

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

IGOR TRINDADE FRANCESQUETTO
CARLOS FILLIPE DA SILVA

**A CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA DA BAÍA DE GUANABARA (RJ) E SUA
RELAÇÃO COM A DISPERSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EMITIDO NA
ATMOSFERA POR NAVIOS EM MANOBRA NESTA REGIÃO.**

RIO DE JANEIRO

2016

IGOR TRINDADE FRANCESQUETTO

CARLOS FILLIPE DA SILVA

**A CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA DA BAÍA DE GUANABARA (RJ) E SUA
RELAÇÃO COM A DISPERSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EMITIDO NA ATMOSFERA
POR NAVIOS EM MANOBRA NESTA REGIÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientadora: Laís Raysa Lopes Ferreira.

RIO DE JANEIRO

2016

IGOR TRINDADE FRANCESQUETTO

CARLOS FILLIPE DA SILVA

**A CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA DA BAÍA DE GUANABARA (RJ) E SUA
RELAÇÃO COM A DISPERSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EMITIDO NA ATMOSFERA
POR NAVIOS EM MANOBRA NESTA REGIÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientadora: Laís Raysa Lopes Ferreira.

Assinatura da Orientadora

NOTA FINAL: _____

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho, acima de tudo, ao Senhor Jesus, que tem guiado a nossa vida a cada instante pelas veredas da justiça por amor de seu nome, de acordo com a sua soberana vontade. As nossas famílias, que hoje são os bens mais importantes que possuímos e que, com carinho e afeto, enfrentaram junto a nós todas as etapas desta caminhada de crescimento profissional e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos amigos verdadeiros que conquistamos durante os 3 anos em que estivemos neste Centro de Instrução, os quais ficarão pra sempre guardados em nossos coração. Aos alunos da turma Caio Augusto Castro, a eterna turma 2014. Aos membros do Grêmio Evangélico, que, com bastante união, companheirismo e perseverança, nos ajudaram, através de seus conselhos e orações, a estar mais perto da Presença de Deus, especialmente os que estiveram na liderança desse grupo durante o curso. A todos os da turma 2016, que, ao longo de todo o meu terceiro ano na EFOMM, me fizeram compreender o valor de uma amizade duradoura que não enfraquece mesmo com a distância e o valor de ajudar o próximo, sem esperar nada em troca.

“A cura para qualquer coisa é água salgada: Suor, lágrimas ou o mar”.

—Isak Dinesen

RESUMO

“A caracterização climatológica da Baía de Guanabara e sua relação com a dispersão de dióxido de carbono emitido na atmosfera por navios em manobra nesta região” é um tema de extrema importância que visa esclarecer sobre a poluição em uma região de grande foco de atenção devido ao grande trânsito de embarcações e ser situada em uma região turística e de grande atenção mundial de uma cidade mundialmente famosa por suas belezas naturais. O foco deste tema se encontra no esclarecimento sobre como ocorre a poluição, tratando da dispersão de dióxido de carbono levando em conta que a preocupação com o meio ambiente vem cada vez mais sendo tida como enfoque mundial, além disso, o envolvimento dos navios mercantes bem como as empresas relacionadas a estes são de vital importância para cuidados de regiões como a Baía de Guanabara”.

Palavras chave: poluição, navios mercantes, meio ambiente, Baía de Guanabara.

ABSTRACT

“The climatological characteristics of the Guanabara Bay and your relation with the dispersion of carbon dioxide emitted in the atmosphere by Merchant vessels in this region” is a subject of great importance to clarify about the pollution in a region that requires attention due to the high traffic and being situated in a touristic area of global attention for being in a city famous for its natural beauties such as the Guanabara Bay. The focus of this current text is how the pollution happens and mainly about the dispersion of the carbon dioxide considering that the preoccupation with the environment has increased as being a global focus, beyond that, the involvement with merchant vessels and the companies related to them are vital for the care of such regions as the Guanabara Bay.

Key words: pollution, merchant vessels, environment, Guanabara Bay.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Camadas da atmosfera.	Erro! Indicador não definido.	4
Figura 1.7: Modelo Gaussiano.	Erro! Indicador não definido.	9
Figura 2.3: Ciclo global do Carbono.	Erro! Indicador não definido.	14
Figura 2.4: Fluxos e quantidades de Dióxido de Carbono nos compartimentos.		15
Figura 3.6.2: O balanço energético médio global do sistema Terra-atmosfera (os números apresentados são percentuais da energia da radiação solar incidente).		25
Figura 4.4.1: Tabela de combustíveis marinhos mais comuns.		35
Figura 4.4.2: Propriedades físicas dos combustíveis.		36
Figura 4.4.3: Especificações técnicas para combustíveis.		37
Figura 4.4.4: Especificações técnicas para combustíveis residuais.		38
Figura 4.4.5: Continuação figura 4.4.4.		38
Figura 4.5: Entradas e saídas de um motor de combustão interna.		40
Figura 4.6: Entradas e saídas de um motor diesel.		42
Figura 4.7: Distribuição de gases de descarga do motor.		42
Figura 5.3: Ilha urbana de calor.		50
Figura 6.4: Clima do Rio de Janeiro.		54

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1 A ATMOSFERA	3
1.1 Conceito	3
1.2 A estabilidade atmosférica	4
1.3 Poluentes Atmosféricos	5
1.4 Principais poluentes atmosféricos	6
1.5 Classificação do poluente quanto a estabilidade química	8
1.6 Inversão térmica	8
1.7 Dispersão atmosférica de contaminantes	8
1.8 Tempo de ressitencia de compostos na atmosfera	10
2 O DIÓXIDO DE CARBONO	11
2.1 Conceito	11
2.2 Ciclos Globais	12
2.3 O ciclo do Carbono	12
3 O PROBLEMA DO AQUECIMENTO GLOBAL	17
3.1 Poluição atmosférica	17
3.2 Escalas do problema de poluição do ar	18
3.3 Poluição: Problema Nacional e Internacional	20
3.4 Efeito da poluição atmosférica	20
3.5 Abordagem meteorológica da poluição atmosférica	22
3.6 O efeito estufa	24
4 POLUENTES EMITIDOS POR NAVIOS MERCANTES	32
4.1 Conceito	32
4.2 Definição do problema	32
4.3 Avaliações dos impactos de emissões de motores de combustão interna	34
4.4 Os combustíveis usados na propulsão naval	35
4.5 Tipos de emissões de gases gerados por navios	40
4.6 Equação química da combustão completa	41
4.7 Combustão Incompleta	42
4.8 Efeitos causados pelas emissões na saúde humana e no clima mundial	44
4.9 International Maritime Organization (IMO) e suas ações para redução dos GEE	46

5 A DISPERSAO ATMOSFÉRICA E SUAS INFLUENCIAS METEOROLÓGICAS	48
5.1 Introdução	48
5.2 Dispersão atmosférica	49
5.3 A questão das ilhas de calor	50
5.3.1 Características das ilhas de calor	51
5.3.2 As principais causas	52
6 A CARACTERIZACAO METEOROLÓGICA DO RIO DE JANEIRO	53
6.1 Clima	53
6.2 Volume pluviométrico	53
6.3 Considerações importantes	54
6.4 A Baía de Guanabara	55
6.4.1 Fatores dinamicos	57
6.4.2 Fatores geográficos	58
CONSIDERACOES FINAIS	61
REFERENCIAS	62

INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos principais objetivos da ciência é ter a qualidade de prognosticar certos sistemas e seus futuros comportamentos. São exemplos claros disso, os serviços de previsão o tempo, as previsões de terremotos e tempestades, como também, a previsão das dispersões dos contaminantes atmosféricos.

O grande problema, talvez o maior deles, é a qualidade do ar atmosférico, que hoje em dia vem se deteriorando e se caracterizando em uma das mais graves e temidas ameaças à qualidade de nossas vidas. O desafio principal, portanto, é o de manter um padrão de qualidade do ar que não coloque em risco e não comprometa a saúde de nossa sociedade. Tal deterioração é fruto de emissões industriais, dos veículos automotores, além de outras fontes.

Com base no relato acima, as leis que regulamentam a qualidade do ar estão se tornando cada vez mais rigorosas e mais detalhadas, e assim sendo, são necessários modelos cada vez mais complexos que forneçam resultados mais realísticos e precisos, afim de que se possam estabelecer padrões para manter o ar dentro dos níveis de qualidade exigidos pelas legislações ambientais competentes.

A qualidade do ar de determinada região é afetada diretamente pelos níveis de poluição atmosférica, os quais são originados de um amplo sistema de fontes emissoras, que podem ser: estacionárias (indústrias, queima de lixo, emissões naturais, tais como, vulcões...) ou móveis (veículos, aviões, trens...). Também, deve-se levar em conta os fatores do meio físico, cujos atores principais são: a topografia da região e suas condições climáticas e meteorológicas (Fruehauf, 1998).

A caracterização da qualidade do ar é designada por um conjunto de fatores que compreendem a intensidade do lançamento das emissões, seu transporte e decomposição na atmosfera, e o tempo de exposição (e concentração) do poluente na atmosfera (Cerqueira, 2001). Visto que, em longo prazo, esses efeitos de concentrações de poluentes, não são totalmente conhecidos, a poluição atmosférica constitui-se atualmente na principal e mais grave preocupação de nossa sociedade. Como ilustração disso, a ocorrência de chuva ácida e o agravamento do efeito estufa, são fenômenos que denotam tal preocupação com esta situação, (segundo estudos meteorológicos, a temperatura global do planeta aumentou cerca de 0,6o C nos últimos 100 anos). Porém, não há nenhuma prova conclusiva que relaciona este aquecimento com o agravamento do efeito estufa – mecanismo natural de manutenção da temperatura do planeta -, mas a variação da temperatura e a concentração de gás carbônico (CO₂) tiveram comportamento semelhante, segundo algumas pesquisas (Cerqueira, 2001).

Esta poluição se faz presente na atmosfera através de gases e também na forma de partículas sólidas em suspensão (MP), que são derivados de resíduos industriais (siderúrgicas, petroquímicas, indústrias de cimento, usinas termelétricas com queima de carvão e petróleo, automóveis, incêndios florestais, etc.).

Um dos principais fatores e que precisa ser levado em consideração quando se trata de uma situação de poluição atmosférica, é a influência das condições meteorológicas na dispersão dos poluentes que serão tratadas no desenvolver deste trabalho relacionando diretamente a região da Baía de Guanabara onde possui grande tráfego de navios mercantes.

CAPITULO 1

A ATMOSFERA

1.1 Conceito

É denominada Atmosfera a camada gasosa que envolve a terra com milhares de quilômetros de extensão. A Atmosfera possui diferentes camadas classificadas principalmente de acordo com a variação de temperatura proporcional a altura. Sendo elas:

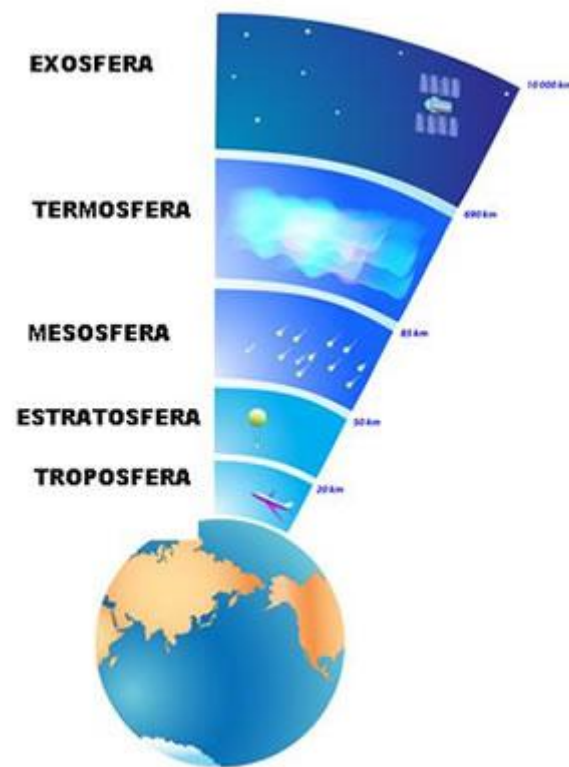
- Troposfera: região em contato com a superfície terrestre até aproximadamente 15 quilômetros, possui uma variação de temperatura em media de $6,5K/km$. Possui um ar bem misturado em relação a outras camadas, ou seja, possui maior concentração da massa gasosa da atmosfera (cerca de 75%). É onde ocorrem os principais fenômenos atmosféricos e a manifestação dos problemas ambientais globais como o aquecimento global devido a grande interação humana.

- Estratosfera: região acima da troposfera e não possui variação uniforme de temperatura. Chega a temperaturas de 270K e altitude de 50 km. É onde se encontra grande quantidade de ozônio tendo grande importância científica em função da absorção e dispersão dos raios solares.

- Mesosfera: região superior à estratosfera chegando a 85 km. Onde é encontrado o ponto de menor temperatura da atmosfera de 175K.

- Termosfera: região caracterizada por acréscimo de temperatura que pode elevar-se acerca de 1000K.

- Estratosfera: Camada mais externa onde as moléculas de gás podem escapar da atração gravitacional.



Fonte: BRETSCHNEIDER e KURFÜRST (1987).

1.1. A Estabilidade Atmosférica

Em relação à estabilidade, a atmosfera pode ser classificada da seguinte maneira:

- Atmosfera Estável: frequentemente encontrada na superfície em noites com céu claro e ventos fracos, é desfavorável para a dispersão devido ser uma camada de mistura baixa. Além disso, a variação de temperatura em relação à altura também é relativamente baixa e os movimentos verticais são limitados.

- Atmosfera Instável: ocorre normalmente durante o dia devido ao calor do solo. A temperatura varia rapidamente em relação à altura e há um forte movimento vertical o que facilita a mistura das partículas promovendo a dispersão de contaminantes.

- Atmosfera Neutra: ocorre quando não há movimento vertical e troca de calor durante a transição do dia para noite, dias nublados ou com ventos fortes. Temos uma estabilidade atmosférica quando próximo à superfície temos uma camada de ar mais frio e logo acima uma camada de ar mais quente.

1.2. Poluentes Atmosféricos

Na atualidade, há uma grande preocupação com a poluição, para isso precisamos entender sobre o conceito de poluentes atmosféricos como fica evidenciado em “Poluente atmosférico é toda substância sólida, líquida ou gasosa que afeta prejudicialmente o meio ambiente após mudanças químicas na atmosfera ou pela ação sinérgica com outras substâncias”. (BRETSCHEIDER e KURFÜRST, 1987).

Estes poluentes causam prejuízo à composição química da atmosfera trazendo as seguintes consequências:

- Prejuízo ao bem estar da vida humana e dos animais.
- Dano ao meio ambiente (natural residencial ou da área de trabalho).
- Efeitos que conduzam a deterioração do conforto, como a diminuição da visibilidade.

A Resolução CONAMA nº 03 de 1990 estende este conceito através de uma definição que incorpora a variável energia como possível poluente. Assim, de acordo com CONAMA (1990a), poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- Inconveniente ao bem-estar público;
- Danoso aos materiais, à fauna e flora;
- Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade, e às atividades normais da comunidade.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados como sólidos, líquidos e/ou gasosos, de acordo com seu estado de agregação. Na prática estes três grupos podem ser combinados de acordo com alguns pontos de vista.

Substâncias sólidas ou líquidas podem ser agrupadas como particulado ou material particulado desde que princípios físicos sejam frequentemente utilizados para sua remoção e suas densidades sejam aproximadamente três vezes maiores do que a do ar onde estão diluídos.

Os gases e vapores formam outro grupo, sendo poluentes moleculares com existência permanente: os gases propriamente ditos, ou os vapores que à temperatura ambiente podem sofrer

condensação e voltar à forma líquida original (BOUBEL *ET al*, 1984).

De acordo com sua composição química, os poluentes podem ser classificados em inorgânicos e orgânicos. Podem também ser classificados como poluentes primários e secundários, sendo os primeiros já emitidos na forma de poluentes e os outros formados na atmosfera por reações químicas ou fotoquímicas com a participação de dois ou mais poluentes ou com a participação de componentes próprios da atmosfera (PARTER, 1978).

Os poluentes podem ainda ser classificados de acordo com os seus efeitos em substâncias radioativas, metais pesados, tóxicas, carcinogênicos, mutagênicos etc.

1.3. Principais Poluentes Atmosféricos

Existem muitas definições relacionadas a esse agravante problema que toda a sociedade, tanto seres humanos como animais, plantas e vegetais, estão sujeita que é a poluição atmosférica. A poluição atmosférica difere das outras formas de poluição por consistir-se de um processo irreversível com esse poluente após sua emissão para a atmosfera (Cerqueira, 2000). Como já vimos anteriormente, às vezes pode ser causada por emissões naturais (geralmente em áreas ilimitadas e ambientes rurais), mas muitas vezes, ocorrem originadas pela ação exclusiva do homem (poluições antropogênicas), podendo ser mais significantes em meio urbanos e industriais, sendo seus efeitos mais severos devido às concentrações dessas emissões serem em áreas mais limitadas. Nas proximidades das fontes, os gases abandonados destroem a qualidade do ar em áreas urbanas, agrícolas e industriais. A média e longas distâncias produzem a chuva ácida e em escala global, contribuem na formação do buraco na camada de ozônio, (Carvalho, 2000).

Enquanto os níveis de poluição natural podem ser considerados constantes no tempo, os níveis de poluição ocasionada pelo ser humano vêm aumentando consideravelmente (Carvalho, 2000). Por outro lado, avanços importantes no que se refere ao problema da poluição do ar localizada em regiões urbanas e zonas industriais, vêm ocorrendo. Através do controle da qualidade do ar por órgãos competentes e instituições governamentais, que buscam uma maior proteção ao ecossistema e uma melhor qualidade de vida à população, as indústrias pressionadas pelas regulamentações ambientais, estão controlando cada vez mais e se apropriando de ferramentas adequadas para controle dessas emissões de poluentes.

Quando se observa a concentração de determinado poluente na atmosfera, estamos falando no grau de exposição dos receptores após a emissão desse poluente para atmosfera. Com relação aos efeitos provocados pelos poluentes, dentre os fatores que determinarão a gravidade de tais efeitos,

se fazem indiscutíveis principalmente dois: a concentração dos poluentes e o tempo de exposição, constituindo-se no que podemos chamar de efeitos agudos e crônicos. Intoxicações agudas se diagnosticam, quando se tem uma exposição com tempo de duração curto a altas concentrações, os efeitos crônicos aparecem em situações com exposições longas com doses de concentrações mais baixas (Seinfeld, 1986). Existem ainda os fatores de sensibilidade de cada pessoa que poderá determinar maior ou menor severidade dos efeitos, como por exemplo: a idade (crianças, idosos, indivíduos com problemas respiratórios e cardíacos), o estado nutricional, o volume de ar inalado (crianças inalam em média 2vezes mais ar que adultos pessoas em atividades esportivas inalam até cinco vezes mais ar/min), (Cerqueira 2000).

