertencentes a esse grupo, a emissão de CO é maior no modo de baixa rotação que no modo de alta rotação. Tal comportamento, similar ao que ocorreu no caso do metano, se justifica, uma vez que no modo de baixa rotação, onde a temperatura de combustão é mais baixa, há maior incidência da combustão incompleta, gerando maior quantidade de monóxido de carbono.

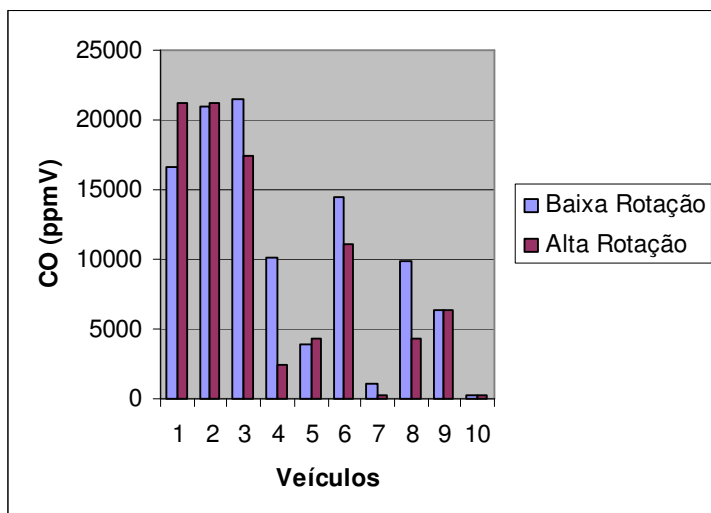
Quando eleva-se a rotação do motor e aumenta a temperatura na câmara de combustão, a queima da gasolina torna-se melhor, reduzindo as emissões de CO. Notamos também que, em geral, os veículos mais antigos apresentam maior emissão de CO, o que significa que possuem menor eficiência na queima. É possível que em tais veículos os filtros de CO não estejam funcionando corretamente, talvez em virtude de algum entupimento.



Veículos	CO (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Fiat Uno 91 1.5	21434	21349
2. Fiat Uno 96 1.0	21308	21078
3. Fiat Uno 2001 1.0	17347	14059
4. Pálio 2002 1.2	5946	2909
5. Pálio 2002 1.0	5037	3060
6. Fiat Uno 2002 1.0	21379	18294
7. Fiat Uno 2003 1.0	10637	7926
8. Pálio 2004 1.0	11584	7684
9. Fiat Uno 2007 1.0	6999	2535
10. Doblô 2008 1.8	6026	3791

Figura 24. Concentração de CO nos veículos movidos a gasolina - Grupo 1.

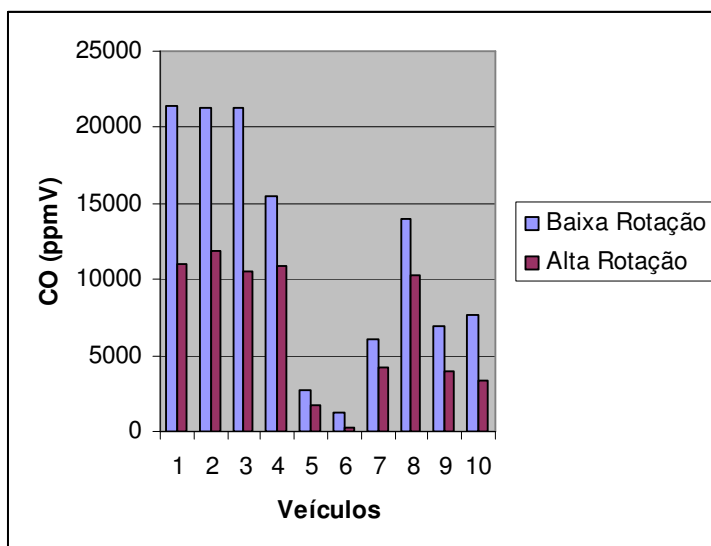
No grupo 2 (Figura 25), podemos observar comportamento análogo ao observado no grupo 1. Para a maior parte dos veículos, a emissão de CO é maior no modo de baixa rotação do que no modo de alta rotação. Os veículos 1, 2 e 5, no entanto, não seguem essa regra, possivelmente devido a fatores subjetivos (manutenção do veículo). Os dois primeiros são veículos muito antigos e o veículo 5, embora não seja tão antigo, parece não ter tido manutenção adequada, já que seu motor não apresenta boa eficiência de combustão. Mais uma vez observamos que a emissão de CO tende a ser menor para veículos mais novos, onde o motor encontra-se ainda em melhor estado de funcionamento, com destaque para o veículo 10, cuja emissão é bem inferior a dos demais veículos. A ausência de filtros nos veículos mais antigos também é fator decisivo para a elevada emissão de CO.



Veículos	CO (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Fusca 76 1.5	16616	21239
2. Fusca 77 1.5	20903	21233
3. Santana 91 2.0	21442	17483
4. Santana 95 2.0	10089	2459
5. Gol 97 1.0	3983	4362
6. Santana 98 1.8	14485	11054
7. Santana 2002 1.8	1106	246
8. Gol 2003 1.0	9924	4347
9. Polo 2004 1.6	6302	6299
10. Golf 2004 1.6	306	251

Figura 25. Concentração de CO nos veículos movidos a gasolina - Grupo 2.

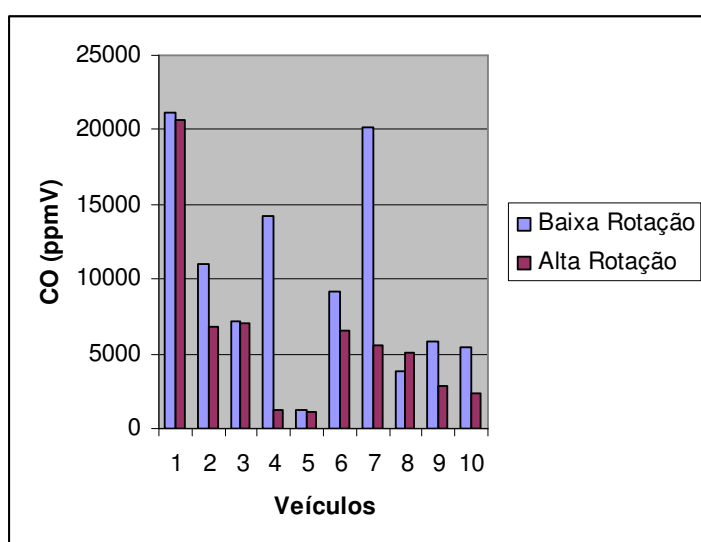
O grupo 3 (Figura 26) apresenta o mesmo padrão observado nos grupos 1 e 2. Observamos, mais uma vez, que a emissão de CO é maior para o modo de baixa rotação e para os veículos mais antigos. Nesse caso, os veículos 5 e 6 merecem destaque, pois, embora não sejam os mais novos, apresentam emissão muito baixa de CO, o que significa que tiveram boa manutenção.



Veículos	CO (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Camionete Ford 96 2.0	21406	11044
2. Corsa 96 1.0	21308	11839
3. Corsa 97 1.0	21253	10539
4. Corsa 2000 1.0	15428	10915
5. Astra 2000 2.0	2698	1701
6. Celta 2003 1.0	1251	305
7. Ecosport 2004 1.6	6008	4265
8. Fiesta 2005 1.0	14043	10250
9. Ranger 2007 2.3	6973	3984
10. Focus 2008 2.0	7666	3386

Figura 26. Concentração de CO nos veículos movidos a gasolina - Grupo 3.

Por fim, o grupo 4 (Figura 27) também apresenta padrão muito semelhante ao observado nos grupos anteriores. Observamos, mais uma vez, que neste grupo, a maior parte dos veículos também apresenta maior emissão de CO no modo de baixa rotação, com exceção do veículo 8. O veículo 1, sendo mais antigo que os demais, apresenta maior emissão e os veículos 9 e 10 (ano 2008), aliados ao veículo 5 apresentam melhor desempenho na combustão, emitindo menor quantidade de CO.



Veículos	CO (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Santana 98 1.8 B	21179	20728
2. Dakota Sport 99 3.9	11070	6848
3. Parati 2000 2.0	7204	7077
4. Partner 2001	14198	1286
5. Renault Clio 2001 1.6	1288	1121
6. Corolla 2004 1.8	9104	6515
7. Ecosport 2004 2.0	20149	5554
8. Honda Fit 2006 1.4	3849	5065
9. Pajero TR4 2008 2.0	5776	2880
10. Cruiser 2008 2.4	5449	2396

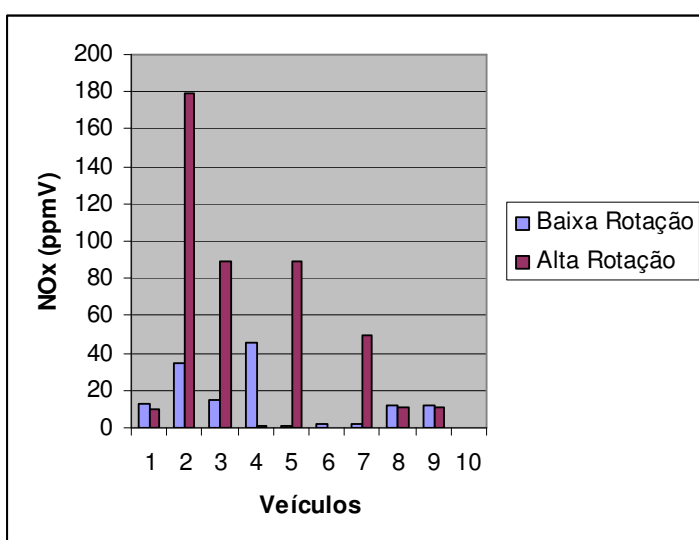
Figura 27. Concentração de CO nos veículos movidos a gasolina - Grupo 4.

4.3.2. Medidas de NOx

Para os mesmos 4 grupos de veículos movidos a gasolina, realizamos a detecção do grupo NOx, que compreende os gases NO e NO₂. Conforme dito anteriormente, a presença desses gases se deve em parte aos compostos nitrogenados presentes no combustível e também à reação de oxidação do nitrogênio presente no ar a elevadas temperaturas. Dessa forma, a presença do grupo NOx está mais associada a temperatura da câmara de combustão do que a fatores de manutenção do carro propriamente ditos. Se a medida foi realizada com um veículo que estava fora de funcionamento por um longo período de tempo

antes da medida, a emissão desse gás tende a ser inferior a de que um veículo que estava em funcionamento logo antes da medida.