De acordo com Seinfeld (1986) e Lyons (1990), se consideram geralmente como poluentes atmosféricos substâncias classificadas como:

- Material Particulado – Partículas Totais em Suspensão (mistura de compostos no estado sólido ou líquido);
- Compostos de Nitrogênio – óxidos (NO, NO₂), amônia (NH₃), ácido nítrico (HNO₃);
- Compostos de Enxofre – óxidos (SO₂, SO₃), gás sulfídrico (H₂S), SULFATOS (SO₄-2);
- Monóxidos de Carbono;
- Compostos Halogenados – ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), cloretos, fluoretos;
- Compostos orgânicos – hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos.
- Cabe salientar que neste estudo foram analisadas apenas as concentrações em massa de Material Particulado (PM₁₀) e Dióxido de Enxofre (SO₂).

Em relação aos limites para os níveis de emissão de poluentes, o Conselho Nacional de do Meio Ambiente –CONAMA- em sua resolução n°três de 28/08/90 com base no Programa Nacional de Qualidade do Ar-PRONAR, estabelece em níveis nacionais padrões de qualidade do ar – indicadores, cujas concentrações quando ultrapassadas poderão afetar a saúde, a segurança e o bem estar da população, bem como, ocasionar danos à fauna, a flora e ao meio ambiente em geral - em função da maior frequência de ocorrência e devido aos efeitos desfavoráveis que os contaminantes causam.

De acordo com a resolução cima, os seguintes padrões de qualidade do ar foram determinados:

- Padrão Primário: Concentração de poluentes atmosféricos que quando ultrapassada poderá afetar a saúde da população atingida e danos ao meio ambiente em geral.
- Padrão Secundário: Concentração que quando não ultrapassada, se prevê o mínimo de efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como, danos à fauna e a flora e ao meio ambiente.

1.4. Classificação do poluente quanto à estabilidade química

- Quimicamente estáveis: ao serem lançados na atmosfera podem sofrer transformações devido à interação com outros compostos. Como o dióxido de enxofre que em contato com vapor de água forma o ácido sulfúrico.

- Quimicamente instáveis: ao serem lançados na atmosfera não sofrem alterações em sua composição molecular como o dióxido de carbono.

1.5. Inversão térmica

A emissão de poluentes na atmosfera causa os fenômenos de inversão térmica e de *smog*.

A inversão térmica é caracterizada quando uma massa de ar quente sobrepõe uma massa de ar frio impedindo o ar próximo de a superfície subir e circular aprisionando os poluentes na camada mais baixa de ar.

Smog vem da contração das palavras *smoke* (fumaça) e *fog* (neblina), que é formado por uma série de reações, chamadas de fotoquímicas, entre as substâncias encontradas na atmosfera catalisadas pela luz solar. O resultado destas reações com a luz solar é chamado de oxidante fotoquímico, tendo como exemplo as cetonas e os peróxidos. Essas substâncias formadas geram uma fumaça marrom-avermelhada que agrava problemas como infecções e inflamações do sistema respiratório. Esta ação tóxica deve-se a capacidade de oxidação de substâncias presentes nas células como lipídeos e proteínas lesando ou matando-as conforme tempo de exposição com a substância.

1.6. Dispersão atmosférica de contaminantes

Dispersão atmosférica é o espalhamento de poluentes gasosos resultado de um escoamento de regime turbulento com proporções macroscópicas, preferencialmente as proporções microscópicas da difusão molecular.

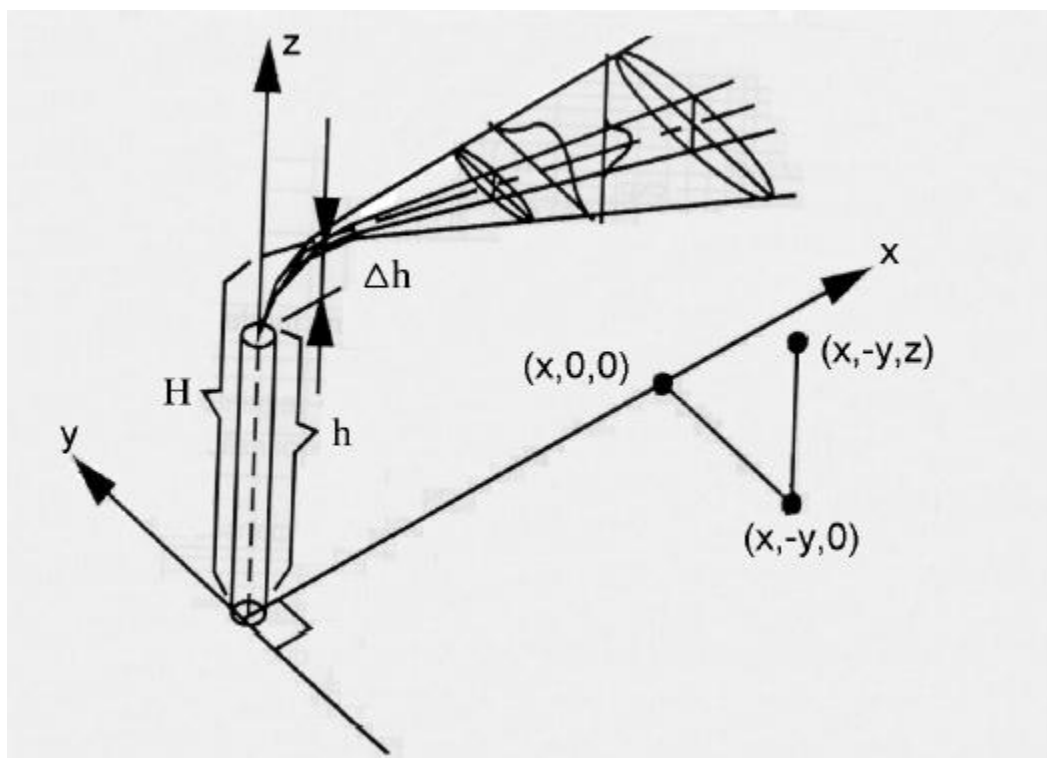
Ao serem introduzidos ao ar, os poluentes são transportados pelo vento se misturando na atmosfera, momento no qual pode haver reações químicas que os transformam de contaminantes primários para secundários ou, além disso, serem depositados no solo por via seca ou úmida. E os mecanismos para removê-los do ar são:

- Deposição úmida: colisão e adesão das partículas com as gotas de precipitação pluviométrica.
- Deposição seca: ocorre devido à aceleração da gravidade com partículas ou gases com massa

específica superior a do ar.

- Reação química: quando ocorre transformação das substâncias inicialmente presentes em novas substâncias.

Na figura a seguir, será mostrado o modelo de dispersão atmosférica mais utilizado atualmente, o Modelo Gaussiano. É baseado em um hipótese de que sob certas condições idealizadas a concentração média de um contaminante, após o lançamento na atmosfera, obedece à distribuição normal nos planos ortogonais e transversais a direção principal do vento. Nele é considerada a turbulência atmosférica e a uniformidade do campo de ventos.



Fonte: MEDEIROS (2003).

1.7. Tempo de resistência de compostos na atmosfera

Tempo de resistência é o tempo médio que uma molécula permanece no ar antes de ser removida. O que define esse tempo leva em consideração principalmente a conservação da massa levando em conta taxas estabelecidas de cada substância de produção e redução.

Todos os componentes na atmosfera são considerados reativos, porém alguns destes compostos reativos apresentam velocidade considerável, então a cinética é levada em consideração através de

uma constante, e ainda assim a velocidade depende do reagente, em diferentes formas, dependendo se a reação é mono, bi ou tri molecular.

CAPÍTULO 2

O DIÓXIDO DE CARBONO

Para introduzirmos o problema do Aquecimento Global, devemos ter noções sobre o Dióxido de Carbono, um dos principais influentes na temperatura terrestre.

2.1 Conceito

O dióxido de carbono é um gás ligeiramente tóxico, inodoro, incolor e de sabor ácido. O CO_2 não é combustível nem alimenta a combustão. É 1,4 vezes mais pesado que o ar. O dióxido de carbono evapora a uma temperatura de -78°C a pressão atmosférica. O gás em questão pode reagir de forma violenta com bases fortes, especialmente em altas temperaturas. O dióxido de carbono é obtido como subproduto de algumas combustões. Entretanto deve passar por um processo de purificação no qual são extraídos os restos de água, oxigênio, nitrogênio, metano, entre outros. As principais fontes naturais de compostos de carbono são as florestas e pastagens. Já as principais fontes antropogênicas dos compostos de carbono incluem veículos, indústria de petróleo, solventes, produção de gás natural e o carvão (centrais termoelétricas e indústrias).

O carbono está presente no planeta de diversas formas, como por exemplo, sob a forma de CO_2 , na atmosfera, e sob outras formas, como os hidrocarbonetos (C_xH_y) que constituem o petróleo e ainda em diferentes formas nos oceanos, sedimentos e rochas. Os processos de troca entre as reservas são, por exemplo, a absorção, a fotossíntese e a respiração. As plantas, através do mecanismo de fotossíntese, absorvem e transformam o CO_2 , na presença de luz solar, em matéria orgânica, sintetizando assim os seus tecidos. As plantas também geram o CO_2 através do processo de respiração e decomposição. Outro exemplo são os seres vivos (somente os organismos eucariontes que possuem mitocôndrias), que geram o CO_2 como subproduto da respiração. Já se mencionou que o CO_2 possui uma pequena participação percentual na atmosfera de 0,036%, mas, em quantidades absolutas, este valor significa 750 bilhões de toneladas de carbono (GtC) e esta porcentagem possui papel importante no equilíbrio térmico da atmosfera pois o CO_2 é um dos mais importantes gases de efeito estufa.

2.2 Os ciclos globais

Ao longo do tempo a composição atmosférica tem se modificado em resposta as interações biológicas e geológicas, que ocorrem nas interfaces com a litosfera e a hidrosfera. As altas concentrações de oxigênio e nitrogênio devem-se, por exemplo, a regeneração continua dessas substancias por organismos vivos (atividade microbiana e fotossíntese, respectivamente). Na ausência da biota, a atmosfera do planeta teria concentrações de gás carbônico muito maiores que as atuais, ao passo que o oxigênio seria apenas uma substancia em concentração em nível de traços. A vida na terra é mantida pela energia proveniente do Sol e pelas interações entre sistemas físicos e biológicos em contínuo reciclo, tornando o planeta um sistema autossustentado e em evolução.

Gases traço e compostos voláteis, por exemplo, são gerados em emissões biogênicas a partir de solos e oceanos, enquanto que compostos reduzidos de enxofre são produzidos por plantas em organismos em oceanos. Grandes quantidades de cinzas e dióxido de enxofre são produzidas durante erupções vulcânicas. O dióxido de enxofre, SO_2 , assim produzido pode ser ainda convertido em sulfato particulado na atmosfera. Metano é emitido por vegetação em áreas alagadas e por vazamentos em depósitos naturais. Os processos de transporte e deposição são responsáveis pelo retorno de parte dessas substancias aos solos, oceanos e corpos de água, enquanto reações na atmosfera produzem as transformações químicas e físicas, convertendo-as em novas espécies.

Com uma boa aproximação, pode-se assumir que o planeta é um sistema fechado em termos de fluxos de massa, sem entrada ou saída de material. A entrada de pequenos corpos celestes e o escape de moléculas muito leves são frações ínfimas nesse balanço.

2.3 O ciclo do carbono

O ciclo do carbono é considerado como o ciclo de maior interesse para a mudança global (SCHNEIDER, 1998). Este ciclo é composto por todas as reservas e trocas de carbono de uma reserva para outra pelos processos químicos, físicos, geológicos e biológicos. As quatro reservas mais importantes de carbono da Terra, onde acontecem as trocas, são a atmosfera, a biosfera terrestre (geralmente inclui os sistemas de água doce), os oceanos e os sedimentos (incluindo os combustíveis fósseis). (U.S.EPA, 2000a).

O carbono está presente no planeta de diversas formas, como por exemplo, sob a forma de CO_2 , na atmosfera, e sob outras formas, como os hidrocarbonetos (C_xH_y) que constituem o petróleo e ainda em diferentes formas nos oceanos, sedimentos e rochas. Os processos de troca entre as reservas são, por exemplo, a absorção, a fotossíntese e a respiração. As plantas, através do

mecanismo de fotossíntese, absorvem e transformam o CO₂, na presença de luz solar, em matéria orgânica, sintetizando assim os seus tecidos. As plantas também geram o CO₂ através do processo de respiração e decomposição. Outro exemplo são os seres vivos (somente os organismos eucariontes que possuem mitocôndrias), que geram o CO₂ como subproduto da respiração.

Já se mencionou que o CO₂ possui uma pequena participação percentual na atmosfera de 0,036%, mas, em quantidades absolutas, este valor significa 750 bilhões de toneladas de carbono (GtC) e esta porcentagem possui papel importante no equilíbrio térmico da atmosfera pois o CO₂ é um dos mais importantes gases de efeito estufa. A concentração de carbono na atmosfera cresceu de aproximadamente 208 ppmv (parte por milhão em volume), em 1800, para 315 ppmv, em 1957, chegando a 358 ppmv, em 1994 (IPCC, 1996b).

O carbono é absorvido pelas plantas, consideradas os produtores da cadeia trófica. Uma vez incorporado às moléculas orgânicas dos produtores, poderá seguir dois caminhos: ou será liberado novamente para a atmosfera em forma de CO₂, ou será transferido na forma de moléculas orgânicas aos animais herbívoros quando estes ingerirem os produtores (uma parte será transferida para os decompositores que liberarão o carbono novamente para a atmosfera, degradando as moléculas orgânicas presente na parte que lhes coube).

Os animais através da respiração liberam a atmosfera parte do carbono assimilado, na forma de CO₂. Parte do carbono contido nos herbívoros será transferida para os níveis tróficos seguintes e outra parte caberá aos decompositores e, assim, sucessivamente, até que o carbono fixado pela fotossíntese retorne a atmosfera na forma de CO₂.

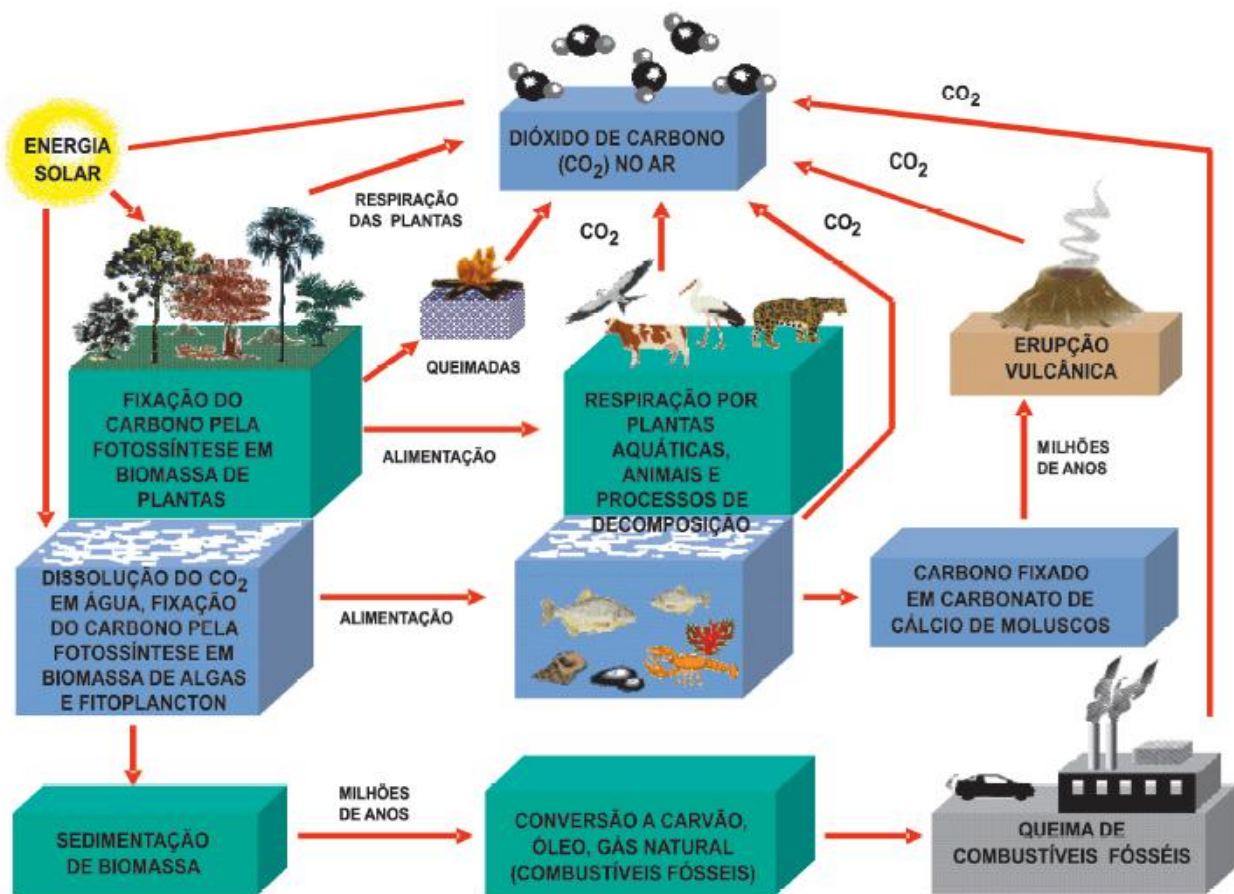
A figura 1 ilustra as principais rotas de troca estabelecidas para o CO₂, em processo biogeoquímico envolvendo os três compartimentos, enquanto a figura 2 mostra estimativas de quantidades aproximadas contidas em cada ambiente e os fluxos anuais (GtC/ano) entre os mesmos.

As trocas de CO₂ entre a atmosfera e a biosfera terrestre ocorrem principalmente através da fotossíntese e a respiração por plantas. Estes dois processos podem ser resumidos pelas seguintes equações:

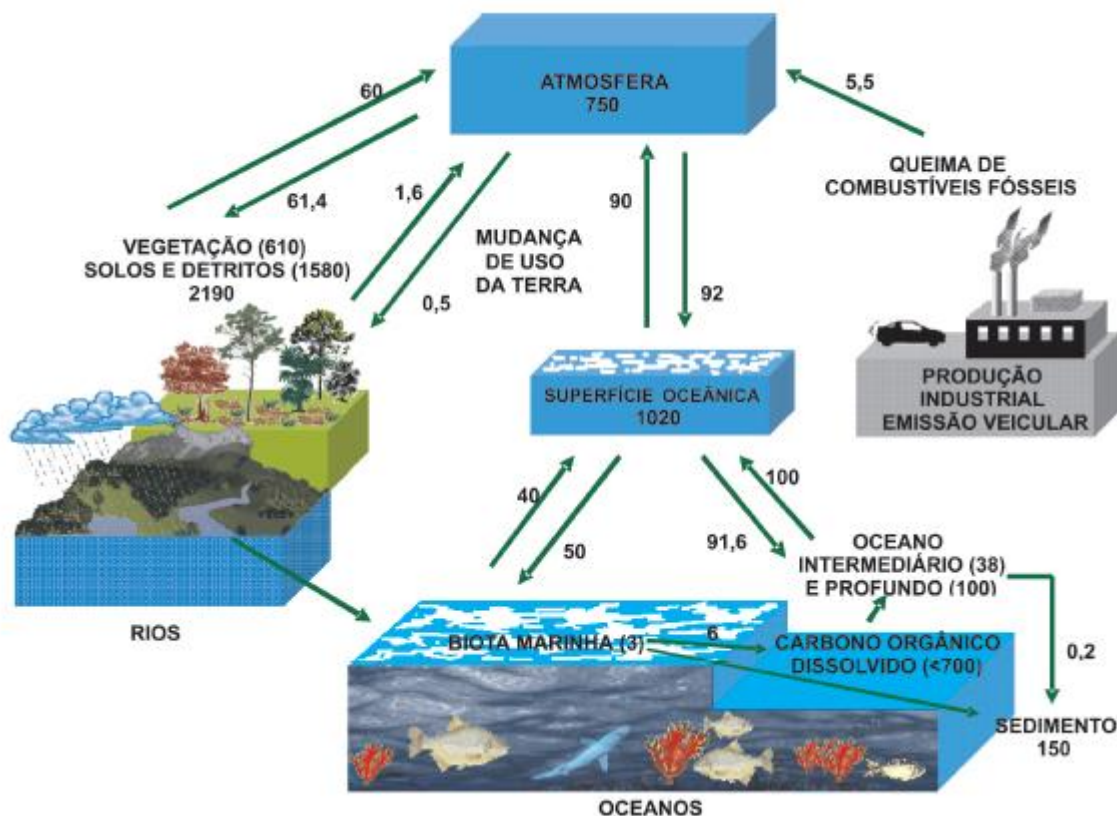
1. Fotossíntese: $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + h\nu = (\text{CH}_2\text{O})_n + \text{O}_2$.
2. Respiração: $(\text{CH}_2\text{O})_n + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{Energia}$.

Dessa maneira, parte do CO₂ fixado segundo a equação um é reemitido segundo a equação dois. O restante será armazenado, na forma de biomassa, pelas folhas, caules, raízes, etc., no que é chamado de Produção Primária Líquida (PPL). Essa biomassa, ao ser consumida como alimento, por organismos heterotróficos, é parcialmente reconvertida de forma imediata a CO₂ pela respiração, e posteriormente por processos de decomposição da matéria orgânica, através da morte

de animais e plantas e ataque por microrganismos. No decorrer de um tempo suficientemente longo, a respiração e a decomposição dos organismos heterotróficos tende a balancear a PPL.



Fonte: MANAHAN (1991).



Fonte: MANAHAN (1991).

A principal rota de transferência de CO₂ para o fundo dos oceanos é a sedimentação de carbonato de cálcio insolúvel, CaCO₃, na forma de organismos formadores de exoesqueletos, como moluscos, conchas, etc. Sua decomposição ao longo de milhões de anos lava a formação de depósitos ricos em hidrocarbonetos (ex.: carvão). Outra parte é redissolvida por processos químicos e biológicos, permanecendo como fração solúvel.

O CO₂ também é fixado na forma de carbono orgânico, pela fotossíntese de algas na superfície ensolarada das águas e do crescimento resultado do fito plâncton. Esse CO₂ retorna a atmosfera através da respiração e da decomposição da biomassa assim formada.

O balanço de massa no fluxo de CO₂ entre a atmosfera e o oceano é resultado de um desequilíbrio das concentrações desse gás entre esses dois compartimentos, de acordo com a localização. Assim, em regiões próximas ao Equador, as águas quentes favorecem uma transferência maior do oceano para a atmosfera, enquanto em médias e altas latitudes predomina o processo inverso, em que o CO₂ da atmosfera é dissolvido nas águas frias. Alguns modelos globais sugerem que há uma transferência líquida de CO₂ da atmosfera para os oceanos na faixa de 2,0 ± 0,8 GtC/ano.

De acordo com medições efetuadas em camadas de gelo na Antártica, a quantidade de CO₂ no ar, nos últimos 200.000 anos variou entre 200 e 280 g/t, denotando uma grande estabilidade no

processo de formação e remoção, e assim, mantendo-se até o século 19, no limiar da revolução industrial. Nos últimos 130 anos, sua concentração aumentou de 280g/t para cerca de 360g/t em meados da década de 1990. Atualmente esse aumento é cerca de 0,5% por ano, o qual, caso mantido, dobrará a quantidade no período de um século e meio. Esse acréscimo é atribuído, principalmente, a queima de combustíveis fósseis, e em certo grau, aos processos de desflorestamento e queimadas.

É interessante notar que a emissão total de carbono decorrente dessas atividades vem crescendo na taxa de 4.3% ao ano desde a revolução industrial, portanto cerca de oito vezes maiores que as taxas de concentração de CO₂. Caso todo o CO₂ emitido por estes processos permanecesse na atmosfera, seria esperada uma quantidade muito maior que a atual. Existem, portanto, importantes mecanismos de remoção dessa produção excedente, sendo o oceano um deles, através da absorção, enquanto a retirada de CO₂ através de replantio seria outro. Não obstante, é importante frisar que cerca de 3,3GtC, líquidas, como CO₂, estão sendo introduzidas na atmosfera do planeta a cada ano, com consequências globais sobre o clima, as quais vem sendo discutidas em diversos foros.

CAPÍTULO 3

O PROBLEMA DO AQUECIMENTO GLOBAL

Este capítulo tratará de explicar os problemas relacionados à Poluição Atmosférica, o efeito estufa, entre outros que levam ao Aquecimento Global.

3.1 Poluição Atmosférica

Durante centenas de anos os seres humanos vêm realizando atividades que modificaram a composição química da atmosfera. O conceito de poluição atmosférica inclui atividades humanas e/ou atividades naturais que levam à deterioração da qualidade original da atmosfera. Como assinalou BRETSCHNEIDER e KURFÜRST (1987), a erupção do vulcão Krakatoa, em 1883, introduziu mais poeira na atmosfera do que toda fumaça produzida pelas atividades humanas ao longo da história. Além das erupções vulcânicas, outros fenômenos naturais como queimadas nas florestas e a dispersão de areia pelo vento, entre outros, são fatores que intensificam o fluxo de matéria introduzida na atmosfera, “contaminando” o ar.

Esta “contaminação” é na verdade a poluição natural como definiu BOUBEL *et al* (1984), e que introduz na atmosfera gases que atualmente são considerados poluentes. Existem algumas opiniões sobre o conceito de poluição atmosférica, alguns atribuem o fato somente à ação das atividades humanas, porém como ressaltou CAVALCANTI (2003) uma definição desta natureza seria um pouco limitada.

De acordo com o conceito de proteção atmosférica em alguns países industrializados, como a Alemanha, poluição atmosférica é a introdução direta ou indireta de materiais na atmosfera em quantidades que afetam sua qualidade e composição resultando em efeitos negativos para o bem estar humano, a natureza viva e não viva, aos ecossistemas, aos materiais, aos recursos naturais e à utilização do meio ambiente (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST, 1987).

Este conceito foi ampliado pela Convenção da Comissão Econômica Europeia sobre Poluição Atmosférica Transfronteiriça de Longo Alcance (UNECE, 2004), que passou a considerar a poluição atmosférica não só a emissão de substâncias materiais no ar, como também a emissão de qualquer forma de energia capaz de causar efeitos nocivos. Segundo STERN *et al* (1984), o ar não poluído é um conceito e seria a composição do ar se o homem e suas atividades não estivessem na terra. O ar que respiramos seria então definido como: “... ar poluído diluído...”, cujos principais

elementos constitutivos são o nitrogênio, o oxigênio e o vapor d'água.

O ar é uma mistura complexa de muitas substâncias com aproximadamente 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e os 1% restantes incluindo pequenas quantidades de substâncias como o dióxido de carbono, metano, hidrogênio, argônio, hélio, além de vapores orgânicos e material particulado em suspensão.

3.2 Escalas do problema de poluição do ar

O problema da poluição do ar não é único, existem vários problemas distintos com características próprias. Segundo *BOUBEL et al* (1984), estes problemas podem ser abordados estabelecendo as escalas de poluição do ar.

Quando o problema da poluição é abordado levando-se em consideração o quanto da superfície terrestre foi envolvida tem-se a escala horizontal em evidência. A segunda escala seria a vertical que mede o quanto da camada de ar está sendo envolvida. A terceira é a escala temporal que considera o decurso de tempo para desencadeá-lo do problema, além do tempo necessário para o seu controle. A quarta é a escala de organização necessária para a resolução do problema. Considerando as quatro escalas apresentadas, os problemas de poluição atmosférica podem assumir as seguintes dimensões:

- Micro ou *Indoor*: Limita-se a ambientes fechados como interiores de instalações ou atividades industriais. As emissões oriundas das atividades ficam restritas ao mesmo local da fonte originária ou com alcance desprezível.

- Local: Nesta dimensão a fonte e o receptor estão muito próximos um do outro, ou seja, estão no mesmo campo de visão. Assim, a ação da poluição de uma fonte ou um conjunto destas sobre um receptor pode ser identificada sem a necessidade específica de se aplicar um traçador. Um exemplo seria a via principal de uma cidade com suas construções e intenso tráfego de veículos. As fontes seriam os automóveis e os receptores os ocupantes dos prédios adjacentes. A escala horizontal do exemplo seria o trecho da via considerado. A escala vertical seria a altura dos prédios adjacentes e a escala temporal medida em minutos desde que a densidade do tráfego mude por um fator de dois em uma hora. O tempo de controle da poluição seria longo se não houvesse mudança no tráfego, porém se o tráfego for restringido o problema seria resolvido em pouco tempo.

- Urbana: A área urbana compreende o centro da cidade e suas vizinhanças: o subúrbio e a zona rural. Nestas áreas estão concentradas inúmeras atividades humanas como as industriais e as de transportes que geram enorme quantidade de poluentes lançados na Atmosfera. A cidade concentra o maior número de fontes e por isso apresenta maior concentração de poluentes. A

concentração de poluentes no subúrbio é afetada diretamente pela cidade, porém possui níveis mais baixos de poluentes. A zona rural possui os menores índices de poluição e por isso é considerada com concentração padrão ou *background* em relação ao centro urbano. Os fenômenos meteorológicos estão intimamente relacionados com os problemas de poluição do ar. Numa área urbana as correntes de ar que circulam realizam o transporte de poluentes por dois mecanismos: as correntes de ar horizontais que removem a poluição lateralmente, e as correntes de ar verticais que por meio de convecção carrega a poluição para níveis superiores da atmosfera, e ao mesmo tempo renova o ar limpo. Estes mecanismos são os responsáveis pelo maior ou menor grau de poluição nas áreas urbanas que em determinadas situações meteorológicas podem apresentar alterações desfavoráveis naqueles mecanismos resultando em calmarias e/ou em inversões térmicas. Quando estes dois mecanismos falham, ocorre uma estagnação atmosférica com consequentes episódios de poluição do ar.

- Regional: Na dimensão regional, a principal preocupação é com a qualidade do ar em áreas consideradas não poluídas. A poluição atmosférica é um problema essencialmente urbano que atingiu o ar limpo destas regiões tornando-as cada vez mais contaminadas. Este arraste de poluentes para áreas não contaminadas ocorre devido às condições semelhantes nos mecanismos de dispersão favorecidos por fatores geomorfológicos, além de condições climatológicas ideais. Assim, as áreas não poluídas são afetadas pelas emissões de outras áreas, criando uma condição de homogeneidade com a diluição do ar poluído original. Existem alguns fatores de poluição que são características das regiões não poluídas como, por exemplo, as queimadas dos campos e os rejeitos da agricultura, a dispersão dos excrementos animais, e de rejeitos do processamento de animais e vegetais. A poluição gerada por estas fontes age de igual modo poluindo os centros urbanos. Estas regiões com características climatológicas constantes, delimitadas pela topografia e pelos espaços aéreos vertical e horizontal constituem as bacias aéreas, por aonde toda a poluição dos centros urbanos irá se homogeneizar causando a sua degradação como um todo, degradando ainda o ar de áreas não ocupadas.

- Continental: O problema da poluição do ar nesta dimensão remete-se ao transporte de poluentes através das fronteiras internacionais. Como ocorre com o transporte de óxidos de enxofre da Gran Bretanha e Alemanha para além das fronteiras das Terras do Norte, da Bélgica e da Escandinávia, onde este poluente era carregado do ar como precipitação ácida, resultando na diminuição do pH dos corpos d'água e do solo. O mesmo fenômeno tem sido observado também no nordeste dos Estados Unidos e no sudeste do Canadá (STERN *et al*, 1984). O problema da deposição ácida envolve um grande número de fontes emissoras que agem sinergicamente num país de modo a contaminar uma extensa massa de ar que então se move para um outro país. Os principais poluentes envolvidos na deposição ácida são os óxidos de enxofre e os óxidos de

nitrogênio, sendo estes últimos não tão eficientes quanto os primeiros na produção de chuva ácida, pois passam por diversas reações químicas intermediárias até se transformarem em ácidos. Assim, no nordeste dos Estados Unidos a chuva ácida consiste de 65% de ácido sulfúrico, 30% de ácido nítrico e os 5% restantes formados por outros ácidos (PAINTER, 1974).

- Global: A preocupação fundamental é o transporte de poluentes ao redor do globo terrestre, como acontece com o transporte estratosférico de radionuclídeos dos testes de armas nucleares e o transporte de material particulado das erupções vulcânicas, além do transporte de outros poluentes que podem levar a mudanças significativas na atmosfera, como a redução da camada de ozônio e o aumento do efeito estufa, alterando assim o clima do planeta (KEMP, 1994).

3.3 Poluição: Problema Nacional e Internacional

Desde meados de 1960, aproximadamente, a poluição do ar deixou de ser um problema das vizinhanças das fontes de emissão e das áreas urbanas, para vir a ser um problema em âmbito nacional e internacional. Isso ocorreu mais ou menos simultaneamente nos países industrializados, devido às denúncias das organizações não governamentais e da mídia, que baseadas em estudos mostravam que os poluentes eram levados (transportados), a longa distância. Todo esse movimento teve como resultado, em muitos países, a criação da legislação ambiental, o surgimento de organizações não governamentais, agências de proteção ao meio ambiente e finalmente a participação das organizações das nações unidas, na defesa do meio ambiente.

3.4 Efeitos da poluição Atmosférica

A poluição atmosférica causa vários efeitos prejudiciais, diretos ou indiretos, sobre a saúde e o bem-estar humanos, sobre os animais e a vegetação, sobre os materiais e as construções e sobre a atmosfera, solos e os corpos d'água. O grau e a extensão destes efeitos dependem da escala de poluição, podendo ocorrer em nível local, regional e global.

Os efeitos da poluição atmosféricas têm a característica de modificar uma condição original ou normal e/ou de intensificar a incidência de um outro efeito, causando um prejuízo ou dano.

Estes efeitos causam perdas econômicas pelo aumento da ocorrência de algumas doenças (aumentando o consumo de medicamentos), diminuindo a produção agrícola, acelerando a taxa de corrosão dos metais e aumentando o custo de sua proteção, diminuindo o tempo de vida dos edifícios, construções e monumentos históricos e aumentando o custo da manutenção doméstica de

roupas limpas, entre outros (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST, 1987).

De maneira geral, os efeitos podem ser classificados como: agudos, de caráter temporário e reversível, em função do aumento da concentração de poluentes como, por exemplo, a irritação nos olhos e tosse; e crônicos, de caráter permanente e cumulativos com manifestações em longo prazo, podendo causar à saúde humana intoxicações gradativas provocando graves doenças respiratórias além de corrosão de estruturas e a degradação de materiais de construções e obras de arte (CAVALCANTI, 2003).

O impacto da poluição atmosférica sobre o bem-estar humano tem sido a principal motivação para o seu estudo e controle. A poluição atmosférica afeta principalmente os sistemas respiratórios, circulatórios e oftalmológicos, sendo o sistema respiratório a principal via de entrada dos poluentes, alguns dos quais podem alterar as funções dos pulmões (STERN *et al.*, 1984).

Os efeitos atribuídos à poluição atmosférica variam desde uma simples irritação nos olhos até o caso de morte. Em geral os efeitos agravam doenças pré-existentes, tornando as pessoas mais suscetíveis às infecções ou ao desenvolvimento de doenças respiratórias crônicas (WRI, 2004).

Alguns efeitos associados com poluentes específicos são mostrados na tabela 2.2 abaixo. O principal efeito dos poluentes atmosféricos sobre os metais é a corrosão das superfícies com eventuais perdas de material e suas propriedades elétricas. Os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre as características normais da atmosfera vão desde a diminuição da visibilidade, escala local, passando pelos problemas de deposição ácida em nível regional e continental, até os efeitos globais como aumento do efeito estufa e a redução da camada de ozônio, discutidos a seguir:

- Deposição Ácida:

A emissão de gases poluentes pelas atividades antrópicas (queima de combustíveis fósseis), principalmente os óxidos de enxofre e os óxidos de nitrogênio, leva à posterior deposição destes poluentes ácidos sobre os ecossistemas. A deposição ácida é a combinação da deposição seca e úmida, esta última comumente chamada de chuva ácida (RIBEIRO *et al.*, 2000).

Na formação da chuva ácida, conforme ilustrado na tabela 2.3, os óxidos com caráter ácido presentes na atmosfera reagem com o vapor d'água formando substâncias ácidas tais como ácido sulfúrico, ácido sulfuroso, ácido sulfídrico, ácido nítrico e ácido nitroso entre outros, que serão precipitados junto com as chuvas.

3.5 Abordagem Meteorológica da Poluição Atmosférica

Quando os gases lançados pelas chaminés entram na atmosfera, as condições externas tais como pressão, temperatura, umidade, direção e velocidade dos ventos começam a afetá-los. Todos

estes fatores meteorológicos, variáveis no tempo e no espaço aliados aos fatores topográficos, afetam diretamente a dispersão e o transporte dos poluentes.

A atmosfera terrestre está em constante movimento, principalmente como resultado da travessia da luz solar que gera um balanço térmico não uniforme. Assim os parâmetros meteorológicos variam consideravelmente com a localização, altitude e tempo (STERN *et al.* 1984).

O perfil de temperatura vertical que se forma influencia diretamente a dispersão dos poluentes. A temperatura na troposfera em geral diminui com o aumento da altitude, em uma média de 4°C a 8°C por quilômetro. Entretanto nas camadas inferiores da atmosfera, entre o primeiro e o segundo quilômetro, a temperatura pode aumentar com a variação da altitude por um determinado período de tempo. Este efeito térmico é conhecido como inversão térmica (GRAEDEL e CRUTZEL, 1997).