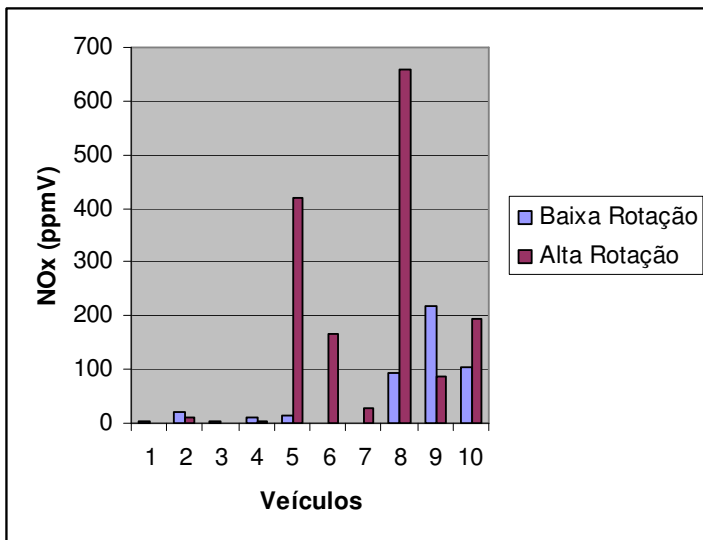
Observando o grupo 1 (Figura 28), podemos notar que os veículos emitem maior quantidade de NO_x, em geral, no modo acelerado, onde a temperatura da câmara de combustão é maior. Notamos também que a emissão não está muito ligada ao ano de fabricação do veículo ou a fatores de manutenção como acontecia nas medidas de CO, uma vez que o fator temperatura é predominante nas reações de formação desses gases. Dessa forma, alguns veículos que estavam em funcionamento antes da medição (veículos 2 e 3, por exemplo) apresentaram elevada emissão de NO_x. Já o veículo 10, que estava fora de funcionamento a algum tempo antes da medida, apresenta emissão praticamente nula.



Veículos	NO _x (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Fiat Uno 91 1.5	13	10
2. Fiat Uno 96 1.0	35	179
3. Fiat Uno 2001 1.0	15	89
4. Pálio 2002 1.2	46	1
5. Pálio 2002 1.0	1	89
6. Fiat Uno 2002 1.0	2	0
7. Fiat Uno 2003 1.0	2	50
8. Pálio 2004 1.0	12	11
9. Fiat Uno 2007 1.0	12	11
10. Doblô 2008 1.8	0	0

Figura 28. Concentração de NO_x nos veículos movidos a gasolina - Grupo 1.

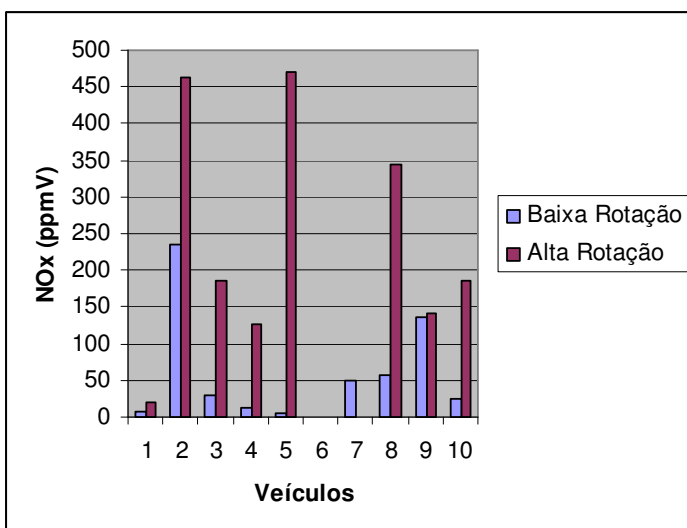
Analogamente, notamos que para o Grupo 2 (Figura 29), o fator data de fabricação também não é decisivo na emissão do grupo NO_x, uma vez que os veículos mais novos (veículos 8, 9 e 10) são os que apresentam maior emissão, enquanto os veículos mais antigos (veículos 1, 2 e 3) apresentam emissão praticamente nula. Observamos, mais uma vez, a tendência de que os carros em alta rotação apresentem maior emissão do que os carros em baixa rotação, devido a sua temperatura mais alta na câmara de combustão.



Veículos	NO _x (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Fusca 76 1.5	2	0
2. Fusca 77 1.5	21	11
3. Santana 91 2.0	5	0
4. Santana 95 2.0	11	5
5. Gol 97 1.0	13	420
6. Santana 98 1.8	0	166
7. Santana 2002 1.8	0	27
8. Gol 2003 1.0	93	658
9. Polo 2004 1.6	218	88
10. Golf 2004 1.6	105	195

Figura 29. Concentração de NOx nos veículos movidos a gasolina - Grupo 2.

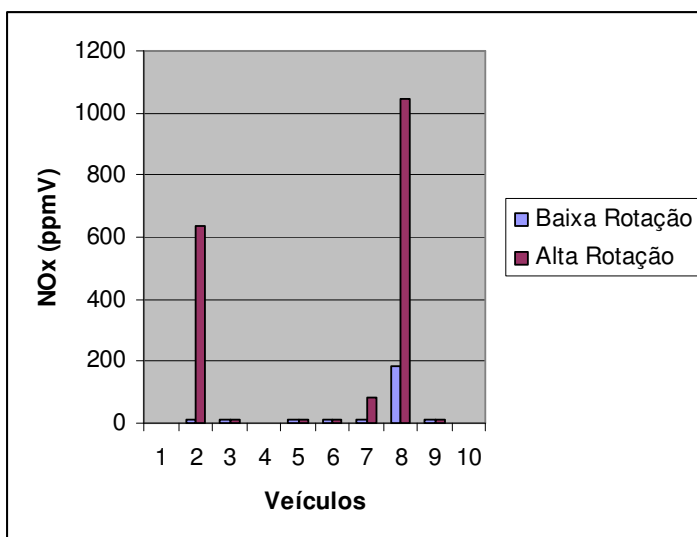
Padrão similar pode ser observado no grupo 3 (Figura 30), onde mais uma vez a emissão de NOx é mais alta no modo de rotação acelerada. O veículo 6, que apresenta emissão muito baixa de NOx encontrava-se fora de funcionamento instantes antes de a medida foi realizada, o que significa que a temperatura na câmara de combustão devia estar baixa em relação a dos demais veículos.



Veículos	NO _x (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Camionete Ford 96	8	21
2. Corsa 96 1.0	236	464
3. Corsa 97 1.0	29	185
4. Corsa 2000 1.0	13	126
5. Astra 2000 2.0	4	471
6. Celta 2003 1.0	1	1
7. Ecosport 2004 1.6	50	0
8. Fiesta 2005 1.0	57	345
9. Ranger 2007 2.3	135	140
10. Focus 2008 2.0	24	186

Figura 30. Concentração de NOx nos veículos movidos a gasolina - Grupo 3.

Por fim, no grupo 4 (Figura 31), podemos observar uma emissão muito elevada no veículo 8, que estava em funcionamento poucos instantes antes da medida. A tendência de maior emissão de NOx para veículos em alta rotação permanece na maior parte dos veículos, com poucas exceções (veículos 4, 6 e 9), onde a diferença na emissão do gás entre os dois modos de operação do motor é praticamente insignificante.



Veículos	NO _x (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Santana 98 1.8 B	1	2
2. Dakota Sport 99 3.9	12	634
3. Parati 2000 2.0	12	14
4. Partner 2001	1	0
5. Renault Clio 2001 1.6	11	12
6. Corolla 2004 1.8	12	11
7. Ecosport 2004 2.0	14	86
8. Honda Fit 2006 1.4	184	1045
9. Pajero TR4 2008 2.0	13	11
10. Cruiser 2008 2.4	1	0

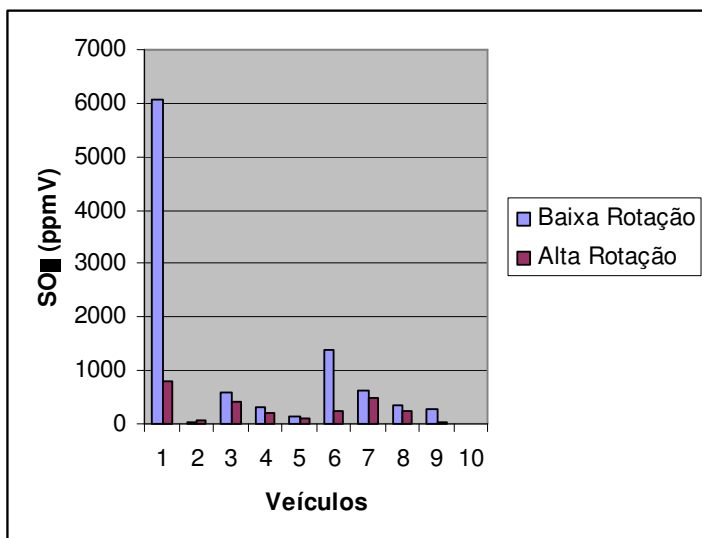
Figura 31. Concentração de NOx nos veículos movidos a gasolina - Grupo 4.

4.3.3. Medidas de SO₂

Realizamos a medida da emissão do SO₂ para os mesmos grupos supracitados. A presença de SO₂ está ligada à oxidação de compostos sulfurados presentes no combustível. Em alguns casos, quando há vazamento de óleo do cárter para a câmara de combustão, devido o enxofre presente no óleo pode fazer com que a emissão de SO₂ se torne maior. Nesse caso, costuma-se dizer que o veículo está queimando óleo. A qualidade do combustível utilizado também influencia na emissão do SO₂.

Analisando as emissões grupo 1 (figura 32), podemos observar que o veículo 1, bem mais antigo que os demais, apresenta uma emissão significativamente maior de SO₂, o que nos faz pensar que esse veículo provavelmente está queimando óleo. Os veículos mais novos (8, 9 e 10)

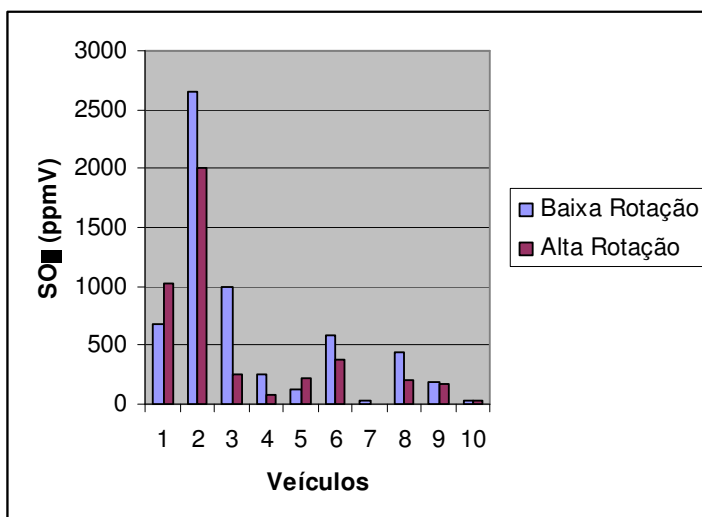
apresentam emissão relativamente baixa de SO₂, o que também ocorre para o veículo 2 que, mesmo sendo um veículo antigo, emite uma quantidade pequena do gás analisado.



Veículos	SO ₂ (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Fiat Uno 91 1.5	6072	803
2. Fiat Uno 96 1.0	36	56
3. Fiat Uno 2001 1.0	577	423
4. Pálio 2002 1.2	329	206
5. Pálio 2002 1.0	126	109
6. Fiat Uno 2002 1.0	1400	231
7. Fiat Uno 2003 1.0	615	497
8. Pálio 2004 1.0	340	247
9. Fiat Uno 2007 1.0	262	35
10. Doblô 2008 1.8	0	0

Figura 32. Concentração de SO₂ nos veículos movidos a gasolina - Grupo 1.