Estes gradientes de temperatura dão origem aos movimentos verticais ascendentes e descendentes das massas de ar que afetam o clima e os processos de mistura dos poluentes na atmosfera. Quando a atmosfera resiste a estes movimentos verticais têm-se um estado de estabilidade. Caso contrário, um estado de instabilidade (GRAEDEL e CRUTZEL, 1997). Além dos movimentos verticais das massas de ar mencionados, devem-se considerar, na análise de transporte e dispersão dos poluentes, os movimentos horizontais causados pela direção e velocidade dos ventos.

A velocidade e direção dos ventos determinam a concentração dos poluentes em torno das fontes, seu alcance e trajetória. O movimento do ar originando os ventos surge em função da existência de regiões com diferentes pressões. Zonas com pressões altas ou baixas possuem sistemas de ventilação diferenciados (GRAEDEL e CRUTZEL, 1997). Geralmente o movimento do ar nas camadas inferiores da atmosfera ocorre das regiões de alta pressão para as regiões de baixa pressão. Esta convergência causa a movimentação das camadas de ar resultando num aumento da taxa de ventilação. Quando a taxa de ventilação torna-se muito baixa, em função da diminuição do gradiente de pressão, ocorre à estagnação do ar, o que contribui para o aumento da concentração de poluentes na atmosfera (GRAEDEL e CRUTZEL, 1997).

O mais importante processo de mistura na atmosfera que causa a dispersão dos poluentes é a turbulência. Este processo é originado pela alta movimentação irregular dos ventos, que contribui grandemente para a mistura de parcelas de ar poluído e não poluído favorecendo assim a diluição dos poluentes (STERN *et al.* 1984; HONKIS, 1977). Todos estes fatores meteorológicos são importantes quando se deseja realizar estudos de dispersão de poluentes. Para tanto, a estimativa da concentração de poluentes pode ser obtida a partir da utilização de equações empíricas formadoras dos modelos matemáticos de dispersão. Estes modelos são as principais ferramentas utilizadas atualmente para se estimar o comportamento de uma pluma de dispersão.

O modelo mais utilizado é o que considera a dispersão da pluma de uma fonte com emissão contínua uma distribuição normal ou Gaussiana (MEDEIROS, 2003). Este modelo emprega um sistema tridimensional de eixos coordenados para descrever a distribuição da pluma. Deste modo, o eixo x relaciona-se com a direção do vento ou percurso da pluma, o eixo y indica a sua distribuição perpendicular ao eixo x, e o eixo z corresponde à vertical com referência ao nível do solo.

O modelo Gaussiano assume que a concentração de poluentes na pluma é proporcional à taxa de emissão e inversamente proporcional à velocidade do vento. Considera também que os poluentes atmosféricos não sofrem transformações químicas ou outros processos de remoção ao longo do seu percurso.

Segundo BRETSCHNEIDER e KURFÜRST (1987), a determinação da concentração da poluição atmosférica está baseada nos trabalhos de Sutton (1932), e Bosanquet e Peason (1936), sendo posteriormente modificados por outros autores.

Atualmente a equação mais aceita e amplamente utilizada é a desenvolvida por Pasquill (1971), que considera a distribuição dos poluentes de uma fonte contínua ao longo do eixo horizontal com comportamento normal, onde a concentração pode ser obtida por:

$$c(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (2.1)$$

Onde:

- c – concentração do poluente em qualquer ponto de coordenadas (x,y,z), g/m³;
- Q – Taxa de emissão uniforme, g/s;
- H – altura efetiva de emissão dos poluentes, m;
- u – velocidade média do vento, m/s;
- σ_y – coeficiente de dispersão horizontal, m;
- σ_z – coeficiente de dispersão vertical, m;
- x, y e z – coordenadas do ponto.

3.6 O Efeito Estufa

3.6.1 Conceito.

A atmosfera exerce um papel fundamental na manutenção da vida na Terra pela retenção de calor, havendo, portanto um efeito estufa natural por esta camada de gases. Este efeito natural

contribuiu para manter a temperatura média do planeta em torno dos 15°C, possibilitando a existência de vida. O efeito estufa é um fenômeno onde a radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre é retida por alguns gases presentes na atmosfera. Os principais gases causadores deste efeito são: CO₂, CH₄, N₂O e CFC's (IPCC, 2001).

O aumento da concentração destes gases na atmosfera, em função dos processos de queima de combustíveis fósseis e do desflorestamento, causa uma maior retenção das radiações infravermelhas, levando a um incremento na temperatura do planeta (RIBEIRO *et al.*, 2000).

As principais consequências do aumento do efeito estufa são:

- Elevação do nível do mar;
- Alteração no suprimento da água doce;
- Mudanças climáticas;
- Alteração no processo de desertificação.
- Redução da Camada de Ozônio

Assim como o efeito estufa, a camada de ozônio é um fenômeno natural, constituindo-se de um filtro que protege o planeta das excessivas radiações ultravioletas do sol.

3.6.2 Gases do Efeito Estufa

Como já explicado, o efeito estufa do planeta é consequência do balanço da energia emitida pelo Sol que é absorvida pela Terra e da energia que é refletida de volta para o espaço. O forçamento radiativo é um balanço entre a radiação solar incidente do Sol e a radiação infravermelha que sai do planeta. Sem nenhum forçamento radiativo, a radiação solar incidente que entra na Terra permaneceria aproximadamente igual à radiação infravermelha emitida pelo planeta. A adição de gases de efeito estufa na atmosfera aprisiona uma fração da radiação infravermelha, reirradiando esta energia de volta para a Terra e, desse modo, criando o aquecimento do planeta. Na figura II. 6, mostra-se o balanço de energia e radiação da Terra. Define-se o forçamento radiativo no sistema da superfície terrestre-troposfera (devido a uma mudança, por exemplo, na concentração dos gases de efeito estufa) como a mudança na radiação líquida (em W/m²) na tropopausa³², após possibilitar que as temperaturas estratosféricas se reajustem a um equilíbrio radiativo, sendo, entretanto, as temperaturas da superfície terrestre e da troposfera mantidas fixas em seus valores antes de qualquer perturbação (IPCC, 1990 e 1996b). Um forçamento radiativo positivo tende em média a aquecer a superfície do planeta, já o forçamento radiativo negativo tende a esfriá-la.

A variação do forçamento radiativo da Terra é causada pelos seguintes agentes: os gases estufa (que aprisionam parte da radiação infravermelha emitida pelo planeta), a variação na radiação

solar incidente (que reduzem a quantidade de radiação incidente), os aerossóis³³ e o albedo (ambos influem diretamente na quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra, pois refletem grande parte da radiação solar incidente). O vapor d'água é um gás estufa, mas ao mesmo tempo pode formar as nuvens que refletem parte da radiação incidente de volta para o espaço.



Fonte: GRAEDEL & CRUTZEN (1997).

Na figura, observa-se que aproximadamente 30% do total de energia solar incidente são refletida de volta para o espaço, principalmente pelas nuvens (cerca de 22%) e pela superfície terrestre (cerca de 9%). Outros 20% são absorvidos na atmosfera, principalmente pelo ozônio estratosférico e pelas nuvens e vapor d'água na troposfera. O restante, ou seja, 49% da radiação solar incidente aquece a superfície terrestre. Em valores absolutos, a quantidade de energia solar incidente é de 342 W/m², portanto cada 1% da figura significa 3,42 W/m² (IPCC, 1996b).

Depois que a energia solar é absorvida pela superfície terrestre, quase metade é transformada em calor latente³⁴ de vaporização que transforma a água líquida em vapor. O calor latente de condensação é liberado novamente na atmosfera quando o vapor d'água se condensa formando as nuvens. Outra parte significativa de energia da superfície terrestre, cerca de 7%, é devolvida para a atmosfera por convecção e turbulência e por absorção da radiação infravermelha emitida pela Terra pelos gases de efeito estufa. Comparado aos 49% da radiação solar inicialmente absorvidos pela

superfície do planeta, somente 19% voltam para o espaço. O restante é retido com eficiência pelo dióxido de carbono, vapor d'água e outros gases de efeito estufa, mantendo a temperatura média da Terra 33°C acima da temperatura caso este efeito não ocorresse (IPCC, 1990).

As atividades humanas vêm aumentando consideravelmente as concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa desde o período pré-industrial, o que alterou o balanço de energia do sistema Terra-atmosfera e que pode resultar no aquecimento global, levando a algumas consequências catastróficas para o planeta. As emissões futuras de gases de efeito estufa dependem do tamanho da população global e das tendências econômicas, tecnológicas e sociais.

As mudanças climáticas decorrentes da emissão de gases de efeito estufa pelo homem terão efeitos de larga amplitude no meio ambiente natural bem como na economia e na sociedade humanas. Entre algumas das consequências do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e do aquecimento global resultante, pode-se citar (UNFCCC, 2000a e U.S.EPA, 2000):

- Aumento da temperatura média do planeta entre 1°C e 3,5°C até o ano de 2100 (em relação ao ano de 1990) devido ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera (se nada for feito para se reduzirem as emissões de gases de efeito estufa), levando-se em conta ainda os mecanismos de retroalimentação positiva ou negativa;
- O nível do mar pode aumentar de 15 a 95 cm até o ano de 2100 (em relação ao ano de 1990) e mudanças das correntes oceânicas podem elevar mais ou menos os níveis dos mares regional e localmente. O aumento do nível do mar se deve à expansão térmica das camadas superiores do oceano e ao derretimento das calotas polares;
- Previsões de aquecimentos regionais e mudanças sazonais. É esperado que a maioria das áreas aqueçam, algumas irão aquecer mais que outras, no entanto existem muitas incertezas relacionadas a este aquecimento. Prevê-se que a maior parte do aquecimento acontecerá nas regiões frias do norte durante o inverno. A razão para isto é que a neve e o gelo refletem a luz do sol, portanto menos neve significa mais calor absorvido do sol, o qual acentua o aquecimento, uma forte consequência da retroalimentação positiva.
- Projeções mostram que as regiões internas dos países irão aquecer mais rapidamente que os oceanos e as regiões costeiras; Os aerossóis podem neutralizar alguns efeitos do aquecimento pelo efeito estufa nos arredores das principais regiões industrializadas. Nuvens de partículas de sulfato, da queima de carvão e petróleo e derivados podem neutralizar parte do aquecimento em algumas regiões como o leste dos EUA, o leste da Europa e partes da China. Mas a partir de algumas medidas para a redução de emissão de compostos sulfurados (principalmente por causa da chuva ácida), o tamanho deste efeito pode ser imprevisível;
- Espera-se que a precipitação total aumente, mas no nível local as tendências são Incertas.

Mais chuvas e neve resultam em solos mais úmidos nas altas latitudes no inverno, mas altas temperaturas resultam em solos mais secos. Mudanças na umidade dos solos são claramente importantes para a agricultura, mas é incerto como se darão estas mudanças na umidade localmente; A frequência e intensidade de eventos climáticos extremos tais como tempestades e furacões podem mudar; Transições rápidas e inesperadas do clima em algumas regiões;

- Impactos na saúde como, por exemplo, aumento da mortalidade relacionado às diferentes condições meteorológicas, das doenças infecciosas e das doenças respiratórias relacionadas à qualidade do ar; Mudanças nas florestas: mudanças na composição das florestas, limites geográficos das florestas e afetar sua produtividade e saúde; Recursos hídricos: mudanças no abastecimento de água para consumo humano, da qualidade da água e possíveis competições por este recurso; As áreas costeiras sofrerão erosão nas praias, inundação e custos adicionais para a proteção de suas comunidades;
- Algumas espécies da fauna perderão seus habitats e algumas entrarão em processo de extinção.

Comparando-se atualmente ao período pré-industrial, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera cresceu cerca de 30% e a principal causa deste aumento é a queima de combustíveis fósseis. Outros gases de efeito estufa: o metano teve um crescimento por volta de 145% e o óxido nítrico, de cerca de 15%. Esses gases estão relacionados entre outras atividades à agricultura intensiva (crescimento da pecuária, uso de fertilizantes nitrogenados, etc.) (SAEFL, 1997).

Adicionalmente substâncias produzidas pelo homem como os clorofluorcarbonos e hidrofluorcarbonos, inexistentes na natureza, são poderosos gases de efeito estufa. O tempo de vida desses gases varia de alguns anos até alguns milhares de anos, o que significa que as emissões passadas ainda podem influenciar o clima do futuro. Na figura II.7, observam-se as contribuições dos diversos gases de efeito estufa de fontes antrópicas no aumento do forçamento radiativo durante a década de 1980.

A seguir são mostrados os principais gases de efeito estufa, suas características e suas principais fontes antropogênicas e naturais.

• Vapor d'água

Como já foi visto, o vapor d'água é responsável por 65% do efeito estufa natural (SAEFL, 1997). Sua fonte principal é a evaporação dos oceanos (425x10³ km³/ano) e a superfície da Terra, sendo que o vapor d'água atmosférico passa pelo ciclo da água rapidamente. Uma molécula de água pode demorar desde algumas horas até milhões de anos para completar o ciclo. Em média o tempo de permanência para o vapor d'água na atmosfera é de 10 dias (GRAEDEL & CRUTZEN, 1997).

Através da condensação da água, o vapor d'água se transforma em chuva e neve. A evaporação depende da temperatura, levando a grandes variações sazonais a quantidade de vapor d'água presente na atmosfera.

- **Dióxido de carbono (CO₂)**

A atual concentração de 358 ppmv (em 1994) de CO₂ na atmosfera é a mais alta dos últimos 400.000 anos. Estima-se que este gás aumente sua concentração na atmosfera, devido às emissões antropogênicas e mecanismos de retroalimentação, em cerca de 1,5 ppmv (parte por milhão em volume) ao ano (IPCC, 1996b). Este aumento da concentração do CO₂ na atmosfera resulta principalmente da queima de combustíveis fósseis e secundariamente do desflorestamento, da mudança no uso do solo e fabricação de cimento (o processamento de cimento emite grande quantidade de CO₂). Para se estabilizar a concentração de CO₂ nos níveis atuais, seria necessário reduzir imediatamente as emissões antropogênicas deste gás em torno de 60 a 80% (IPCC, 1990).

- **Ozônio (O₃)**

O ozônio, além de absorver a radiação ultravioleta emitida pelo sol, absorve a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre. A maior parte do ozônio existente no planeta encontra-se na estratosfera, cerca de 90% do total. O restante encontra-se na troposfera (GRAEDEL & CRUTZEN, 1997). A concentração de ozônio, tanto estratosférico quanto troposférico, varia de acordo com a localidade e o tempo. Atualmente, existem dificuldades para quantificar a importância deste gás na acentuação do efeito estufa natural. A dificuldade de quantificação do ozônio estratosférico advém, primeiramente, da sua propriedade de absorver tanto a radiação solar que entra na Terra quanto da absorção da radiação que é emitida pela superfície terrestre. Em segundo lugar, não estão claros os efeitos para a mudança da temperatura estratosférica devido à perda de ozônio nesta camada da atmosfera. E, por último, existem incertezas quanto à distribuição espacial desta perda, o que influi diretamente no forçamento radiativo (IPCC, 1996b). O ozônio também é formado na troposfera pela reação dos seguintes gases: óxidos de nitrogênio (NO_x), da queima de combustíveis fósseis; hidrocarbonetos (HCs), da evaporação de combustíveis líquidos e solventes e monóxido de carbono (CO). O ozônio troposférico possui papel importante no aquecimento global. Também existem dificuldades para a quantificação do ozônio troposférico devido a vários fatores, entre eles: concentração e distribuição espacial, tanto regional quanto verticalmente, e mudanças nessas variáveis com o tempo. Calcula-se que a retirada de metade do ozônio existente na troposfera acarretaria um resfriamento de cerca de 0,5°C da temperatura do globo. Dobrando-se a quantidade atual existente de ozônio na troposfera, teríamos o aquecimento de 0,9°C da temperatura terrestre (GRIBBIN, 1990). A redução na formação do ozônio troposférico significa, além de um possível resfriamento da Terra, a melhoria da qualidade do ar nas cidades, já que este gás possui efeitos prejudiciais à saúde.

- **Metano (CH₄)**

Das substâncias químicas reativas presentes na atmosfera, o metano é de longe o mais abundante. Com uma concentração atual de 1,72 ppmv - mais da metade da concentração pré-industrial -, apresenta um crescimento de 0,6%/ano (U.S.EPA, 2000). O metano é produzido através da decomposição anaeróbia dos resíduos nos aterros sanitários, digestão entérica animal, decomposição de excreção animal, cultivo de arroz alagado, produção de petróleo, produção e distribuição de gás natural, produção de carvão e queima de biomassa (madeira e lixo). As mais importantes fontes de emissão de metano são primeiramente os aterros sanitários e secundariamente a digestão entérica animal e a produção e distribuição de gás natural (U.S.EPA, 2000 d). A destruição do metano se dá por reações de oxidação com os radicais hidroxila presentes na troposfera: outro sumidouro do metano é a retirada deste gás da atmosfera por microrganismos presentes no solo. Para se estabilizar a concentração de metano na atmosfera seria necessário reduzir as emissões antropogênicas deste gás de 15 a 20% em todo o mundo (IPCC, 1990).

- **Halocarbonos**

Os halocarbonos compreendem os compostos químicos que possuem em sua estrutura moléculas de halogênios (principalmente cloro, flúor e bromo) e carbono. Como já foi mostrado no item II.1.d os clorofluorcarbonos (CFCs) são compostos produzidos pelo homem e usados como refrigerantes e agentes produtores de espuma e propelentes, que são responsáveis pela destruição do ozônio estratosférico. A produção e a emissão destes gases já se encontram regulamentadas por tratados internacionais. Também se encontram nesta categoria os hidrofluorcarbonos (HFCs), que, além dos átomos de halogênios e carbono, possuem átomos de hidrogênio. Os HFCs foram utilizados para substituir os CFCs e são menos reativos ao ozônio, no entanto também possuem altos potenciais de aquecimento. Os perfluorcarbonos (PFCs) são considerados os substitutos dos HFCs. Este grupo de produtos é formado por carbono e flúor e tem como principal produto o CF₄. Os PFCs também são emitidos como subprodutos de alguns processos industriais. Os PFCs não causam prejuízos ao ozônio estratosférico, no entanto são fortes de gases de efeito estufa e podem ficar na atmosfera por milhares de anos.

- **Óxido nitroso (N₂O)**

Este gás é produzido tanto por fontes naturais (de uma grande variedade de fontes biológicas no solo e água) quanto por fontes antropogênicas (nas atividades agrícolas pelo uso de fertilizantes orgânicos e químicos; queima de combustíveis fósseis; queima de biomassa; produção de ácido nítrico; e disposição de resíduos). As emissões deste gás são muito menores que as de CO₂, mas ele é um potente gás de efeito estufa. O N₂O é decomposto através de reações fotoquímicas na estratosfera. Para se estabilizar a sua concentração na atmosfera seria necessária uma redução imediata nas suas emissões antropogênicas de 70 a 80% (IPCC, 1990).

- **Hexafluoreto de enxofre (SF₆)**

Este gás é incolor e solúvel em álcool e éter e pouco solúvel em água. É um potente gás de efeito estufa (verificar tabela II.8), de grande duração na atmosfera, usado primariamente nos sistemas de transmissão e distribuição de eletricidade e como dielétrico em componentes eletrônicos. Para comparar as ações dos diferentes gases de efeito estufa no aquecimento global foi criado o potencial de aquecimento global (GWP, da sigla em inglês Global Warming Potential). O coeficiente do GWP é definido como o forçamento radiativo cumulativo entre o presente e algum horizonte de tempo causado por uma unidade de massa de gás emitido atualmente, expressado com relação a um gás de referência tal como o CO₂. O GWP é calculado, portanto, como a razão do forçamento radiativo que seria resultante de um quilograma de um gás de efeito estufa com a de um quilograma de dióxido de carbono durante um período de tempo (quase sempre 100 anos). O GWP é uma tentativa de fornecer uma medida simples dos efeitos radiativos relativos de diferentes gases estufa, tendo-se o CO₂ como referência (IPCC, 1996c). Para se calcular o aquecimento global futuro de responsabilidade de um gás de efeito estufa num horizonte de tempo escolhido, multiplica-se o GWP apropriado pela quantidade de gás emitido. Existem, no entanto, outros pontos que se precisa ter em mente ao usar o GWP (IPCC, 1996b):

- O valor da incerteza é de mais ou menos 35%, não incluindo a incerteza do CO₂ de referência;
- Os GWP's são baseados no conceito do forçamento radiativo e são, portanto, difíceis de aplicar em componentes com forçamentos radiativos importantes que estão irregularmente distribuídos na atmosfera;
- Os GWP's precisam levar em conta qualquer efeito indireto dos gases emitidos para refletirem corretamente o potencial futuro de aquecimento global. O impacto causado pelos diferentes gases depende da escala de tempo que está sendo considerada. No caso do CO₂, a sua permanência na atmosfera varia de 50 a 200 anos, dependendo de como este gás é absorvido pelos oceanos e pela biosfera, enquanto que para o CH₄ a sua permanência varia de 12 a 17 anos.

CAPÍTULO 4

POLUENTES EMITIDOS POR NAVIOS MERCANTES

4.1 Conceito

O transporte marítimo, com o passar das décadas, tornou-se totalmente dependente da energia proveniente dos combustíveis derivados de petróleo o que, por sua vez, aumentou consideravelmente a emissão de gases e partículas provenientes da queima desses combustíveis. Hoje o transporte marítimo é responsável por 4,5% das emissões de carbono, 4% das emissões de óxido de enxofre e 7% das emissões de óxido de nitrogênio na atmosfera. Caso as atividades nesse setor se intensifiquem, o que é bem provável, haverá um aumento nas emissões desses gases poluentes, o que resultará em ações, por parte da sociedade, de forma a estabelecer regras para limitar ou até mesmo conter esse aumento. Atualmente pode-se constatar que a demasiada poluição atmosférica gerada por navios é fruto de sistemas à combustão mal projetados, mau gerenciamento nas operações dos mesmos e até a ausência de uma regulamentação mais vigorosa em relação à causa ambiental. Para entendermos o problema precisamos levar em consideração dois pontos importantes: O primeiro se refere ao projeto e a instalação da planta propulsora do navio, o outro trata da operação e gestão dos meios propulsores.

Quanto à instalação e projeto de plantas propulsoras devemos sempre buscar a maior eficiência energética possível, pois assim diminuimos os índices de poluição, se possível for devemos também optar pela substituição dos motores à combustão interna por fontes de energia alternativas.

Para o segundo ponto, podemos citar práticas simples como uma operação na faixa de maior eficiência energética do motor, simples atitudes como a diminuição da velocidade do navio, por exemplo, já são suficientes para diminuir consideravelmente a quantidade de gases emitidos nas operações marítimas.

4.2 Definição do Problema

A contaminação marinha é um problema muito complexo, pois envolve muitos fatores, entretanto neste trabalho focaremos na poluição gerada pela queima de combustíveis por motores à combustão interna. O comércio mundial aumenta a taxas crescentes nas últimas décadas, este fato

se deve principalmente ao ritmo elevado da economia de países emergentes. Como consequência do aumento do comércio mundial, ocorre um acréscimo dos meios envolvidos no transporte marítimo. Os navios geram resíduos, entre eles os oleosos, a água de lastro, águas residuais, águas cinza (esgoto), resíduos sólidos como o lixo e a pintura dos navios, e gases de descarga dos motores de propulsão e auxiliares. Estudos sobre o assunto foram realizados nos últimos anos, eles apresentam dados quantitativos sobre emissões de poluentes no transporte marítimo e apontam as consequências sobre a mudança do clima mundial, principalmente sobre a saúde humana. Os autores enfatizam a necessidade de um controle eficaz das emissões de gases poluentes.

As emissões dos motores principais e auxiliares estão regulados pelo Anexo VI da MARPOL 73/78 “Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios”. Entretanto é importante ressaltar que a aprovação do Anexo VI da MARPOL em 2005 não surtiu o efeito de reduzir as emissões, visto que a legislação é demasiado permissiva. Vale ressaltar que para cada modalidade de transporte existe um padrão de emissão de gases poluentes diferente, para os navios levam-se em conta as longas distâncias percorridas e as grandes quantidades de carga transportada. Uma comparação entre a poluição produzida pelos diferentes modais pode ser feita levando-se em conta a quantidade de combustível necessária para transportar determinada quantidade de carga ao longo de uma determinada trajetória, nesta comparação fica nítida a economia de combustível e até mesmo a grande eficiência, com relação aos outros modais, das atividades de transporte marítimo.

Em um estudo realizado pela Organização das Nações Unidas (O Transporte Marítimo e o Desafio às Mudanças Climática – 2008), Mostra que o transporte marítimo é o menos poluente em termos de tonelada transportada por quilômetro, com volume de emissões de 3 a 4 vezes inferior ao transporte ferroviário, de 5 a 150 vezes inferior ao rodoviário e 54 a 150 vezes inferior ao aéreo.

Porém devemos levar em conta o tipo, quantidade e qualidade do tipo de combustível consumido. No transporte rodoviário tem-se um valor de 1320 milhões de toneladas enquanto no transporte aéreo atingimos a marca de 207 milhões de toneladas e do transporte marítimo 280 milhões de toneladas (EYRING et al., 2005). Quanto à qualidade do combustível usado nos outros modelos de transporte, constatamos que ela é superior a dos navios.

O principal fator que explica as diferenças na redução de emissões entre o transporte marítimo e o rodoviário é a regulamentação mais rigorosa para o último. Um exemplo, o limite de enxofre permitido nos combustíveis consumidos em um navio é de 4,5%. Por outro lado, para o transporte rodoviário a limitação é de 0,05% ou até mesmo 0,01%. Essa enorme diferença no teor de enxofre do combustível faz com que o navio produza cerca de 150 a 300 vezes mais óxidos de enxofre por quilômetro comparado a um caminhão de carga. Neste mesmo estudo conclui-se que um navio gera ao adentrar o porto, as mesmas quantidades da emissão de 1200 caminhões de transporte pesado. Em uma comparação entre as emissões produzidas pelo transporte marítimo e as

das indústrias centrais termoeletricas acontece fato semelhante, pois a legislação é muito mais severa para as últimas.

Apesar das medidas tecnológicas adotadas para atender a legislação sejam muito parecidas às usadas no transporte marítimo, a diferença vantajosa é que as indústrias não tem restrição de espaço para instalar os equipamentos necessários, enquanto o navio precisa maximizar seu espaço para a carga transportada. Uma medida que impulsionou o emprego e o investimento em tecnologia mais limpa foi o chamado Crédito de Carbono estimulado pelo Protocolo de Quioto, o qual consiste em gerar recursos econômicos através da redução de dióxido de carbono (CO₂). Uma unidade de crédito de carbono equivale a uma tonelada de CO₂ que deixou de ser emitida para a atmosfera. Os detentores deste crédito podem vendê-lo a empresas que têm excedido o limite de CO₂. Esta medida visa privilegiar as indústrias que reduzem a emissão deste gás, pois seus ganhos aumentam com a venda dos créditos.

4.3 Avaliação dos impactos das emissões de gases dos motores à Combustão Interna

A emissão de gases gerados pelos navios é um dos problemas atuais que mais causa preocupação à comunidade internacional e é reconhecida como um problema crescente (CORBETT, 2003). Nota-se ainda que o crescimento do transporte marítimo é acompanhado pelo aumento da emissão de poluentes, enquanto as procedentes de fontes terrestres vem diminuindo ao longo da décadas mesmo que paulatinamente.

As emissões são compostas basicamente por óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, óxidos de carbono, monóxido de carbono, material particulado e vapor de água, entre outros. Estes produtos se misturam com a atmosfera podendo alterar a sua composição química. Tais gases contribuem de maneira significativa para a degradação da qualidade do ar, com efeitos prejudiciais à saúde pública, afetando mais os moradores das zonas adjacentes aos portos e zonas costeiras, além de contribuir para a mudança climática e geração de gases do efeito estufa. A Organização Marítima Internacional (IMO), por meio de seu Comitê de Proteção ao Meio Marinho (MEPC), há algum tempo realiza pesquisas para controlar e diminuir as emissões. Em 1997 foi criado o Anexo VI da MARPOL 73/78 – Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios – a qual entrou em vigor em maio de 2005. As emissões estão ligadas à qualidade do combustível, os usados no transporte marítimo são de péssima qualidade, óleos pesados e com altos índices de enxofre. Como consequência as emissões tem um perfil muito prejudicial.

4.4 Os combustíveis usados na propulsão naval

O combustível atualmente utilizado nos motores de propulsão principal do transporte marítimo é o óleo denominado “Bunker”. Todavia antes da utilização desse óleo utilizava-se o carvão como principal fonte de energia para alimentar as caldeiras e gerar vapor a fim de gerar propulsão através do vapor, ou seja, o carvão era o combustível dos navios no final do século XIX e início do século XX.

De acordo com o estudo “Advice on impact of reduction in sulphur content of marine fuels marketed in the EU”, em 1850 foi a primeira vez que um navio utilizou o petróleo como combustível para a propulsão de navios. Com a introdução dos derivados de petróleo, tivemos a diminuição da mão de obra, por exemplo, os carvoeiros, os quais eram responsáveis por alimentar os fornos do navio com carvão. Além disso, gerou-se espaço adicional para as mercadorias. No início o petróleo não era bem aceito e era mais utilizado em locomotivas, já nos anos 1900 o seu uso chegou a 1% versus 79% do carvão e 20% de propulsão a vela. Estas porcentagens foram mudando com o transcorrer do tempo, já que em pouco tempo o petróleo chegou a 99% dos navios enquanto os outros meios de propulsão somavam apenas 1%. Segundo a mesma pesquisa, os preços dos combustíveis sofreu um aumento extraordinário durante a década de 1970, resultando em um gargalo no setor petrolífero mundial o que levou a uma crise global. Foi nesse período que novas tecnologias foram desenvolvidas conferindo aos motores dos navios maior aumento no que diz respeito a sua eficiência. Inacreditavelmente, em pleno ano 2000 ainda existiam navios mercantes movidos a carvão, eles navegavam entre a Austrália e os Estados Unidos da América engajados no transporte do próprio carvão. O combustível marítimo é hoje uma mistura homogênea que provém do processo de destilação do petróleo, ele se classifica de acordo com as suas características e propriedades físicas.

Tabela 2.4 Nomes mais comuns dos Combustíveis marinhos

Grupo	Nome Internacional	Sigla	Outros Nomes
Destilados	Marine Gás Oil	M.G.O.	Light Diesel Oil Light Marine Diesel Fuel Marine Diesel Light
	Marine Diesel Oil	M.D.O.	Heavy Diesel Oil Marine Diesel Fuel Oil Marine Diesel Heavy
Residuais	Light Marine Fuel oil	L.M.F.O.	Intermediate Fuel Oil Light Fuel Oil Intermediate Bunker
	Marine Fuel oil	M.F.O.	Bunker C Residual Fuel Fuel Oil Nro 6

Fonte: ANDRADE (1990).

Os combustíveis destilados são divididos em duas categorias: o “Gás Oil” (GO), que é um combustível com teor de enxofre muito baixo, também conhecido como destilado puro, e o “Marine Diesel Oil” (MDO) que é um combustível procedente dos resíduos dos destilados gasolina, nafta, aceite, gásóleo, lubrificantes que tem uma maior densidade e viscosidade e apresenta elevado conteúdo de enxofre. O combustível destilado é mais limpo porém o custo é quase o dobro do combustível residual.

Os combustíveis residuais são de dois tipos: o “Marine Fuel Oil” (MFO) e o “Light Marine Fuel Oil” (LMFO), pelas siglas em inglês, são denominados óleos pesados, compostos por óleo residual. A principal característica levada em conta quando se fala desses tipos de combustíveis é a viscosidade, onde um combustível mais viscoso tem uma maior resistência para escoar e requer tratamento especial para seu bombeamento. Outros fatores também são importantes como poder calorífico, densidade, ponto de inflamação, enxofre, alumínio, silício e etc. O consumo diário dos navios é influenciado pela potência do motor, duração da travessia e velocidade. Os navios transoceânicos tem um consumo que varia numa faixa de 5 a 350 toneladas diárias enquanto navios pequenos, de cabotagem, consomem de 2 a 10 toneladas de combustível por dia. O consumo diário das máquinas auxiliares é bem menor que o das máquinas principais e oscila entre 0,5 e 6 toneladas diárias. O mercado desses combustíveis é estimado na ordem de 200 milhões de toneladas de combustíveis residuais e 35 milhões de toneladas de combustíveis destilados. A Organização

Marítima Internacional estima que o consumo total de combustível nos navios foi de 369 milhões de toneladas em 2007 e projetou para 2020 um aumento de 30% no consumo, chegando a 486 milhões de toneladas. Com isto, os níveis de dióxido de carbono aumentarão de 1120 milhões de toneladas em 2007 para 1475 milhões de toneladas em 2020, a não ser que ocorram importantes avanços no que diz respeito ao projeto dos navios e de instalações propulsoras.

Tabela 2.5 Propriedade física dos Combustíveis (Study European Commission-2002)

Propriedades Físicas dos Combustíveis Residuais e Destilados			
Propriedade	Unidade	Definição	Importância
Viscosidade	CST	Resistência ao fluxo	Deve ser conhecido para a quantidade de aquecimento a ter.
Temperatura ponto de Inflamação	°C	Temperatura de produção dos vapores	Medidas de segurança Quanto menor seja o valor maior a facilidade do combustível acender.
Densidade	Kg/m ³	Relação massa e volume	Nos processos de purificação nas centrifugas dos navios
Conteúdo de Água	% vol.	Conteúdo de água	Quanto mais água, menor é o poder calorífico do combustível. Pode causar problemas aos injetores.
Resíduos de carvão	%	Quantidade de carvão depois da combustão	Maior quantidade pode causar danos a partes internas do motor.
Cera	%	Quantidade de cera no combustível	Combustível com alta quantidade de cera não pode ser aquecido com facilidade. Com bom poder calorífico, pode causar danos ao armazenamento e bombeio.
Enxofre	%	Quantidade de enxofre no combustível	Gera ácidos corrosivos no motor, além das emissões de descarga. Conteúdos mais altos de enxofre tendem a ter menor energia.

Fonte: ANDRADE (1990).

A “International Organization for Standardization” (ISO) desenvolveu especificações e requisitos para os combustíveis fornecidos para os navios. São as especificações ISO 8217.

Tabela 2.6 ISO 8217: Especificações técnicas para combustíveis destilados tipo DMX, DMA, DMZ e DMB (Adaptada de Norma ISO 8217)

Parâmetros	Unidade	Limite	DMX	DMA	DMZ	DMB
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	Max	5,500	6,000	6,000	11,00
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	Min	1,400	2,000	3,000	2,000
Micro resíduo de carbono	% m/m	Max	0,30	0,30	0,30	-
Densidade a 15°C	kg/m ³	Max	-	890,0	890,0	900,0
Micro resíduo de Carbono	% m/m	Max	-	-	-	0,30
Enxofre (a)	% m/m	Max	1,00	1,50	1,50	2,00
Água	% V/V	Max	-	-	-	0,30 (b)
Partículas	% m/m	Max	0,010	0,010	0,010	0,010
Ponto de inflamação	0°C	Min	43,0	60,0	60,0	60,0
Ponto de fluidez (Verão)	0°C	Max	-	0	0	6
Ponto de fluidez (inverno)	°C	Max	-	-6	-6	0
Índice de Cetano		Min	45	40	40	35
Numero de acido	mg KOH/g	Max	0,5	0,5	0,5	0,5
Estabilidade à oxidação	g/m ³	Max	25	25	25	25 (c)
Lubricidade (wsd 1.4 at 60°C) (d)	Um	Max	520	520	520	520 (c)
Sulfureto de hidrogénio (e)	mg/kg	Max	2,00	2,00	2,00	2,00
Aparência	Claro e brilhante (f)					(b, c)

Fonte: ANDRADE (1990).

(a) Um limite de enxofre de 1,00% m/m aplica-se às Áreas de Controle de Emissões designados pela Organização Marítima Internacional. Como pode haver variações locais, o comprador deve definir o teor máximo de enxofre, de acordo com os requisitos legais aplicáveis, não obstante os limites apresentados nesta tabela.

(b) Se a amostra do combustível não é clara e brilhante, é requerida uma prova de laboratório.

(c) estabilidade à oxidação e testes de lubricidade não são aplicáveis se a amostra não é clara e brilhante.

(d) Aplicável se o teor de enxofre for inferior a 0,050% m/m.

(e) Efetiva somente a partir de 1 de julho de 2012.

(f) Se a amostra for tingida e não transparente, deve ser aplicado o teste. O conteúdo de água não deve ultrapassar 200 mg/kg (0,02% m/m).