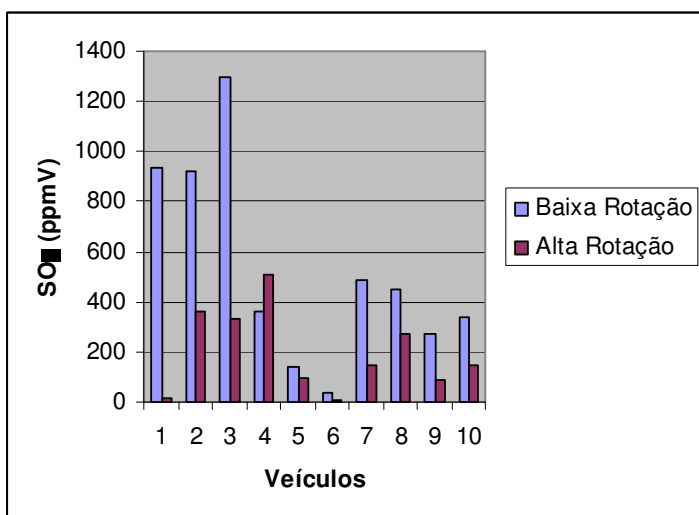
No grupo 2 (figura 33), notamos de maneira mais acentuada que os veículos mais antigos (1, 2 e 3) apresentam emissão de SO₂ significativamente maior do que a que se observa nos veículos mais novos (7, 9 e 10). O veículo 2 é o que mais se destaca nesse grupo.



Veículos	SO ₂ (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Fusca 76 1.5	672	1025
2. Fusca 77 1.5	2651	2004
3. Santana 91 2.0	991	252
4. Santana 95 2.0	258	86
5. Gol 97 1.0	130	217
6. Santana 98 1.8	578	383
7. Santana 2002 1.8	26	0
8. Gol 2003 1.0	448	208
9. Polo 2004 1.6	188	168
10. Golf 2004 1.6	26	35

Figura 33. Concentração de SO₂ nos veículos movidos a gasolina - Grupo 2.

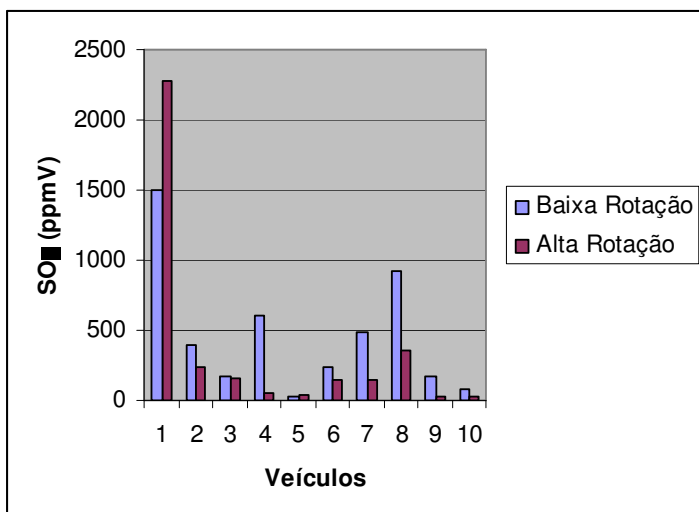
No grupo 3 (Figura 34), também podemos observar que, em geral, veículos mais antigos apresentam maior emissão de SO₂ do que os veículos mais novos. Os veículos 5 e 6, conforme pudemos avaliar na análise de emissão de CO, mesmo não sendo tão novos, devem ter boa manutenção, pois a emissão de SO₂ desses carros é reduzida.



Veículos	SO ₂ (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Camionete Ford 96	934	13
2. Corsa 96 1.0	923	359
3. Corsa 97 1.0	1300	333
4. Corsa 2000 1.0	362	510
5. Astra 2000 2.0	140	98
6. Celta 2003 1.0	34	9
7. Ecosport 2004 1.6	487	146
8. Fiesta 2005 1.0	446	273
9. Ranger 2007 2.3	271	87
10. Focus 2008 2.0	338	145

Figura 34. Concentração de SO₂ nos veículos movidos a gasolina - Grupo 3.

Observando o grupo 4 (figura 35), notamos que o veículo 1, mais antigo que os demais, apresenta emissão acentuada de SO₂, enquanto que os carros mais novos (9 e 10) emitem menor quantidade desse gás poluente. O veículo 5 é um destaque positivo, por apresentar reduzida emissão de SO₂.



Veículos	SO ₂ (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Santana 98 1.8 B	1506	2276
2. Dakota Sport 99 3.9	390	234
3. Parati 2000 2.0	176	164
4. Partner 2001	611	49
5. Renault Clio 2001 1.6	30	37
6. Corolla 2004 1.8	239	141
7. Ecosport 2004 2.0	487	146
8. Honda Fit 2006 1.4	923	359
9. Pajero TR4 2008 2.0	166	30
10. Cruiser 2008 2.4	73	30

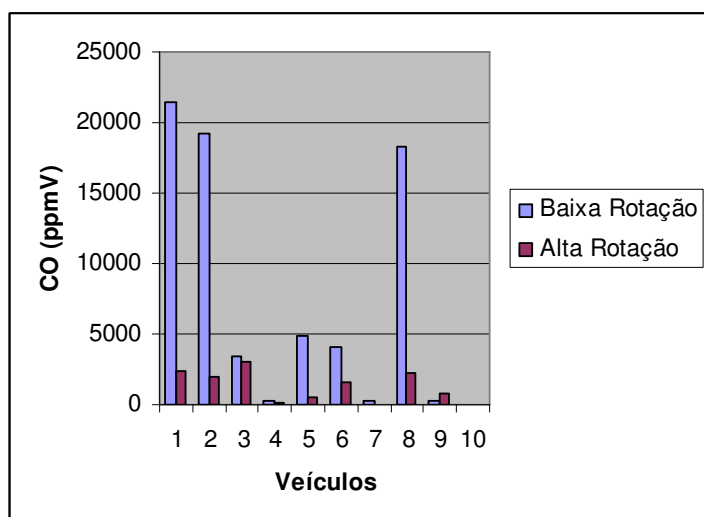
Figura 35. Concentração de SO₂ nos veículos movidos a gasolina - Grupo 4.

4.4. Medidas da emissão de carros movidos a álcool utilizando o TEMPEST.

Realizamos a medição dos poluentes emitidos em 20 veículos movidos a álcool. Para facilitar a análise dos dados obtidos, dividimos os 20 veículos em dois grupos de 10 veículos: o primeiro grupo é composto apenas por veículos das montadoras norte-americanas Chevrolet e Ford; o segundo grupo é composto por veículos da Fiat, da Volkswagen e veículos importados.

4.4.1. Medidas de CO

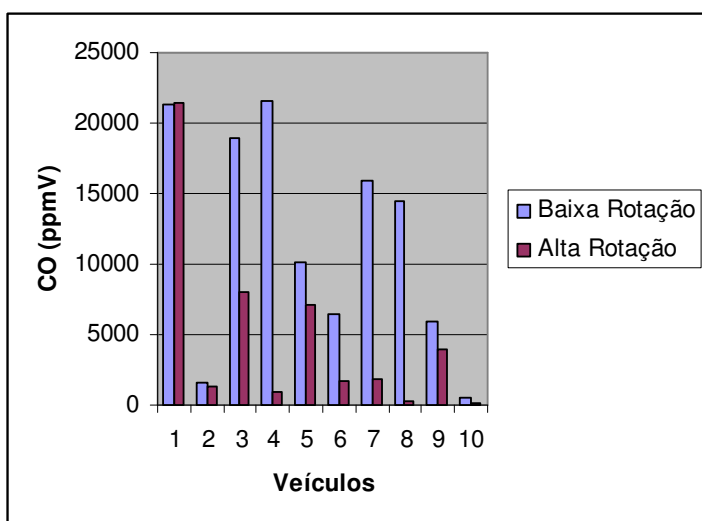
Analisando a emissão de CO no primeiro grupo de veículos movidos a álcool (Figura 36), notamos que a maior parte deles segue a tendência observada anteriormente nos carros a gasolina, em que a emissão de CO é maior para veículos em regime de baixa rotação do motor do que para veículos acelerados. Notamos também que os veículos mais antigos (1 e 2) emitem uma quantidade considerável desse gás proveniente da combustão incompleta. O veículo 8 constitui uma exceção, já que é um veículo novo com elevada emissão de CO. Mas notamos que os veículos 7, 9 e 10, que são veículos novos, provavelmente com manutenção adequada, emitem uma quantidade pequena desse gás tóxico.



Veículos	CO (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Escort 1994 1.6	21463	2409
2. Astra 2006 2.0	19240	1988
3. Vectra 2007 2.0	3357	3033
4. Meriva 2007 1.8	212	88
5. Vectra 2007 1.0	4856	530
6. Fiesta 2007 1.0	4062	1521
7. Focus 2007 1.6	218	0
8. Ford Ka 2008 1.0	18319	2302
9. Celta 2009 1.0	312	756
10. Fiesta 2009 1.6	0	0

Figura 36. Concentração de CO nos veículos movidos a álcool - Grupo 1.

Observando o grupo 2 (Figura 37), notamos também que, na maior parte dos casos, a emissão de CO é maior no modo de baixa rotação do motor do que no modo de alta rotação. O veículo 1 é uma exceção, já que apresenta elevada emissão de CO nos dois modos de operação. Provavelmente, esse veículo, bem mais antigo que os demais, possui uma baixa eficiência na combustão. Notamos também que veículos mais novos, especialmente os veículos 6, 9 e 10 possuem emissão de CO relativamente baixa.



Veículos	CO (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Parati 94 1.8	21377	21399
2. Dakota 2000 3.9	1577	1271
3. Gol 2007 1.0	18932	8001
4. Fiat Stilo 2007 1.0	21530	983
5. Polo 2008 1.4	10137	7071
6. Fox 2008 1.0	6433	1728
7. Prisma 2008 1.4	15896	1885
8. Uno Mille 2009 1.0	14482	266
9. Citroen 2009 1.6	5935	3931
10. Polo 2009 2.0	487	147

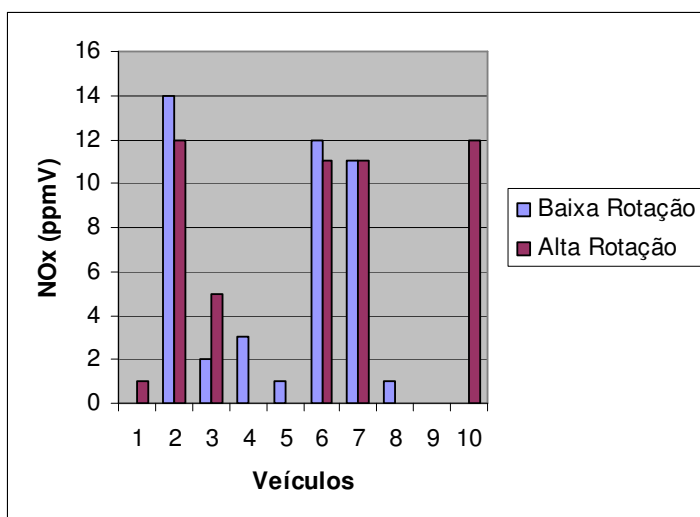
Figura 37. Concentração de CO nos veículos movidos a álcool - Grupo 2.

4.3.2. Medidas de NOx

Para os mesmos grupos de veículos movidos a álcool, realizamos a medição do grupo NOx. Nesse caso, a presença dos óxidos de nitrogênio não está relacionada ao combustível utilizado, já que na composição do etanol, não se observa a presença de compostos nitrogenados. O grupo NOx, portanto, está presente devido apenas à oxidação do nitrogênio presente no ar.