Tabela 2.7 ISO 8217: Especificações técnicas para combustíveis residuais de tipo RMA, RMB, RMD e RME (Adaptada de Norma ISO 8217)

Parâmetro	Unidade	Limite	RMA (a)	RMB	RMD	RME
			10	30	80	180
Viscosidade a 50°C	mm ² /s	Max	10,00	30,00	80,00	180,0
Densidade a 15°C	kg/m ³	Max	920,0	960,0	975,0	991,0
Micro resíduo de Carbono	% m/m	Max	2,50	10,00	14,00	15,00
Alumino + Silicose	mg/kg	Max	25	40		50
Sódio	mg/kg	Max	50	100		50
Partículas	% m/m	Max	0,040		0,070	
Vanádio	mg/kg	Max	50		150	
CCAI	-	Max	850		860	
Água	% V/V	Max	0,30		0,50	
Ponto de fluidez (superior) (b) Verão	°C	Max	6		30	
Ponto de fluidez (superior) (b) Inverno	°C	Max	0		30	
Flash point	°C	Min			60,0	
Enxofre (c)	% m/m	Max			Requisitos estatutários	
Sedimentos totais	% m/m	Max			0,10	
Numero de acido (e)	mgKOH/g	Max			2,5	
Óleos lubrificantes usados (ULO): Cálcio e zinco, ou Cálcio e Fósforo	mg/kg	-	O combustível deve ser livre de ULO, e deve ser considerado como contendo ULO quando ocorrer qualquer uma das seguintes condições: Cálcio > 30 e zinco > 15, ou Cálcio > 30 e fósforo > 15.			
Sulfureto de hidrogênio	mg/kg	Max			2,00	

Tabela 2.8 ISO 8217: Especificações técnicas para combustíveis residuais de tipo RMG e RMK (Adaptada de Norma ISO 8217)

Parâmetro	Unidade	Limite	RMG				RMK		
			180	380	500	700	380	500	700
Viscosidade a 50°C	mm ² /s	Max	10	30	80	180	380	500	700
Densidade a 15°C	kg/m ³	Max	991				1010		
Micro resíduo de Carbono	% m/m	Max	18				20		
Alumino + Silicose	mg/kg	Max	60						
Sódio	mg/kg	Max	100						
Partículas	% m/m	Max	0,100				0,150		
Vanádio	mg/kg	Max	350				450		
CCAI	-	Max	870						
Água	% V/V	Max	0,50						
Ponto de fluidez (superior) (b) Verão	°C	Max	30						
Ponto de fluidez (superior) (b) Inverno	°C	Max	30						
Flash point	°C	Min	60						
Enxofre (c)	% m/m	Max	Requisitos estatutários						
Sedimentos totais	% m/m	Max	0,10						
Numero de ácido (e)	mgKOH/g	Max	2,5						
Óleos lubrificantes usados (ULO): Cálcio e zinco, ou Cálcio e Fósforo	mg/kg	-	O combustível deve ser livre de ULO, e deve ser considerado como contendo ULO quando ocorrer qualquer uma das seguintes condições: Cálcio > 30 e zinco > 15, ou Cálcio > 30 e fósforo > 15.						
Sulfureto de hidrogênio	mg/kg	Max	2						

Fonte: ANDRADE (1990).

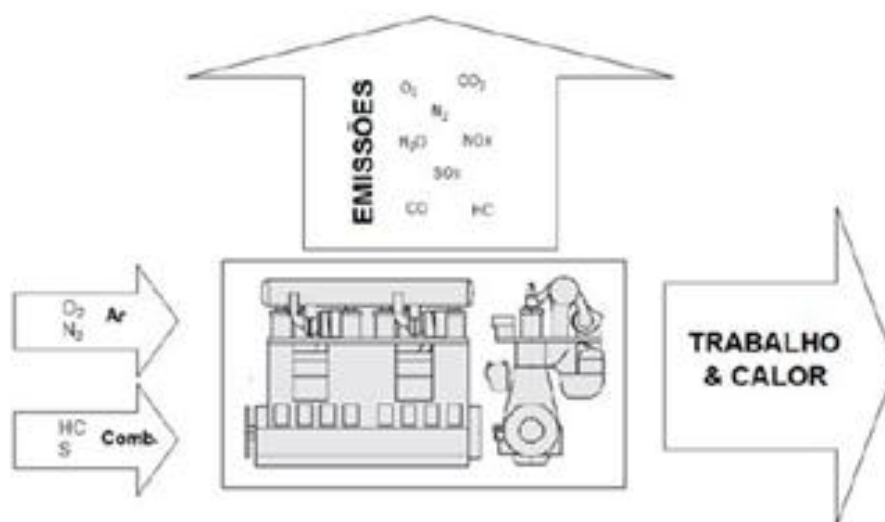
- (a) Este tipo de combustível residual marinha é ex-destilado sob ISO 8217:2005 DMC.
- (b) Compradores devem assegurar que este ponto de fluidez é adequado para os equipamentos a bordo, especialmente em climas frios.
- (c) O comprador deve definir o teor máximo de enxofre de acordo com as respectivas disposições legais vigentes.
- (d) Efetiva somente a partir de 1 Julho de 2012.
- (e) Ácidos fortes não são aceitáveis, mesmo em níveis não detectáveis pelos métodos de ensaio padrão para SAN. Como números abaixo dos valores de ácido indicados na tabela não garantem que os combustíveis estão livres de problemas associados à presença de compostos ácidos, é da responsabilidade do fornecedor e do comprador de acordar um número de acidez aceitável.

4.5 Tipos de Emissões de Gases Geradas pelos Navios.

Conforme já mencionado, o Transporte Marítimo produz diferentes tipos de gases e partículas em suspensão, que causam diferentes tipos de impactos, tanto ao meio ambiente como à saúde humana.

As emissões são geradas no processo de combustão no motor, isto é na reação química entre um combustível e um oxidante, comburente, que é o ar. Com a reação transforma-se a energia química em energia térmica contida nos produtos de combustão, que é convertida em trabalho no eixo de manivelas do motor. Esta reação química vai reorganizar os átomos dos reagentes – oxidante e combustível, criando os produtos de combustão.

Para analisar o processo de combustão apresenta-se a figura a seguir, que mostra um esquema simplificado de entradas e saídas do motor de combustão interna. Os gases de descarga dependem basicamente do projeto do motor, das condições de funcionamento e da qualidade do combustível; por exemplo, a redução do conteúdo de enxofre no combustível gera uma redução das emissões de SO_x. Produtos como SO₂, NO, NO₂, CO, HC e outros aparecem em pequenas quantidades em comparação com outros gases. Porém, que eles afetam significativamente o meio ambiente e a saúde humana.



Fonte: POUNDER'S 8th edition.

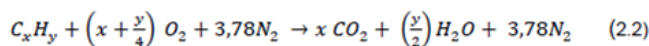
4.6 Equação química (Teórica) da combustão completa:

O processo de combustão requer dois elementos básicos, o combustível e o comburente, que é o ar. O ar é uma mistura de gases composto por 20,93 % de oxigênio (O₂), 78,10 % de nitrogênio (N₂) e 0,97% de outros gases. Para o presente estudo adota-se 20,9% para oxigênio e 79,1% para nitrogênio. Isso quer dizer que 3,78 moles de N₂ se associam a um mol de O₂. O combustível é constituído basicamente, por Carbono (C) e Hidrogênio (H). Para o caso de combustíveis líquidos empregados em motores de propulsão marítima as composições básicas são as seguintes:

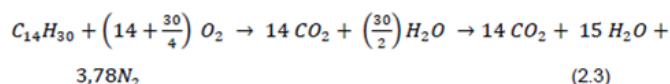
- Óleo diesel leve C₁₂ H₂₆;
- Óleo diesel médio C₁₃ H₂₈;
- Óleo diesel pesado C₁₄ H₃₀.

- Óleo diesel leve $C_{12} H_{26}$
- Óleo diesel médio $C_{13} H_{28}$
- Óleo diesel pesado $C_{14} H_{30}$

Para uma combustão completa tem-se a seguinte equação de reação para um combustível genérico:



Como exemplo, apresenta-se a seguir a equação de combustão completa para o óleo pesado:



O exemplo anterior representa o processo da combustão completa quando se emprega a quantidade necessária e suficiente de ar. É a relação estequiométrica; mas conseguir esta relação é difícil; mas os motores de combustão interna trabalham tanto com excesso quanto com deficiência de ar.

Combustão incompleta:

Fonte: POUNDER'S 8th edition.

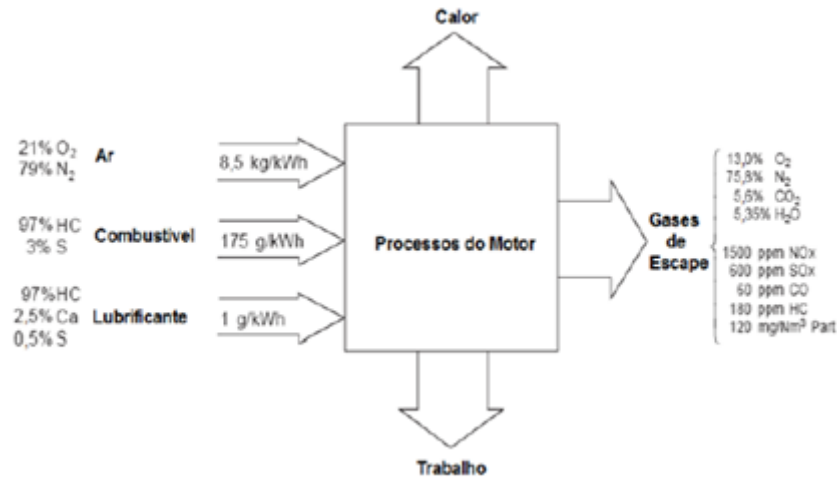
4.7 Combustão incompleta:

Diz-se que a combustão é incompleta quando o combustível não é totalmente oxidado no processo, existindo entre os produtos de combustão substâncias que seriam passíveis de oxidação. A reação, em altas temperaturas, entre oxigênio e nitrogênio do ar, produz óxidos de nitrogênio (NOX) e com outros componentes do combustível, como o enxofre (S), pode gerar óxidos de enxofre (SOX).

Para determinar a composição dos produtos de uma combustão é necessária a aplicação das equações de conservação de massa, de conservação de energia e das leis de equilíbrio químico. Não se pretende neste trabalho discutir a questão do equilíbrio químico, mas apenas destacar que em uma combustão completa, os produtos estão totalmente oxidados. Para o processo de combustão em um motor Diesel de baixa rotação deve-se considerar que o óleo lubrificante do cilindro também participa.

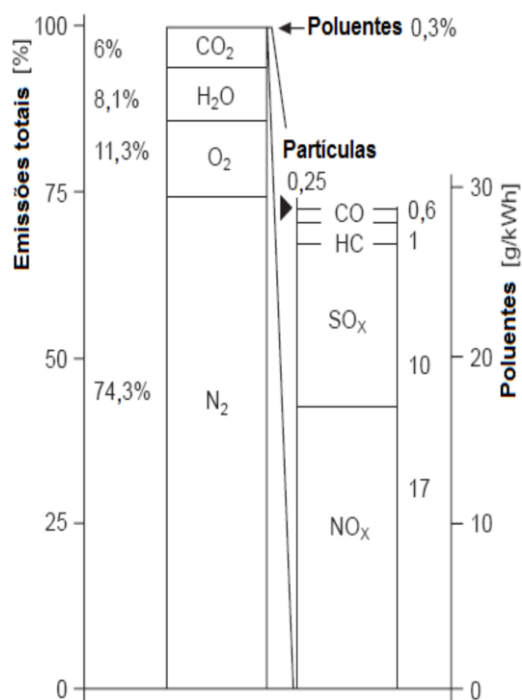
Assim, aparecem os seguintes reagentes: 8,5 kg/kWh de ar (21% de O_2 e 79% de N_2), 175 kg/kWh de combustível (97% de HC e 3% de S) e 1 kg/kWh lubrificante (97% de HC 2,5% de Ca e 0,5% de S). Como resultado do ciclo realizado nos cilindros do motor produz-se calor e trabalho, gerando gases de descarga, que são os produtos da reação de combustão, e combustível não

queimado se houver excesso de combustível na mistura. Os produtos de reação têm a seguinte composição: 13% de O₂, 75,8% de N₂, 5,6% de CO₂, 5,35% de H₂O, bem como 0,25% de outros gases, onde figuram 1500 ppm de NO_x, 600 ppm de SO_x, 60ppm de CO, 180 ppm de HC.



Fonte: POUNDER'S 8th edition.

A composição dos gases de descarga de um motor de média rotação é geralmente próxima da que ocorre em um motor de baixa rotação. A composição é aproximadamente a seguinte: 6% de CO₂, 8,1% de H₂O, 11,3% de O₂ e 74,3% de N₂. Há também 0,3% de outros gases onde figuram 0,6 g/kWh de CO, 1 g/kWh de HC, 10 g/kWh de SO_x, 0,25 g/kWh de material particulado e 17 g/kWh de NO_x. A Figura abaixo apresenta a distribuição dos gases de descarga do motor.



Fonte: POUNDER'S 8th edition.

Emissões de gases de descarga típicas de um motor diesel de media rotação (fonte POUNDER'S 8th edition).

Uma análise de cada um dos gases poluentes gerados no processo de combustão é apresentada a seguir:

- Óxidos de Enxofre (SO_x):** Todo o enxofre do combustível é convertido em dióxido de enxofre (SO₂) e tri óxido de enxofre (SO₃); as quantidades de SO₂ são muito maiores que as de SO₃ mantendo uma relação aproximada de 40:1. Os óxidos de enxofre são nocivos para os pulmões, dificultando a respiração. Eles também contribuem para a formação de chuva ácida, misturando-se com as gotas de água no ar para formar ácido sulfúrico. Como exemplo, se um combustível contém 3% de enxofre, o volume de SOX gerado é de 64 kg por tonelada de combustível queimado; se for 1% de enxofre, serão gerados 21 kg de SOX por tonelada de combustível queimado, ou seja, aproximadamente 66% menos. (POUNDER'S 8th edition).
- Oxido de Nitrogênio (NO_x):** São produzidos devido às altas temperaturas do nitrogênio (N) e oxigênio (O) no cilindro do motor; cerca de 90% do NO_x antropocóricos vêm dos processos de combustão, os compostos têm a capacidade de interagir com outros compostos no ar para formar material particulado. Os óxidos de nitrogênio causam danos à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos e terrestres, sobretudo nas zonas urbanas, já que podem causar irritação pulmonar, asma e bronquites crônicas e, quando em altas concentrações, podem provocar edema pulmonar.
- Monóxido do carbono (CO):** É resultante da combustão incompleta devido à insuficiência

de ar ou a deficiência do processo no motor; é um gás venenoso, que reage com os receptores de hemoglobina, entra na corrente sanguínea e reduz a capacidade do sangue para transportar oxigênio às células. Ocorrem numerosos efeitos nos seres humanos e animais, tais como tontura, dores de cabeça e alterações na percepção e no raciocínio. O CO pode causar coma, dano cerebral irreversível e mesmo a morte, em casos extremos, de alto nível de concentração e com má ventilação.

- **Material Particulado (MP):** É uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos formados devido à combustão incompleta. Constitui uma série de pequenas partículas e gotas, que se mantêm suspensas na atmosfera e criam pó, fumaça e neblina. Os motores diesel são os principais emissores de material particulado, que pode causar diversos efeitos sobre a saúde, como dano pulmonar, bronquite e asma. As partículas tóxicas como o chumbo, e as dioxinas podem causar câncer e danos aos sistemas reprodutivos.
- **Dióxido de Carbono (CO₂):** Este gás constitui cerca de 5,6 % a 6% do total das emissões. Apesar de não ser tóxico, contribui de maneira significativa com o aquecimento global. O CO₂ é um gás inevitável no processo de combustão, e sua produção é diretamente proporcional ao consumo de combustível. Assim, a maior eficiência no uso de combustível ajudará a reduzir as emissões de CO₂. O consumo de 1 tonelada de combustível produz aproximadamente 3 toneladas de CO₂ (POUNDER'S 8th edition).
- **Hidrocarbonetos (HC):** Dependem do tipo de combustível, e a causa principal de sua geração é a combustão incompleta.

4.8 Efeitos causados pelas emissões na saúde humana e no clima mundial.

A contaminação atmosférica gerada pelos navios é prejudicial para a saúde humana, colabora significativamente com as mudanças climáticas e o aquecimento global. Como já mencionado, os gases emitidos pelos motores marítimos são um dos mais perigosos devido ao tipo de combustível que usam. Entre as doenças mais comuns estão os problemas respiratórios, irritação pulmonar, bronquite crônica, edema pulmonar, dor da cabeça, alteração da percepção e raciocínio, tontura, asma, ataque cardíaco, câncer pulmonar (OMS; 2006).

Segundo vários estudos os gases também produzem a morte de mais de 60.000 pessoas por ano, pois 70% a 80% destas emissões são produzidas dentro de uma faixa de 400 km próxima ao litoral (OMI 2000; CORBETT et al.,2007). Em um estudo realizado em conjunto pelas

organizações European Environmental NGOs, Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, North Sea Foundation, European Environmental Bureau (EEB), Seas At Risk (SAR), European Federation for Transport and Environment (T&E), Bellona Foundation, constatou-se que a maioria dos navios faz rotas de cabotagem próximas ao litoral, pois aí se concentram as principais rotas comerciais. Estas cifras poderiam se elevar em 40% para 2012 chegando a 84.000 mortes prematuras ao ano (CORBETT et al., 2007). Nem todas as pessoas são afetadas da mesma forma; as pessoas mais propensas a estas doenças são as crianças e os idosos, devido a sua maior sensibilidade.

Cerca de 85 % das emissões são produzidas no hemisfério norte (EYRING et al., 2005). Uma pesquisa realizada pela National Center for Ecological Analysis and Synthesis também conclui que a maior densidade encontra-se neste hemisfério, conforme mostrado na figura 2.5, onde as marcas vermelhas indicam uma alta densidade do tráfego marítimo.

4.9 International Maritime Organization (IMO) e suas Ações para a Redução dos GEE

A IMO vem contribuindo nos últimos anos desenvolvendo medidas técnicas e operacionais de redução de emissão de GEE dos navios.

A IMO é a agência das Nações Unidas responsável pela segurança da navegação e a prevenção da poluição marítima causada por navios. Ela foi criada em 1948 durante uma Conferência em Genebra inicialmente com o nome de IMCO (Inter-Governmental Maritime Consultative Organization), passando em 1982 a denominar-se IMO (International Organization Maritime).

Uma medida técnica e operacional muito importante que a IMO adotou para a redução de emissões de GEE, é a técnica do Índice de Eficiência Energética de Projetos de novos navios (EEDI), que vai exigir um nível mínimo de eficiência de energia por quilômetro capacidade para o tipo de navio e diferentes segmentos de tamanho. Este Índice vem sendo introduzido de forma incremental, o EEDI irá estimular o desenvolvimento técnico continuado de todos os componentes que influenciam a eficiência de combustível de um navio.

No lado operacional, uma ferramenta de gerenciamento de energia obrigatória para a operação do navio eficiente é o SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan). O SEEMP se destina a ajudar a indústria na gestão do desempenho ambiental dos navios e ser um meio prático para melhorar a eficiência operacional. Ele foi desenvolvido por meio de discussões detalhadas entre os Estados membros e com o aconselhamento e assistência da indústria de transporte marítimo

internacional, através de um grupo de trabalho especializado sobre as emissões de gases de efeito estufa convocada pela IMO e o Comitê de MEPC.

Ambas as medidas estão sendo divulgadas para uso voluntário ainda, porém, a IMO estabeleceu taxas de redução de 30 % obrigatória até o período 2025-2030 para a maioria dos tipos de navios, calculado a partir de uma linha de base representando a eficiência média de navios construídos entre 1999 e 2009 com EEDI.

O pacote de medidas técnicas e operacionais é um passo muito importante para garantir que a indústria naval empregue os mecanismos necessários para reduzir suas emissões de GEE. Contudo, o Comitê de Proteção do Meio Marinho (MEPC) da IMO, em várias sessões, reconheceu que essas medidas não seriam suficientes para reduzir satisfatoriamente a quantidade de emissões de GEE provenientes do transporte marítimo internacional tendo em vista as projeções de crescimento do comércio mundial. Portanto, os mecanismos de mercado têm sido considerados pelo MEPC de acordo com resolução da assembleia A963 (23) e seu plano de trabalho de GEE. Um mecanismo baseado no mercado serviria a dois propósitos principais:

1. Compensação em outros setores de crescimento das emissões de navios fornecendo um incentivo econômico para a indústria marítima para investir em navios mais eficientes e tecnologias.
2. Para operar navios de uma forma mais eficiente em termos energéticos.

As medidas baseadas em mercados ainda estão sendo discutidas pela MEPC para serem aperfeiçoadas.

CAPÍTULO 5

A DISPERSÃO ATMOSFÉRICA E SUAS INFLUÊNCIAS METEOROLÓGICAS

5.1 Introdução

O transporte e a dispersão de gases na atmosfera são afetados por fenômenos climáticos próximos à superfície. Tais fenômenos acarretam em condições locais que se diferem em escala da circulação geral da atmosfera. A circulação geral da atmosfera é definida pelos movimentos dos ventos. A energia recebida do Sol pela Terra, através de um balanço energético, mantém os movimentos atmosféricos, que, somando-se as correntes marítimas, definem a dinâmica da atmosfera.

A circulação geral da atmosfera apresenta três células de circulação vertical que recebem os seguintes nomes: Célula de Hadley, Célula de Ferrel e Célula Polar. O ramo superficial dessas células define os ventos alísios de nordeste no Hemisfério Norte e os de sudeste no Hemisfério Sul. Os fenômenos que ocorrem na atmosfera são governados por sistemas climáticos que estão associados a diferentes escalas de tempo e espaço. Essas escalas dependem fundamentalmente das condições do local tais como a distância do Equador, distância dos oceanos e a altitude.

A escala espacial pode ser dividida em escala planetária ou macro escala (por exemplo, células de convecção entre o Equador e as latitudes de 30° N e 30° S, chamadas de células de Hadley, e os ventos Alísios); escala regional ou mesoescala (por exemplo, fenômeno de brisas marinha-terrestre, vale-montanha e lacustres); e escala local ou microescala (como por exemplo, fatores aerodinâmicos, de rugosidade e variações no fluxo de calor). Para OKE (1987) segundo CHILETTO (2005) as escalas estão acopladas e obedecem a uma ordem, de modo a permitir que cada uma delas possa estar ou ser relacionada com a imediatamente superior e inferior. Portanto, as interações espaciais e temporais, entre os fluxos de matéria e energia, podem apresentar três níveis interativos: macro climático, mesoclimático e microclimático.

No nível macro climático ocorre à interação entre radiação solar, curvatura da Terra e movimentos de rotação e translação. O nível mesoclimático destaca-se pela interação entre a energia disponível para o processo de evaporação e de geração de campos de pressão. Em relação ao nível microclimático, ocorrem interações entre os sistemas ambientais particulares para a modificação dos fluxos de energia, umidade, massa e momentum. Deve ser ressaltado que desde a formação do planeta e da constituição da atmosfera terrestre, o clima vem sofrendo diversas alterações ao longo

do tempo. Em vista da sua dinâmica, que é caracterizada por constante transformação, torna-se necessário realizar a observação dos elementos que o compõe para verificar se essas variações serão permanentes e quão intensamente afetarão ao ser humano. A variabilidade climática é intrínseca ao sistema climático terrestre, sendo responsável por oscilações naturais nos padrões do clima que são observados nos diferentes níveis sejam eles local, regional ou global. A variabilidade não deve ser confundida com mudança climática global, que é atribuída direta ou indiretamente à intensificação das atividades antropogênicas provocando, como consequência, alteração na composição química da atmosfera.

Vale ressaltar que o efeito estufa é um fenômeno natural que mantém a temperatura média da Terra em torno de 15 °C e ocorre devido existência do balanço entre a quantidade de radiação solar incidente e a quantidade de radiação terrestre. Uma parcela da energia que chega ao planeta é refletida de volta ao espaço e parte é absorvida pela superfície da Terra, promovendo o seu aquecimento. Uma parte do calor é enviada de volta ao espaço, no entanto, uma parcela é aprisionada pela presença de gases que, são opacos à radiação terrestre nesse comprimento de onda. As atividades humanas intensificam esse fenômeno natural ao lançar na atmosfera gases como o dióxido de carbono e o metano como já citado anteriormente.

5.2 Dispersão Atmosférica

Muitos pesquisadores têm comprovado a influência das condições meteorológicas para a dispersão de poluentes emitidos por fontes naturais e antropogênicas. A estabilidade atmosférica, a altura da camada limite planetária, a inversão térmica, a umidade relativa do ar e a intensidade e direção do vento, são as principais condições meteorológicas consideradas para sua avaliação.

A Camada Limite Planetária (CLP), é a parte mais baixa da atmosfera sendo diretamente influenciada pela presença da superfície da terra e respondendo aos forçantes superficiais em escala de tempo de menos de uma hora. Nesta camada, ocorre de maneira dominante, o transporte turbulento de espécies entre a superfície da terra e a atmosfera, sendo que após um dia, (período de 24 horas), é possível classificá-la quanto aos seus forçantes. Esta camada é Subdividida em: Camada Limite Convectiva (CLC), Camada Limite Neutra (CLN), Camada Limite Estável (CLE).

Como exemplo de alguns forçantes superficiais (térmicos e mecânicos) da CLP, pode-se mencionar a evaporação, a transferência de calor para a superfície, o resfriamento radiativo, a modificação dos fluxos turbulentos, os efeitos da topografia, o atrito com a superfície do solo, entre ou-

tros. Uma modelagem completa desta camada é extremamente difícil, tanto do ponto de vista meteorológico, quanto para o estudo da dispersão de poluentes, devido ao fato de os processos físicos que nela ocorrem não serem completamente conhecidos. Dentre esses, o problema principal e que causa maiores preocupações, é o problema da turbulência atmosférica, pois, a alta capacidade dispersiva da atmosfera advém de sua natureza turbulenta, e esta, é mais efetiva para o transporte de qualquer quantidade física (calor, contaminante, umidade...).

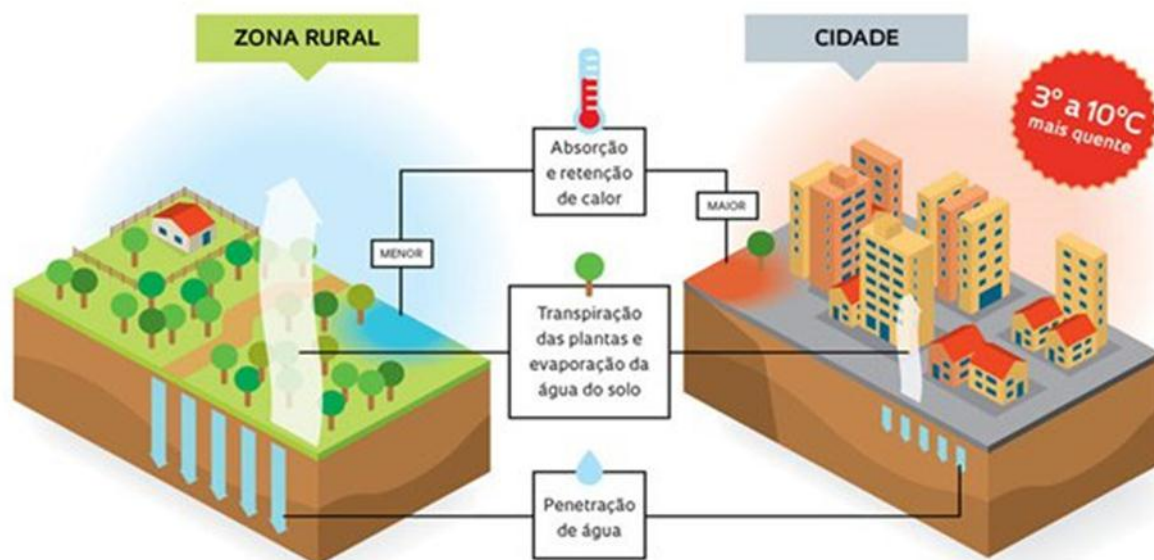
Uma condição é dita de estabilidade atmosférica, (atmosfera estável) quando há próximo à superfície, uma camada de ar frio, ou seja, quando ocorrer à situação de uma camada de ar frio se apresentar por baixo de uma camada de ar quente. Nesse caso, os movimentos verticais são limitados e assim sendo espera-se que a poluição se agrave, e que surjam névoas, nevoeiros, restrições à visibilidade, e a presença de nuvens estratiformes. Quanto à velocidade e direção do vento, podemos dizer que são de grande importância quando nos referimos à dispersão de poluentes, por que, além de nos relatar a procedência de certos poluentes e seu provável destino, podem também, prevenir episódios críticos de poluição do ar, e da mesma forma, estimar as prováveis causas de problemas dessa natureza.

De maneira geral, a velocidade do vento é o fator determinante no transporte horizontal dos contaminantes. No transporte vertical, a responsável pelo deslocamento desses poluentes é a turbulência atmosférica.

5.3 A questão das ilhas de calor

As ilhas de calor nada mais são do que fenômenos de caráter climáticos que acontecem por conta de altas temperaturas em uma determinada região urbana, ao comparar a mesma com uma área de zona rural, por exemplo. Para entender isso, basta chegarmos a simples conclusão de que as grandes cidades são aquelas que contam com temperatura superior quando comparadas com regiões de áreas periféricas, e por isso, caracterizam-se de forma literal como ilhas climáticas. Sendo assim, devemos destacar que esse tipo de fenômeno é constante principalmente em cidades que contam com um grau alto de organização, já que nesse caso, a temperatura média da região costuma ultrapassar a de outras cidades mais próximas, criando no ambiente uma verdadeira ilha de calor.

Por que ocorre o efeito ilha urbana de calor



Fonte: (STERN et al., 1984).

Para entendermos melhor, vamos para um exemplo prático. A temperatura média encontrada no centro de uma capital, por exemplo, e da zona rural aos arredores dessa cidade varia entre 4 a até 6 graus, e em alguns casos, essa oscilação pode chegar a uma média de até 11°C.

Sendo assim, essa oscilação de temperatura pode provocar uma série de inconvenientes e demais problemáticas para a própria população, já que o calor em excesso pode causar uma série de problemas.

Além disso, é claro que esse aumento de calor também pode acabar prejudicando o próprio bolso do cidadão, já que há um aumento bem significativo no próprio consumo de energia, para que ocorra o funcionamento de ar condicionado e demais refrigeradores em comércios, escolas, universidades, residências, indústrias e muitos outros ambientes.

5.3.1 Características das ilhas de calor

As ilhas de calor são facilmente notadas tanto durante os períodos diurnos como também durante as noites, mas a diferença que é realmente notável é aquela encontrada entre uma área urbana e outra rural durante o momento de anoitecer. Esse ápice é sentido com maior facilidade pelo fato de que a área rural fica mais fria rapidamente ao anoitecer: as calçadas, os muros, asfalto e demais formas de edificação recebem a luz do sol por muito mais tempo, e a essa retenção faz com que ocorra a diferença de calor entre a área urbana e rural em questão.

Já nas áreas florestais e rurais a cobertura vegetal é que faz com que tanto os processos de

evaporação quanto de evapotranspiração sejam capazes de amenizar as temperaturas sentidas. Isso no caso não é o mesmo que ocorre nas grandes cidades, que por sua vez, não contam com essa cobertura vegetal e estão impermeabilizadas.

No que diz respeito a esse fenômeno climático devemos destacar que a ação do homem é capaz unicamente de interferir ou de agravar uma situação já pré-existente de qualquer maneira, sendo essas ilhas de calor totalmente antrópicas. As ilhas de calor são criadas a partir do momento em que se remove toda a cobertura vegetal de um determinado ambiente, construindo no local da mesma grandes aglomerados. Esses aglomerados essencialmente urbanos, como é o caso dos arranha-céus, por exemplo, acabam atuando como refletores da radiação e luz do sol. Isso impede que ocorra a circulação de ar dentro da cidade, e consequentemente, o calor sentido na região é aumentado. Sendo assim, as ilhas de calor são favorecidas por conta da construção de prédios, zona asfálticas e trânsito em excesso. Além disso, a falta de árvores é também algo que impulsiona o desenvolvimento dessas ilhas de calor. A sensação de calor, por sua vez, é desconfortável não só para os seres humanos como também para outras espécies, no caso, os animais e plantas.

5.3.2 As principais causas

Entre as principais causas que favorecem as altas temperaturas em ilhas de calor o destaque vai para a falta de vegetação, com pouca presença de verde (marcada por plantas e árvores de uma forma geral), assim como pelos altíssimos índices de poluição do ar, ocasionadas pelo trânsito e pela própria poluição provocada pelas fábricas por exemplo. Devemos destacar que a presença e a própria formação de mais e mais ilhas de calor nos arredores do mundo são extremamente negativas para o nosso meio ambiente, já que isso intensifica de uma forma bem agravante o próprio aquecimento global. Para evitar a formação dessas ilhas de calor algumas dicas podem ser seguidas, como é o caso, por exemplo, da plantação de árvores, assim como parques com grande presença de área verde em grandes cidades. A preservação das áreas verdes é também essencial para manter a temperatura mais estável. Além disso, controlar os gases poluentes como é o caso daqueles emitidos por fábricas e indústrias é também fundamental para evitar esse fenômeno.

Entre as cidades que atualmente são consideradas ilhas de calor, podemos dar alguns exemplos: no Brasil, o destaque vai para Rio de Janeiro e São Paulo. No resto do mundo, Nova Iorque, Cidade do México, Nova Deli e Pequim também são alguns exemplos de ilhas de calor.

CAPÍTULO 6

A CARACTERIZACAO CLIMATOLÓGICA DO RIO DE JANEIRO

6.1 Clima

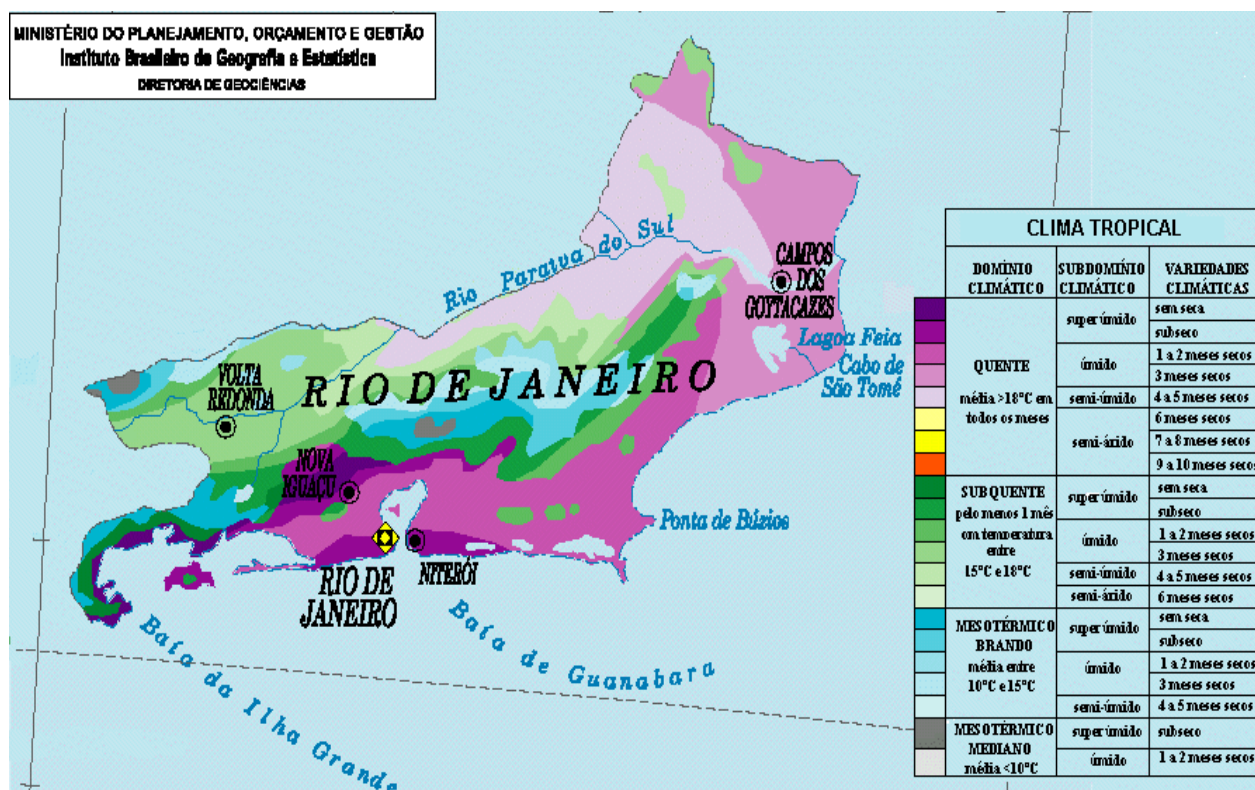
O clima do Rio de Janeiro é tropical atlântico e a média anual das temperaturas é de 23,8°C. Por se tratar de uma cidade litorânea, o efeito da maritimidade é bastante perceptível, traduzindo-se em amplitudes térmicas relativamente baixas. A média anual das temperaturas médias máximas mensais é 27,3 °C, e das mínimas mensais de 21 °C. Os verões são marcados por dias quentes e úmidos, eventualmente suplantando a barreira dos 40 °C em pontos isolados, enquanto os invernos apresentam-se amenos e com regime de chuvas mais restrito, com mínimas raramente inferiores a 10 °C. De modo geral, o ano pode ser dividido em duas estações: uma quente e relativamente chuvosa, e outra de temperaturas amenas; desta forma, primavera e outono agregam-se às características das demais, tratando-se mais de intervalos de transição do que estações propriamente definidas. Devido à altíssima concentração de edifícios nas regiões urbanas centrais, mais afastadas do litoral, é comum o surgimento de ilhas de calor, com termômetros superando a marca dos 40 °C nos meses mais quentes do ano. Nessas áreas e em outras, é possível verificar disparidades de alguns graus Celsius com relação às zonas costeiras, em razão das brisas marítimas.