Notamos para o grupo 1 (figura 38) uma grande flutuação grande nos valores de NOx emitidos pelos carros, que não estão relacionados diretamente ao modelo ou ano de fabricação dos veículos. Esse padrão diferenciado, já observado por nós na análise da emissão de NOx em veículos movidos a

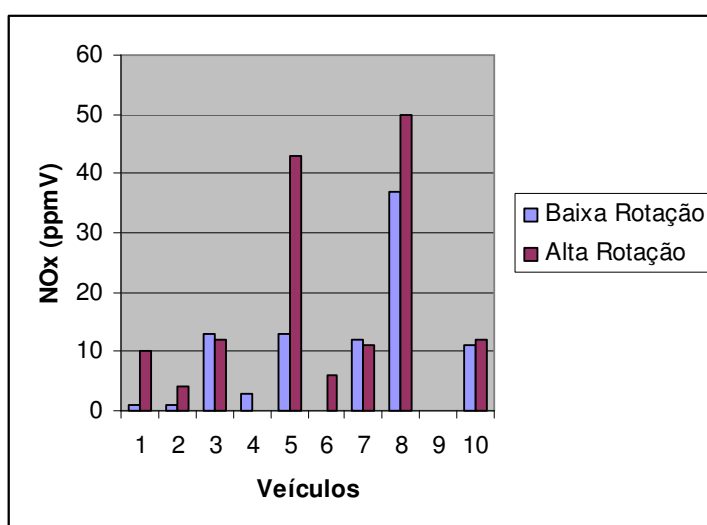
gasolina, é justificado, uma vez que a temperatura na câmara de combustão é o fator predominante na emissão desses gases. O Escort e o Celta, por exemplo, que apresentaram emissão praticamente nula de NOx, não estavam em funcionamento antes da medição.



Veículos	NO _x (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Escort 1994 1.6	0	1
2. Astra 2006 2.0	14	12
3. Vectra 2007 2.0	2	5
4. Meriva 2007 1.8	3	0
5. Vectra 2007 1.0	1	0
6. Fiesta 2007 1.0	12	11
7. Focus 2007 1.6	11	11
8. Ford Ka 2008 1.0	1	0
9. Celta 2009 1.0	0	0
10. Fiesta 2009 1.6	0	12

Figura 38. Concentração de NOx nos veículos movidos a álcool - Grupo 1.

Observando o grupo 2 (Figura 39), notamos que, para a maior parte dos veículos, a emissão de NOx é maior no modo de alta rotação, onde a temperatura na câmara de combustão provavelmente é maior do que no modo de baixa rotação.



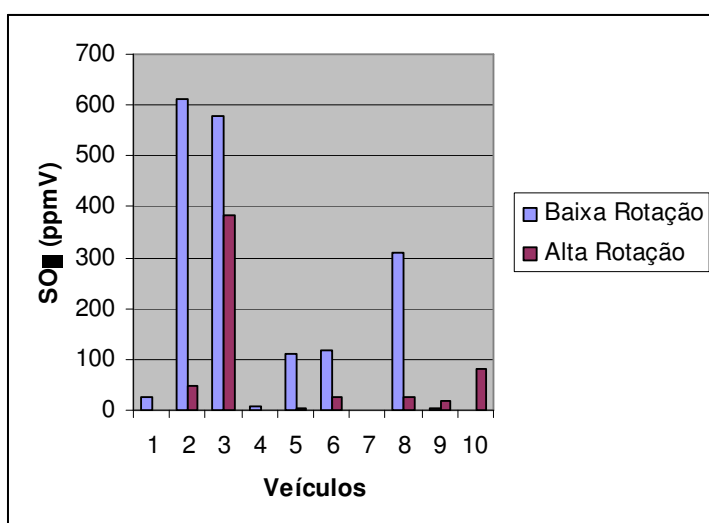
Veículos	NO _x (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Parati 94 1.8	1	10
2. Dakota 2000 3.9	1	4
3. Gol 2007 1.0	13	12
4. Fiat Stilo 2007 1.0	3	0
5. Polo 2008 1.4	13	43
6. Fox 2008 1.0	0	6
7. Prisma 2008 1.4	12	11
8. Uno Mille 2009 1.0	37	50
9. Citroen 2009 1.6	0	0
10. Polo 2009 2.0	11	12

Figura 39. Concentração de NOx nos veículos movidos a álcool - Grupo 2.

4.3.2. Medidas de SO₂

A presença do grupo SO₂ em veículos movidos a álcool era inesperada, uma vez que o não há presença de compostos sulfurados no etanol combustível. No entanto, a hipótese que exista vazamento de óleo do cárter para a câmara de combustão explicaria a presença desse gás.

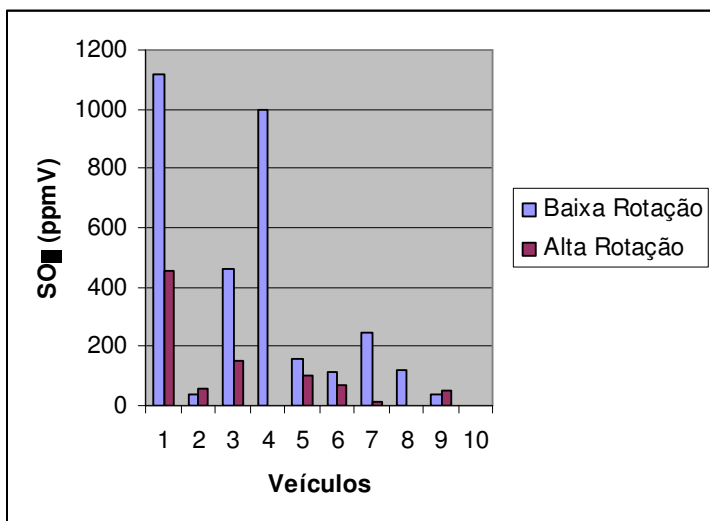
Para o grupo 1 (Figura 40), notamos que os veículos 2 e 3, que são um pouco mais antigos que os demais apresentam emissão mais elevada de SO₂. Uma vez mais damos destaque ao veículo 8, que apesar de ser novo (2008) apresentou elevada emissão de CO e apresenta emissão considerável de SO₂ comparada aos demais veículos de mesma idade, o que indica que a manutenção deste veículo pode não ser muito boa. Já os veículos 4, 7 e 9 se destacam positivamente pela emissão mais baixa desse gás.



Veículos	SO ₂ (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Escort 1994 1.6	26	0
2. Astra 2006 2.0	611	49
3. Vectra 2007 2.0	578	383
4. Meriva 2007 1.8	9	0
5. Vectra 2007 1.0	112	2
6. Fiesta 2007 1.0	117	25
7. Focus 2007 1.6	0	0
8. Ford Ka 2008 1.0	308	26
9. Celta 2009 1.0	5	20
10. Fiesta 2009 1.6	0	80

Figura 40. Concentração de SO₂ nos veículos movidos a álcool - Grupo 1.

Observando o grupo 2 (Figura 41), notamos que, em geral, os veículos mais antigos (1, 3 e 4) apresentam emissão acentuada de SO₂, enquanto os veículos mais novos (9 e 10) emitem o gás em menor quantidade. Essa situação era, de certa forma, esperada, uma vez que, em veículos mais antigos, espera-se que haja maior vazamento de óleo do que em veículos mais novos.



Veículos	SO ₂ (ppmV)	
	B. R.	A. R.
1. Parati 94 1.8	1119	455
2. Dakota 2000 3.9	36	56
3. Gol 2007 1.0	462	149
4. Fiat Stilo 2007 1.0	996	0
5. Polo 2008 1.4	155	104
6. Fox 2008 1.0	115	72
7. Prisma 2008 1.4	245	11
8. Uno Mille 2009 1.0	121	0
9. Citroen 2009 1.6	37	49
10. Polo 2009 2.0	0	0

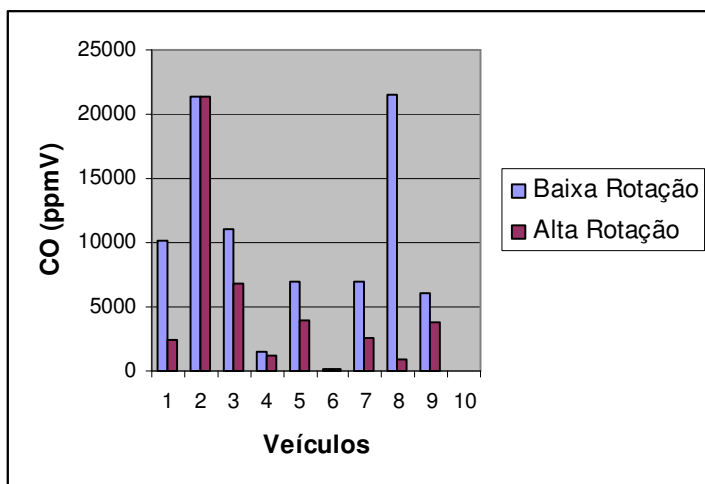
Figura 41. Concentração de SO₂ nos veículos movidos a álcool – Grupo 2.

4.5. Análise comparativa da emissão de veículos movidos a álcool e a gasolina.

Para realizar uma análise comparativa da emissão dos veículos movidos a álcool e a gasolina, encontramos algumas incompatibilidades. A primeira delas é a quantidade desigual de veículos medidos, já que a facilidade de encontrar veículos a gasolina foi muito maior do que de encontrar veículos a álcool. Outra incompatibilidade é o ano de fabricação, uma vez que encontramos carros a gasolina de variados anos e, no caso de carros a álcool, encontramos poucos carros (carros exclusivamente a álcool) e muitos carros bem novos (veículos FLEX abastecidos apenas com etanol). Dessa forma, decidimos extrair apenas cinco carros para cada combustível de modo a realizar uma análise comparativa. A escolha dos veículos foi feita levando-se em conta modelos e anos de fabricação similares. Os veículos ímpares são movidos a gasolina, enquanto os veículos pares são movidos a álcool. A emissão de CO para tais veículos é apresentada na Figura 42.

Os veículos 1 e 2 são ambos da montadora Volkswagen com data de fabricação parecida (95 e 94). Notamos que, nesse caso, o veículo 2, movido a álcool apresenta maior emissão de CO que o veículo a gasolina, talvez devido a

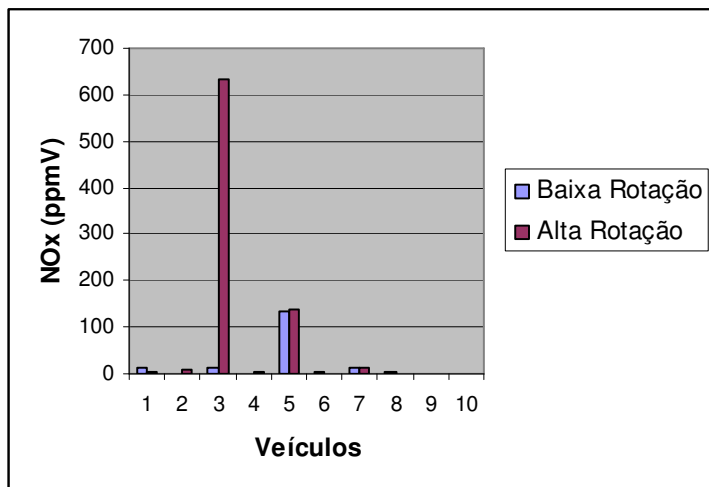
uma pior manutenção. Os veículos 3 e 4 são de modelos parecidos e também possuem anos de fabricação similares (1999 e 2000). Neste caso, observa-se que o veículo 3, movido a gasolina emite maior quantidade de CO que o veículo 3. Os veículos 5 e 6 são de modelos diferentes, mas apresentam o mesmo ano de fabricação. Mais uma vez, o veículo movido a álcool apresenta menor emissão de CO em relação ao veículo a gasolina. Os veículos 7 e 8 são de modelos similares e mesmo ano de fabricação. No modo de baixa rotação, a emissão de CO foi maior para o veículo 7, mas no modo de alta rotação a situação foi inversa. Por fim, para o último par de carros, de mesmo ano e mesma potência, observa-se que o veículo a álcool possui emissão significativamente menor que o veículo a gasolina. Com algumas exceções, percebemos que os veículos a álcool costumam emitir menor quantidade de CO que os veículos a gasolina. Os veículos 6 e 10 (movidos a álcool) mostraram emissão bastante baixa em relação aos demais veículos.



Veículos		CO (ppmV)	
		B. R.	A. R.
1. Santana 95 2.0	G	10089	2459
2. Parati 94 1.8	A	21377	21399
3. Dakota Sport 99 3.9	G	11070	6848
4. Dakota 2000 3.9	A	1577	1271
5. Ranger 2007 2.3	G	6973	3984
6. Meriva 2007 1.8	A	212	88
7. Fiat Uno 2007 1.0	G	6999	2535
8. Fiat Stilo 2007 1.0	A	21530	983
9. Doblô 2008 1.8	G	6026	3791
10. Honda Civic 2008 1.8	A	19	32

Figura 42. Emissão de CO em veículos movidos a gasolina (G) e a álcool (A).

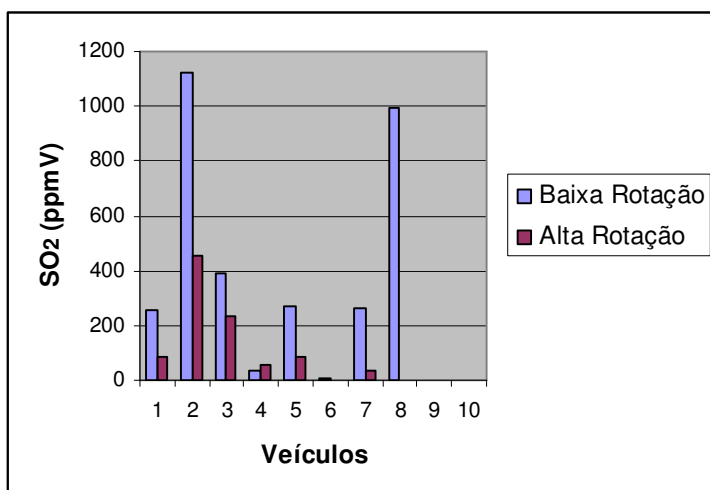
Analisando a emissão de NOx, notamos que a diferença entre a emissão de veículos a gasolina e a álcool torna-se mais significativa. Se analisarmos os pares de veículos 3-4, 5-6 e 7-8, notamos que a emissão dos primeiros (movidos a gasolina) é significativamente maior do que a emissão por parte dos veículos a álcool. Isso pode ser justificado pelo fato de encontrarmos compostos nitrogenados na composição da gasolina e não os encontrarmos na composição do etanol combustível.



Veículos		NOx (ppmV)	
		B. R.	A. R.
1. Santana 95 2.0	G	11	5
2. Parati 94 1.8	A	1	10
3. Dakota Sport 99 3.9	G	12	634
4. Dakota 2000 3.9	A	1	4
5. Ranger 2007 2.3	G	135	140
6. Meriva 2007 1.8	A	3	0
7. Fiat Uno 2007 1.0	G	12	11
8. Fiat Stilo 2007 1.0	A	3	0
9. Doblô 2008 1.8	G	0	0
10. Honda Civic 2008 1.8	A	1	0

Figura 43. Emissão de NOx em veículos movidos a gasolina (G) e a álcool (A).

Por fim, ao analisar a emissão de SO₂ nos veículos selecionados, notamos que a emissão é maior em veículos a gasolina para os pares 3-4 e 5-6. Para o 1º par de carros, ocorre o inverso, pois o veículo 2 possui maior emissão de SO₂ que o veículo 1. Conforme constatamos com a emissão de CO, o veículo 2 parece não ter boa manutenção e essa quantidade excessiva de SO₂ indica que talvez ele esteja queimando óleo. O veículo 8 apresenta maior emissão do que o veículo 7 no modo de baixa rotação. Os veículos 9 e 10, mais novos que os demais, apresentam emissão praticamente nula.



Veículos		SO ₂ (ppmV)	
		B. R.	A. R.
1. Santana 95 2.0	G	258	86
2. Parati 94 1.8	A	1119	455
3. Dakota Sport 99 3.9	G	390	234
4. Dakota 2000 3.9	A	36	56
5. Ranger 2007 2.3	G	271	87
6. Meriva 2007 1.8	A	9	0
7. Fiat Uno 2007 1.0	G	262	35
8. Fiat Stilo 2007 1.0	A	996	0
9. Doblô 2008 1.8	G	0	0
10. Honda Civic 2008 1.8	A	2	0

Figura 44. Emissão de SO₂ em veículos movidos a gasolina (G) e a álcool (A).

4.6. Discussão

Em nossa análise comparativa, pudemos perceber que a emissão de CO e SO₂, em geral, costuma ser maior para veículos a gasolina. No entanto, o ano de fabricação e a manutenção do veículo são fatores mais determinantes na emissão desses gases, já que, para alguns pares de veículos, notamos uma emissão maior para veículos movidos a álcool do que para veículos a gasolina. A emissão do grupo NO_x, contudo, mostrou-se bem mais acentuada nos veículos movidos a gasolina do que nos veículos movidos a álcool, onde ela é praticamente insignificante.

Os gases medidos com o Analisador TEMPEST são de elevada importância do ponto de vista ambiental, já que o CO é um gás tóxico que ocasiona vários danos à saúde humana, o SO₂ e o NO₂, além de serem prejudiciais à saúde ocasionam a chuva ácida e o NO é um poluente primário na geração do ozônio troposférico, que ocasiona o smog fotoquímico e tem elevado potencial na geração do efeito estufa. Os veículos movidos a álcool apresentaram, em geral, emissão inferior do grupo NO_x, mas tal redução não foi significativa para os gases CO e SO₂ como se esperaria de um combustível mais “limpo”. Na maior parte dos casos, a emissão dos poluentes esteve mais diretamente associada à data de fabricação e as condições de manutenção do veículos, fatores mais decisivos em nossa análise.

Além disso, cabe lembrar que a produção de etanol tem promovido também certos problemas de cunho social e ambiental. Do ponto de vista social, notamos a precarização das condições de trabalho no campo, a concentração fundiária e a má distribuição de renda. Já em relação aos problemas ambientais, a prática de queima anual dos canaviais para facilitar a colheita gera enormes prejuízos à saúde da população. Além disso, existe o risco de que a produção em larga escala do etanol venha a afetar segurança alimentar da população e a biodiversidade de biomas, como a Amazônia, a Caatinga e o Cerrado.

Uma outra questão relevante é utilização de fertilizantes nitrogenados na agricultura para a produção de biocombustíveis, que pode ocasionar a emissão de

N₂O. Uma vez que esse gás possui elevado potencial estufa, pode colocar em cheque as vantagens do etanol na mitigação do aquecimento global.

A produção do etanol no Brasil tende a crescer e é possível que esse crescimento gere divisas. No entanto, se alguns problemas básicos relacionados à sua produção não forem solucionados, é possível que o etanol gere mais problemas do que soluções.

Por fim, notamos que em todos os veículos analisados neste trabalho, movidos a álcool ou a gasolina, há emissão de poluentes prejudiciais ao homem e ao ambiente. Desta forma, para combater de forma eficiente a poluição atmosférica, não basta substituir um combustível por outro, se a frota mundial de veículos continuar a crescer em ritmo acelerado, pois, assim, qualquer alternativa energética se tornaria insustentável ao longo do tempo. Tal substituição deve ser acompanhada também por uma série de políticas públicas que garantam a redução da quantidade de veículos em todo o mundo. Melhorias na qualidade do transporte público, utilização de hidrovias e ferrovias para o transporte de mercadorias, em substituição ao transporte rodoviário, são algumas medidas que podem ser implementadas para garantir de forma mais segura a redução da emissão de poluentes.

CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO

Nesse trabalho, constatamos que a emissão antrópica de gases poluentes tem possibilitado a ocorrência de variados problemas ambientais. O transporte é responsável por uma parcela considerável da emissão de poluentes atmosféricos. A espectroscopia fotoacústica utilizando um Laser de Cascata Quântica mostrou-se adequada para a detecção do N_2O , já que as medidas de calibração indicaram resposta linear do sinal fotoacústico em função da concentração do gás e elevada sensibilidade do sistema, cujo limite inferior de detecção chegou a 50 ppbV. Uma vez que a emissão desse gás estufa está associada a produção agrícola de biocombustíveis, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias sensíveis, como a fotoacústica, que auxiliem na detecção desse gás.

O Analisador Infravermelho URAS mostrou-se bastante eficiente na detecção dos gases estufa CO_2 e CH_4 nos veículos a gasolina analisados. A utilização do Analisador Eletroquímico TEMPEST para realizar a medição dos gases CO , NO_x e SO_2 em veículos movidos a gasolina e a álcool nos permitiu ter acesso a preciosas informações a respeito da emissão desses poluentes..

Pudemos verificar em nosso estudo que todos os veículos analisados, movidos a álcool ou a gasolina, apresentam emissão de poluentes na faixa de ppmV. Encontramos menor emissão de NO_x para veículos movidos a etanol, mas, para os gases SO_2 e CO , essa diferença não foi significativa. Variáveis como data de fabricação do veículo, modelo, manutenção, temperatura de combustão, potência e frequência de rotação do motor foram de elevada importância na análise da emissão dos poluentes.

As perspectivas indicam que a produção do etanol brasileiro deve aumentar consideravelmente no futuro próximo, mas precisamos exigir que esse aumento ocorra respeitando-se a produção de alimentos, a biodiversidade brasileira e condições de trabalho adequadas. Além disso, para reduzir de fato a emissão de gases poluentes, não basta apenas que se substitua o combustível utilizado nos veículos. É necessário que sejam viabilizadas políticas que favoreçam a redução na quantidade de fontes emissoras de gases poluentes.

CAPÍTULO 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Porque morrem os cortadores de cana. Revista Saúde e Sociedade n. 3. São Paulo, 2006.

ANDREOLI, C. and SOUZA, S. P. Sugarcane: the Best Alternative for Converting Solar and Fossil/Energy into Ethanol. Economy and energy, 2007.

ANDREWS, J. E., BIMBLECOMBE, B, TICKELS, T. D. and BLACKWEL, P. S. An Introduction to Environmental Chemistry. Ltd Editorial Offices: Oxford, 1996

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Assessoria de Planejamento Econômico e Estatístico, 2009.

BAIRD, C. Química Ambiental. Bookman, 2002.

BARBIERI, S, PELLAUX, J. P., STUDEMANN E., and ROSSET, D. Gas detection with quantum cascade lasers: An adapted photoacoustic sensor based on Helmholtz resonance. Review of Scientific Instruments, 2002

BARD, A. J. and FALKNER, L. R.; Electrochemical methods: Fundamentals and Applications, John Wiley & Sons, Inc.: New York, 2001.

BECK, M., HOFSTETTER, D. and AELLEN, T. Continuous Wave Operation of a Mid-Infrared Semiconductor Laser at Room Temperature. Science Vol. 295, 2002.

BELL, A. G. On the production and reproduction of sound. Am. J. Sci. 20, 1880.

BELL, A. G. Upon the Production of Sound by Radiant Energy. Phil. Mag. J. Sci XI, 1881.

BOSCH, R. Automotive eletric/eletronic systems. Warrendale, 1988.

BOSCHETTI, A., BASSI, D., IACOB E., IANNOTTA, S., RICCI, L. and SCOTONI, M. Resonant photoacoustic simultaneous detection of methane and ethylene by means of 1,63 μm diode laser. Appl. Phys. B, 2002.

BRASSEUR, G. P., ORLANDO J. and TYNDALL G. Atmospheric Chemistry and Global Change. Oxford University Press, 1999.

BUCCI, A., ANDRADE, A. and DAMASCENO, F. SFS - Software Flexfuel Sensor – O sistema para um novo carro a álcool. *XII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva – SIMEA 2003*, AEA, SP, Brasil.

CÂMARA, J. C. Monitoramento eletrônico da mistura ar/combustível em motores de combustão interna Ciclo Otto. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica). Salvador – BA, Universidade Federal da Bahia, 2006

CAMARGO, A. M. P., CASER, D. V., CAMARGO, F. P., OLIVETTE, M. P. A., SACHS, R. C. C. e TORQUATO, S. A. Dinâmica e Tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias. *Informações Econômicas*, SP, v.38, n.3, 2008.

CARNEIRO, L. O. Detecção Fotoacústica de Traços de Poluentes Gasosos. Dissertação de Mestrado em Ciências Naturais. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006.

CENGEL, Y. A. and BOLES, M. *Termodinâmica*. Interamericana do Brasil, 2006.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990 Publicada no DOU, de 22 de agosto de 1990, Seção 1, páginas 15937-15939.

CÓNSUL, J. M. D., THIELE, D., VESES, R. C., BAIBICH, I. M. e DALLAGO, R. M. Decomposição catalítica de óxidos de nitrogênio. *Química Nova* 27, 2004.

COSTOPOLUS, D., MIKLÓS, A. and HESS, P. Detection of N₂O by photoacoustic spectroscopy with a compact pulsed optical parametric. *Appl. Phys. B*, 2002.

CPS - THE COLLEGE OF PETROLEUM AND ENERGY STUDIES. *The Technology of Gasoline and Diesel Fuel*. Oxford, 2001.

CRUTZEN, P. J., MOSIER, A. R., SMITH, K. A. and WINIWARTER, W. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8 (2), 2008.

DELAVIA, D. *Combustíveis para motores endotérmicos – enfoque para o gás natural*. Porto Alegre. UFRGS, 2000.

DETRAN – Departamento Estadual de Transito do Rio de Janeiro. www.detran.rj.gov.br/estatistica.veiculo/02.asp. Acessado em 06/08/2009.

ERNFORS, M., KARIN, ARNOLD, K. V., STENDHAL, J., OLSON, E. M. and KLEMEDTSSON, E. L., Nitrous oxide emissions from drained organic forest soils: an up-scaling based on C:N ratios. *Springer Science*, 2008.

FAIST, J. CAPASSO, F., SIVCO, D. L., SIRTORI, C., HUTCHINGSON, A. L. and CHO, A. Y. *Science* 264 - 553, 1994.

FILHO, M. B., SILVA, M. G., STHEL, M. S., SCHRAMM, D. U. S., VARGAS, H., MIKLÓS, A. and HESS, P. Ammonia detection by using quantum-cascade Laser photoacoustic spectroscopy. *Appl. Opt.*, 45, 2005.

FILHO, M. B. A visão atualizada da questão etanol. *Única e Copersucar*. <http://www.fiesp.com.br/irs/cosema/pdf/>. Acessado em 2009.

FLANNERY, T. *Os senhores do Clima*. Record, 2007.

FOLINSBEE, L. *Human Health Effects of Air Pollution*. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 100, 1992.

GMACHL, C., CAPASSO, F., SIVCO, D. L. and CHO, A. Y. Recent Progress in quantum cascade Lasers and applications. *Report Progress in Physics* 64, 2001.

GOLDEMBERG, J. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. Edusp, 1998.

GORE, A. *Uma verdade inconveniente - O que devemos saber (e fazer) sobre o aquecimento Global*. Manole, 2006.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. <http://igbe.gov.br/cidadesat/default.php>. Acessado em 02/02/2009.

JANK, M. S. e NAPPO, M. Etanol de cana-de-açúcar: uma solução energética global sob ataque. In ABRAMOV R. (org). *Biocombustíveis: a energia da controversa*. São Paulo. Editora Senac, 2009.

KERR, E. L. and ATWOOD, J. G., The laser illuminated absorvity spectrophone: A method for measurement of weak absorvity in gases at laser wavelenghts. *Appl. Opt.* 7, 1968.

KOSTEREV, A. A. and TITTEL, F. K., Chemical sensors based on Quantum Cascade Lasers. *IEEE Journal of Quantum Eletronics*, 2002.

KREUZER, L. B., Ultralow gas concentration infrared absorption spectroscopy. *J. Appl. Phys.* 42, 1971.

LACERDA, A., LEROUX, T. e MORATA, T. Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, Barueri (SP), v. 17, n. 3, 2005.

LANCET UCL - Lancet and University College London Institute for Global Health Commission. *Managing the health effects of climate change*, 2009.

LARA, E. S. *Prevenção e Controle da Poluição nos setores Energético, Industrial e de Transporte*. Interciência, 2002

LIMA, J. P., VARGAS, H., MIKLÓS, A., ANGELMAHR, M. and HESS, P. Photoacoustic Detection of NO₂ and N₂O using quantum cascade lasers. Appl. Phys. B 86, 2006.

MACEDO, I. C., SEABRA, J. E. A. e SILVA, J. E. Greenhouse gases emission in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. Biomass and Bioenergy 32, 2008.

MARTINS, J., Motores de Combustão Interna. 1.ed. Portugal: Publindústria Edições Técnicas, 2005.

MCCARTHY, J.J.; CANZIANI, O.F.; LERNY, N.A.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. (Ed.). Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis of Climate Change. Cambridge University Press, 2007.

MELLO, R. R., Desenvolvimento de Sensores de Gases à base de Ferritas do Tipo MFe₂O₄ (M = Mn, Zn e Ni). Dissertação de Mestrado em Física. Universidade Estadual de Maringá, 2008.

MENDES, J. F. e SILVA, L. T. Determinação do Índice de Qualidade do Ar numa Cidade de Média Dimensão. Engenharia Civil UM. Número 27, 2006.

MEYER, P. L. and SIGRIST, M. W., Atmospheric pollution monitoring using CO₂-laser photoacoustic spectroscopy and other techniques. Rev. Sci. Instrum. 61 (7), 1990.

MIKLÓS, A. and HESS, P. Application of acoustic resonator in photoacoust gas analysis and metrology. Neuenheimer Feld 253, 2001.

MILHOR, C. E. Sistema de Desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna Ciclo Otto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). São Carlos, SP. Universidade de São Paulo, 2002.

MIRAGLIA, S. G. An Evaluation of Air Pollution Health Impacts and Costs in São Paulo, Brazil. Environmental Management Vol. 35, 2005.

MIRLEAN, N., VANZ, A. e BAISH, P. Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS. Química Nova 23, 2000.

MORSE, P. M. and INGARD, K.U. Theoretical Acoustics. Princeton University, 1986.

NÄGELE, M. and SIGRIST, M. W. Mobile laser spectrometer with novel resonant multipass photoacoustic cell for trace-gas sensing. Appl. Phys. B, 2000.

NAWRROT, T. S., MORENO, E. A. and NEMERY, B. Update in Occupational and Environmental Respiratory Disease 2007. Am J Respir Crit Care Med V. 12, 2008.

NASCIMENTO, V. B. e ANGNES, L. Eletrodos fabricados por "silk-screen". Química Nova Vol. 21 no. 5, 1998.

ODUM, E. P and BARRET, G. W. Fundamentos da Ecologia. Thompson, 2007.

OICA, Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, 2008. <http://www.oica.net>. Acesso em 27/09/2008.

PATZEC, T. W. and PIMENTEL, D. Thermodynamics of Energy Production from Biomass. Critical Review in Plant Science, 2005.

PONZONI, A. L. L., Desenvolvimento de um sistema para caracterização de sensores de gás. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, 2007.

RICCI, R. (Coord.). Mercado de trabalho do setor sucroalcooleiro no Brasil. Brasília: IPEA, 1994. Estudos Informações Econômicas, SP, v.38, n.3, 2008.

SANTOS, M. N. Composição Química e Estrutura da Atmosfera terrestre. Centro de Química-Física Molecular. Instituto Superior Técnico, 2006.

SIDALL, M., STOCKER, T. F., CLARK, P. U., Constraints on future sea-level rise from past sea-level change. Nature geoscience, 2009.

SIGRIST, M. W., BOHREN A., LERBER, T. V., NÄGELE, M. and ROMANN, A. Experimental Applications of Laser-Based Photoacoustic Spectroscopy. Analytical Sciences, 2001.

SILVA, M. G., VARGAS, H., MIKLÓS, A. and HESS, P. Photoacoustic detection of ozone using a quantum cascade laser. Appl. Phys. B, 2004.

SZINVELSKY, I. D., A poluição veicular ambiental: aspectos legais. Monografia (Especialista em Direito Ambiental). Canoas, RS, Universidade Luterana do Brasil, 2005.

SZWARC, A. Etanol, um combustível limpo. Agroanalysis. p.52, Mai. 1995.

TEODORO, C. G. Detecção de Gases Poluentes Utilizando Técnicas Fototérmicas: Emissões provenientes de Transporte Urbano. Dissertação de Mestrado em Ciências Naturais. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2008.

USEPA – Environmental Protection Agency. Global Mitigation of Non-CO₂ Greenhouse Gases. 2006.

USEPA – Environmental Protection Agency. Mandatory Reporting of Greenhouse Gases; Proposed Rule, 2009.

VIEGNEROV, M. Dokl. Akad. Nauk SSSR 19, 1938.

ANEXOS

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

RESOLUÇÃO CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990

Publicada no DOU, de 22 de agosto de 1990, Seção 1, páginas 15937-15939

Correlações:

· Complementa a Resolução no 5/89

Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o inciso II, do Art. 6º, da Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989, e tendo em vista o disposto na Lei nº 8.028, de 12 de abril de 1990, Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e, Considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País; Considerando que a Portaria GM 0231, de 27 de abril de 1976, previa o estabelecimento de novos padrões de qualidade do ar quando houvesse informação científica a respeito;

Considerando o previsto na Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar "PRONAR", resolve:

Art. 1º São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à fl ora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Parágrafo único. Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e fl ora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Art. 2º Para os efeitos desta Resolução fi cam estabelecidos os seguintes conceitos:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à fl ora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo único. Os padrões de qualidade do ar serão o objetivo a ser atingido mediante a estratégia de controle fi xada pelos padrões de emissão e deverão orientar a elaboração de Planos Regionais de Controle de Poluição do Ar.

Art. 3º Ficam estabelecidos os seguintes Padrões de Qualidade do Ar:

I - Partículas Totais em Suspensão

a) Padrão Primário

1 - concentração média geométrica anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média geométrica anual de 60 (sessenta) micro gramas por metro

cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 150 (cento e cinquenta) micro-gramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

II - Fumaça

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 60 (sessenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida uma de uma vez por ano.

III - Partículas Inaláveis

a) Padrão Primário e Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 50 (cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

IV - Dióxido de Enxofre

a) Padrão Primário

1- concentração média aritmética anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2- concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 365 (trezentos e sessenta e cinco) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

V - Monóxido de Carbono

a) Padrão Primário e Secundário

1- concentração médio de 8 (oito) horas, de 10.000 (dez mil) microgramas por metro cúbico de ar (9 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

2 - concentração média de 1 (uma) hora, de 40.000 (quarenta mil) microgramas por metro cúbico de ar (35 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VI - Ozônio

a) Padrão Primário e Secundário

1 - concentração média de 1 (uma) hora, de 160 (cento e sessenta) microgramas por metro cúbico do ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VII - Dióxido de Nitrogênio

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 320 (trezentos e vinte) microgramas por metro cúbico de ar.

b) Padrão Secundário

1- concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 190 (cento e noventa) microgramas por metro cúbico de ar.

Art. 4o Ficam estabelecidos os seguintes métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos a serem definidos nas respectivas Instruções Normativas:

- a) Partículas Totais em Suspensão - Método de Amostrador de Grandes Volumes ou Método Equivalente.
- b) Fumaça - Método da Refletância ou Método Equivalente.
- c) Partículas Inaláveis - Método de Separação Inercial/Filtração ou Método Equivalente.
- d) Dióxido de Enxofre - Método de Pararonsilina ou Método Equivalente.
- e) Monóxido de Carbono - Método do Infra-Vermelho não Dispersivo ou Método Equivalente.
- f) Ozônio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.
- g) Dióxido de Nitrogênio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.

§ 1o Constitui-se Método de Referência, os métodos aprovados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO e, na ausência deles, os recomendados pelo IBAMA como os mais adequados e que deva ser utilizado preferencialmente.

§ 2o Poderão ser adotados métodos equivalentes aos métodos de referência, desde que aprovados pelo IBAMA.

§ 3o Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25°C e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

Art. 5o O monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos estados.

Art. 6o Ficam estabelecidos os Níveis de Qualidade do Ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, visando providências dos governos de estado e dos municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população.

§ 1o Considera-se Episódio Crítico de Poluição do Ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

§ 2o Ficam estabelecidos os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência, para a execução do Plano.

§ 3o Na definição de qualquer dos níveis enumerados poderão ser consideradas concentrações de dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, produto entre partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de nitrogênio, bem como a previsão meteorológica e os fatos e fatores intervenientes previstos e esperados.

§ 4o As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos Níveis de Atenção e de Alerta têm por objetivo evitar o atingimento do Nível de Emergência.

§ 5o O Nível de Atenção será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

- a) concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
- b) concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 375 (trezentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
- c) produto, igual a 65x10³, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
- d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 08 (oito) horas, de 17.000 (dezesete mil) microgramas por metro cúbico (15 ppm);

- e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 400 (quatrocentos) microgramas por metro cúbico;
- f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico;
- g) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico.
- h) concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1 (uma) hora, de 1130 (um mil cento e trinta) microgramas por metro cúbico.

§ 6o O Nível de Alerta será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

- a) concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, 1.600 (um mil e seiscentos) microgramas por metro cúbico;
- b) concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 625 (seiscentos e vinte e cinco) microgramas por metro cúbico;
- c) produto, igual a 261 x 10³, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
- d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 34.000 (trinta e quatro mil) microgramas por metro cúbico (30 ppm);
- e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
- f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.
- g) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.
- h) concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1 (uma) hora de 2.260 (dois mil, duzentos e sessenta) microgramas por metro cúbico:

§ 7o O Nível de Emergência será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

- a) concentração de dióxido de enxofre (SO₂); média de 24 (vinte e quatro) horas, de 2.100 (dois mil e cem) microgramas por metro cúbico;
- b) concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 875 (oitocentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
- c) produto igual a 393 x 10³, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
- d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 46.000 (quarenta e seis mil) microgramas por metro cúbico (40 ppm);
- e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 1.000 (hum mil) microgramas por metro cúbico;
- f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;
- g) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;
- h) concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1 (uma) hora de 3.000 (três mil) microgramas por metro cúbico.

§ 8o Cabe aos estados a competência para indicar as autoridades responsáveis pela declaração dos diversos níveis, devendo as declarações efetuarem-se por qualquer dos meios usuais de comunicação de massa.

§ 9o Durante a permanência dos níveis acima referidos, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida, sujeitas às restrições previamente estabelecidas pelo órgão de controle ambiental.

Art. 7o Outros Padrões de Qualidade do Ar para poluentes, além dos aqui previstos, poderão ser estabelecidos pelo CONAMA, se isto vier a ser julgado necessário.

Art. 8o Enquanto cada estado não definir as áreas de Classe I, II e III mencionadas no item 2, subitem 2.3, da Resolução CONAMA nº 5/89, serão adotados os padrões primários de qualidade do ar estabelecidos nesta Resolução.

Art. 9o Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

JOSÉ A. LUTZENBERGER - Presidente do Conselho

TÂNIA MARIA TONELLI MUNHOZ - Secretária-Executiva

NOTA: Republicada para trazer correção na numeração dos artigos (versão original no DOU no 158, de 16 de agosto de 1990, pág. 15518-15519)

**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**

RESOLUÇÃO Nº 415, DE 24 DE SETEMBRO DE 2009

Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências.

O **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA**, no uso das competências que lhe são conferidas pelo art. 8º, inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e pelo art. 2º, § 9º, e art. 3º da Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, tendo em vista o disposto no art. 10 da Resolução nº 403, de 11 de novembro de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA e em seu Regimento Interno, anexo à Portaria nº 168, de 13 de junho de 2005; e Considerando que a emissão de poluentes por veículos automotores contribui significativamente para a deterioração da qualidade ambiental, especialmente nos centros urbanos; Considerando a utilização de tecnologias automotivas adequadas, de eficácia comprovada, associadas a especificações de combustíveis que permitem atender às necessidades de controle da poluição, economia de combustível e competitividade de mercado; Considerando a necessidade de prazo e de investimentos para promover a melhoria da qualidade dos combustíveis automotivos nacionais para viabilizar a introdução de modernas tecnologias de alimentação de combustíveis e de controle de poluição; Considerando a necessidade de prazo para a adequação tecnológica de motores veiculares e de veículos automotores às novas exigências de controle da poluição; Considerando a necessidade de estabelecer novos padrões de emissão para os motores veiculares e veículos automotores leves, nacionais e importados, visando à redução da poluição do ar nos centros urbanos do país e a economia de combustível; Considerando a necessidade de aprimorar o conhecimento sobre a emissão de dióxido de carbono e de aldeídos por motores do ciclo Diesel; Considerando os princípios da educação e informação ambiental, expressos no art. 225, §1º, inciso VI da Constituição Federal; art. 9º, inciso XI, da Lei nº 6.938, de 1981, e no Princípio 10 da Declaração do Rio de Janeiro de 1992; Considerando a necessidade de promover a conscientização da população, com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores, resolve:

CAPÍTULO I

DOS LIMITES MÁXIMOS DE EMISSÃO PARA VEÍCULOS LEVES NOVOS

Art. 1º Ficam estabelecidos os seguintes limites máximos de emissão de poluentes, provenientes do escapamento de veículos automotores leves de passageiros, de uso rodoviário, para a fase do PROCONVE L6:

- I - monóxido de carbono (CO): 1,30 g/km;
- II - hidrocarbonetos totais (THC), somente p/ veículos a gás natural: 0,30 g/km;
- III - hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,05 g/km;
- IV - óxidos de nitrogênio (NOx): 0,08 g/km;
- V - aldeídos (CHO) p/ ciclo Otto: 0,02 g/km;
- VI - material particulado (MP) p/ ciclo Diesel: 0,025 g/km; e

VII - monóxido de carbono em marcha lenta p/ ciclo Otto: 0,2% em volume.

Art. 2º Ficam estabelecidos os seguintes limites máximos de emissão de poluentes provenientes do escapamento de veículos automotores leves comerciais, de uso rodoviário, com massa do veículo para ensaio menor ou igual a 1.700 (hum mil e setecentos) quilogramas, para a fase do PROCONVE L6:

I - monóxido de carbono (CO): 1,30 g/km;

II - hidrocarbonetos totais (THC), somente p/ veículos a gás natural: 0,30 g/km;

III - hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,05 g/km;

IV - óxidos de nitrogênio (NOx): 0,08 g/km;

V - aldeídos totais (CHO) p/ ciclo Otto: 0,02 g/km;

VI - material particulado (MP) p/ ciclo Diesel: 0,030 g/km; e

VII - monóxido de carbono em marcha lenta p/ ciclo Otto: 0,2% em volume.

Art. 3º Ficam estabelecidos os seguintes limites máximos de emissão de poluentes provenientes do escapamento de veículos automotores leves comerciais, de uso rodoviário, com massa do veículo para ensaio maior que 1.700 (hum mil e setecentos) quilogramas, para a fase do PROCONVE L6:

I - monóxido de carbono (CO): 2,00 g/km;

II - hidrocarbonetos totais (THC), somente p/ veículos a gás natural: 0,50 g/km;

III - hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,06 g/km;

IV - óxidos de nitrogênio (NOx) p/ ciclo Otto: 0,25 g/km;

V - óxidos de nitrogênio (NOx) p/ ciclo Diesel: 0,35 g/km;

VI - aldeídos totais (CHO) p/ ciclo Otto: 0,03 g/km;

VII - material particulado (MP) p/ ciclo Diesel: 0,040 g/km; e

VIII - monóxido de carbono em marcha lenta p/ ciclo Otto: 0,2% em volume.

Art. 4º Os limites máximos estabelecidos nesta Resolução entram em vigor conforme cronograma abaixo:

I - veículos leves do ciclo Diesel: 100% a partir de janeiro de 2013.

II - veículos leves do ciclo Otto: a partir de 1º de janeiro de 2014 para os novos modelos e a partir de 1º de janeiro de 2015 para os demais.

Art. 5º A partir de 1º de janeiro de 2012, fica estabelecido para as novas homologações o limite de 1,5 (um e meio) grama de combustível evaporado por ensaio para a emissão evaporativa conforme NBR 11.481, de todos os veículos automotores leves que utilizam motores do ciclo Otto, exceto os que utilizam unicamente o gás natural.

Parágrafo único. Para o ensaio descrito no *caput* deste artigo, poderá ser utilizada alternativamente a câmara selada de volume variável, conforme o procedimento descrito no "*Code of Federal Regulations, Volume 40, Parte 86*", dos Estados Unidos da América, utilizando-se o limite de 2,0 (dois) gramas de combustível evaporado por ensaio para a emissão evaporativa.

Art. 6º Os fabricantes e importadores deverão incluir em todos os relatórios de ensaios de emissão, conforme NBR-6601, a partir de 30 (trinta) dias após a publicação desta, os valores da emissão de dióxido de carbono oriundo de gases de escapamento de veículos leves.

Art. 7º Os fabricantes e importadores de veículos leves do ciclo Diesel, destinados ao mercado nacional, devem apresentar ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, até 31 de dezembro de 2013, relatório de valor típico de emissão de escapamento de aldeídos totais (CHO), medidos no ciclo

de condução conforme NBR-6601 e expresso em gramas por quilômetro (g/km), de todos os seus modelos em comercialização.

Parágrafo único. A emissão de aldeídos totais (CHO) deve ser medida conforme procedimento a ser determinado, até 31 de dezembro de 2011, pelo IBAMA.

Art. 8º Os fabricantes e importadores de veículos automotores leves deverão apresentar ao IBAMA valores típicos de emissão de óxidos de nitrogênio, obtidos com o veículo ensaiado segundo o ciclo estrada da NBR 7024, de todos os seus modelos em comercialização no território nacional, segundo os seguintes prazos:

I - veículos leves do ciclo Diesel, a partir de 1º de janeiro de 2013 até 31 de dezembro do mesmo ano;

II - veículos leves do ciclo Otto, a partir de 1º de janeiro de 2014 até 31 de dezembro de 2015.

CAPÍTULO II

DOS COMBUSTÍVEIS DE REFERÊNCIA E SUAS ESPECIFICAÇÕES

Art. 9º A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP especificará os combustíveis de referência, gasolina, álcool etílico combustível e gás combustível veicular, necessários ao atendimento dos limites fixados nesta Resolução em prazo que possibilite seu fornecimento com antecedência de 36 meses, de acordo com o disposto no *caput* do art. 7º da Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993.

§ 1º A mistura gasolina e álcool etílico anidro combustível deverá ser preparada a partir dos respectivos combustíveis de referência, contendo 22%, com variação de um ponto percentual para mais ou para menos em volume de álcool etílico anidro combustível, conforme estabelecido no art. 9º da Lei nº 8.723, de 1993.

§ 2º Deverão ser consideradas, para fins de desenvolvimento e homologação, as especificações dos combustíveis de referência gasolina, álcool etílico combustível, óleo diesel, e gás combustível veicular estabelecidas nos regulamentos técnicos constantes das Resoluções ANP nos **21**, de 2 de julho de 2009, **05**, de 24 de fevereiro de 2005, **40**, de 24 de dezembro de 2008, **16**, de 17 de junho de 2008 e norma ABNT NBR nº 8689, de 2006, respectivamente ou em legislação que venha substituí-las.

CAPÍTULO III

DOS COMBUSTÍVEIS COMERCIAIS E SUAS ESPECIFICAÇÕES

Art. 10. As especificações dos combustíveis comerciais, gasolina, álcool etílico combustível e gás natural para fins de distribuição e consumo serão estabelecidas pela ANP, em prazo compatível para garantir o abastecimento na data de implantação dos limites fixados nesta Resolução, de acordo com o disposto no *caput* do art. 7º da Lei nº 8.723, de 1993.

§ 1º O óleo diesel para atendimento dos limites da fase L6 do PROCONVE será disponibilizado, prioritariamente, para os veículos novos, produzidos a partir de 1º de janeiro de 2013, e, posteriormente, aos demais veículos dos municípios e microrregiões definidos na Resolução nº 373, de 9 de maio de 2006, do CONAMA.

§ 2º Os combustíveis, para fins de comercialização, deverão apresentar baixo teor de enxofre e características compatíveis com as da gasolina, do álcool e do gás combustível de referência, de modo a não alterar significativamente o desempenho dos motores obtidos com o combustível de referência.

Art. 11. Competirá à ANP a apresentação do plano de abastecimento de combustíveis

necessário ao cumprimento desta Resolução, dando ampla publicidade ao seu conteúdo, especialmente aos Ministérios do Meio Ambiente e de Minas e Energia.

§ 1º Produtores, importadores, distribuidores e revendedores de combustíveis deverão apresentar à ANP, nos prazos por ela determinados, as informações necessárias para a elaboração desse plano.

§ 2º O plano elaborado pela ANP deverá prever a disponibilidade do combustível no volume e antecedência necessários, bem como a sua distribuição em postos geograficamente localizados, que permitam a um veículo da fase L6 percorrer o território nacional sempre abastecendo com o combustível especificado pela ANP.

CAPÍTULO IV DOS PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Art. 12. Para a medição da emissão de poluentes provenientes do escapamento dos veículos automotores leves de passageiros e leves comerciais, os quais são ensaiados segundo o procedimento da Norma Brasileira NBR 6601, permanecem os critérios estabelecidos na Resolução nº 18, de 6 de maio de 1986, do CONAMA.

Art. 13. Todos os modelos de veículos, que apresentarem produção anual acima de 33% equipados com sistemas de condicionamento de ar no habitáculo de motorista/passageiros, deverão ser ensaiados observando-se a Prescrição nº A4 do Anexo A da Norma Brasileira ABNT NBR 6601, de 2005.

Art. 14. O ensaio e a medição de aldeídos [HCO] no gás de escapamento de veículos automotores leves de passageiros e leves comerciais do ciclo Otto deverão ser efetuados conforme as prescrições da norma brasileira ABNT NBR 12026.

CAPÍTULO V DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 15. Os veículos, cujos motores sejam equipados com sistemas de recirculação de gases de escapamento (EGR), devem ter garantido por seus fabricantes e importadores de que este sistema tem condições técnicas de operar em altitudes de até 1000 metros.

Art. 16. A partir de 1º de janeiro de 2013, as novas homologações de veículos leves do ciclo Diesel deverão comprovar o atendimento aos limites máximos de emissão de poluentes regulamentados por 80.000 km (oitenta mil quilômetros) ou cinco anos de uso.

§ 1º Para veículos cujos agrupamentos de motores classificados conforme NBR 14.008 tenham previsão de vendas anuais maiores que 15.000 (quinze mil) unidades, os fatores de deterioração deverão ser determinados conforme NBR 14.008, adotando-se os mesmos prazos e critérios estabelecidos pela Resolução nº 14, de 13 de dezembro de 1995, do CONAMA e complementados pela Resolução nº 315, de 29 de outubro de 2002, do CONAMA.

§ 2º Para veículos, cujos agrupamentos de motores classificados conforme NBR 14.008, tenham previsão de vendas anuais de até 15.000 (quinze mil) unidades, poder-se-á adotar, opcionalmente, o fator de deterioração de 10% (dez por cento) para cada poluente regulamentado.

Art. 17. Os veículos automotores pesados, com motor do ciclo Otto, com massa total máxima autorizada entre 3.856 kg e 4.536 kg, poderão ser ensaiados, alternativamente, como veículo leve comercial com massa para ensaio maior que 1.700 quilos, aplicando-se o disposto no art. 3º desta Resolução.

Art. 18. A partir de 1º de janeiro de 2015, para os veículos automotores leves do ciclo Diesel, será exigido o porte de dispositivos/sistemas para autodiagnose (OBD), das funções de gerenciamento do motor que exerçam influência sobre a emissão de poluentes do ar.

Art. 19. O IBAMA regulamentará a aplicação de tecnologias de controle de emissão específicas para permitir o gerenciamento adequado dos veículos leves com motor do ciclo Diesel, inclusive o sistema de autodiagnose (OBD), dando ciência ao CONAMA, no prazo de 24 meses após a publicação desta Resolução.

Parágrafo único. Para os veículos com sistemas de catálise seletiva para o controle da emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) e que utilizam agente redutor líquido, o projeto do sistema para autodiagnose (OBD) deverá considerar medidas que reduzam significativamente o desempenho do veículo, caso seja detectado mau funcionamento do sistema de controle de emissões ou tentativas de burla do mesmo.

Art. 20. O IBAMA deverá coordenar estudos e trabalhos relativos a qualquer revisão necessária aos limites máximos de emissão e prazos previstos nesta Resolução, convocando, a qualquer tempo, os órgãos/entidades afetos ao tema e deverá apresentar ao CONAMA o relatório final com a proposta para apreciação.

Art. 21. Os veículos para uso específico, uso agrícola, militar, competição e lançamentos especiais, assim considerados mediante decisão motivada e exclusiva do IBAMA, podem ser dispensados das exigências desta Resolução.

Art. 22. Os veículos dotados de sistemas de propulsão alternativos ou que utilizem combustíveis não previstos nesta Resolução poderão ser dispensados parcialmente das exigências determinadas neste regulamento, mediante decisão motivada e exclusiva do IBAMA, por um período máximo de 24 (vinte e quatro) meses.

Art. 23. O Ministério do Meio Ambiente deverá apresentar ao CONAMA estudos e propostas para se instituir incentivos aos fabricantes e importadores de veículos automotores e de combustíveis automotivos, por meio da redução de tributos incidentes, para que antecipem voluntariamente as datas estabelecidas de comercialização no mercado nacional de produtos que atendam aos limites prescritos por esta Resolução.

Art. 24. O não-cumprimento das disposições desta Resolução sujeitará os infratores às sanções previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e no Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008, sem prejuízo das demais sanções previstas na legislação específica.

Art. 25. O IBAMA regulamentará até 31 de dezembro de 2009 a divulgação continuada, pela rede mundial de computadores, dos dados de emissão constantes nos processos de homologação de veículos automotores, os quais devem ser divulgados por marca/modelo, para todas as Licenças para Uso da Configuração de Veículo ou Motor-LCVM expedidas.

Art. 26. A partir de 1º de janeiro de 2013, os sistemas de pós tratamento de gases de escapamento deverão prever a reposição de elementos ativos de controle de emissão objetivando a redução de custos de manutenção.

Parágrafo único. Caberá ao IBAMA a regulamentação da reposição de elementos ativos prevista no caput deste artigo, no prazo de 180 dias após a publicação desta Resolução.

Art. 27. Os Itens 3.3, 3.4, 3.5 e 3.7 do Anexo da Resolução nº 299, de 25 de outubro de 2001, do CONAMA, terão as amostragens reduzidas de 0,1 ponto percentual,

sendo aplicados os novos valores de amostragem a partir do semestre civil seguinte à data de publicação desta Resolução.

Art. 28. Para efeito de controle de emissão da produção, para apresentação do Relatório Valores de Emissão da Produção-RVEP, conforme Resolução nº 299, de 2001, do CONAMA, os fabricantes e importadores de veículos leves ficam autorizados a apresentar os valores medidos de hidrocarbonetos totais (HC), alternativamente aos valores de hidrocarbonetos não metano (NMHC), aplicando-se, neste caso, o limite de 0,15g/km (quinze centésimos de grama por quilômetro).

Parágrafo único. No caso de optar pela alternativa de apresentar os valores de hidrocarbonetos totais (HC) o fabricante ou importador deverá apresentar, no mínimo, cinco veículos por modelo com os resultados medidos de hidrocarbonetos não metano (NMHC).

Art. 29. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 30. Ficam revogados a partir de 1º de janeiro de 2013, o § 2º do art. 15 da Resolução nº 8, de 31 de agosto de 1993, do CONAMA, e o art. 23 da Resolução nº 315, de 2002, do CONAMA.

Parágrafo único. Os veículos leves comerciais homologados como veículos pesados terão as LCVMs do motor e do veículo revalidadas até 31 de dezembro de 2012, respeitando os estoques de passagem.

CARLOS MINC

Presidente do Conselho