6.2 Volume pluviométrico

O volume pluviométrico acumulado anual é de 1 069 mm. Esse valor, porém, varia conforme as diferenças de altitude, chegando a 2 000 mm nas regiões montanhosas, como em Alto da Boa Vista, onde o índice é de 2 236 mm anuais. As precipitações acontecem sob a forma de chuva ou, mais raramente, de granizo, concentrando-se nos meses de dezembro a março e tornando-se mais esparsas no inverno. Em aproximadamente um quarto dos dias (93) se verifica a ocorrência de precipitações. Os meses de outubro a janeiro e abril têm, em média, de nove a onze dias; maio a setembro, entre quatro e seis; fevereiro, sete e março, oito. Todavia, o maior volume é observado em janeiro (137 mm), março (136 mm), dezembro (134 mm) e fevereiro (130 mm). A umidade relativa do ar é de 79%, com médias mensais entre 77% e 80%.

6.3 Considerações importantes

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), desde 1961 até 1990, a temperatura mínima absoluta no Rio de Janeiro foi registrada na estação meteorológica de Jacarepaguá, de 3,8 °C em julho de 1974, e a maior atingiu 43,1 °C na estação de Bangu (atualmente desativada), em 14 de janeiro de 1984, recorde superado no dia 26 de dezembro de 2012, quando foram registrados 43,2 °C na estação meteorológica de Santa Cruz, zona oeste da cidade. O maior acumulado de precipitação em 24 horas foi registrado na estação meteorológica de Santa Teresa, de 186,2 mm em abril de 1967. Na estação convencional do INMET, localizada na Praça Mauá, bairro da Saúde, a menor temperatura já registrada foi de 10,1 °C em 18 de outubro de 1977, e a maior temperatura atingiu 42 °C em 1º de dezembro de 2002. O maior acumulado de precipitação registrado em 24 horas foi de 178,5 mm em 6 de abril de 2010. Outros grandes acumulados foram 167,4 mm em 16 de janeiro de 1962, 166,2 mm em 12 de janeiro de 1966, 154,6 mm em 19 de fevereiro de 1967, 151,3 mm em 18 de março de 2003, 147,4 mm em 17 de janeiro de 1973, 144,9 mm em 20 de fevereiro de 1967, 137,7 mm em 26 de fevereiro de 1971, 125,6 mm em 20 de março de 1983, 123,6 mm em 4 de maio de 1975, 112,8 mm em 25 de outubro de 2007, 111,4 mm em 4 de março de 1965, 111,2 mm em 27 de março de 1966, 111 mm em 6 de dezembro de 2010, 109,8 mm em 11 de dezembro de 2013, 106 mm em 4 de fevereiro de 2005 e 103 mm em 28 de janeiro de 2006. Em janeiro de 1962 foi registrado o maior volume total de chuva em um mês, de 472,9 milímetros. O menor índice de umidade relativa do ar foi de 26 % em 10 de março de 2007.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia (2016).

6.4 A Baía da Guanabara

Localizada no litoral do Estado do Rio de Janeiro, entre as longitudes 42°00" e 43°20"W e latitudes 22°40" e 23°00", a Baía da Guanabara é um importante ecossistema estuarino, que vem, sobretudo nas últimas décadas, sofrendo severos impactos ambientais em virtude de atividades humanas. Originada do afogamento marinho de uma bacia fluvial pleistocênica, a baía é circundada por quatro importantes províncias fisiográficas, escarpas da Serra do Mar, conhecida localmente como Serra dos Órgãos, os maciços litorâneos, a baixada Fluminense e a Baía da Guanabara. A bacia da Guanabara drena uma área de aproximadamente 4.600 km² e por meio dos seus 35 principais tributários, traz para a baía poluentes provenientes de efluentes domésticos brutos ou parcialmente tratados de cerca de 10 milhões de habitantes e de efluentes industriais das mais de 12.000 indústrias instaladas em sua área. Excluindo-se suas ilhas, a área da baía é de aproximadamente 384 km², determinada pela planimetria de uma carta de escala 1:50.000 e seu perímetro é de 131 quilômetros lineares. Sua maior extensão, medida em linha reta entre a Ponta de Copacabana e a foz do rio Magé é de 36 km e sua menor largura corresponde ao estreitamento entre a Ponta de São João (Rio) e Ponta de Santa Cruz (Niterói), com 1.650 metros. Por se tratar de uma região de topografia muito acidentada, com litoral soprado constantemente por ventos alísios de E e NE; e sobretudo, por se tratar de um território de importantes variações de latitude e longitude, localizada sob a trajetória preferida pelas frentes polares (correntes perturbadas de Sul), onde

frequentemente o sistemas de circulação do anticiclone do Atlântico Sul das latitudes baixas se opõem em equilíbrio dinâmico, o Sudeste do Brasil, incluindo a Bacia da Guanabara, possui uma notável diversificação climática.

De acordo com Amador (1997), mesmo possuindo dimensões reduzidas, a bacia da Guanabara apresenta praticamente todos os tipos climáticos brasileiros, compreendendo as categorias Tropical Quente, Tropical Subquente, Mesotérmico Brando e Mesotérmico Médio, segundo a classificação de Nimer (1972 e 1977). A Baía da Guanabara está inserida na área intertropical, e seu clima é caracterizado por fatores de ordem geográfica (posição, maritimidade, continentalidade e topografia) e de ordem dinâmica (circulação geral da atmosfera), por uma notável diversificação tanto de regime de temperatura, quanto de distribuição de precipitação.

O clima da região da baía como um todo é tropical úmido, com uma estação chuvosa no verão, de dezembro a abril e outra seca, entre junho e agosto. Entretanto a estação seca é pouco pronunciada, com a variação de precipitação ocorrendo, principalmente, em função do relevo. Em função desses fatores climáticos, a região da baía ostenta uma exuberante Mata Atlântica.

A diversidade climática pode ser evidenciada pela distribuição bastante irregular da precipitação na região. Na bacia, são encontradas áreas com precipitação média anual variando de 1000 mm, nas áreas da baixada, até mais de 2100 mm nas áreas mais altas da Serra dos Órgãos. A umidade relativa do ar tem média de 78% na Baía da Guanabara, e a precipitação total anual média varia de 1000 a 1500 mm na Baixada Fluminense. As normais climatológicas obtidas de 1961 a 1990 mostram que a precipitação média varia de 291 mm por mês nas regiões serranas a 30 mm por mês em áreas de baixada. A precipitação média anual na Baía da Guanabara, medida na Estação Meteorológica do Aterro do Flamengo, é de 1173 mm, e a evaporação é 1198 mm.

Os altos índices pluviométricos característicos da região serrana são decorrentes de chuvas de relevo (orográficas). A Serra do Mar – Serra dos Órgãos – atua como barreira física às penetrações de massas de ar úmido provenientes do oceano, forçando estas a subir até regiões mais frias onde ocorre a condensação e precipitação. Há registros de precipitações superiores a 200 mm em 24 horas. No interior do recôncavo da baía, as isoietas indicam uma média de precipitação anual de 1.200 mm por ano. Em relação à temperatura a variabilidade não é diferente, na área da Guanabara são registrados extremos que oscilam desde temperaturas elevadas que ultrapassam 40°C, no verão, a mínimas absolutas de até -6°C, no inverno, nas altitudes mais elevadas da Serra do Mar.

Na Baía da Guanabara, as temperaturas médias anuais são de 23,7°C. As maiores médias, acima dos 26°C, são registradas nas áreas com altitude inferior a 200 metros, como a Baixada Fluminense. Já nas áreas mais elevadas as temperaturas médias atingem patamares inferiores a 19°C. No inverno, durante o mês de julho, são comumente registradas médias mínimas inferiores a

13°C nas áreas acima dos 1.000 metros, enquanto que na Baixada Fluminense, o inverno é mais ameno, com temperatura média em torno de 20°C.

De acordo com Amador (1997), o clima da Baía da Guanabara sofre influência de diversos fatores atmosféricos, sejam eles dinâmicos (massa de ar, p. ex.) ou geográficos (estáticos), como topografia, posição geográfica, maritimidade, continentalidade, entre outros.

6.4.1 Fatores dinâmicos

A região da Baía da Guanabara é constantemente soprada por ventos Leste e Nordeste originados do anticiclone semifixo do Atlântico Sul. As temperaturas elevadas dessa massa de ar são decorrentes da intensa radiação solar, típica das latitudes tropicais e sua alta umidade é proveniente da intensa evaporação marítima. Essas características conferem estabilidade climática à região da baía, que frequentemente apresenta um “tempo bom”, só alterado com a chegada de correntes perturbadas. Dos sistemas de correntes de circulação perturbada, os mais atuantes na região da baía são o Sistema de Correntes Perturbadas de Sul, de Oeste e de Leste. Eles são responsáveis por áreas de instabilidade responsáveis pela formação de chuvas. As Correntes Perturbadas de Sul, mais comumente conhecidas por Frentes Frias são formadas pela invasão do anticiclone polar que tem sua origem na superfície gelado do continente Antártico e da banquisa fixa. Essas frentes, principais responsáveis pela formação de nuvens, penetram no Oceano Atlântico, onde rapidamente ganham calor e umidade, chegando até o continente Sul Americano, condicionando-se pela orografia e pelo contraste térmico, sendo responsáveis pelo maior aporte de umidade local, notadamente no verão, quando as maiores temperaturas intensificam a evaporação e a capacidade do ar transportar água.

Ao transpor a Cordilheira dos Andes, a frente polar tem seu vetor setentrional dissipado pelo contato com a zona de convergência de baixa pressão do interior, enquanto seu vetor meridional avança na direção NE ou E, se dissipando no Oceano Atlântico, após atingir a Região Sudeste, ao mesmo tempo em que o anticiclone do Atlântico é afastado para o oceano. No inverno, essas frentes frias não provocam chuvas muito intensa, devido a pouca umidade específica, uma vez que a baixa radiação solar característica desta estação climática acarretam numa baixa evaporação no hemisfério sul. Já no verão a segunda trajetória é mais utilizada, atingindo a Região Sudeste através de uma rota marítima sendo a principal responsável pela abundante precipitação na Região Sudeste e pelos aguaceiros que ocorrem com muita frequência nas áreas serranas. Esses aguaceiros costumam causar grandes prejuízos econômicos na região da Baía da Guanabara, sendo

responsáveis pelo quadro de enchentes típicas do verão.

As correntes perturbadas de Oeste são linhas de instabilidade tropical também conhecidas por frentes tropicais e atingem a região entre outubro e abril. Tais correntes originam-se no interior do continente e relacionam-se a ventos de W e NW, frequentemente relacionados a fortes chuvas tipicamente tropicais. O ar em convergência dinâmica, no interior de uma linha de instabilidade, gera as chamadas chuvas de verão, de intensa precipitação e curta duração. Na linha de depressão barométrica formadas ao norte da frente polar ocorrem chuvas, trovoadas e por vezes até mesmo granizo. Os ventos são de moderados a fortes, com rajadas atingindo de 60 a 90 km/h. As linhas de instabilidade possuem grande mobilidade e formam nuvens pensadas e chuvas tipicamente tropicais à medida que se deslocam para SE e E, caracterizando a chegada de uma frente fria. Essas chuvas tropicais geralmente ocorrem no fim da tarde ou início da noite, quando o forte aquecimento solar diurno, intensifica a radiação telúrica e conseqüentemente as correntes convectivas. Já as Correntes Perturbadas de Leste são pseudo frentes originárias dos anticiclones tropicais que sopram de E para W. Constituem um fenômeno característico dos litorais das regiões tropicais atingidas pelos ventos alísios, sendo mais frequentes no inverno. Assim como ocorre com interferência das Correntes Perturbadas de W, com a atuação desse sistema de correntes perturbadas são ocasionadas chuvas intensas e curtas. Todavia, sua atuação na área da Guanabara é considerada de rara ocorrência.

6.4.2 Fatores Geográficos

Localizada na Zona Intertropical, entre as latitudes 23°05' e 22°15' S, e longitude de 42°30' e 43°30' W, a região da Guanabara recebe radiação solar intensa, aproximadamente 0,39 a 0,37 cal/cm³/m (ondas curtas) e 0,3 cal/cm³/m (ondas longas), segundo Nimer (1972).

Essa intensa radiação solar contribui para o aquecimento das massas d'água, favorecendo uma grande evaporação e condensação, garantidas pela proximidade com o Oceano Atlântico. Em relação à temperatura, a proximidade do oceano, assegura uma maior estabilidade, com menor amplitude térmica entre o dia e a noite. As áreas mais próximas ao mar, devido ao alto calor específico da água, possuem uma regulação térmica mais eficiente, acarretando maiores temperaturas durante a noite se comparas ao interior do continente. Essa amenização climática, produzida pela proximidade com o mar é conhecida por maritimidade.

Já a continentalidade, de modo diverso, se relaciona à ausência dessa amenização, sendo que para um território com mesma topografia, quanto mais afastado do mar mais elevada a temperatura. Outro fator geográfico importante está ligado à posição da área de interesse. De maneira geral,

unidades territoriais com posição alongada em relação à linha do litoral tendem a ter um clima mais homogêneo do que territórios com disposição longitudinal em relação ao litoral, como é o caso da Baía da Guanabara. A topografia é um dos fatores estáticos mais importantes para a caracterização climática da Baía da Guanabara, que, neste quesito, também possui uma notável diversificação.

As diferentes topografias favorecem a formação de chuvas, uma que vez atuam no sentido de aumentar a turbulência do ar causada pela ascendência orográfica. Dessa forma, as faixas de precipitação tendem a ser gradualmente mais elevadas da base para o topo das montanhas. A temperatura também é fortemente afetada pela variação da topografia, que influencia em uma maior ou menor irradiação. Em áreas elevadas são observadas maiores amplitudes térmicas, com o resfriamento bem mais rápido durante a noite. Como a Bacia da Guanabara é caracterizada por apresentar uma topografia bastante diversificada e acidentada, não é de se estranhar a sua diversidade de elementos climáticos. Com altitudes variando de 800 a 2.200 metros, a Serra dos Órgãos possui orientação geral NE-SW e se distancia em média 40 km do mar.

A presença e disposição dessas elevações em relação aos sistemas de correntes perturbadas, principalmente de Sul, constituem os principais responsáveis pela distribuição irregular das chuvas na Bacia da Guanabara. Por outro lado, as diferentes altitudes são responsáveis pela diversidade de temperaturas. Existe uma nítida diferenciação entre as áreas mais elevadas da Serra dos Órgãos, os maciços litorâneos e serras isoladas e a depressão constituída pela Baixada Fluminense. Essa diferenciação pode ser evidenciada pela distribuição desigual das isotermas anuais na bacia. As estações meteorológicas de Petrópolis, Teresópolis e do Parque Nacional da Serra dos Órgãos registram temperaturas médias anuais inferiores a 13°C. Nos maciços costeiros e serras isoladas, as temperaturas médias são inferiores a 22°C, atingindo 20°C nas áreas mais elevadas. Por outro lado, em sua maior extensão, a bacia engloba áreas de baixada e com cotas altimétricas inferiores a 100 metros, onde a temperatura média anual é superior a 22°C. No verão, as isotermas do mês de janeiro expressam maior variação das temperaturas entre as áreas de Baixada e de topografia mais acidentada. Nas áreas mais elevadas da Serra dos Órgãos (acima de 1.500 metros), são registradas temperaturas inferiores a 18°C.

Nos maciços costeiros e serras isoladas, as temperaturas médias do mês de janeiro são inferiores a 25°C. As maiores temperaturas ocorrem nas áreas localizadas abaixo de altitudes de 100 metros, como é o caso da Baixada Fluminense, onde ocorrem médias superiores a 25°C.

No inverno, as isotermas do mês de julho apresentam temperaturas superiores a 19°C na Baixada Fluminense e áreas com cotas altimétricas inferiores a 100 metros, inferiores a 19°C nos maciços costeiros e serras isoladas e inferiores a 10°C nas áreas mais elevadas da Serra dos Órgãos (acima de 1500 metros de altitude). A temperatura máxima absoluta ocorre de setembro a março, período em que a incidência dos raios solares se verifica em maiores ângulos e por maior tempo

(dias maiores que as noites). Neste período, nunca foi ultrapassada a temperatura de 34°C na Serra dos Órgãos, entretanto não são raros registros de máximas absolutas superiores a 42°C na Baixada Fluminense. Já as mínimas absolutas ocorrem no solstício de inverno e são devidas à redução do tempo de radiação (noites maiores que os dias), redução de calor absorvidas pelas camadas inferiores da atmosfera durante a radiação solar direta (menor ângulo de incidência dos raios de sol) e também pela maior incidência de massas de ar frio.

Neste período, com exceção da Baixada e do litoral, todas as outras áreas registram temperaturas mínimas inferiores a 8°C. Nas regiões mais elevadas da Serra dos Órgãos são registradas temperaturas mínimas absolutas de -4 a -6°C. Entretanto, devido ao efeito da maritimidade, não são muito frequentes eventos de geada, oscilando entre 1 a 5 dias por ano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Navegação marítima, por se tratar de um meio muito utilizado para o transporte mundial (cerca de 95% do transporte é realizado via marítima) e na exploração da plataforma continental (sendo o petróleo base fundamental dos principais combustíveis utilizados), deve ter grande atenção quanto à poluição emitida pelos navios mercantes.

Esta poluição provinda da grande queima de combustível exigida para o funcionamento de tão grandes embarcações tem sido cada vez mais regulamentada destinando-se para sua diminuição e contenção através de normas e novas tecnologias de motores e sistemas relacionados a embarcações.

A Baía de Guanabara situada no estado do Rio de Janeiro sofre não só com a grande influencia dos navios mas também de industrias nas proximidades, o estudo desta região é de vital importância para que se possam tomar atitudes em relação a poluição do local.

REFERÊNCIAS

BEDESCHI, Laura, (2007), A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa – o caso do município do Rio de Janeiro.

MONTEIRO, Emerson (2012), Uma análise da aplicabilidade do mecanismo de desenvolvimento limpo para o transporte aquaviário no Brasil.

SEINFELD J. H. e PANDIS S. N. (1998), Atmospheric Chemistry and Physics – From Air, Pollution to Climate Change, Wiley Interscience, USA.

LORA, E. E, Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte – 2ª ed .Rio de Janeiro, Interciência, 2002.

STERN, A.; BOUBEL,R.; TURNER, D.; FOX, D., Fundamentals of Air Pollution – Academic Press, 1984.

FILAYSONPITTS, B. J.; PITTS, J. N. Chemistry of the upper and lower atmosphere – Academic Press, 2000.

CASTRO, J. G. S. Os gases que adoecem ao mundo. 1998. Fundação S.O.S Planeta Terra. Artigos.

MANAHAN, S.E.; Environmental Chemistry, Michigan: Lewis Publishers, 1991.

BOTKIN, D.B.; LELLER, E.A.; Environmental Science – Earth As a Living Planet, John Wiley & Sons, New York, 1998.

NEBEL, B. J., WRIGHT, R. T., Environmental Science, Prentice Hall, New Jersey, 1998.

BRASSEUR, G.P., ORLANDO, J. J, TYNDALL, G. S. ed; Atmospheric Chemistry and Global Changes; Oxford University Press, New York, 1999.

FINLAYSON-PITTS, B.; PITTS JR., J.N.; Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere, San Diego: Academic Press, 2000.

MARENGO, José. (2006), Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade.